

# Zentralität Version 02 - ein Diskussionspapier

Oliver Nakoinz

17. Februar 2011

## Zusammenfassung

Die zentralörtliche Theorie CHRISTALLERS war jahrzehntelang ein wichtiges Instrument der Geographie, Wirtschaftswissenschaften und Archäologie zur Erforschung räumlicher Organisationsstrukturen. Im Laufe der Zeit sind Nachteile sichtbar geworden und mit der Netzwerktheorie ist scheinbar ein neues Paradigma erwachsen. Ungeachtet dessen ist Zentralität gerade jetzt ein Schlüsselbegriff in der deutschen Archäologie. Ziel dieser Arbeit ist es eine einfache aber konsistente verallgemeinerte Zentralitätstheorie zu erarbeiten, welche die Konzepte der *Christallerzentralität* und der *Netzwerkzentralität* umfasst, verschiedene Nachteile der beiden Ansätze meidet, in unterschiedlichen Disziplinen zur Anwendung kommen kann und als Grundlage für empirische Analysen dienen kann. Die Theorie soll ein weites Spektrum komplementärer und über verschiedene Qualitäten der Datengrundlage skalierbarer Methoden implizieren um ein Maximum an Resultaten erzielen zu können.

Zunächst werden leichte Modifikationen der zentralörtlichen Theorie vorgenommen. Ausgegangen wird von einer expliziten *Definition der Zentralität auf der Basis des Interaktionsbegriffs*. Zentralität wird als Konzentration von Interaktion aufgefasst und Zentralorte als Bereiche hoher Interaktionsknotendichte. Die Versorgung mit Gütern der Theorie CHRISTALLERS wird also durch allgemeine Interaktionen ersetzt. Damit erweitern sich der Geltungsbereich und die Anwendbarkeit der Theorie. Sie kann nun auf netzwerktheoretische Grundlagen aufbauen ohne grundsätzlich den Einschränkungen der Netzwerkanalyse unterworfen zu sein.

Unter verschiedenen Klassifikationen von Zentralität heben sich zwei als besonders nützlich hervor. Die Unterteilung in *zentrale Funktionen* wird lediglich um individuelle Untergruppen verfeinert. Weiterhin ist eine idealtypische *Klassifikation in Organisationsformen* von Bedeutung. Die christallerschen Organisationsformen stellen hierbei nur eine unter weiteren Möglichkeiten dar. Welche Organisationsform vorliegt, muss empirisch ermittelt werden. Zudem ist relevant, dass grundsätzlich von einer *Überlagerung verschiedener Strukturen* ausgegangen werden muss. Es gilt im komplexen Gefüge realer Daten die dominanten Faktoren zu bestimmen.

Nach einer Darstellung der theoretischen Grundlagen werden *Methoden der empirischen Forschung* besprochen. Es wird eine Trennung in Interaktionsknoten, -kanten, -Netze und den jeweiligen Vergleich vorgenommen. Hierin spiegelt sich eine Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit wider. Einige der gängigen Zentralitätsindizes können modifiziert werden, so dass sie im Kontext der Theorie Bedeutung erhalten. Ein Schwerpunkt liegt in vergleichenden Methoden. Hierbei werden Vergleiche zwischen idealen und realen Strukturen sowie zwischen synchronen und diachronen Siedlungsstrukturen und Siedlungen thematisiert. Eine praxisorientierte Zusammenfassung bilden die Darstellungen wichtiger Analysestrategien und Vergleichsmethoden. Modellierungen und Simulationen schließen den ersten Teil der Arbeit ab.

Die vorliegende Arbeit soll in erster Linie einen Vergleich von Siedlungen und Siedlungsstrukturen in Topoi A1 unter dem Gesichtspunkt räumlicher Organisationsstrukturen ermöglichen. Sie ist ein Theorie- und Methodenangebot für die einzelnen Projekte. Darüber hinaus werden Impulse für die archäologische und geographische Forschung erwartet. Diese Arbeit zielt jedoch auch auf eine transdisziplinäre Zentralitätsforschung ab, in die weitere Disziplinen, wie die Soziologie, die Geschichtswissenschaften, die Psychologie, die Verhaltensforschung, die Biologie, die Völkerkunde und die Volkskunde sowie andere integriert werden sollen.

Der zweite Teil wird in einer Anwendung auf die einzelnen Topoi A1 Projekte bestehen, deren Umfang, Inhalt und Realisierung in Abstimmung mit allen Beteiligten noch zu planen ist.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>I</b>	<b>Theorie und Methodik</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Diagnose</b>	<b>6</b>
2.1	Befund – die Ausgangslage der Zentralortforschung . . . . .	6
2.2	Zweck der zentralörtlichen Theorie . . . . .	10
2.3	Syndrom - die Probleme . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Therapie – die Lösung der Probleme durch eine modifizierte Theorie</b>	<b>12</b>
3.1	Lösungsweg . . . . .	12
3.2	Definition von Zentralität und Zentralort . . . . .	12
3.3	Funktionale Zusammenhänge von Zentralität . . . . .	14
3.3.1	Definition von Interaktion . . . . .	14
3.3.2	Skalierung von Interaktion . . . . .	14
3.3.3	Geometrie von Interaktion . . . . .	15
3.3.4	Funktion von Interaktion . . . . .	15
3.3.5	Effekte von Interaktion . . . . .	16
3.3.6	Interaktionsmodelle . . . . .	17
3.3.7	Organisation von Interaktion . . . . .	17
3.3.8	Distanz und Kosten . . . . .	20
3.3.9	Interaktionsdichte . . . . .	21
3.4	Klassifikation von Zentralität und zentralen Orten . . . . .	21
3.4.1	Interaktionszweck . . . . .	21
3.4.2	Interaktionform . . . . .	22
3.4.3	Interaktionsknoten . . . . .	23
3.4.4	Interaktionsknotenverteilung . . . . .	23
3.4.5	Netzstruktur . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Rezepte - ein Kochbuch der Methoden zur Zentralortforschung</b>	<b>27</b>
4.1	Empirische Daten . . . . .	27
4.1.1	Interaktionsknoten . . . . .	27
4.1.2	Interaktionskanten . . . . .	27
4.1.3	Interaktionsstrukturen . . . . .	27
4.2	Naturräumliche Rahmenbedingungen . . . . .	27
4.3	Methoden zur Untersuchung von Interaktionsknoten . . . . .	28
4.3.1	Klassifikation . . . . .	28
4.3.2	Prädefinierte Klassen . . . . .	28
4.3.3	Numerische Klassifikation . . . . .	29
4.3.4	Verteilung . . . . .	32
4.3.4.1	Nachbarschaftsanalysen . . . . .	32
4.3.4.2	CSR-Analyse . . . . .	32
4.3.4.3	CSR-Analyse mit Gleitfenster . . . . .	34
4.3.5	Dichte . . . . .	35
4.3.5.1	Zählmethoden . . . . .	35
4.3.5.2	Strukturbasierte Methoden . . . . .	36
4.3.5.3	Methodenvergleich . . . . .	36
4.3.5.4	Dichteanomalien . . . . .	37
4.3.6	Zentralität . . . . .	37
4.3.7	Zentren . . . . .	38
4.3.7.1	Zentrenindikatoren . . . . .	38

4.3.7.2	Zentren als Dichtemaxima . . . . .	39
4.3.7.3	Charakteristik unimodaler Zentren . . . . .	40
4.3.8	Territorien . . . . .	41
4.3.8.1	Idealterritorien . . . . .	41
4.3.8.2	Realterritorien . . . . .	43
4.3.8.3	Territoriale Kenngrößen . . . . .	45
4.3.9	Hierarchie . . . . .	46
4.3.9.1	Hierarchieindikatoren . . . . .	46
4.3.9.2	Hierarchierekonstruktion . . . . .	48
4.4	Methoden zur Untersuchung von Interaktionskanten . . . . .	48
4.4.1	Klassifikation . . . . .	48
4.4.2	Interaktionsintensität . . . . .	49
4.4.3	Interaktionsdichte . . . . .	50
4.4.4	Streckenlänge . . . . .	50
4.4.5	Kantenhierarchie . . . . .	50
4.5	Methoden zur Untersuchung von Interaktionsnetzen . . . . .	50
4.5.1	Konstruktion und Rekonstruktion von Netzen . . . . .	50
4.5.2	Einfache Netzwerkparameter . . . . .	54
4.5.3	Netzwerkanalyse . . . . .	55
4.5.3.1	Netzwerkklassifikation . . . . .	55
4.5.3.2	Kennzahlen für Verkehrsnetze . . . . .	55
4.5.3.3	Zentralität . . . . .	55
4.5.3.4	Cliquen . . . . .	59
4.5.3.5	Cluster . . . . .	59
4.5.3.6	Superposition . . . . .	60
4.5.4	Kybernetische und komplexe Systeme . . . . .	60
4.6	Ideal- und Real . . . . .	60
4.7	Analysestrategien . . . . .	61
4.7.1	Organisationsstrukturen . . . . .	61
4.7.2	Zentralitätsverteilung . . . . .	61
4.7.3	Netzwerkanalysen . . . . .	62
4.8	Vergleich von Zentralität . . . . .	63
4.8.1	Parametervergleich . . . . .	63
4.8.2	Ausprägungsvergleich . . . . .	63
4.8.3	Qualitative Vergleiche . . . . .	64
4.9	Modellierung und Simulation von Zentralität . . . . .	64
4.9.1	Modell A . . . . .	65
4.9.2	Modell B . . . . .	65
4.9.3	Modell D . . . . .	65
4.9.4	Modell C . . . . .	66
4.9.5	Resultat der allgemeinen Modellierungen und Simulationen . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Fazit der theoretischen und methodischen Überlegungen</b>	<b>67</b>
<b>II</b>	<b>Anwendung - Fallbeispiele</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>Projekt 1</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Projekt 2</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Synthese</b>	<b>68</b>

### **III Anhang**

**69**

#### **9 Literatur**

**69**

# 1 Einleitung

Gegenwärtig sind Zentralorte ein wichtiger Forschungsgegenstand und Zentralität ein Schlüsselbegriff der deutschen Archäologie. Die Vorgeschichte dieser Mode sind die jahrzehntelange archäologische Erforschung herausragender Siedlungen und die Entwicklung der zentralörtlichen Theorie in Geographie und Archäologie. In beiden Disziplinen hat die Theorie zentraler Orte zu unterschiedlichen Zeit und in unterschiedlichen Gebieten großen Einfluss auf die Forschung ausgeübt. Sie hat sich seit ihrer Entwicklung durch CHRISTALLER als wichtiges Forschungsinstrument erwiesen, aber auch Schwächen gezeigt. Dieser Sachverhalt wird zunächst näher untersucht. Nach einer exakten Formulierung des Zwecks einer Zentralitätstheorie und der Nachteile der zentralörtlichen Theorie können Ansätze zur Verbesserung und zu einer allgemeinen Zentralitätstheorie erarbeitet werden. Aus archäologischer Sicht ist es wichtig, dass die Anwendbarkeit der Theorie in empirischen Analysen deutlich verbessert wird und die Theorie insbesondere eine solide Grundlage für den Vergleich von Siedlungen und Siedlungsstrukturen bildet. Die resultierende Theorie soll möglichst einfach sein und das Verhältnis zu konkurrierenden Ansätzen soll klar sein. Insbesondere soll die allgemeine Zentralitätstheorie sowohl die Theorie CHRISTALLERS wie auch neue Netzwerktheorien umfassen. Sie soll keine umfassende Standorttheorie sein, sondern sich lediglich mit dem Aspekt der Zentralität im räumlichen Kontext beschäftigen.

Die erarbeitete Theorie der Zentralität besteht im Kern in einer Definition von Zentralität, die durch eine Betrachtung der funktionalen Zusammenhänge ergänzt wird. Anschließend findet eine Klassifikation statt, die als Grundlage des Vergleichs von Siedlungen und Siedlungsstrukturen dienen soll. Schließlich werden die Methoden der Zentralortforschung besprochen.

In einem zweiten Teil sollen die Theorie und die Methoden zur Anwendung kommen, wobei der Vergleich der in TOPOI A1 untersuchten Zentralorte im Mittelpunkt steht. ###

## Teil I

# Theorie und Methodik

## 2 Diagnose

### 2.1 Befund – die Ausgangslage der Zentralortforschung

Orte die eine besondere Anziehung aufweisen und sich oft durch eine überdurchschnittliche Größe auszeichnen sind in vielen Zeiten und Regionen zu beobachten. Aus archäologischer Sicht sind sie von großem Interesse, da sie Zusammenhänge mit sozialen Eliten und anderen spezifischen sozialen Gruppen, besonderen wirtschaftlichen Grundlagen, wichtigen Kommunikationssysteme und historischen Ereignissen erwarten lassen. Diese Orte erweisen sich vielfach als nützliche Ansatzpunkte der Forschungen zu verschiedenen Themen. Da diese Orte in erster Linie durch die räumliche Koinzidenz verschiedener, als relevant betrachteter Merkmale charakterisiert sind, liegt der Ursprung und Schwerpunkt der Untersuchung derartiger Orte naturgemäß in der Geographie. In der modernen westlichen Welt sind es vor allem die Städte, die entsprechende Charakteristika aufweisen. Seit dem 19. Jahrhundert widmet sich der Urbanisierungs-Diskurs intensiv diesem Thema. Immer wieder zeigte sich hierbei, dass die Definition des Begriffs Stadt schwierig ist, da zahlreiche Aspekte eine Rolle spielen. Zu nennen sind geographische, soziale, rechtliche, wirtschaftliche und historische Gesichtspunkte. Die Diskussion hält bis heute an, wobei jede Phase der Forschung eigene Merkmale in den Vordergrund gestellt hat.

Unzufrieden mit dieser Forschungslage versuchte CHRISTALLER (1933) den Forschungsgegenstand der Stadt von einer anderen Seite anzugehen. Er definiert nicht was eine Stadt ist, sondern führt den damals neutralen Begriff des zentralen Ortes ein. Dieser deduktive Ansatz mit dem auch quantitative Methoden in die Geographie eingebracht werden, stellt ungeachtet der Tatsache, dass deutliche Einflüsse von GRADMANN, WEBER und V. THÜNEN erkennbar sind, eine grundlegende Neuerung dar. CHRISTALLER (1933) stellt die Frage, warum Städte an bestimmten Orten entstehen und zu einer bestimmten Größe anwachsen. Hierbei geht er strikt von einem wirtschaftsgeographischen Standpunkt aus, bei dem insbesondere der tertiäre Wirtschaftssektor im Fokus steht. Die Versorgung mit bestimmten Dienstleistungen, aber auch mit Produkten des primären und sekundären Wirtschaftssektors erfolgt für ein so genanntes Ergänzungsgebiet von zentralen Orten aus. Dabei hat jedes Produkt eine spezifische Reichweite, wodurch sich eine hierarchische Staffelung ergibt. Ferner können verschiedene Optimierungsprinzipien angewandt werden. Christaller ging davon aus, dass die Theorie der zentralen Orte allgemeine Gültigkeit haben könne und durch empirische Analysen die Optimierungsprinzipien unterschieden werden können.

Tatsächlich konnten seitdem viele Untersuchungen Siedlungsstrukturen aufzeigen, die nach den Prinzip der christallerschen Zentralorte organisiert sind (#####; TOBLER 1967a). Während eine breitere Rezeption der zentralörtlichen Theorie erst etwa zwei Jahrzehnte nach der Publikation einsetzte, stellt die Arbeit von Lösch schon einen ersten Schritt der Optimierung dar, die vor allem in den 1950er- bis 1970er Jahren mit zahlreichen Ansätzen versucht wurde. Insbesondere seit Mitte der 1950er und in den 1960er Jahre, in der Zeit des Aufkommens der quantitativen Geographie (BERRY u. GARRISON 1958a-c; BUNGE 1962; HÄGERSTRAND 1952; HAGGETT 1965, HAGGETT u. CHORLEY 1969; TOBLER 1967a-b) aufkommt, ist die Zeit der Blüte der Theorie zentraler Orte. In den 1970er Jahren nahm die Kritik an der zentralörtlichen Theorie zu. Seit den 1990er Jahren gilt sie in der Geographie weitgehend als nicht mehr zeitgemäß. Netzwerktheoretische Ansätze, die weniger aus der geographischen Netzwerkanalyse (HAGGETT u. CHORLEY 1969) als vielmehr der sozialen Netzwerkanalyse (GRANOVETTER 1974; SCOTT 2000) hervorgegangen sind werden als Paradigmenwechsel propagiert (MEIJERS 2007). Eine gewissenmaßen verdeckte Rückkehr der zentralörtlichen Theorie ist im Rahmen der *New Economic Geographie* (KRUGMAN 1997; FUJITA, KRUGMAN u. VENABLES 1999) zu beobachten (GÜSSFELD 2005). Während KRUGMAN (1997, 38) diese Theorie als “German geometry” kritisiert, so sind doch die Unterschiede der Theorien von

CHRISTALLER und von KRUGMAN nicht allzu groß. In beiden Fällen geht es letztlich um eine Optimierung der Siedlungsstruktur und zwar insbesondere der Lage von Städten auf der Basis der Transportkosten. Hiermit gliedern sich die Theorie CHRISTALLERS und KRUGMANS in die Reihe der geographischen Modelle, die als wesentlichen Parameter die Distanz beziehungsweise die Transportkosten verwenden. Als weitere Beispiele können die Modelle von v. THÜNEN (1875), FETTER (1921), LÖSCH (1940; 1954), RENFREW und LEVEL (1979) sowie das Gravitationsmodell.

Die Rezeption der zentralörtliche Theorie in der Archäologie setzte in den 1960er Jahren in England, genauer gesagt in Cambridge ein. Hier trafen der quantitativ arbeitende und vor allem an Standorttheorie interessiert Geograph HAGGETT und der Archäologie CLARKE aufeinander. Im Zuge der sehr fruchtbaren Diskussionen fand die zentralörtliche Theorie Eingang in die Archäologie (CLARKE 1968). Im Mittelpunkt des Interesses der angelsächsischen Zentralortforschung in der Archäologie standen die Territorien, die vornehmlich mit der Hilfe von Thiessenpolygonen untersucht wurden (CLARKE 1968, 113-115; CUNLIFFE 1974, 262; HÄRKE 1979; HODDER 1977; RENFREW 1973, 545). Die Optimierung der Siedlungsstruktur anhand unterschiedlicher Parameter, wie sie das Konzept der K-Werte impliziert und für die Raumplanung wichtig sind, wurden nicht thematisiert. Hierin kommt eine Anpassung der Theorie an archäologische Fragestellungen zum Ausdruck. Die einfache Berechnung von Thiessenpolygonen mit gängigen GIS-Programmen führte dazu, dass diese Methode trotz Kritik auch heute noch weit verbreitet ist (WHEATLEY u. GILLINGS 2002, 149-151).

Angeregt durch die angelsächsische Forschung wurde die zentralörtliche Theorie vereinzelt in den 1970er Jahren in Skandinavien aufgegriffen (MYHRE 1978; 1987). In dieser Zeit ging der Schwerpunkt der Forschung von Materialstudien allmählich zu Regionalstudien über. Im Laufe der Zeit zeigt sich, dass bestimmten Orten eine besondere Bedeutung für das Verständnis der Siedlungsstruktur zukommt. Die Diskussionen im Rahmen einer Tagung auf Sandbjerg Slot 1989 (FABECH u. RINGTVED 1991) führten dazu, die zentralörtliche Theorie als ein nützliches Werkzeug für die Erforschung dieser Orte einzuschätzen. Während der 1990er Jahre und in der ersten Hälfte des folgenden Jahrzehnts hatte die skandinavische Zentralortforschung ihre Blüte. Zunächst ergab sich ausgehend von bekannten Fundstellen wie Gudme (NIELSEN 1994; Thrane 1985) die Fragestellung, wie derartige Orte identifiziert und charakterisiert werden können. Wichtige Charakteristika waren hierbei Prestigefunde und -befunde ebenso eine wesentliche Rolle wie Toponyme. Als Beispiele können Hallen (HERSCHEND 1999), Bootshäuser (GRIMM 2006), Metallfunde, die vor allem mit der Hilfe von Metalldetektoren aufgefunden werden (HÅRDH u. LARSSON 2002; STJERNQUIST u. a. 1998; v. CARNAP-BORNHEIM 2007 und onomastische Zeugnisse (BRINK 1996) zu nennen. Die Korrelation der Lage zentraler Orte mit der Siedlungsdichte und mit naturräumlichen Faktoren ist eine wesentliche Grundlage der Interpretation von Siedlungsstrukturen (FABECH 1993). Gelegentlich kann aufgrund der im wesentlichen naturräumlich bedingten Zentralität hervorgehobener Siedlungen eine Konstanz der Strukturen postuliert werden (GRIMM 2009). Ein weiterer Themenschwerpunkt ist die Rekonstruktion der Siedlungshierarchien, die meistens auf einer prädefinierten, dreistufigen Klassifikation archäologischer Indikatoren basiert (FABECH u. RINGTVED 1995). Wenngleich ein materialorientierten Ansatzes in Nordeuropa sehr verbreitet ist, finden sich doch auch theoretische Arbeiten zum Zentralortbegriffe (HANSEN 2003a). In jüngerer Zeit werden vor allem Netzwerkmodelle diskutiert (SINDBÆK 2007; 2009).

In Deutschland wurde die zentralörtlichen Theorie für archäologienahe Fragestellungen um 1970 durch die historische Geographie aufgegriffen (FEHN 1970; BLOTEVOGEL 1975). Eine Anwendung in der Archäologie diskutierte DENECKE (1973), der jedoch eher skeptisch war. Er erarbeitete zehn zentralörtliche Funktionen, die auf historische und teilweise auch auf prähistorische Epochen angewendet werden können. Eine umfassende Rezeption dieser Arbeit blieb in den folgenden Jahren zunächst aus. KUNOW (1988) lenkte im Rahmen einer Beschreibung der römischen Zentralorte der *Germania inferior* das Interesse Ende der 1980er Jahre erneut auf die zentralörtlichen Theorie.

GRINGMUTH-DALLMER, der sich schon 1983 mit der zentralörtlichen Theorie beschäftigte gelang es 1996 dieser zum Durchbruch zu verhelfen. Die unterschiedlichen Einflüsse auf die deutsche Zentralortforschung sind deutlich.

Einerseits ist der Traditionsstrang CHRISTALLER - DENECKE - GRINGMUTH-DALLMER klar erkennbar (z. B. KRAUSSE 2004; KRAUSSE u. NAKOINZ 2000, WEHNER 2007). Andererseits spielt in Norddeutschland die skandinavische Variante der Zentralortforschung eine dominante Rolle (JÖNS 2002; SEGSCHNEIDER 2002; DOBAT 2001). Ein deutlicher Indikator hierfür, der auch die Distanz zur christallerschen Theorie anzeigt, ist die Rückübersetzung von „central place“ und „central plats“ in „Zentralplatz“, anstatt des christallerschen Begriffes „Zentralort“. In jüngerer Zeit hat eine Auseinandersetzung mit der Netzwerkzentralität begonnen (MÜLLER 2009).

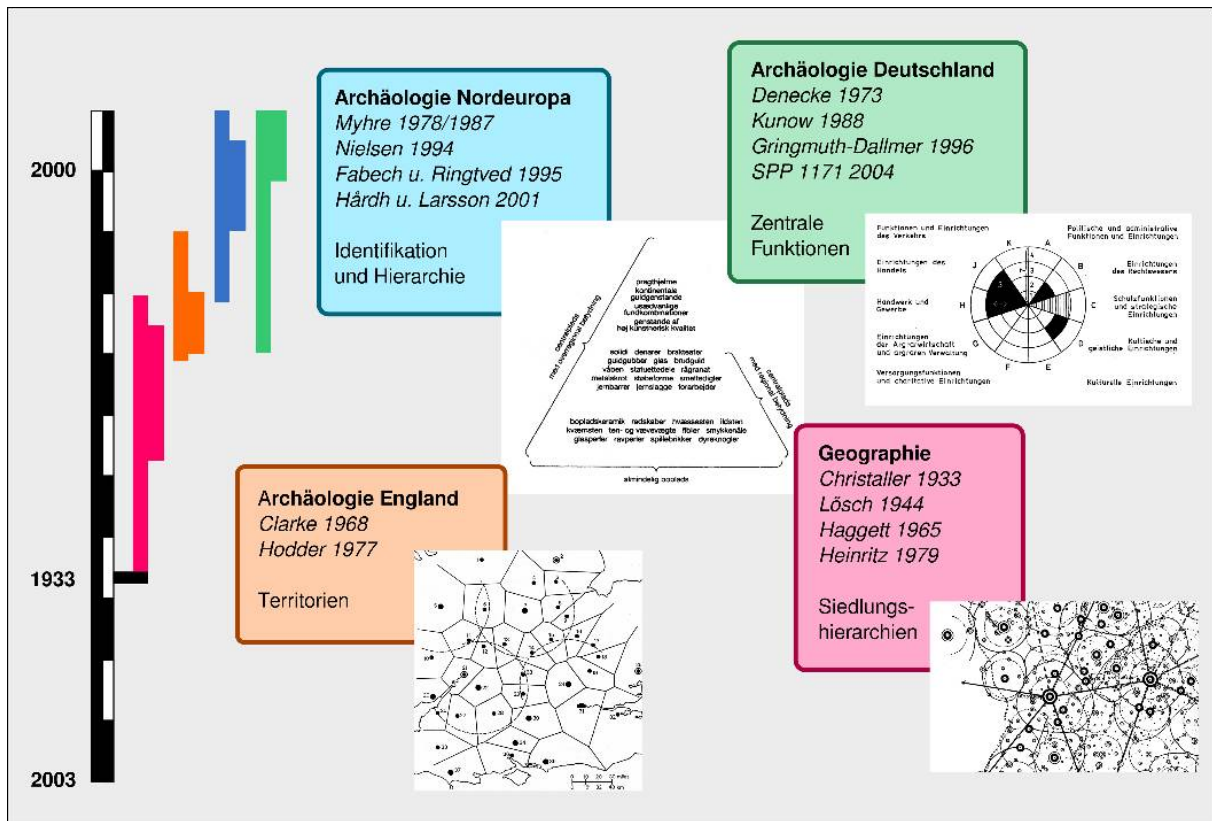


Abb. 1: Die wichtigsten Traditionen der Zentralortforschung aus Sicht der Archäologie.

Es zeigt sich, dass die verschiedenen Forschungstraditionen sich deutlich unterscheiden. Es werden jeweils andere Fragestellungen thematisiert und Methoden angewendet. Ausgehend von dieser Beobachtung konnten verschiedene, sich ergänzende Facetten der auf einem christallerschen Zentralortbegriff aufbauenden archäologischen Zentralortforschung erarbeitet werden (NAKOINZ 2009b; 2010; 2011; Abb. 2). Erst gemeinsam ergeben diese fünf Facetten ein vollständiges Bild der Zentralität.

1. Identifikation. Zunächst geht es darum Zentralorte zu erkennen. Dies stellt eine erste Annäherung an den Forschungsgegenstand dar. Später wird die dichotome Klassifikation in Zentralorte und Nichtzentralorte zugunsten der Angabe eines Zentralitätsgrades aufgegeben. Im Wesentlichen sind zwei Ansätze der Identifikation üblich. Es können Prestigefunde und -befunde, sowie Kultgegenstände und Produktionshinweise als Indikatoren verwendet werden. Eine Liste der archäologischen Indikatoren für Nordeuropa beinhaltet unter anderem Hallen, Bootshäuser, Edelmetalle, Brakteaten und spezifische Toponyme (FABECH 1993; FABECH u. RINGTVED 1995). Ebenso ist es möglich das Vorliegen zentralörtlicher Funktionen zu betrachten (GRINGMUTH-DALLMER 1996). Letztlich sind die zugrunde liegenden archäologischen Funde die gleichen. Die Gewichtung und damit der Zentralitätsgrad können sich jedoch deutlich unterscheiden (NAKOINZ 2011).
2. Territorien. Da die zentralörtliche Theorie besagt, dass zentrale Orte Güter beziehungsweise zentrale Funktionen für ein Ergänzungsgebiet beziehungsweise Territorium zur Verfügung stellen, ist die Kenntnis des



Territoriums essentiell. Methodisch ist zwischen der Konstruktion von Idealterritorien und der Rekonstruktion von Realterritorien zu unterscheiden (NAKOINZ 2009b). Idealterritorien werden anhand gegebener Daten so konstruiert, dass ein Parameter optimiert, also beispielsweise minimiert wird. Thiessen- oder Voronoi-Polygone (CUNLIFFE 1974, 261-262; HODDER u. ORTON 1976) sind ein übliches Verfahren, das eine Distanzminimierung des Zentrums zu den Grenzen durchführt. Die Fläche könnte von gegebenen Zentralorten also optimal versorgt werden. Verbesserungen sind die Berücksichtigung des Reliefs (NAKOINZ 2010, 92-93) und die Gewichtung der Zentralorte, wie sie etwa im X-Tent-Modell (RENFREW u. LEVEL 1979) oder Modell der Marktareale (FETTER 1924) erfolgt. In jedem Fall aber muss man sich bewusst sein, dass nur ermittelt wurde, wie der Grenzverlauf sinnvoll wäre, nicht wie der tatsächlich war. Letzteres wird durch die Rekonstruktion von Realterritorien untersucht. Reale Grenzen lassen sich beispielsweise anhand von grenzindizierenden Monumenten wie Landwehren oder gelegentlich auch Grabmonumenten erkennen. Sind derartige Indikatoren nicht vorhanden, so kann die Untersuchung kultureller Räume weiterhelfen (NAKOINZ 2005; 2009a; 2010; SVANBERG 1997). Von großem Interesse kann der Vergleich von Ideal- und Realterritorien sein. So kann es möglich sein, das Modell der Idealterritorien zu kalibrieren und den optimierten Parameter zu identifizieren.

3. Hierarchien. Es kann nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass alle Zentralorte gleichwertig sind. Die zentralörtliche Theorie sind vielmehr eine hierarchische Staffelung, also eine Über- und Unterordnung vor. Zunächst kann man von archäologischen Indikatoren vordefinierter Hierarchieniveaus ausgehen. So haben FABECH und RINGTVED (1995) eine dreistufige Hierarchie für Skandinavien vorgestellt, die teilweise als Standard betrachtet wird. Zu den Indikatoren der höchsten Ebene gehören BEISPIELSWEISE Prachthelme und kontinentale Goldgegenstände. Hier wird schon deutlich, dass es nicht um die Unterscheidung von zentralen und nicht zentralen Siedlungen geht, sondern darum, für jede Siedlung den Grad ihrer Zentralität zu ermitteln. Die prädefinierten Hierarchien haben aber zwei wesentliche Nachteile. Sie sind unvollständig, da sie nur eine Rangfolge angeben, aber eine vollständige Hierarchie aus Rang- und Zuordnung besteht (vgl. auch NUNNINGER u. a. 2006). Sind die Territorialgrenzen und die Rangordnung bekannt, so kann die Zuordnung ermittelt werden (FABECH 1993). Mit Hilfe der Dichtecusteranalyse kann diese jedoch auch aus der Siedlungsverteilung erschlossen werden (HERZOG 2009; STEFFEN i. V.). Alle diese Methoden gehen von Monohierarchien aus. Es muss jedoch auch mit Polyhierarchien, also mit Mehrfachzuordnungen gerechnet werden. Hier kann die Untersuchung kultureller Räume helfen. Wenn Territorien sich als kulturelle Räume zu erkennen geben lässt sich möglicherweise eine Polyhierarchie kultureller Räume ermitteln. Das setzt jedoch ein Kulturkonzept voraus, das entsprechende Strukturen zulässt und nicht auf scharf abgegrenzte räumliche Einheiten oder Monohierarchien beschränkt ist (NAKOINZ 2010). Dieser Ansatz kann gegebenenfalls auch das zweite Problem der prädefinierten Hierarchien lösen. Es kann möglicherweise die Anzahl der Hierarchieniveaus empirisch ermittelt werden. Dieser Wert, der regional schwanken kann, ist eine nützliche Kennzahl für die Interpretation.
4. Zentralisierungsprozesse. Der zeitliche Ablauf der Zentralisierung kann durch den Vergleich verschiedener Zeitscheiben erforscht werden. Aber auch synchrone Vergleiche können von Nutzen sein. So kann beispielsweise der Vergleich von Ideal- und Realterritorien Hinweise zur Genese von Territorien liefern. Ein Vergleich von prozessspezifischen Parametern setzt die Erarbeitung elaborierter Zentralisierungsmodelle voraus.
5. Systemanalyse. Schließlich gilt es zu erforschen, wie die Siedlungssysteme funktionieren. Welche Wechselwirkungen bestehen? Was geschieht, wenn bestimmte Parameter variiert werden? Wie sind funktionierende Siedlungsmodelle aufgebaut? Welche Modellparameter passen zu den empirischen Daten? Diese Fragen können mit einer kybernetisch orientierten Systemanalyse geklärt werden. Voraussetzung hierfür ist das Vorliegen geeigneter Daten. Hierbei muss es sich in der Regel um relationale Daten handeln, die zwei Orte miteinander in Beziehung setzen. Netzwerkanalysen, die auf der Graphentheorie basieren stellen gewissermaßen eine einfache Variante von Systemanalysen dar. Hier ist es beispielsweise möglich die Zentralität

im Netzwerk zu berechnen (FREEMAN 1979; KOSCHÜTZKI u. a. 2005a; 2005b). Diese Werte geben aber nur dann Hinweise auf Zentralität im christallerschen Sinne wenn das Netzwerk der Organisationsstruktur der zentralörtlichen Theorie folgt. Hier deutet sich an, dass es andere Organisationsstrukturen und andere Arten von Zentralität gibt, die der Christallerzentralität an die Seite gestellt werden können. Insbesondere die Netzwerkzentralität ist hier zu nennen.

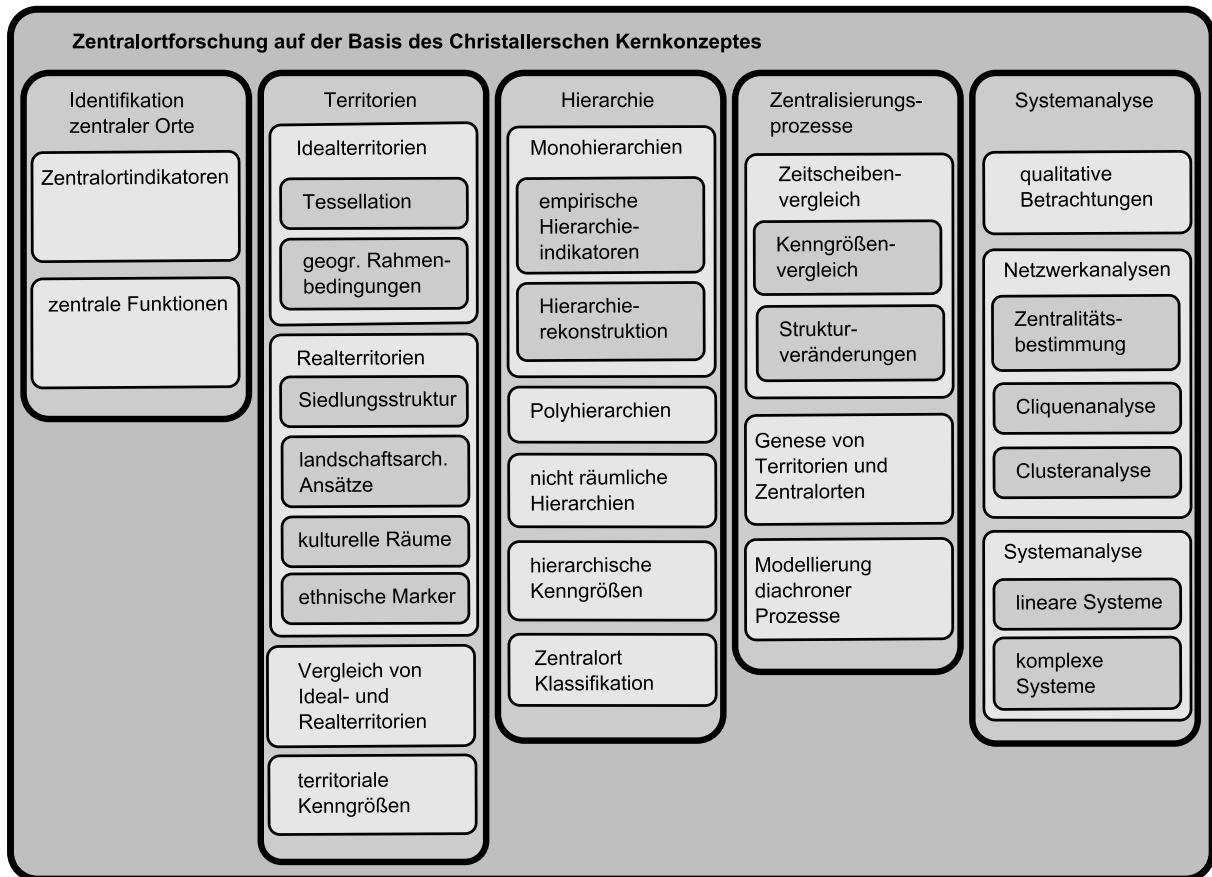


Abb. 2: Die fünf Facetten der archäologischen Zentralortforschung.

## 2.2 Zweck der zentralörtlichen Theorie

Halten wir uns, bevor wir die Probleme ansprechen vor Augen zu welchem Zweck die zentralörtliche Theorie entwickelt wurde und verwendet wird. Zunächst ging es CHRISTALLER um die Erklärung wo Städte sich zu welchen Größen entwickeln. Die Theorie sollte ein Modell liefern, dass gewissermaßen die Entstehungsorte und Größe der Städte vorhersagt. Der Zentralitätsgrad und die Organisationsparameter, die k-Werte sollten einen Vergleich von Städten und Siedlungsstrukturen ermöglichen. In CHRISTALLERS Dissertation nur beiläufig erwähnt, im folgenden Jahrzehnt aber den Schwerpunkt seiner Arbeit bildend sollte die Theorie zur Optimierung und Planung von Siedlungssystemen eingesetzt werden können. Aus archäologischer Sicht soll die zentralörtliche Theorie in erster Linie den Vergleich von Siedlungen und Siedlungsstrukturen auf der Basis archäologischer Funde und die Identifikation besonders forschungsrelevanter Fundstellen ermöglichen.

Zusammenfassend lassen sich die primären Gründe zur Anwendung der zentralörtlichen Theorie in einem Satz formulieren. *Siedlungen sollen verglichen und Siedlungssysteme modelliert und verglichen werden können.*

### 2.3 Syndrom - die Probleme

Gegenwärtig ist die zentralörtliche Theorie mit verschiedenen Problemen behaftet. Dass sie in der Geographie außer Mode ist zählen wir nicht dazu, da vermeintliche Paradigmenwechsel zwar wissenschaftssoziologisch interessant, jedoch inhaltlich kaum relevant sind.

1. Die zentralörtliche Theorie lässt sich nur bedingt mit Methoden der empirischen Forschung in der Archäologie anwenden und damit auf archäologische Daten anwenden.
2. Insbesondere liegen nur sehr wenige relationale Daten vor, die eine Beziehung von Zentrum und Peripherie oder andere Netzwerke abbilden können.
3. Die klassische Theorie zentraler Orte ist zu sehr am dritten Wirtschaftssektor orientiert.
4. Die zentralörtliche Theorie bildet eine spezielle Organisationsstruktur ab, die vorliegen kann aber nicht vorliegen muss.
5. Der zentralörtlichen Theorie ist mit der Netzwerktheorie ein Konkurrent erwachsen, der alleinigen Anspruch auf eine adäquate Erklärung der betrachteten Phänomene erhebt.
6. Insbesondere in der Archäologie gibt es sehr unterschiedliche Interpretationen der zentralörtlichen Theorie, die jeweils nur einzelne Facetten betrachten.

## 3 Therapie – die Lösung der Probleme durch eine modifizierte Theorie

### 3.1 Lösungsweg

Die Lösung unserer Probleme ist verhältnismäßig einfach. Wir können uns beispielsweise an der zentralörtlichen Theorie selbst orientieren oder zahlreiche weitere Beispiele in unterschiedlichen Wissenschaften betrachten. Im Wesentlichen sind zwei Dinge zu tun.

1. Abstrahieren. Es gilt einen Parameter zu finden, mit dessen Hilfe sich die untersuchten Phänomene weitgehend abbilden lassen. Dieser Parameter muss abstrakt genug sein, um alle relevanten Fälle abzudecken und konkret genug, um empirische Analysen zu erlauben.
2. Integrieren. Es gilt mit Hilfe des gewählten Parameters eine Theorie zu formulieren, die alle konkurrierenden Theorien als Sonderfälle enthält und damit eine Metatheorie bildet.

Eine weitere Forderung sollte sein, dass die Theorie möglichst einfach ist.

CHRISTALLER selbst ist diese Schritte gegangen, aus heutiger Sicht allerdings nicht weit genug, so dass seine Theorie einige Mängel aufweist. Eine Tatsache, die jedoch leicht verzeihlich ist, wenn man den enormen Forschungsfortschritt der zentralörtlichen Theorie gegenüber älteren Ansätzen sieht, und fast selbstverständlich, wenn man einsieht, dass auch derartige Arbeiten einzelne Schritte in einem nicht terminierten Forschungsprozess darstellen.

1. Die zentralörtliche Theorie zeigt eine spezielle Organisationsstruktur und schöpft den Möglichkeitsraum der Organisationsstrukturen nicht ausgeschöpft. Sie kann dementsprechend nicht allen betrachteten Phänomenen als Metatheorie gerecht werden. Die zentralörtliche Theorie ist keine universelle Theorie, die als allgemeine Grundlage empirischer Untersuchungen verwendet werden kann. Sie ist viel mehr eine Theorie, die gewissermaßen eine spezielle Merkmalsausprägung der Variablen „Organisationsstruktur“ beschreibt und erklärt.
2. Zentralität ist bei CHRISTALLER mit Termini wie beispielsweise „Bedeutungsüberschuss“ unhandlich formuliert. Erst in den archäologischen Arbeiten wird mit zentralen Funktionen eine griffigere und empirisch nutzbarere Terminologie verwendet.
3. Die zentralörtliche Theorie bildet eine mäßige Grundlage für empirische Untersuchungen. Die Rang-Größen-Regel auf Grundlage der Bevölkerungszahlen als die bekannteste Anwendungen der zentralörtlichen Theorie besitzen keinen direkten Bezug zu dieser. Der Sachverhalt der Güterversorgung für ein Ergänzungsgebiet wird diesem Ansatz unzureichend berücksichtigt. Die ermittelten Werte werden letztlich nur als Proxy für Zentralität verwendet.

### 3.2 Definition von Zentralität und Zentralort

Der entscheidende Schritt bei der Lösung unserer Probleme ist die Definition von Zentralität. Im Fokus unserer Definition wie auch der Theorie CHRISTALLERS steht die Beziehung zwischen Zentrum und Peripherie. Anstatt der Versorgung mit zentralen Gütern betrachten wir ganz allgemein Interaktionen. Da wir keine ökonomische Theorie, sondern eine allgemeine Zentralitätstheorie suchen ist das sinnvoll. Die Bedeutung des Begriffs Interaktion wird deutlich, wenn man seine Anwendung bei der Zentralitätsbestimmung sieht (HEINRITZ 1979, 70-76). Hier aber geht er nicht in die Definition von Zentralität ein.

**Definition 1.** *Zentralität ist Konzentration von Interaktion*

Diese Definition enthält zunächst die wesentlichen Punkte:

1. Mit der Interaktion ist Parameter gefunden, der es erlaubt die betrachteten Phänomene zu angemessen zu beschreiben, der hinreichend abstrakt ist um alle relevanten Fälle abzudecken und prinzipiell konkret genug, um empirische Analysen zu erlauben.
2. Mit Konzentration ist eine Funktion dieses Parameters gegeben, die ihn in direkten Zusammenhang mit dem stellt, was wir betrachten wollen, der Zentralität. Damit ist Zentralität als Grundlage unserer Theorie definiert.

Die gegebene Definition ist sehr abstrakt und erlaubt damit Anwendungen in verschiedenen Disziplinen und Themenbereichen. Da wir mit dieser Definition nur über eine mäßige Verbindung von Theorie und empirischen Methoden verfügen ist folgende Ergänzung sinnvoll, die darüber hinaus auch den räumlichen Aspekt einbringt.

**Definition 2. *Konzentration von Interaktion ist eine hohe Interaktionsknotendichte***

Die Einführung der Interaktionsknotendichte ermöglicht uns empirische Untersuchungen und erlaubt zahlreiche Quellen in die Analysen einzubeziehen. Ihr Vorteil ist, das die Interaktionsknotendichte ein Feld ist, also für jeden Punkt im Raum angegeben werden kann. Wir wissen allerdings noch nicht so recht was ein Zentralort ist, können das jetzt aber einfach definieren:

**Definition 3. *Zentralorte sind Gebiete hoher Interaktionsknotendichte***

Diese Definition hat jedoch noch den Nachteil, dass die Art der Interaktion nicht unterschieden wird. Ein Gespräch mit dem Nachbarn hat die gleiche Bedeutung wie der Besuch von Händlern aus fernen Gebieten. Intuitiv ist man geneigt Interaktionen unterschiedlich zu gewichten. Definition 4 wird diesem Aspekt durch eine Gewichtung der Interaktionen anhand der Entfernung der Herkunft der Interaktionspartner gerecht.

**Definition 4. *Zentralorte sind Gebiete mit einer hohen Dichte an distanzgewichteten Interaktionsknoten***

Aber auch diese Definition weist zwei erhebliche Nachteile auf:

1. Die erforderliche Distanz ist weitaus schwieriger abzuschätzen als die Anzahl der Interaktionsknoten. Damit verringert sich die verwertbare Datenbasis drastisch.
2. Der Gewichtungsfaktor scheint beliebig zu sein.

Im Weiteren wird zu prüfen sein, ob Definition 3 oder die alternative Definition 4 geeigneter ist. Beide Definitionen bieten Vor- und Nachteile, die insbesondere im Rahmen empirischer Analysen erkennbar werden. Alternativ zu Definition 4 kann versucht werden die verschiedenen Interaktionsarten explizit zu unterscheiden. Erst gemeinsam ergeben sie die Gesamtzentralität. Diese Herangehensweise verlagert die Gewichtungsproblematik, so dass für einzelne Interaktionsarten valide Ergebnisse erzielt werden können ohne eine Gewichtung vornehmen zu müssen.

Mit unserer Neudefinition von Zentralität müssen wir CHRISTALLERS Kerngedanken neu interpretieren. Für ihn waren große Orte nicht von vorne herein zentral. Ihre Zentralität besteht darin, dass sie mehr zentrale Funktionen zur Verfügung stellen, als bei einer Gleichverteilung anhand der Bevölkerungszahl zu erwarten wäre. Unsere allgemeine Konzentration von Interaktion lässt sich aber recht gut mit der Bevölkerungszahl in Verbindung bringen. Hier scheint ein Widerspruch vorzuliegen. Tatsächlich aber muss folgendes bedacht werden. Große Orte sind in unserem Sinne zentral, da unser Bezugsmodell eine gleichmäßige beziehungsweise nur von den naturräumlichen Gegebenheiten abhängige Bevölkerungsverteilung ist. Für die Versorgung mit Gütern ist das Bezugsmodell jedoch die reale Verteilung der zu versorgenden Personen. Damit ist eine Zentralität bei der Versorgung mit Gütern erst dann gegeben, wenn die Dichte der versorgungsbezogenen Interaktionen höher liegt, als durch die Bevölkerungsverteilung zu erwarten - genauso so wie es CHRISTALLER vorsieht.

### 3.3 Funktionale Zusammenhänge von Zentralität

#### 3.3.1 Definition von Interaktion

Interaktion ist der wesentliche Terminus in der Definitionen von Zentralität und Zentralort. Somit muss auch Interaktion selbst definiert werden:

**Definition 5.** *Interaktion ist das gemeinsame Handeln mindestens zweier Personen.*

Das gemeinsame Handeln kann aus vier Aktivitäten bestehen, deren Unterscheidung oft nur Idealtypen ergibt, die ihrerseits in zahlreiche Varianten untergliedert werden können:

1. Austausch von Information
2. Austausch von Gütern
3. Gemeinsame Aktivitäten
4. Physische Manipulationen

Der Austausch von Information ist natürlich nichts anderes als ein Kommunikationsprozess. Dieser gliedert sich in Teile, die wir aus Sicht der Semiotik (ECO 1977, VOLLI 2002) betrachten können. Der Sender einer Botschaft codiert seine Nachricht und übermittelt das entstehende Zeichen auf einem Informationskanal an den Empfänger. Dieser decodiert die Nachricht. Die Kommunikation kann in eine Richtung orientiert sein (Signalflagge am Flaggenmast) oder dialogisch, also wechselseitig (Gespräch) erfolgen. In beiden Fällen findet ein gemeinsames Handeln statt, was nicht bedeutet, das beide Interaktionspartner die gleiche Aktivität vollziehen. Der Sender codiert und der Empfänger decodiert die Nachricht. Der gleiche Sachverhalt ist beim Austausch von Gütern gegeben. Auch hier steht dem Sender der Empfänger gegenüber, wobei beide Partner beide Rollen einnehmen, es sei denn, es handelt sich um einseitige Geschenke.

Unter gemeinsamen Aktivitäten sind sehr unterschiedliche Dinge zu verstehen. Zunächst können zwei Partner, dieselbe Rolle einnehmend mit einem Dritten interagieren, indem sie mit diesem Information oder Gütern austauschen. Sie können aber auch gemeinsam ohne Dritten agieren, in dem sie etwa eine Kulthandlung ausführen oder ein Produkt fertigen. Beides lässt sich in der Praxis nicht ohne Kommunikation realisieren, geht aber über den Inhalt der Kommunikation hinaus.

Physische Manipulationen können Übergriffe also Gewalttaten eines Interaktionspartners gegenüber einem anderen sein. Es kann sich aber auch um medizinische Hilfe, Körperpflege oder artifizielle Manipulationen (Tätowierung) handeln.

#### 3.3.2 Skalierung von Interaktion

Nun haben wir geklärt was Interaktion ist. Was aber ist *eine* Interaktion? Diese Frage spielt eine Rolle, da wir auf die Anwendung quantitativer Methoden abzielen. Ist eine Interaktion ein getauschtes Gut oder eine Aktion des Austausches mit Gegengabe. Oder aber bemessen wir Interaktion in der Anzahl der Interaktionspartner pro Jahr? Das Spektrum der Möglichkeiten ist weit und eine Entscheidung sollte davon abhängen welche Daten verfügbar sind. Als natürliche Basiseinheit würde sich eine einzelne Gabe eines Gutes oder einer Information als kleinste Einheit anbieten. Ob es allerdings viele Anwendungsmöglichkeiten für diese Einheit gibt ist fraglich und muss die Praxis erweisen. Geographische Anwendungen wie eine Zentralortanalyse legen eher gröbere Skalen nahe. Grundsätzlich sind die einzelnen Untersuchungen auf bestimmte Skalenniveaus beschränkt und blenden andere Interaktionen aus. Bei Vergleichen ist darauf zu achten, das die Skalen der einzelnen Analysen sehr unterschiedlich sein können. Da man nicht immer eine Rückführung auf eine Basiseinheit umsetzen kann, wird oft die Standardisierung die wichtigste Vergleichsvorbereitung sein.

### 3.3.3 Geometrie von Interaktion

Insbesondere da wir uns im geographischen Kontext für Interaktion interessieren spielt die Geometrie der Interaktion eine Rolle. Zunächst gehen wir davon aus, dass sich beide Interaktionspartner während der Interaktion an einem Ort befinden. Die zwei Interaktionsknoten einer Interaktion sind dann an diesem Ort - nennen wir ihn Ort A - lokalisiert. Wie verhält es sich aber, wenn einer der Interaktionspartner von einem mehr oder weniger entfernten Ort - Ort B - gekommen ist. Die Interaktion findet in Ort A statt (Abb. 3, a). Wir könnten ebenfalls beide Interaktionsknoten in A lokalisieren. Das hat den Vorteil, dass die Interaktion an einem realen Ort zugewiesen werden kann. Ort B, der auch von der Interaktion profitiert erhält in diesem Fall keinen Interaktionsknoten. Für uns interessant ist aber vor allem die Beziehung zwischen Ort A und Ort B. Wir sollten in jedem Ort einen Interaktionsknoten lokalisieren (Abb. 3, c). Bei einer Interaktion besitzen beiden Orte die gleiche Zentralität. Sobald aber aus mehreren Orten Personen nach A kommen und dort interagieren findet sich hier eine deutliche Konzentration von Interaktionsknoten (Abb. 3, d).

Dieses Modell bietet sich auch für vermittelte Interaktion an (Abb. 3, b). So können die Interaktionspartner telefonieren oder mit Hilfe optischer Signale kommunizieren. Es können aber auch Boten verwendet werden. In unserem Beispiel interagiert der Bote zunächst an Ort B mit dem Sender und anschließend an Ort A mit dem Empfänger. Er erhöht damit lediglich die Interaktionsknotendichte an beiden Orten.

Für Zentralortanalysen, so können wir festhalten, ist weniger der Ort der Interaktion als die Orte der Interaktionsknoten nach der beschriebenen Lokalisierung von Bedeutung. Auf diese Weise können die Beziehungen zwischen den geographischen Orten wesentlich besser dargestellt werden.

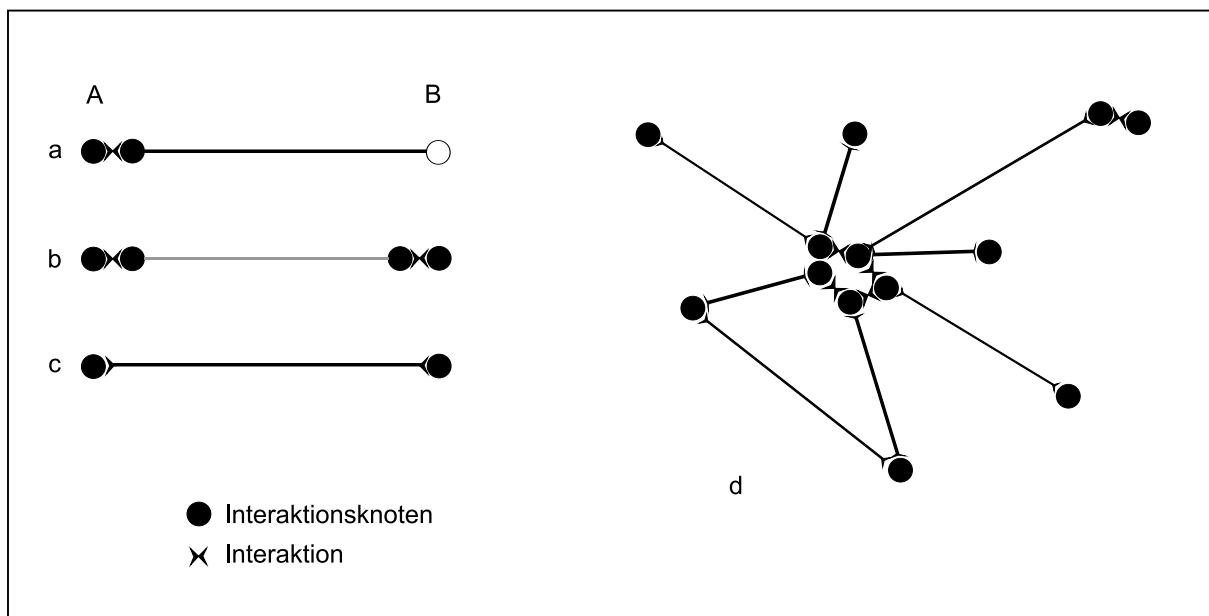


Abb. 3: Geometrisches Interaktionsschema zwischen den Orten A und B (a-c), sowie zwischen mehrere Interaktionsknoten (d).

### 3.3.4 Funktion von Interaktion

Wozu interagieren wir? Eine adäquate Antwort auf eine funktionale Frage ist ihrerseits funktional. Der primäre Zweck der Interaktion ist die *Bedürfnisbefriedigung für mindestens einen Interaktionspartner*. Hierbei ist der Glaube, dass eine bestimmte Aktion ein bestimmtes Bedürfnis befriedigen kann hinreichend für die Initialisierung einer entsprechenden Interaktion. Das Ergebnis ist zunächst offen. Der Interaktionspartner kann sich beispielsweise anders verhalten als geplant und an einem angebotenen Gut kein Interesse haben oder ein bekehrtes Gut behalten

oder gar nicht erst besitzen. Aber auch in diesen Fällen, in denen die intendierte Interaktion nicht zustande kommt, liegt eine Interaktion vor. Diese ist zwangsläufig mit dem Zurückweisen eines Interaktionsanliegens verbunden.

Die Bedürfnisse, die durch eine Interaktion befriedigt werden können sind sehr unterschiedlich. Einfach zu beschreiben und als Beispiel in vielen Fällen bevorzugt sind ökonomische Bedürfnisse. Der Wunsch ein Gut oder eine Information zu erhalten, auf das eine andere Person Zugriff hat lässt sich nur vermittels einer Interaktion realisieren. Aber auch soziale und psychologische Aspekte können eine Rolle spielen. Der Wunsch seinen Status oder seine Rolle in einer Gemeinschaft zu ändern oder zu festigen wird mit Hilfe von Interaktionen realisiert.

Hier erhalten wir einen wichtigen Hinweis zur Bedeutung von Zentralorten. Da sie gewissermaßen als die Orte, an denen Bedürfnisse besser erfüllt werden können als an anderen Orten aufzufassen sind, ist ihre Anziehung nahe liegend. Alleine das hohe Interaktionspotential erhöht die Wahrscheinlichkeit an diesem Ort einen Wunsch erfüllt zu bekommen.

### 3.3.5 Effekte von Interaktion

Interaktion kann zu zahlreichen Effekten führen, die dank der grundlegenden Bedeutung von Interaktion für alle Bereiche des Lebens in der Ökonomie, der Soziologie, der Psychologie sowie vieler weiterer Disziplinen anzusiedeln sind. Zunächst können Interaktionen den Erhalt von relevanten Gütern ermöglichen. Dieser *Gütererwerb* kann in allen Wirtschaftssektoren erfolgen, also ebenso Waren (primärer und sekundärer Sektor) wie Dienstleistungen (tertiärer Sektor) und Information (quartärer Sektor). Aber nicht nur der Zugewinn, sondern auch der Verlust kann Effekt von Interaktion sein. Verhandelte Güter werden abgegeben und Raub ist eindeutig eine Interaktion.

Formierung, Festigung und Neuordnung von *Sozialstrukturen* und *Identitäten* werden ebenfalls durch Interaktion realisiert. Hier wird noch deutlicher als in der ökonomischen Sphäre, dass die entsprechenden Interaktionsprozesse hoch komplex sein können. Die Änderung sozialer Strukturen wird in erster Linie durch Kommunikation realisiert. Argumente werden ausgetauscht und Standpunkte verhandelt. Hierbei kommen aber auch physische Manipulationen in Form von Übergriffen und Gütertausch in Form von Geschenken zum Einsatz. Schließlich sind es gerade die gemeinsamen Aktivitäten, die hier eine besondere Rolle spielen und die Gruppen verbinden.

Die Kombination von Informationstausch, Gütertausch und Übergriffen, die bei der Änderung sozialer Strukturen angesprochen wurde ist allgemein das Instrumentarium der *Handlungsinduktion*. Andere Menschen werden durch Argumente, Geschenke oder Gewaltandrohungen zur Durchführung bestimmter Handlungen bewegt. Die unterschiedlichen Formen der Handlungsinduktion und insbesondere der Machtausübung sind grundlegend für den Ablauf sozialer und ökonomischer Prozesse und die Steuerung der entsprechenden Systeme.

Schließlich sind die *Kulturbildung* und der *Kulturangleich* zu nennen. Kultur als Geltungsbereich von Standardisierungen in Kollektiven (HANSEN 2003b; 2009) ist ohne Interaktion nicht denkbar. Gemeinsame Standardisierungen entstehen durch Informationsaustausch und gemeinsame Aktivitäten. Interaktion ist also grundlegend an der Kulturbildung beteiligt. Aber auch beim Kulturangleich spielt Interaktion eine große Rolle (NAKOINZ 2005; 2010). Besteht ein intensiver Kontakt zwischen zwei Kollektiven, so nähern sich die Standardisierungen beider Kulturen durch Informationsaustausch an. Das gilt dann, wenn keine äußeren Zwänge oder bewusste Abgrenzungsbestrebungen vorliegen. Meist aber gelten diese nur für einen Teil der Standardisierungen, so dass sich die übrigen angleichen. Praktisch erfolgen diese komplexen Angleichungsprozesse in der Weise, wie es in der Theorie der Materiellen Kultur thematisiert wird (FAHLANDER u. OESTIGAARD 2004; HURCOMBE 2007; JONES 2007). Bestehende Standardisierungen, nehmen wir die Form von Keramikgefäßen als Beispiel, beeinflussen die Vorstellung, wie die Objekte auszusehen haben. Hierbei üben sowohl eigene, wie auch fremde Gefäße, also Gefäße eines Interaktionspartners eine Wirkung aus. Eine Entwicklung kommt dadurch zustande, dass bei der Produktion neuer Gefäße unbewusst im Rahmen eines natürlichen Streubereiches oder bewusst auch darüber hinaus von der intendierten Form abgewichen wird. Diese abweichende Form beeinflusst nun wieder die Standardisierung.



Hier sehen wir den zweiten Aspekt der Bedeutung von Zentralorten, nach dem wir die Anziehung auf Zeitgenossen als den ersten Aspekt ausmachen konnten. Die zahlreichen Effekte die Interaktion auf viele Bereiche des Lebens hat und die insbesondere an Zentralorten auftreten, machen diese zu Schlüsselorten der Forschung. Zentralorte sind Kristallisationspunkte der ökonomischen, sozialen und kulturellen Systeme und damit Orte mit einem hohen Potential für historische und nicht nur strukturhistorische Ereignisse. Dementsprechend ist es natürlich und sinnvoll, dass die Forschung immer wieder an zentralen Orten ansetzt.

### 3.3.6 Interaktionsmodelle

Es wurden zahlreiche geographische Interaktionsmodelle entwickelt, die den Austausch zwischen mindestens zwei Orten unter Verwendung von Modellparametern abbilden sollen (kurze Übersicht: HAGGETT 2004, 415-419). Viele Modelle setzen Kenntnisse voraus, die in der Archäologie nicht verfügbar sind. So sind es gerade die einfachen Gravitationsmodelle (HARRIS 1964), die heutige Verhältnisse zwar nur mäßig abzubilden vermögen, die archäologisch relevant sind. Sie enthalten lediglich die Größe der interagierenden Orte und ihre Distanz. Die Interaktion ist:

$$I = \frac{AB}{d^p} \quad (1)$$

$A$  und  $B$  sind die Ortsgrößen,  $d$  ist die Distanz zwischen den Orten und  $p$  ist ein Exponent, der den Einfluss der Distanz angibt. Es ist sinnvoll  $p$  empirisch zu ermitteln. Die Distanz kann optimiert werden, indem die reliefabhängigen Wegekosten verwendet werden. Letztlich modellieren Gravitationsmodelle lediglich den Sachverhalt, dass Interaktionen mit zunehmender Distanz unwahrscheinlicher und mit zunehmender Ortsgröße wahrscheinlicher werden. Dieser Wert ist nützlich, wenn ein empirischer Interaktionswert nicht vorliegt, aber für andere Modelle benötigt wird. Ist ist selbstverständlich, dass der theoretische Interaktionswert hier mit größter Vorsicht eingesetzt und das Ergebnis mit Vorbehalt interpretiert werden muss. Liegt ein empirischer Interaktionswert vor, so entfaltet der theoretische Interaktionswert seine Wirkung erst richtig. Der Vergleich beider Werte kann Anomalien aufzeigen, die nützlich für die Interpretation sind.

Auch in der Soziologie (ABELS 2007; ENDRUWEIT #####), der Psychologie (HERKNER #####) und ### wurden Interaktionsmodelle entwickelt. Diese liegen unseren geographischen Interessen jedoch ferner und setzen oft archäologisch nicht verfügbare Information voraus.

### 3.3.7 Organisation von Interaktion

Die Organisation von Interaktionen hängt im Wesentlichen davon ab, welche Parameter es zu optimieren gilt und welche Faktoren hierbei eine Rolle spielen. Zunächst ist die Zugänglichkeit des Interaktionspartner zu betrachten. Die Distanz zu einem Interaktionspartner und der Begehungsaufwand der Strecke, also zusammenfassend die Wegekosten sind hier die bestimmenden Faktoren. Die Wegekosten gewinnen mit zunehmender Frequenz der gewünschten Interaktion an Bedeutung. So liegt es nahe bei den üblicherweise hochfrequenten Interaktionen innerhalb der sozialen Bezugsgruppe die Distanz zu minimieren beziehungsweise weitgehend einen gemeinsamen und eher eng umgrenzten Aufenthaltsbereich zu wählen. Ebenso kann die Wahl des gleichen Standortes für stark interagierende Produktionsbetriebe oder die Zusammenführung der Produktion in einem Großbetrieb sinnvoll sein. Aus ökonomischer Sicht sprechen wir hier von Skalenerträgen. Ähnliche Vorteile können sich ergeben, wenn ein begangener Weg für mehrere Interaktionen genutzt werden kann. Ein modernes Einkaufszentrum, bei dem ich neben mehreren Geschäften gleich auch noch eine Bank und einen Arzt aufsuchen kann ist ein anschauliches Beispiel. Der zu minimierende Parameter ist die Summe der Wegekosten zu einem Interaktionspartner in einem gegebenen Zeitintervall. Die Zugänglichkeit kann aber auch durch soziale Kontrolle beschränkt sein. Zu denken ist hier der Widerstand, der sich durch soziale Niveauunterschiede oder das Überwinden anderer sozialer Grenzen

ergibt. Die sozialen Zugangskosten ergeben sich zum einen aus Gebühren, Bestechungsgeldern und Zeitverlust in Warteschlangen und zum anderen aus einem möglichen sozialen Statusverlust sowie Aufwendungen zur Überwindung psychologischer Hemmnisse. Diese Gruppe von sozialen Zugangskosten soll im Folgenden um weitere schwer zu beurteilende Kostenarten erweitert und allgemein als Zugangskosten bezeichnet werden. Als Wegekosten bezeichnen wir die variablen, also nur vom Wegeverlauf und der Weglänge abhängigen Kosten und als Transportkosten sollen Fixkosten aufgefasst werden, die im Zusammenhang mit der Interaktion stehen und nicht zu den Zugangskosten zählen. Diese terminologische Vereinfachung soll im Folgenden die Darstellung der Zusammenhänge verkürzen. Gemeinsam bilden diese drei Kostenarten die Interaktionskosten  $K$ . Diese werden, wie aus dem Gesagten klar geworden ist abstrakt aufgefasst und beinhalten nicht nur Kosten im betriebswirtschaftlichen Sinne. Verwenden wir also

**W** variable Wegekosten, die nur von Wegeverlauf und der Weglänge abhängen.

**T** fixe Transportkosten

**Z** individuelle soziale Zugangskosten und ähnliche, nicht näher fassbare Interaktionskosten.

**i** Index einzelner Interaktionen

als Abkürzungen, so erhalten wir die Formel:

$$K_i = (W_i + T_i + Z_i) \quad (2)$$

Bei der Optimierung des Siedlungssystems mit dem Ziel der Minimierung der Interaktionskosten, die sich aus der Summe der spezifischen Wegekosten zuzüglich der Transportkosten und der Zugangskosten über alle gewünschten Interaktionspartner ergibt, sind verschiedene Aspekte zu beachten. Grundsätzlich wird man bestrebt sein den Transport zu den Interaktionspartnern räumlich und zeitlich zu synchronisieren um Synergien nutzen zu können. Das führt einerseits zu Ansammlungen von Interaktionsknoten und andererseits zur Bildung von Hauptverkehrsachsen und hohen Transportkapazitäten. Limitierende Faktoren sind hierbei die Größe der Siedlungen, mit der die siedlungsinternen Transportkosten steigen, aber vor allem auch die naturräumlichen Gegebenheiten. Das Relief kann eine maximale Siedlungsausdehnung vorgeben und die Verteilung von Rohstoffen kann der Ballung entgegenwirken. Auch ist zu bedenken, dass nicht jede Interaktion zustande kommt. Nur dann, wenn die Interaktionskosten unter einem, durch die Interaktionspräferenz vorgegebenen Schwellenwert liegt wird eine Interaktion initiiert.

Die Entscheidung, ob eine Interaktion zustande kommt, sollte aber zunächst keinen Eingang in den Optimierungsprozess finden. Vielmehr sollte eine individuelle Gewichtung der Kosten anhand der Bedürfnispräferenz erfolgen. Ist die Präferenz hoch, so werden die Kosten virtuell gesenkt. Die Bedürfnispräferenz gibt an, wie wichtig dem initiierten Interaktionspartner die entsprechende Interaktion ist. Dieser Wert liegt zwischen 0 und 1 wobei ein hoher Wert wichtige Interaktionen kennzeichnet, die unerlässlich sind und deren Kosten im Rahmen des Optimierungsprozesses virtuell entfallen. Dieser Wert sollte natürlich selten gewählt werden. Mit

**P** Interaktionspräferenz [0,1]

ergeben sich die Interaktionsgesamtkosten als:

$$K = \sum_i ((W_i + T_i + Z_i) - P_i(W_i + T_i + Z_i)) \quad (3)$$

Diesen Wert gilt es durch die Wahl einer geeigneten Organisationsstruktur zu optimieren, also zu minimieren. Innerhalb der beschriebenen Rahmenbedingungen kann mindestens eine optimale Siedlungsstrukturen mit minimalen Interaktionskosten  $K$  gefunden werden. Der Realisierung dieser Struktur stehen zwei Dinge entgegen. Es

liegen selten alle Informationen vor, die zu einer Optimierung notwendig sind. Auch wenn das optimale System bekannt ist, verursacht der möglicherweise erforderliche Strukturwandel hohe Kosten, die nicht immer durch die eingesparten Transportkosten gedeckt werden. Das gilt insbesondere bei der Kalkulation aus der Sicht des einzelnen Akteurs. Hieraus ist eine gewisse Beharrungstendenz der Siedlungssysteme beziehungsweise eine Pfadabhängigkeit zu erklären.

Sowohl die Lage der Interaktionsknoten wie auch die Durchführung der Transporte können optimiert werden. Die Maßnahmen der Optimierung, die hierbei zur Anwendung kommen sind *Konzentration* und *Synchronisation*. Beides kann zu Synergieeffekten führen. Werden Interaktionspartner beziehungsweise Interaktionsknoten an einem Ort konzentriert, so werden die Interaktionskosten, die auf den Transport zurückzuführen sind minimiert. Je größer Orte sind, um so mehr Kosten können prinzipiell eingespart werden. Die Konzentration von Interaktionsknoten kann dauerhaft erfolgen, sie kann aber auch temporär sein. Wochenmärkte oder jährlich stattfindende Märkte sind ein Beispiel hierfür. Interaktionen, die selten vorkommen können optimiert werden, indem man viele Interaktionspartner an einem bestimmten Zeitpunkt zusammenführt. Als emergenter Aspekt kann sich hierbei auch die Möglichkeit des gemeinsamen Agierens ergeben. Versteigerungen oder Konferenzen sind ein Beispiel.

Vergleichbare Maßnahmen sind bei der Organisation der Transporte möglich. Werden mehrere Transporte zusammengefasst, so können Kosten gespart werden. Da wir einen abstrakten Kostenbegriff verwenden, wird durch diese Formulierung selbst der Fall abgedeckt, das man gemeinsam reist um weniger Langeweile ertragen zu müssen. Hier werden gewissermaßen psychische Kosten gesenkt. Der gewünschte Effekt kann erreicht werden, indem man Transporte, die ursprünglich zu unterschiedlichen Zeiten stattfinden sollten zusammenfasst. Ebenso kann man Transporte, die unterschiedlichen Zwecken dienen zusammenfassen. Dieser Optimierungsmechanismus führt zu Transportmitteln mit zunehmender Kapazität. Zu bedenken sind aber auch Kapazitätsgrenzen. Schiffe können eine bestimmte, vom Stand der Technik abhängende Größe nicht überschreiten. Überschreitet die Anzahl der Autos auf einer Straße die maximale Kapazität kommt es zum Stau.

Nach dem Gesagten lassen sich drei idealtypische Organisationsfaktoren unterscheiden:

1. keine Synergien. Eine Organisationsstruktur die, aus welchen Gründen auch immer, keine Synergien enthält besitzt auch keine zentralen Orte. Die Orte und Interaktionsverbindungen sind mehr oder weniger gleichmäßig verteilt. Transportkosten spielen eine untergeordnete Rolle. Wir treffen heterarchische Netzwerke an.
2. Ortssynergien. Die Konzentration von Interaktionsknoten von Einzelinteraktionen führt zu großen Orten. Die Optimierung erfolgt durch die Minimierung der Wegekosten für die Interaktionen am Ort. Die weiteren Wegekosten können beispielsweise durch einen minimal aufspannenden Baum, der seine Wurzel im Zentralort besitzt minimiert werden. In diesem Fall liegt eine christallersche Monohierarchie vor.
3. Transportsynergien. Werden Transporte zusammengefasst, so entstehen Netzwerke mit ausgeprägten Verkehrsachsen, in denen bestimmten Netzknoten eine besondere Bedeutung zukommt. Die Bündelung der Transporte führt zu Systemen mit einer Hierarchie der Verkehrswege. Die Orte können mit den Idizees der Netzwerkzentralität charakterisiert werden.

Die drei Idealtypen können nicht in Reinform auftreten. Christallerzentralität führt beispielsweise zu Transportsynergien, da der Weg aus den umliegenden Orten in das Zentrum zu mehreren Interaktionspartnern führen kann. Bei einem Besuch in der Stadt werden oft mehrere Dinge erledigt. Andererseits führen zusammengefasste Transporte zu einer Konzentration an Interaktionsknoten an den Enden des Weges. Es entstehen Handelszentren. Auch heterarchische Netzwerke dürften kaum in reiner Form angetroffen werden können. Heterarchische Strukturen werden aber die anderen Strukturen meistens überlagern.

In der Praxis werden wir es mit zahlreichen Überlagerungen zu tun haben. Für die verschiedenen Arten von Interaktionen bilden sich unterschiedliche Organisationsstrukturen aus, die anhand unterschiedlicher Parameter optimiert sein können. Zum einen überlagern sich diese zu einer komplexen Gesamtstruktur. Zum anderen sind auch

Wechselwirkungen zu bedenken. Eine Organisationsstruktur kann sich an einer anderen orientieren, da von Synergieeffekten profitiert werden kann oder da eine Beharrungstendenz beziehungsweise Persistenz vorliegt. Überlagerungen können als parallele Raumstrukturen (MEYER u. HANSEN #####) aufgefasst werden und korrespondieren mit unterschiedlichen Raumwahrnehmungen. Die besprochenen Organisationsstrukturen stellen dabei lediglich einen kleinen Teil der existierenden und möglichen Raumstrukturen dar. Ein etwas detaillierterer Überblick wird im Rahmen der Klassifikation von Zentralität gegeben.

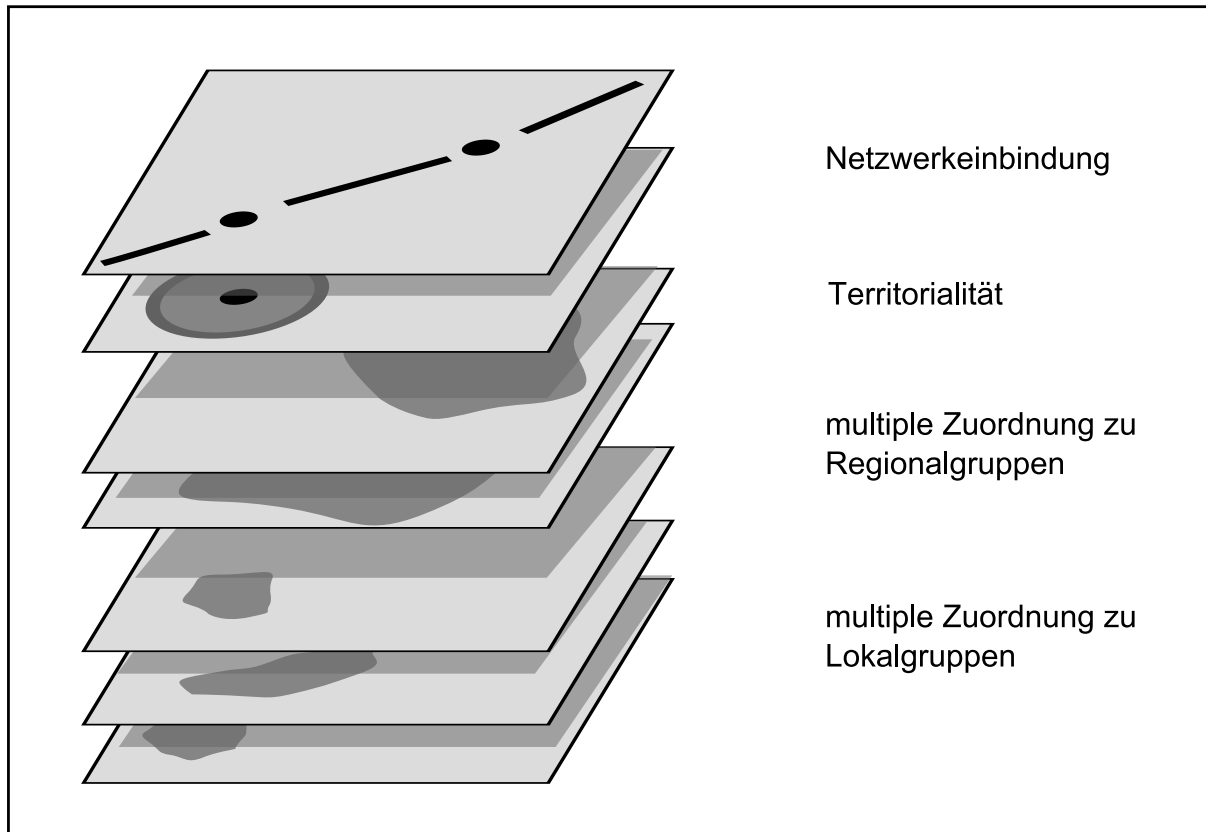


Abb. 4: Schema paralleler Räume.

### 3.3.8 Distanz und Kosten

Die Bedeutung der Distanz und der Wegekosten für die Zentralität ist nach dem bisher gesagten offensichtlich. Wegekosten sind aus der Perspektive der Zentralität der dominante Faktor bei der Realisierung von Interaktionen. Die Distanz lässt sich in unterschiedlicher Weise ermitteln. In vielen Modellen wird die euklidische Distanz zwischen zwei Punkten verwendet. Die Wegekosten nehmen im Allgemeinen mit der Distanz zu. Der Zusammenhang zwischen Wegstrecke und Wegekosten wird in einer räumliche Kosten-Kurve dargestellt. Ist diese Kurve eine Gerade, so liegt eine konstante Transportrate vor. Die räumliche Kosten Kurve muss jedoch nicht stetig sein und sie muss auch keine Gerade sein. So sind gestufte Funktionen ebenso möglich wie Kurven, die ein Ansteigen oder abfallen der Transportrate mit der Distanz darstellen.

Realistischer als die Nutzung der euklidischen Distanz ist sicher die Verwendung der tatsächlichen Pfadlänge. Ist der Verlauf des Weges nicht bekannt, so kann anhand des Reliefs und topographischer Merkmale der kostengünstigste Weg ermittelt werden (#####). Die Länge dieses Weges kann nun für die weiteren Betrachtungen genutzt werden. Da aber die Wegekosten entscheidungsrelevant sind, können die ermittelten minimalen Kosten der Verbindung zwischen zwei Punkten bevorzugt werden. Das hat den Vorteil, dass die unterschiedliche Transportraten

für Gebiete mit unterschiedlicher Steigung, unterschiedlicher Gangbarkeit und Bereich anfallender Sonderkosten (Zoll etc.) schon berücksichtigt werden können.

### 3.3.9 Interaktionsdichte

Ohne methodische Aspekte vorwegzunehmen müssen wir besprechen, was unter Interaktionsknotendichte zu verstehen ist. Es soll sich um die Punktdichte der Interaktionsknoten in der Einheit Punktzahl / Fläche handeln. Es ist wichtig, dass mehrere Punkte an einem Ort vorliegen dürfen. Das schließt Methoden aus, die multiple Inzidenzen nicht erlauben.

Es scheint auch denkbar mit einer Netzwerkdichte zu arbeiten, die gelegentlich als Urbanisierungsgrad angegeben wird (SCOTT 2000, 69-83). Hierbei handelt es sich um den Anteil der realisierten Interaktionen an der Anzahl der möglichen Interaktionen an einem Ort. Sehen wir jedoch genauer hin, so wird deutlich, dass dieser Wert eine ganz andere Information enthält, die wir nicht als Zentralität bezeichnen sollten. Die Anzahl der realisierten Interaktionen können wir mit der Interaktionsdichte und damit auch einer realen Zentralität gleichsetzen, da bei unserer Formulierung der Netzwerkdichte nur ein Ort mit gegebener Fläche betrachtet wird. Ein Faktor kann demnach beide Werte in Einklang bringen. Mit dem Quotienten, also der möglichen Interaktionen führen eine Normierung auf eine ideale oder maximal erreichbare Zentralität durch. Dieses für die Interpretation ebenfalls sehr nützliche Verhältnis ist aber keinesfalls mit der Zentralität gleichzusetzen. Der Wert gibt vielmehr Hinweise zur Organisation des Zentralortes. Ein geringer Wert der Netzwerkdichte entspricht einem hohen Organisationsgrad und, um wieder an die Urbanisierungsforschung anzuschließen, einer hohen Urbanität.

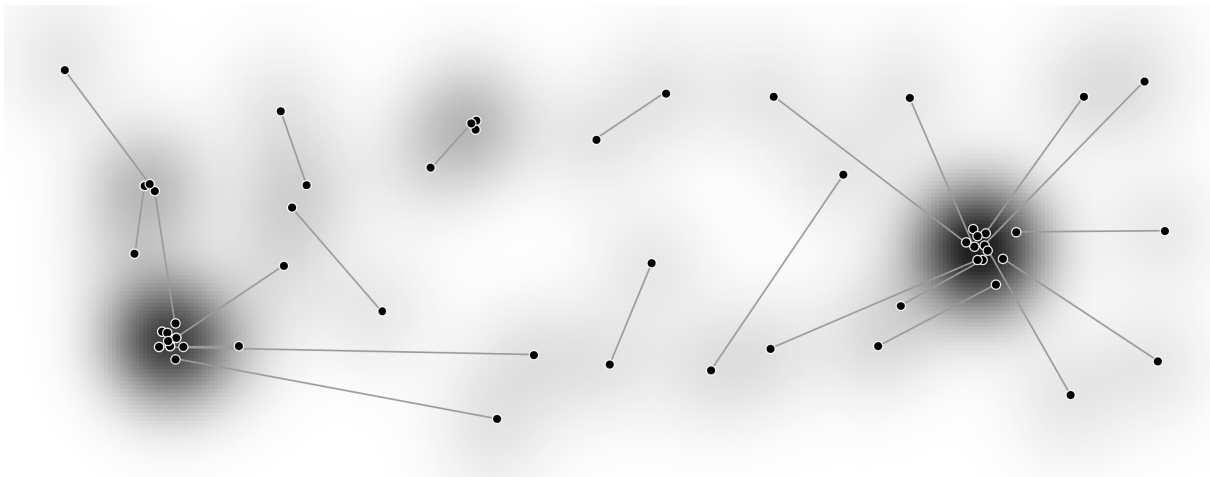


Abb. 5: Zentralität als Interaktionsknotendichte (KDE).

## 3.4 Klassifikation von Zentralität und zentralen Orten

Klassifikationen sind in der Regel eine wesentliche Voraussetzung wissenschaftlicher Aussagen. Will man über die wenig aussagefähige und oft strittige Feststellung ob eine Siedlung ein Zentralort ist oder nicht hinaus, so müssen geeignete Klassifikationen gefunden werden. Gemäß unserer Definition von Zentralität setzen wir mit der Klassifikation an der Interaktion an.

### 3.4.1 Interaktionszweck

Worauf ist die Interaktion ausgerichtet? Zunächst können wir den Gegenstand der Interaktion ins Auge fassen und folgende Unterscheidungen einführen:

1. Information
2. Güter
3. soziale Sachverhalte
4. gemeinsame Aktivitäten
5. physische Manipulation

Erläuterungen erübrigen sich, da die genannten Begriffe oben besprochen wurden. Eine weitere Klassifikation kann die bekannten zentralen Funktionen (GRINGMUTH-DALLMER 1996) beinhalten:

1. Handel
2. Herrschaft
3. Schutz
4. Produktion und Rohstoffgewinnung
5. Kult

Die einzelnen Funktionen lassen sich, in Abhängigkeit von den verfügbaren Informationen weiter untergliedern. Hierbei können beispielsweise die verhandelten oder produzierten Objekte die diagnostischen Merkmale sein.

### **3.4.2 Interaktionform**

Die Interaktionsform lässt ebenfalls unterschiedliche Klassifikationen zu. So kann etwa ihre Richtung betrachtet werden:

1. asymmetrische Interaktion. Diese ist einseitig: Der primäre Interaktionspartner verteilt, stellt dar oder übt Macht aus. Der sekundäre Partner empfängt das Gut oder die Information oder erleidet Machtausübung.
2. symmetrische Interaktion. Diese ist zweiseitig: Die beiden Partner verhandeln über Rollen, Güter, bewusste oder unbewusste Standards oder tauschen Informationen, Güter oder Dienstleistungen. Das Verhandeln über Standards oder der Tausch von Informationen kann bewusst, aber ebenso auch unbewusst erfolgen. In die Kategorie des Tausches fällt letztlich auch die Administration. Einer Handlungsinitiation, die meistens in Form einer Information übermittelt wird steht die Ausführung der Handlung, wie das Aushändigen der Steuer als Gegenleistung gegenüber.

Während wir für Analysen und manche theoretischen Konzepte symmetrische Interaktionen in atomare asymmetrische Interaktionen aufgliedern können, so stellen die beiden Typen doch ihrem Wesen nach unterschiedliche Interaktionsarten dar.

Eine Interaktion geht vom primären Interaktionspartner aus, der diese intendiert. Der sekundäre Partner kann auch anders dazu stehen, wie etwa Übergriffe verdeutlichen:

1. erwünscht Interaktion
2. unerwünscht Interaktion

Schließlich können die Transportformen unterschieden werden:

1. Kommunikation. Der primäre Interaktionspartner begibt sich nicht zu dem sekundären Partner, sondern übermittelt Informationen über Kanäle wie visuelle Kommunikation oder Telekommunikation.
2. Personentransport. Der primäre Interaktionspartner kann sich beispielsweise zum Zweck der persönlichen Kommunikation zu seinem sekundären Interaktionspartner begeben.
3. Warentransport. Statt Informationen können natürlich auch Waren ausgetauscht werden. Das kann der primäre Interaktionspartner oder ein Dritter durchführen. Hier wird deutlich, dass es sich nur um Idealtypen handelt, die komplexe reale Sachverhalte vereinfacht abbilden.

Auch die Organisation der Interaktion kann sich unterscheiden:

1. individuelle Interaktion. Hierbei wird der Transport für jedes Interaktionsvorhaben separat durchgeführt.
2. gebündelte Interaktion. Die Transporte werden hierbei synchronisiert.

### **3.4.3 Interaktionsknoten**

Bei der Klassifikation der Interaktionsknoten liegen naturgemäß Überschneidungen mit jener der Interaktionskanälen vor. So können wir auch hier eine Unterscheidung nach zentralen Funktionen durchführen:

1. Handel
2. Herrschaft
3. Schutz
4. Produktion und Rohstoffgewinnung
5. Kult

Während Interaktionsknoten tatsächlich natürlich Personen sind, ist bei dem Vorliegen von Gemeinsamkeiten auch eine Übertragung auf den Ort möglich. Zusammenhänge zwischen diesen Gemeinsamkeiten sind wie die folgenden Beispiele zeigen alltäglich.

1. Orte mit seitlich synchronisierten Interaktionen. Zu denken ist hier etwa an Wochenmärkte. Die Interaktionspartner sind zum Tausch von Waren an einem bestimmten Zeitpunkt zu einem bestimmten Ort gekommen, der hierdurch hervorgehoben wird.
2. Orte mit Interaktionen spezieller Zwecke. Unser Beispiel des Wochenmarktes ist auch hier anwendbar. Aber auch ein Rathaus, das für bestimmte Verwaltungsaufgaben vorgesehen ist, ist zu denken.
3. Orte mit Interaktionen spezieller Personen. Und auch hier können wir wieder das letzte Beispiel aufgreifen. Das Rathaus eignet sich zum Treffen des Bürgermeisters wie eine Arztpraxis zum aufsuchen des Arztes.

### **3.4.4 Interaktionsknotenverteilung**

Haben wir soeben die Eigenschaften der Interaktionsknoten selbst betrachtet, so untersuchen wir nun ihre Lage. Es handelt sich um das Problem der Punktmusterklassifikation. Allgemein werden drei Typen unterschieden:

1. regelmäßig

2. zufällig
3. gruppiert

Im Fall der Gruppierung kann eine weitere Klassifikation anhand von Verteilungsmodellen erfolgen, die an den jeweiligen Zentren ansetzen. Da sehr viele Verteilungsmodell möglich sind, sollen hier keine Klassen aufgeführt werden.

### 3.4.5 Netzstruktur

Netz- beziehungsweise Organisationsstrukturen zählen sicher zu den wichtigsten Aspekten der Klassifikation von Zentralität. Sie liefern uns einen kleinen Einblick in die Prozesse, die der Bildung von Siedlungsstrukturen zugrunde liegen und erlauben einen Vergleich der Siedlungsstrukturen. Netzstrukturen sind insbesondere deshalb nützlich, da die netzwerktheoretischen Ansätze auf ihnen beruhen und auch die christallersche Theorie sich Netzstrukturen bedient also ohne Zwang in eine entsprechende Netzwerktaxonomie eingliedern lässt. Die Faktoren, die einen großen Einfluss auf die Bildung der Organisationsstrukturen aufweisen wurden oben besprochen. Es handelt sich um das Fehlen von Synergien und das Auftreten von Orts- sowie Transportsynergien. Bei der Wahl des Klassifikationsverfahrens und der Klassifikationsstruktur sind diese Faktoren zu bedenken. Ebenso ist es aber auch wichtig zu bedenken, welche Daten und Analysemethoden verfügbar sind. Am sinnvollsten erscheint es, eine prädefinierte monohierarchische Klassifikation mit weitgehend isomorphen Zweigen für vier wesentliche Parameter und anschließender individueller Untergliederung zu verwenden. Diese Klassifikation enthält idealtypische Klassen, die einerseits kaum in Reinform existieren und andererseits vielfach überlagert werden. Die klassifikationsleitenden Fragen, die gleichzeitig die Klassifikationsniveaus repräsentieren sind:

1. Organisationstyp. Lassen sich durch Bündelungen Kosten sparen?
2. Organisationsgegenstand. Liegen Orts- oder Transportsynergien vor?
3. Distanzrelevanz. Dominieren Wege- oder Zugangskosten?
4. Kopplungsgrad. Werden Kosten durch Verwendung einer einheitlichen Struktur gespart?

Die Fragen sind kostenorientiert formuliert. Dies ist einerseits als Grundlage des Optimierungsprozesses notwendig, impliziert andererseits aber keine rein ökonomische Betrachtungsweise, da die Kosten abstrakt aufgefasst werden. Die sich ergebende Klassifikation ist folgende (Abb. 6):

**a Hierarchie.** Hierbei handelt es sich um Strukturen mit Über- und Unterordnung.

**b Heterarchie.** Diese sind Netze ohne Über- und Unterordnung also ohne Zentren. Die Verteilung der Ortsgrößen und Interaktionsintensitäten ist demnach weitgehend ausgewogen.

**aa Knotenhierarchie.** Ist der Einfluss der fixen Transportkosten eher gering, so bildet sich in einem Optimierungsprozess eine Hierarchie der Knoten, also der Orte. Es kommt zur Konzentration von Interaktionsknoten an einem Ort.

**ab Kantenhierarchie.** Ist der Einfluss der fixen Transportkosten eher hoch, so bildet sich in einem Optimierungsprozess eine Hierarchie der Kanten, also der Verkehrswege. Es kommt zur Bündelung von Interaktionen.

**aaa distanzbasiertes Knotenhierarchie.** Ist das Verhältnis der variablen Wegekosten zu den Zugangskosten eher hoch, spielt die Distanz also eine große Rolle, so kommt es zu Netzen mit kurzen Kanten und einem geringen räumlichen Überlappungsgrad. In Monohierarchien sind die jeweils nachfolgenden Knoten räumlich klar voneinander getrennt.



**aab nicht distanzbasierte Knotenhierarchie.** Ist das Verhältnis der variablen Wegekosten zu den Zugangskosten eher gering, spielt die Distanz also eine geringe Rolle, so kommt es zu Netzen in denen auch längere Kanten vorkommen und einem höheren räumlichen Überlappungsgrad.

**aaa distanzbasiertes Kantenhierarchie.** Ist das Verhältnis der variablen Wegekosten zu den Zugangskosten eher hoch, spielt die Distanz also eine große Rolle, so kommt es zu Netzen mit kurzen Kanten, die charakteristisch für Etappenhandel sind.

**aab nicht distanzbasierte Kantenhierarchie.** Ist das Verhältnis der variablen Wegekosten zu den Zugangskosten eher gering, spielt die Distanz also eine geringe Rolle, so kommt es zu Netzen mit langen Kanten, die charakteristisch für Fernhandel sind.

**Aas distanzbasiertes Knotenmonohierarchie.** Ist der Kopplungsgrad hoch, so entsteht eine einheitliche, distanzoptimierte Struktur. Es handelt sich hierbei um eine räumliche Monohierarchie, wie sie CHRISTALLERS Theorie entspricht. Eine weitere Untergliederung anhand CHRISTALLERS k-Werten kann vorgenommen werden.

**aaab distanzbasiertes Knotenpolyhierarchie.** Ist der Kopplungsgrad gering, so besteht mehrere distanzoptimierte Strukturen parallel und bilden eine räumliche Polyhierarchie.

**abaa nicht distanzbasierte Knotenmonohierarchie.** Ist der Kopplungsgrad hoch, so entsteht eine einheitliche Struktur. Es handelt sich hierbei um eine räumliche Monohierarchie, nicht aber um eine CHRISTALLER-Struktur.

**abbb nicht distanzbasierte Knotenpolyhierarchie.** Ist der Kopplungsgrad gering, so besteht mehrere Strukturen parallel und bilden eine räumliche Polyhierarchie.

**abaa distanzbasiertes Kantenmonohierarchie.** Ist der Kopplungsgrad hoch, so wird die Pfadlänge des Verkehrssystems minimiert und es entsteht eine Baumstruktur mit kurzen Pfaden.

**abab distanzbasiertes Kantenpolyhierarchie.** Ist der Kopplungsgrad gering, so entstehen zyklische Netzwerke mit kurzen Pfaden.

**abba nicht distanzbasiertes Kantenmonohierarchie.** Ist der Kopplungsgrad hoch, so wird die Pfadlänge des Verkehrssystems minimiert und es entsteht eine Baumstruktur mit langen Pfaden.

**abbb nicht distanzbasiertes Kantenpolyhierarchie.** Ist der Kopplungsgrad gering, so entstehen zyklische Netzwerke mit langen Pfaden.

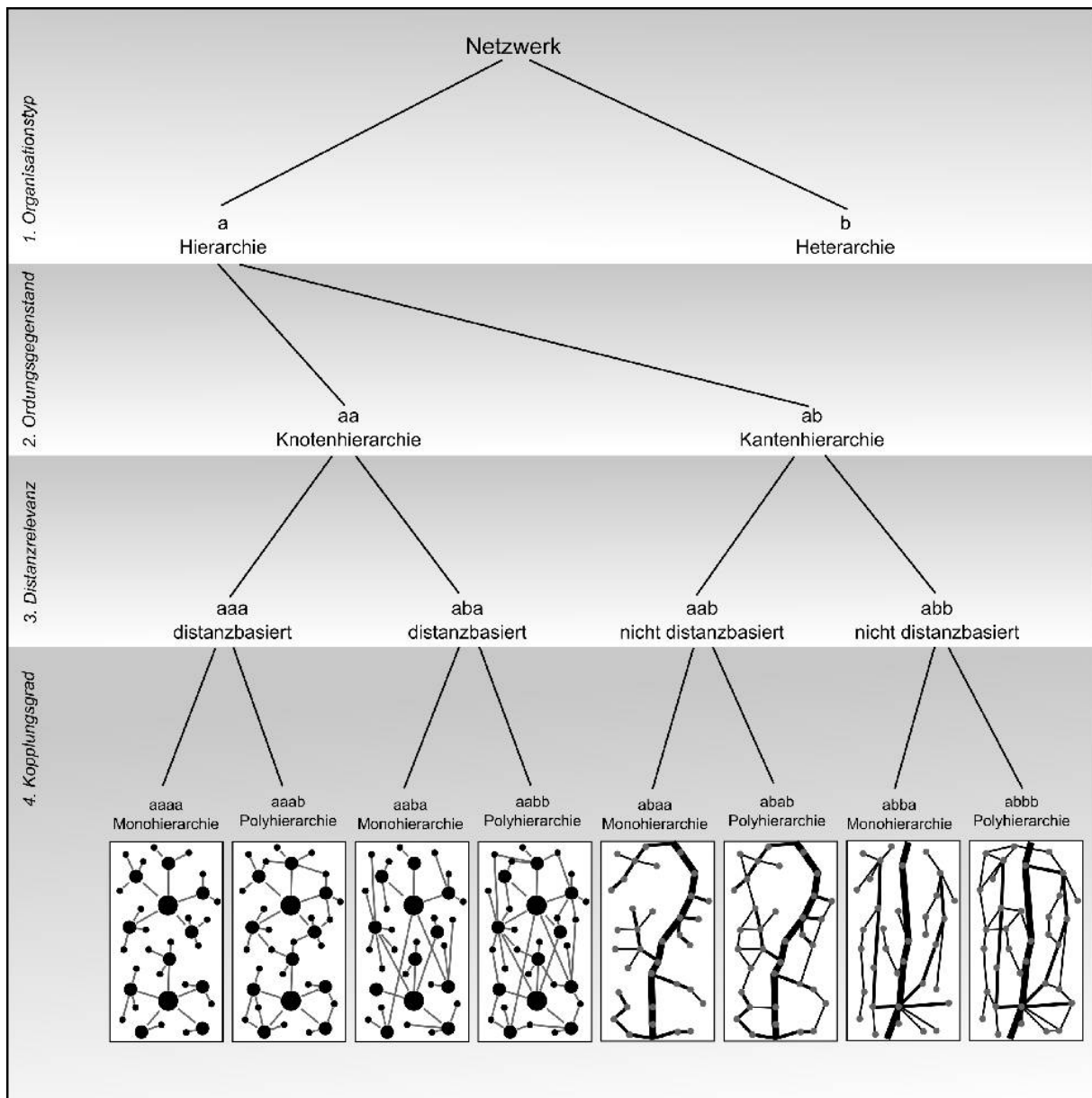


Abb. 6: Schema der Klassifikation von Netzstrukturen.

Den einzelnen Hierarchieebenen dieser Taxonomie liegen prinzipiell ordinal- oder intervallskalierte Parameter zugrunde. Eine Unterteilung in jeweils zwei Klassen stellt die einfachste Struktur dar, womit der mäßigen Datengrundlage in der Archäologie Rechnung getragen wird und wodurch eine gute Vergleichsgrundlage gegeben ist. Können nicht alle Niveaus der Klassifikation beurteilt werden, so kann ein Vergleich auch auf die höheren Klassifikationsniveaus beschränkt werden. Liegt jedoch eine außergewöhnlich gute Datengrundlage vor, so können jeweils höhere Klassenanzahlen verwendet werden.

Weniger vergleichstauglich, aber gut als Klassifikationsgrundlage geeignet ist eine Vektordarstellung der vier Parameter mit unscharfen Mengen (ZADEH 1965). Hierbei wird im Intervall von 0 bis 1 angegeben, welchen der beiden Idealtypen die realen Daten näher stehen. Durch eine Defuzzifizierung wird ein derartiger Vektor in die oben beschriebene oder eine ähnliche Klassifikation überführt.

## 4 Rezepte - ein Kochbuch der Methoden zur Zentralortforschung

### 4.1 Empirische Daten

Zunächst gilt es einen Blick auf die prinzipiell verfügbaren archäologischen Daten zu werfen. Hierbei unterscheiden wir zwischen Knoten, Kanten und Strukturen. In dieser Reihenfolge nimmt die Verfügbarkeit ab.

#### 4.1.1 Interaktionsknoten

Zunächst sind hier Interaktionszeiger zu nennen: Als wichtigste Quelle zeigen Importfunde zeigen eine Interaktion mit fernen Gebieten an. Verschieden Fundtypen indizieren gemeinsame Handlungen. Benutzte Waffen wie abgebrochene Pfeilspitzen zeigen, wenn Jagt ausgeschlossen werden kann, eine kriegerische Interaktion. Aber auch Kultgeräte und Prestigegüter sind als Interaktionsanzeiger zu werten. Das gleiche gilt für Produktionsanlage. Es können aber auch einige Proxys verwendet werden. So kann die Anzahl von Personen oder Institutionen sowie die Ortsgröße in einem bestimmten Verhältnis zur Anzahl der Interaktionsknoten stehen. Bei vollständig ausgegrabenen Siedlungen wird man auch die Anzahl der Funde oder Befunde verwenden können. Teilergrabene Siedlungen hingegen legen die mit Vorsicht zu verwendende Funddichte nahe.

Die Probleme liegen auf der Hand. Unsere Quellen sind unvollständig und wir können nur einen kleinen Bruchteil der Interaktionen erfassen. In vielen Fällen ist auch die Gewichtung der Quellen schwierig. Importfunde lassen sich zählen, Produktionsabfälle ergeben selten eine entsprechend konkrete Information.

#### 4.1.2 Interaktionskanten

Interaktionskanten setzen deutlich mehr Informationen voraus, als Interaktionsknoten. Hier muss die Lage beider Knoten bekannt sein. Das ist allenfalls bei Importfunden bekannter Herkunft gegeben. Ob die Produktionswerkstatt oder nur die Produktionsregion bekannt sein muss, hängt von der Skalierung der Analyse ab. Eine Herkunftsangaben lässt sich gelegentlich typologisch, vor allem aber naturwissenschaftlich gewinnen.

#### 4.1.3 Interaktionsstrukturen

Interaktionsstrukturen lassen sich zunächst aus Interaktionsknoten und -kanten ableiten. Ergänzend können Interaktionsräume also Territorien abgeschätzt und Siedlungshierarchien rekonstruiert werden. Diesen beiden Ansätzen kommt in dem Maße Bedeutung zu, in dem Informationen zu Interaktionskanten fehlen.

### 4.2 Naturräumliche Rahmenbedingungen

Siedlungsstrukturen sind bedingt durch Naturraumfaktoren. Wenngleich dies nur einer der relevanten Faktoren ist, so gilt es doch die Naturraumfaktoren und ihren Einfluss auf die Siedlungsmuster zunächst näher zu untersuchen. Sie bilden die Rahmenbedingungen der folgenden Analysen. Ziel der Naturraumuntersuchung ist eine Modellierung einer lediglich naturraum bedingten Verteilung der Bevölkerung. Wir können von einer *naturraumgewichteten Bevölkerungsgleichverteilung* sprechen. Die wirkenden Faktoren sind unter anderem das Relief, da Gewässersystem und die Wasserversorgung, Rohstoffvorkommen, Bodenbeschaffenheit und Klima. Grundsätzlich dürfen für keinen dieser Parameter Daten aus der Gegenwart übertragen werden. Das Relief hat sich durch Baumaßnahmen sowie natürliche und anthropogene Erosion verändert. Das Gewässernetz hängt einerseits vom Relief und dem Wasserzufluss ab und wird andererseits durch menschliche Eingriffe manipuliert und ist Transgressionsprozessen ausgesetzt. Die Rekonstruktion des ursprünglichen, also des zum betrachteten Zeitpunkt existierenden

Zustandes kann in manchen Fällen mit der erforderlichen Genauigkeit relativ einfach sein. In anderen Fällen ist die Reliefveränderung schwer abzuschätzen. Problematisch sind im Allgemeinen Klima und Boden. In gewissen Umfang kann es hier sinnvoll sein relative Werte zu betrachten. Die Annahme, die dem zugrunde liegt, ist, dass der Kontrast zwischen Gebieten mit guten und schlechten Böden weitgehend konstant ist. Entsprechendes gilt für das Klima. Wo allerdings die Grenzen der der Gültigkeit liegen kann im Einzelfall schwer zu beurteilen sein. ##### Alb oder anderes Beispiel

Die Naturraumdaten sollen also dazu verwendet werden, die prähistorische Siedlungsdichte zu konstruieren. Hierbei soll die Siedlungsdichte so sein, dass eine optimale Nahrungsversorgung gewährleistet ist. Hierbei können die Methoden der Archäoprognose (KNITTER im Druck; KAMERMANS, LEUSEN u. VERHAGEN 2009; KUNOW u. MÜLLER 2003; KUNOW, MÜLLER u. SCHOPPER 2007; STEFFEN #####; VERHAGEN 2007) eingesetzt werden. Grundsätzlich können zwei Ansätze unterschieden werden. Der induktive Ansatz versucht anhand der empirischen Siedlungsverteilung die dominanten Naturraumfaktoren und ihre Merkmalsausprägung zu ermitteln. Faktoranalytische Ansätze können hierbei eine Rolle spielen. Die entsprechenden Merkmalskombinationen können nun als Gunstlagen kartiert werden, woraus sich ein Siedlungsbild ableiten lässt, wobei die Methode des Regressionskripping nützlich sein kann. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass er durch die empirische Kalibrierung eine relativ große Realitätsnähe gegeben ist. Ein Nachteil ist, dass die Siedlungsstruktur das Resultat von Zentralisierungsprozessen ist und somit das Ergebnis nur bedingt als naturraumgewichtete Bevölkerungsgleichverteilung angesehen werden kann. Dem ist entgegenzuhalten, dass insbesondere die Ortsgröße als dominantestes Merkmal zentraler Orte nicht in die Analyse eingeht und Zentralität die Naturraumpräferenz nur in Maßen beeinflussen wird. Ein weiterer Nachteil ist, dass auch die Siedlungsgunstkarte durch eine Kalibrierung anhand gut untersuchter Gebiete in eine Siedlungsdichtekarte umgewandelt werden muss.

Der deduktive Ansatz versucht durch die theoriegeleitete Auswahl von Merkmalskombinationen siedlungsgünstige Gebiete zu ermitteln. Hier können ethnographische und volkskundliche Beobachtungen, historische Aufzeichnungen und Experimente sowie naturwissenschaftliche Kenntnisse zu relevanten Sachverhalten als Grundlage dienen. Die Vorteile dieses Ansatzes bestehen darin, dass keine Kalibrierung nötig ist, ein überregionaler Vergleich einfacher ist und sich teilweise absolute Zahlen der Bevölkerungs- und Siedlungsdichte anhand der zugrunde liegenden Zusammenhänge ermitteln lassen. Der Nachteil ist offensichtlich: Die theoretisch ermittelten Parameter müssen nichts mit den realen Verhältnissen zu tun haben.

## **4.3 Methoden zur Untersuchung von Interaktionsknoten**

### **4.3.1 Klassifikation**

Bei der Klassifikation lassen sich zwei Wege verfolgen. Es kann eine prädefinierte Klassifikation, wie sie oben angegeben wurde verwendet werden. Man kann jedoch auch mit Mitteln der numerischen Klassifikation nach natürlichen Gruppen suchen. Prädefinierte Klassen haben den Nachteil, dass sie eine Klassifikationsstruktur vorgeben, die möglicherweise nicht den empirischen Daten angemessen ist. Sie haben jedoch bei einer schlechten Datengrundlage den Vorteil, dass die Klassifikationsstruktur nicht durch die Daten beeinflusst wird. Hier dient die Klassifikation als heuristisches Werkzeug, um auch auf der Basis unzulänglicher Daten Vergleiche durchführen zu können. Die Klassifikation ist ein Beobachtungsraster, das Details ausblendet. Ist die Rasterweite im Vergleich zu den auftretenden Fehlern groß, so sind die Resultate verwertbar.

### **4.3.2 Prädefinierte Klassen**

Die Klassifikation erfolgt anhand der archäologischen Funde und Befunde. Zunächst können die zentralen Funktionen nach GRINGMUTH-DALLMER (1996) unterschieden werden.

1. Handel. Funde: Importgüter, Geld und äquivalente Tauschmittel, Feinwaagen und Gewichte, Verpackungs- und Beschriftungsmaterial; Befunde: Marktplatz, Geschäfte.
2. Herrschaft. Funde: Prestigefunde, Statussymbole, Zollabgaben; Befunde: Palastbauten und andere Gebäude weltlicher Repräsentation und Administration.
3. Schutz. Funde: Waffen, die auf größere und organisierte Kampfverbände hinweisen; Befunde: Befestigungsanlagen, Wachtposten.
4. Produktion und Rohstoffgewinnung. Funde: Halbfertigfabrikate, Produktionsabfälle, Rohstoffe, Produktionsmittel, Werkzeuge; Befunde: Werkstätten, Produktionsanlagen, Rohstoffquellen.
5. Kult. Funde: kultische Gegenstände; Befunde: Heiligtümer.

Da die einzelnen zentralen Funktionen unabhängig voneinander vorkommen können und wenn wir lediglich unterscheiden, ob die Funktionen belegt sind oder nicht ergeben sich 32 unterschiedliche Klassen. Statt komplexe Bezeichnungen zu wählen bietet es sich an einen Vektor boolescher Wert als Klassenbezeichnung zu wählen. Diese könnte für ein unbefestigtes Handels- und Administrationszentrum (1,1,0,0,0) lauten.

Eine weitere Klassifikation nimmt einen etwas andere Blickwinkel ein:

1. Orte mit seitlich synchronisierten Interaktionen. Der archäologische Nachweis dieser Orte ist problematisch, da die feinstchronologischen Nutzungsschwankungen nur in Ausnahmefällen erkennbar sein dürften. Saisonale Märkte lassen sich mitunter identifizieren, wie das Beispiel Ribe (####) zeigt. In der Regel wird man darauf angewiesen sein die Nutzung aufgrund äußerer Gegebenheiten, wie Hochwasser oder unzureichende Wasserversorgung zu bestimmten Zeiten auszuschließen.
2. Orte mit Interaktionen spezieller Zwecke. Hier lassen sich die Orte nennen, an denen nur einzelne oder wenige zentrale Funktionen nachgewiesen wurden und Kenntnislücken unwahrscheinlich sind.
3. Orte mit Interaktionen spezieller Personen. Es handelt sich bei dieser Klasse in erster Linie um Residenzen und ähnliches, die anhand repräsentativer Bauten erkannt werden können. Ferner zählen zentrale Kultstätten hinzu, die der Interaktion mit einem hervorgehobenen Priester oder ähnlichem dienen. Denkbar sind natürlich auch Orte, an denen herausragende Handwerker tätig sind.

### 4.3.3 Numerische Klassifikation

Die numerische Klassifikation (SNEATH u. SOKAL 1973) verwendet die gleichen, schon mehrfach angeführten archäologischen Funde, die als Indikatoren zentraler Orte oder zentraler Funktionen verwendet werden. Es besteht jedoch noch kein Klassifikationsschema, also keine Definition der Klassen. Ausgehend von dem Gedanken, dass Klassen gewissermaßen durch einen Idealtyp repräsentiert werden können, von dem die sich die Merkmale der realen Objekte normalverteilt unterscheiden, kann angenommen werden, dass die Fundfrequenz im von Objekten, die den Idealtypen gleichen höher ist als bei Objekten, die ihnen nicht beziehungsweise weniger gleichen. Natürliche Gruppen sollten sich also durch empirische Analysen des Vorkommens der Merkmale der Objekte ermitteln lassen. In univariaten Datenbeständen können natürliche Klassengrenzen anhand lokaler Belegungsminima oder elaborierterer Methoden (z. B. JENKS 1967) ermittelt werden. Methoden, die merkmalgestützte Objektgruppierungen an multivariaten Daten vornehmen bezeichnet man als Clusteranalysen (ABONYI u. FEIL 2007; ALDENDERFER u. BLASHFIELD 1984; BACKHAUS u. a. 2000, 490-555; BORTZ 1984, 684-705; CUTSEM 1994; EVERITT, LANDAU u. LEESE 2001; JAIN, MURTY u. FLYNN 1999; HARTIGAN 1975; HÖPPNER, KLAWONN u. KRUSE 1997; KAUFMAN u. ROUSSEEUW 1990; MIRKIN 1996; MILLIGAN u. COOPER 1987; NAKOINZ 2010; RINNE 2008, 689-699; ROMESBURG 2004; SNEATH u. SOKAL 1973; STEINHAUSEN u. LANGER 197). Die Wahl des richtigen

Clusteranalyseverfahrens ist ein entscheidender Schritt, da die Ergebnisse stark voneinander abweichen können. Die richtige Wahl hängt von der Fragestellung und den verfügbaren Daten ab (Abb. 7).

Der erste Schritt ist die Entscheidung zwischen Objekt- und Merkmalsgruppierung. Letztere führt zu faktoranalytischen Ansätzen wie der Korrespondenzanalyse oder der Hauptkomponentenanalyse. In unserem Fall aber geht es um eine Objektgruppierung, was zur Methodengruppe der Clusteranalysen führt. Wenn sich hinter den vorliegenden Merkmalen latente Merkmale verstecken wird zunächst eine Korrespondenzanalyse durchgeführt um diese sichtbar zu machen und in der weiteren Analyse verwenden zu können. Das kann sinnvoll sein, wenn wir annehmen, dass die archäologischen Indikatoren letztlich nur Anzeiger der zentralen Funktionen sind. Erwarten wir einen höheren Aussagewert der Indikatoren, so würde dieser Schritt zu einem unerwünschten Informationsverlust führen. Andernfalls sollte die Gruppentrennung in der folgenden Clusteranalyse besser werden.

Anschließend ist zu klären, ob die Analyse in erster Linie Gruppen oder Hierarchien ergeben soll. In unserem Fall können wir von Gruppen ausgehen, da zunächst gänzlich offen ist, ob Hierarchien sich überhaupt abzeichnen. Eine hierarchische Clusteranalyse kann jedoch dennoch nützlich sein, um die Datenstruktur besser kennen zu lernen, um zu überprüfen, ob eine ausgeprägte Hierarchie vorhanden ist und um die Anzahl der Gruppen zu ermitteln. Die Anzahl der Gruppen kann auch mit anderen Methoden abgeschätzt werden (EVERITT u. a. 2011, 126-130). Wenn die Daten keine deutliche Hierarchie erwarten lassen und die Gruppenanzahl bekannt ist, so liefert eine partitionierende Clusteranalyse die besseren Ergebnisse als die hierarchische Clusteranalyse. An dieser Stelle gilt es auch zu Entscheiden, ob scharf abgegrenzte oder überlappende Gruppen angestrebt werden.

Nun muss bei hierarchischen Clusteranalysen entschieden werden welches Fusionsverfahren eingesetzt wird. Eine Single-Linkage-Clusteranalyse führt tendenziell zu verketteten Strukturen, da sie jeweils nur das Element einer Gruppe betrachtet, das eine maximale Ähnlichkeit zur Vergleichsgruppe aufweist. Die Average-Linkage-Clusteranalyse, die Complete-Linkage-Clusteranalyse, die Centroid-Clusteranalyse und die Ward-Clusteranalyse bieten jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile (Abb. 7).

Die Wahl einer Metrik beziehungsweise Norm ist nun wieder für beide Typen der Clusteranalyse relevant (EVERITT u. a. 2011, 43-69; STEINHAUSEN u. LANGER 1977, 51-67). Ein wesentlicher Aspekt ist, ob die Belegung der Zentralörtlichen Funktionen oder Zentralortindikatoren durch boolesche oder numerische Werte angegeben wird. Für boolesche Werte eignen sich etwa L1 (Manhattan) oder insbesondere Jaccard sowie Rogers/Tanimoto. L2 (Euklid) ist die erste Wahl bei numerischen Werten. In manchen Fällen können aber auch andere Normen sinnvoll sein. Zu nennen sind hier die Canberra-Distanz oder der Korrelationskoeffizient nach Pearson.

Wenn einerseits die Merkmale unterschiedlich skaliert sind und andererseits latente Merkmale angenommen werden, also ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen vorliegt, der nicht in die Analyse eingehen soll, dass kann die Mahalanobisdistanz eine günstige Wahl sein.

Grundsätzlich ist es eine gute Idee die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren zu vergleichen. Auch wenn das Verfahren zu bevorzugen ist, das am besten theoretisch auf der Basis der Fragestellung zu begründen ist, so zeigt der Vergleich Informationen zur Stabilität der Ergebnisse. Diese ergibt sich aus der jeweiligen Datenstruktur.

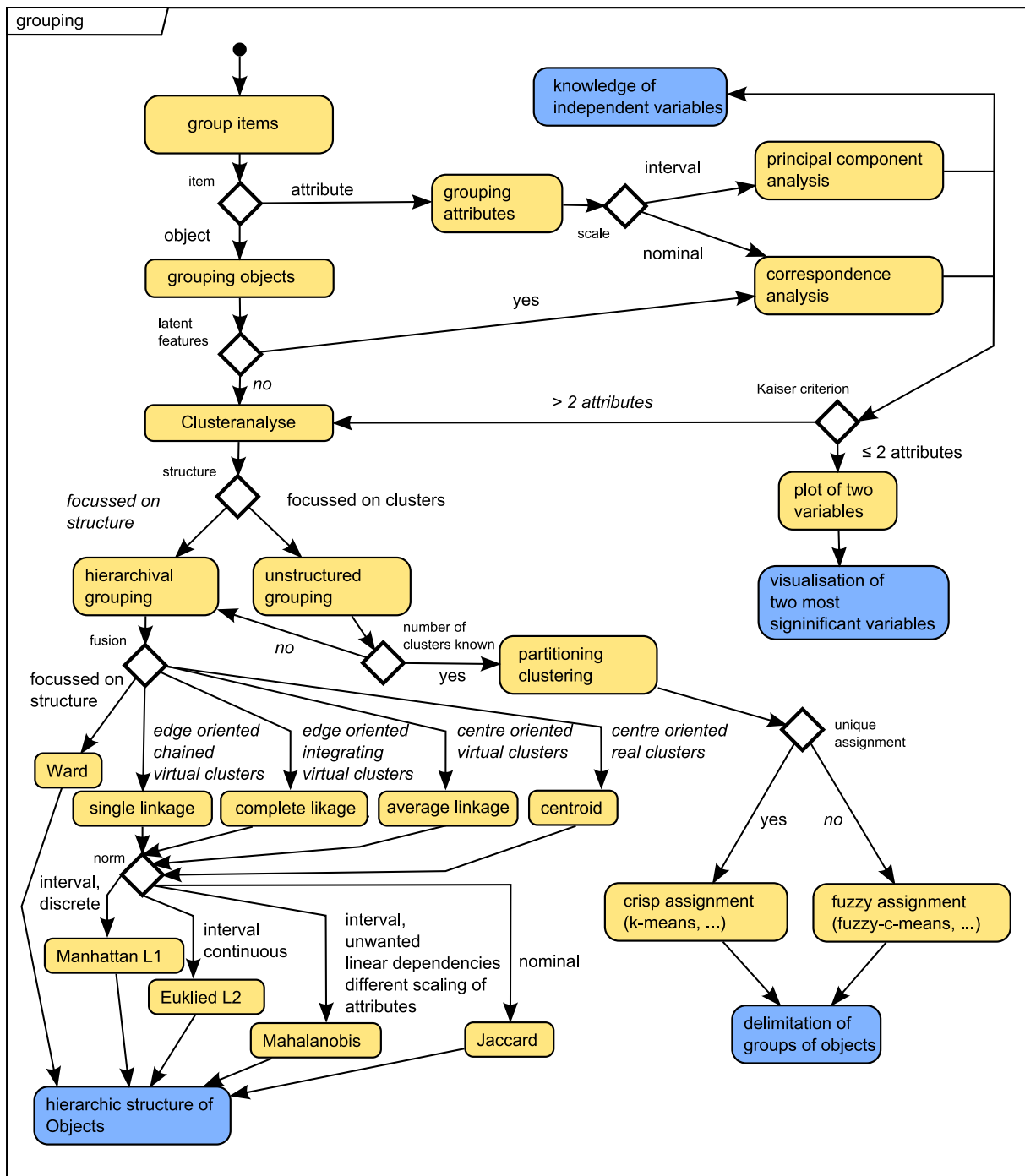


Abb. 7: Vereinfachter Entscheidungsbaum zur Methodenauswahl der Clusteranalyse.

Die ermittelten Gruppen sollten nach der Analyse validiert werden. Eine externe Validierung ist nicht ohne weiteres möglich, da wir nicht über entsprechende Parameter verfügen. Wenn wir davon ausgehen können, dass Funde und Befunde zu gleichartigen Gruppierungen führen, dann können wir die Analysen separat durchführen und vergleichen. Das kann aber nicht vorausgesetzt werden und dürfte eher selten der Fall sein. Eine interne Validierung kann mit verschiedenen Kennzahlen durchgeführt werden (HANDL, KNOWLES u. KELL 2005; MILLIGAN 1981).

#### 4.3.4 Verteilung

Da wir uns im Wesentlichen für Konzentrationen von Interaktionsknoten interessieren, die durch verschiedene Punkttypen repräsentiert werden, ist eine Untersuchung der Punktverteilung der Lage der entsprechenden Funde der erste Schritt der Analysen.

**4.3.4.1 Nachbarschaftsanalysen** Für die Methoden der Punktmusteranalyse ist das Konzept der Nachbarschaft von großer Bedeutung. Zunächst müssen wir metrische von topologischen Nachbarn unterscheiden. Metrische Nachbarn eines Punktes sind die Punkte, die in einer bestimmten Distanz liegen. Hierbei ist der 1. Nachbar der Punkt mit der geringsten Distanz. Bis zu einem festgesetzten Schwellenwert des Nachbarschaftsgrades oder der Distanz folgen die weiteren Nachbarn aus der Ordnung der Distanzen. Nun kann es vorkommen, dass ein Nachbar zwischen dem betrachteten Punkt und einem weiteren Nachbarn liegt und letzteren gewissermaßen abschirmt. Der abgeschirmte metrische Nachbar ist in gewissem Sinne nicht als Nachbar aufzufassen während in einer anderen Richtung der nächste Punkt in weit größerer Distanz liegen kann und als Nachbar angesehen werden sollte. Das Konzept der topologischen Nachbarn berücksichtigt diesen Aspekt.

Zur einfachsten Analyse können metrische Nachbarn verwendet werden. Wir können zum einen die Entfernungen zum jeweils nächsten Nachbarn darstellen. Ein hoher Anteil geringer Distanzen deutet Ballungen an während ein weitgehendes Fehlen eher auf Regelabstände hinweist. Ähnlich können wir mit der mittleren Distanz der topologischen Nachbarn vorgehen. Diese Methode ist robuster, da es beispielsweise Punktpaare nicht als Ballungen auffasst. Nur Punkte, die von allen Seiten mit nahen Nachbarn umgeben sind, liefern sehr geringe Distanzen. Schließlich können wir bei gegebenen Schwellenwert zählen, wie viel Nachbarn ein Punkt besitzt. Hohe Werte zeigen Ballungen an.

**4.3.4.2 CSR-Analyse** Tests auf *complete spatial randomness* (CSR) also auf vollständige räumliche Zufälligkeit bilden den Kern der Verteilungsanalysen. Hierbei kommen verschiedene Funktionen zum Einsatz, die Eigenschaften metrischer Nachbarn verwenden (BADDELEY ###; BIVAND, PEBESMA u. GÓMEZ-RUBIO 2008; RIPPLEY 1976; 1981). Diese Funktionen - wir verwenden G, F und K - sind zunächst als theoretische Funktionen definiert, die für den Fall zufälligen Verteilung gelten. Die assoziierten empirischen Funktionen werden anhand der Daten ermittelt und mit den theoretischen Funktionen verglichen. Abweichungen können entweder eine geordnete Struktur oder eine Struktur mit Ballungen beziehungsweise Clustern bedeuten. Aus der Lage der Kurven zueinander lassen sich diese beiden Möglichkeiten unterscheiden.

Es stellt sich die Frage, wann die beiden Kurven voneinander abweichen. Reichen marginale Unterschiede aus? Eine Monte-Carlo-Simulation kann den Kurvenbereich anzeigen, der durch eine zufällige Punktentstehung abgedeckt wird. Auf diese Weise lassen sich die Kurvenverläufe der drei Punktmustertypen deutlich voneinander trennen. Punktmuster mit Ballungen deuten darauf hin, dass eine zentralisierte Organisation zugrunde liegt. Ein geordnetes Punktmuster zeigt hingegen an, dass jeder Interaktionsteilnehmer ein exklusives Territorium benötigt.



# I. Punktmusteranalyse 2D

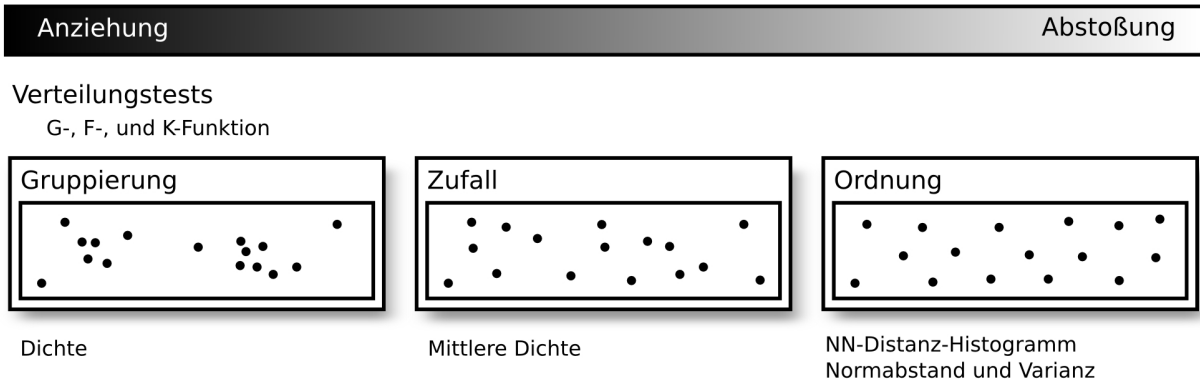


Abb. 8: Die drei Grundtypen von Punktmustern.

Die G-Funktion betrachtet die Distanz zum nächsten Nachbarn und stellt die Belegung für alle Entfernungsklassen kumulativ dar. Eine ungleichmäßige Nutzung des Arbeitsgebietes wird hier kaum erfasst. Die F-Funktion verwendet hingegen die Distanz von einem Zufallspunkt zum nächsten Datenpunkt, womit auch fundlere Bereiche in die Betrachtung eingehen. Hierbei muss das Arbeitsgebiet allerdings gut abgegrenzt sein. Eine konvexe Hülle gegebenenfalls mit einem Puffer bietet sich als Grenze an. Die K-Funktion hingegen zählt für alle Entfernungsschwellenwerte, wie viele Nachbarn innerhalb der entsprechenden Entfernung liegen.

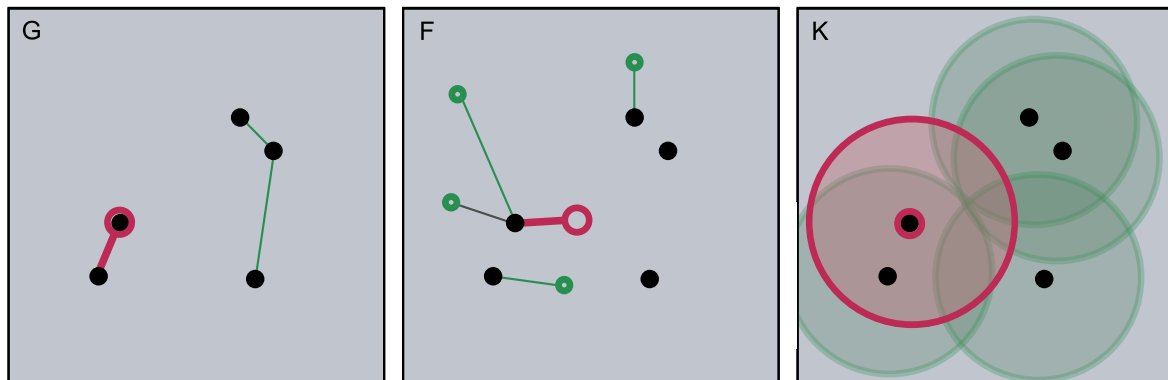


Abb. 9: Schematische Darstellung der Berechnung der G-, F- und K-Funktion.

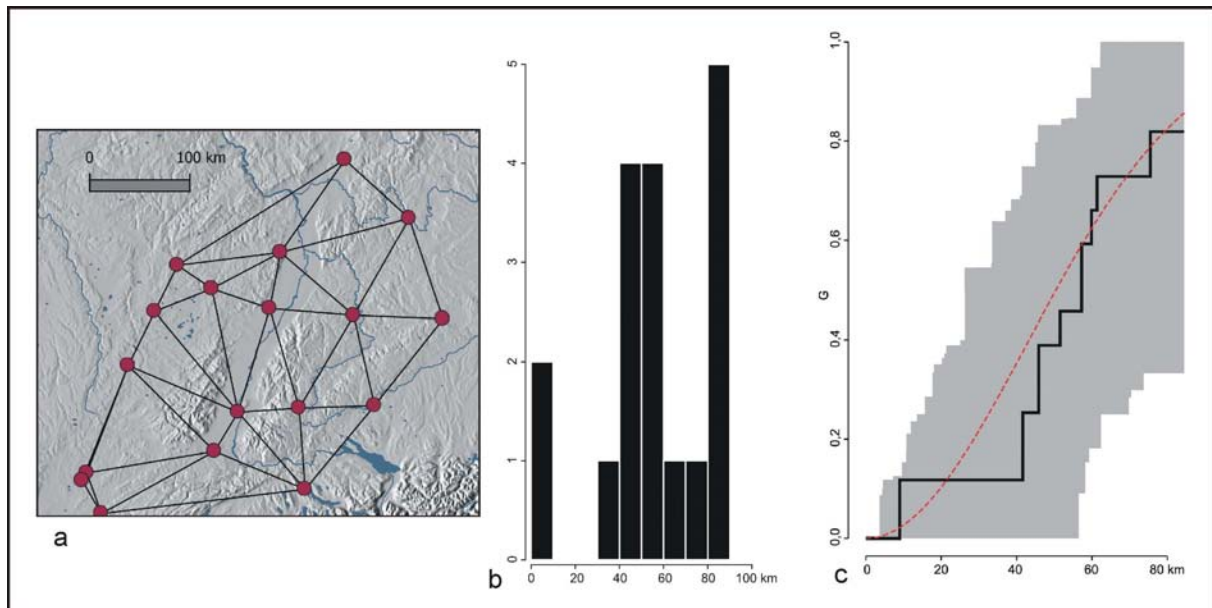


Abb. 10: Ältereisenzeitliche Fürstensitze. a) Delaunaytriangulation. b) Histogramm der Distanzen zum nächsten Nachbarn. d) G-Funktion mit Hülle.

**4.3.4.3 CSR-Analyse mit Gleitfenster** Die bisher durchgeführten Untersuchungen gehen davon aus, dass im Arbeitsgebiet ein einheitliches Punktmuster vorliegt. Das können wir nicht voraussetzen. Deshalb ist es naheliegender eine Gleitfenstertechnik anzuwenden, die jedem Punkt einen Wert zuweist der sich aus der Analyse eines umgebenden Fensters ergibt. Hierzu verwendet man als Wert die Summe aller Datenpunkte oder das Integral der jeweiligen empirischen Kurve. Dieser Wert zeigt an, ob die Kurve tendenziell hoch oder niedrig liegt und in welche Richtung von der theoretischen Kurve sie damit abweicht.

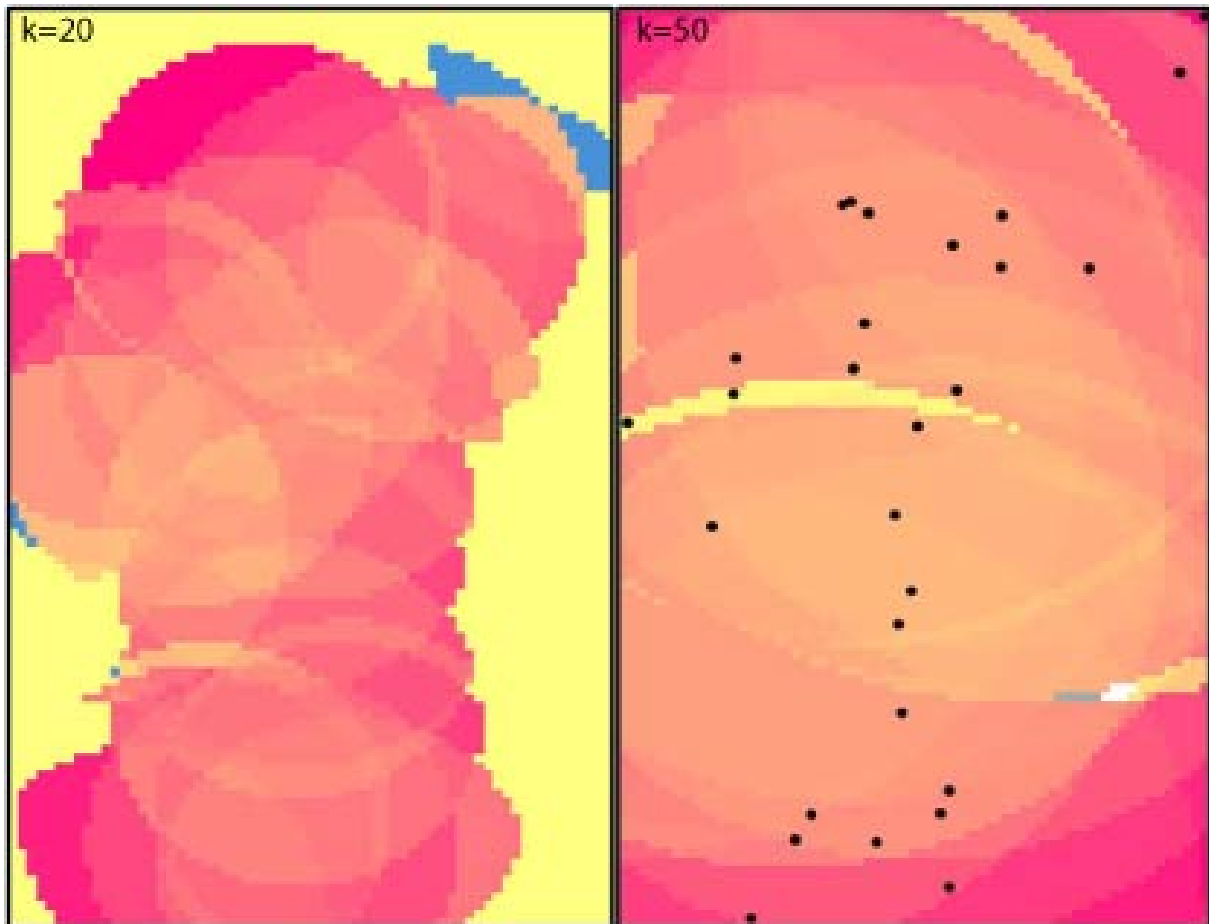


Abb. 11: Slawische Burgen in Ostholstein. G-Funktion mit Gleitfenstertechnik. Es werden zwei Fenstergrößen verwendet.

### 4.3.5 Dichte

Insbesondere dann, wenn wir eine Clusterung in unserem Punktmuster nachgewiesen haben, wollen wir weitere Analysen des Punktmusters durchführen. Oft ist es hierzu nützlich Dichteberechnungen durchzuführen. Damit wird das Punktmuster, bei dem Punkte an bestimmten Stellen vorhanden und anderen nicht vorhanden sind in ein Feld umgewandelt, das für jeden Punkt im Arbeitsgebiet Werte enthält. Das ist eine gute Grundlage für den Vergleich von Punktmustern.

**4.3.5.1 Zählmethode** Zur Dichteberechnung können verschiedene Methoden mit spezifischen Vor- und Nachteilen verwendet werden (Abb. 13). Das einfache Auszählen von Punkten in einem Quadrat ist heute in den meisten Fällen nicht mehr angemessen, da es die relevanten Strukturen nur grob nachzeichnet. Gleitfenstertechniken sind auch hier eine nützliche Verbesserung. Die einfachste Version ist es, in einem groben, überlappenden Raster zu zählen und die Werte in einem feinen, nicht überlappenden Raster darzustellen. Im Grunde verwendet man hierbei eine *Kernel Density Estimation* (KDE, HERZOG 2009) also eine Kerndichteschätzung mit einem rechteckigen Kernel. Statt dieser stufenförmigen Gewichtungsfunktion kann auch eine andere Funktion, etwa eine Normalverteilungsfunktion verwendet werden. Hierdurch werden die scharfen Grenzen des Zählbereiches vermieden und eine glattere Darstellung entsteht. In allen Fällen müssen aber bestimmte Parameter ausgewählt werden. Bei der Normalverteilungsfunktion muss die Standardabweichung verwendet werden, bei einem einfachen Zählraster die Rasterweite und so weiter. Vorteilhaft können auch kompliziertere Kernel-Funktionen sein. So führt ein gestaffelter gaußscher Kernel zu Differenzierungen in niedrigen und hohen Dichtebereich (Abb. 12).

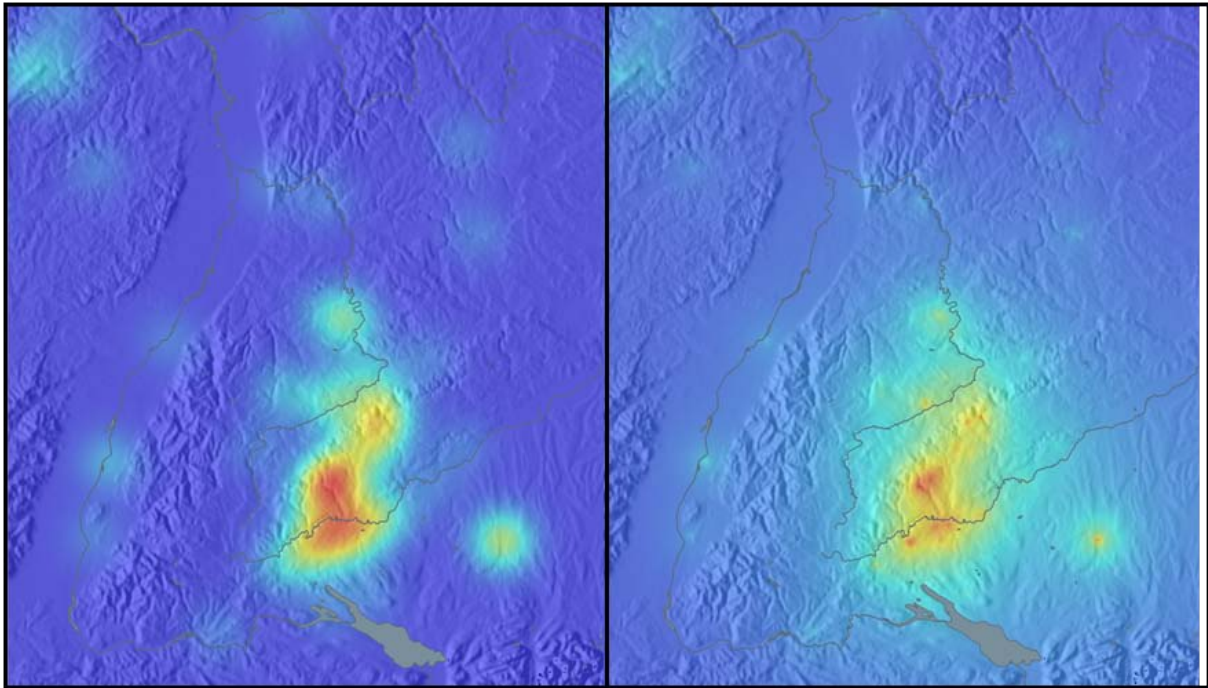


Abb. 12: KDE hallstattzeitlicher Wagen mit einfachem (links) und gestaffeltem gaußschen Kernel (rechts).

**4.3.5.2 Strukturbasierte Methoden** Diesen “Zählmethoden” stehen strukturelle Methoden der Dichteberechnung gegenüber, die in erster Linie auf dem Abstand zwischen den Punkten und ähnlichen Parametern beruhen und damit auf den Nachbarschaftskonzepten aufbauen. Zunächst kann der Abstand zum nächsten Nachbarn als inverser Dichteproxy verwendet werden. Hiermit wird ein Wert für jeden Punkt des Datenbestandes ermittelt. Dazwischen wird interpoliert. Statt dieser Distanz kann auch die Flächengröße der assoziierten Voronoizelle dienen. Beide Ansätze haben den Nachteil, dass sie gewissermaßen über leere Flächen hinweginterpolieren. Dieser Effekt wird vermieden, wenn man die Fläche des größten punktleeren Kreises um die Knoten der Voronoizellen herum verwendet (ZIMMERMANN u. a. 2004).

**4.3.5.3 Methodenvergleich** Sie strukturbasierten Methoden liefern ein sehr detailgetreues Ergebnis. Sie setzen jedoch voraus, dass im Vergleich zum Abstand zwischen den Punkten ein unwesentlicher Messfehler bei der Lokalisation der Punkte vorliegt und dass der Datenbestand weitgehend vollständig ist. Die Ansprüche an die Messgenauigkeit und an die Vollständigkeit sind bei den Zählmethoden weitaus geringer. Zudem schließen die strukturbasierten Methoden grundsätzlich das mehrfache Vorkommen von Punkten an einer Stelle aus. Dieser Nachteil lässt sich allerdings durch Modifikationen beheben.

Innerhalb der jeweiligen Kategorie liefern KDE und Voronoi-Dichte die qualitativsten Ergebnisse und sind damit zu bevorzugen.

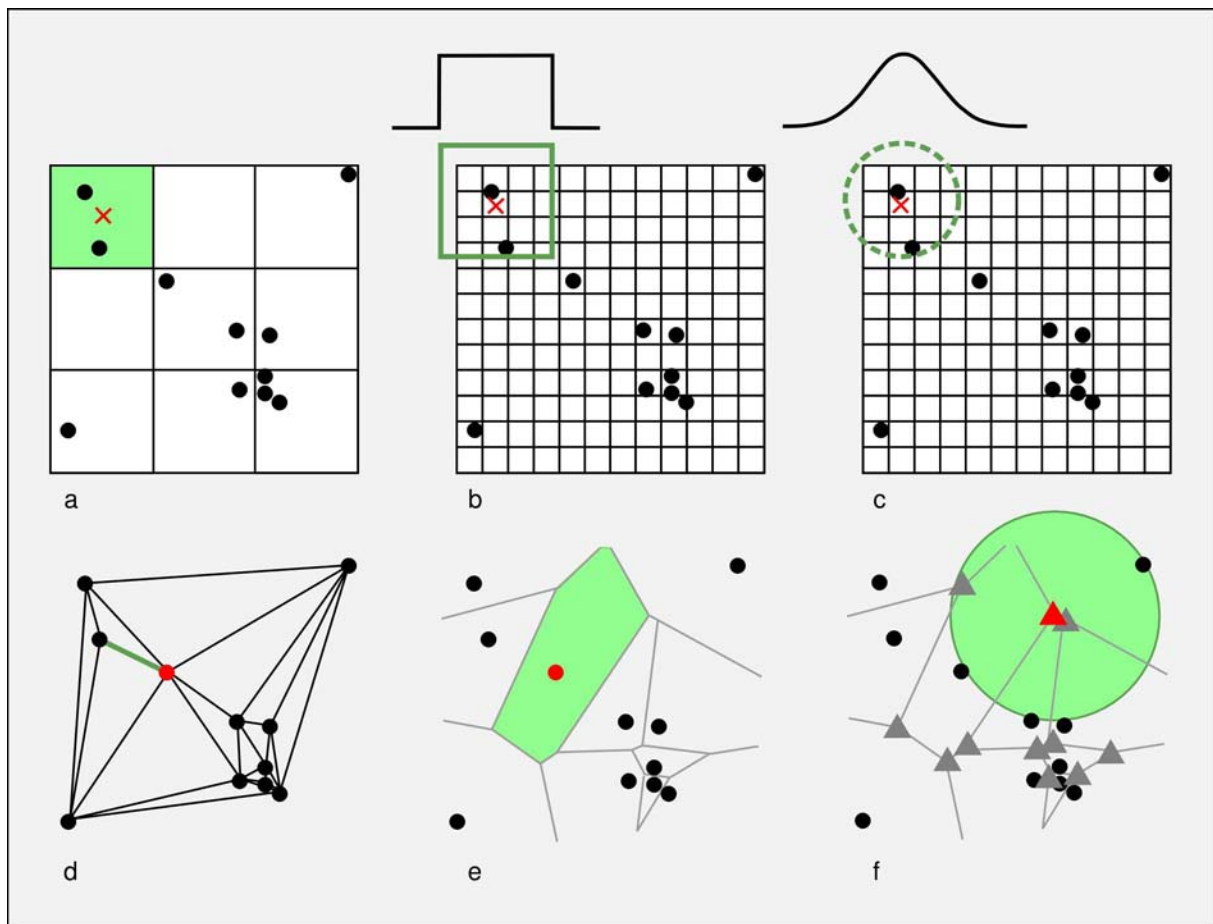


Abb. 13: Schematische Darstellung verschiedener Methoden der Dichteberechnung. a) einfaches Zählraster, b) Kerndichteschätzung mit rechteckigem Kernel, c) Kerndichteschätzung mit gaußschen Kernel, d) Delaunaydichte mit der Distanz zum nächsten Nachbarn, e) Delaunaydichte mit Fläche der assoziierten Voronoizelle, f) Voronoidichte mit der Fläche des größten punktleeren Kreises.

**4.3.5.4 Dichteanomalien** Die erste weiterführende Analyse, die mit den berechneten Dichtekarten durchgeführt werden kann, ist die Ermittlung von Dichteanomalien. Hierzu werden eine ohne Details und eine Karte mit Details miteinander verglichen beziehungsweise voneinander subtrahiert. Als grobe Karte kann in KDE mit großer Standardabweichung dienen. Ein KDE mit kleiner Standardabweichung oder eine Dichtekarte, die mit einer strukturbasierten Methode berechnet wurde stellen die detailreiche Karte dar. Der Vergleich hebt nun die unterschiedlichen Bereiche hervor und zeigt damit die Anomalien, also die Areale mit vom Trend abweichenden Werten an.

#### 4.3.6 Zentralität

Wir verfügen nun über die notwendigen Werkzeuge die Zentralität zu untersuchen. Im Rahmen der Analyse der naturräumlichen Faktoren und der Archäoprognose sind Karten der erwarteten, idealen Siedlungsdichte bei einer Bevölkerungsverteilung entstanden. Diese Karten verwenden wir nun als Referenz verwendet um Anomalien, also zentrale Bereiche zu ermitteln. Im nächsten Schritt die Indikatoren der Interaktionsknoten einer bestimmten Kategorie herangezogen und auf dieser Basis eine Dichtekarten ermittelt. Von diesen Karten werden nun die Karten mit der idealen Bevölkerungsverteilung subtrahiert. Das Ergebnis ist eine Karte der um den Einfluss der Naturraumfaktoren bereinigten Interaktionsknotendichte.

Konzentrationsbereiche zeichnen sich durch Maxima der Anomalienkarte ab. Diese ergibt sich, wenn wir von der überhöhten detailreichen Interaktionsknotendichtekarte die detailarme Interaktionsknotendichtekarte und die theoretische Dichteverteilung subtrahieren.

Diese Analysen sollten für unterschiedliche Typen von Interaktionsknoten separat durchgeführt werden um sich überlagernde Strukturen erkennen zu können. Die erarbeiteten Karten geben eine räumliche Verteilung von Zentralität an. Unter diesem Gesichtspunkt kann es sinnvoll sein, KDE als Standardmethode zu verwenden. Hierbei entstehen grundsätzlich um jeden Punkt, vor allem innerhalb der gewählten Standardabweichung Bereiche höherer Dichtewerte und damit höherer Zentralität. Bei strukturbasierten Methoden ergibt sich, je nach Interpolationsmethode, eine eher gleichförmige Zentralitätsverteilung. Eine Zentralitätskorona um Umfeld der Punkte und besonders im Umfeld der Punktkonzentrationen visualisiert jedoch gut, dass Zentralität gewissermaßen als ein Feld aufgefasst werden kann, dass die Interaktionen beeinflusst und räumliche Unterschiede zeigt.

### 4.3.7 Zentren

Der nächste Schritt in der Analyse besteht in der Lokalisierung und Charakterisierung der Zentren. Zunächst wird geprüft, ob Zentren vorliegen.

**4.3.7.1 Zentrenindikatoren** Der *RUNT-Test* ist ein Multimodalitätstest (HARTIGAN und MOHANTY 1992). Zunächst wird eine Single-Linkage-Clusteranalyse der Koordinaten durchgeführt. Hierbei ergibt sich eine binäre Hierarchie, bei der im Idealfall jeweils zwei etwa gleich große Gruppen fusionieren. Eine Fusion einer großen Gruppe mit einem einzelnen Element sollte nicht vorkommen und weist darauf hin, dass der entsprechende Knoten nicht eine Fusion untergeordneter Gruppen zu einem höheren Niveau, sondern das Anhängen eines Elementes an eine bestehende Gruppe darstellt. In diesem Fall liegen nicht zwei, sondern nur ein Zentrum vor. Die Anzahl der Elemente der kleineren von zwei Gruppen, die in einem Knoten verbunden werden, ist demnach ein Kriterium dafür, wie viele Ballungen eine Struktur enthält. Hierzu wird die Summe aller Elementzahlen der jeweils kleineren Gruppe gebildet. Dieser Wert sollte durch die Anzahl der Elemente geteilt werden, um die Vergleichbarkeit zwischen Strukturen verschiedenen Umfangs herzustellen.

Der nächste Test setzt voraus, dass wir prinzipiell Zentren vorliegen haben und jeden Punkt einem Zentrum zuweisen können. Nachdem wir in einer hierarchischen Clusteranalyse der Koordinaten, ab besten mit der Zentroid-Methode, die Anzahl der Gruppen ermittelt haben, können wir die Güte dieser Cluster prüfen. Für unsere Zwecke bietet sich die Ermittlung der *Kompaktheit* an. Unter Kompaktheit ist der Grad der Homogenität innerhalb eines Clusters zu verstehen. Es gilt:

$$K = \frac{a * d}{b * c} \quad (4)$$

mit

- a** Wurzel der Summe der Quadrate der Standardabweichungen der Beobachtungswerte des fusionierten Clusters
- b** Wurzel der Summe der Quadrate der Standardabweichungen der Beobachtungswerte aller Elemente
- c** Anzahl der Elemente des fusionierten Knotens
- d** Anzahl aller Elemente

Hohe Kompaktheitswerte weisen auf wohl abgegrenzte Gruppen hin, während geringer Werte eher ein Kontinuum anzeigen. Im Fall der Zentralität erwarten wir mittlere Werte, da sehr hohe Werte auf Isolation hindeuten.

**4.3.7.2 Zentren als Dichtemaxima** Aus unsere Interaktionsknotendichtekarten können wir die Zentren der jeweiligen Kategorie als *lokale Dichtemaxima* ableiten. Hierzu ermitteln wir die Punkte, die keine Nachbarn mit höheren Werten aufweisen. Im Randbereichen mit sehr geringer Dichte kann es zu Werteschwankungen kommen, die nicht reale Maxima zeigen. Diese gilt es durch einen Schwellenwert auszuschließen.

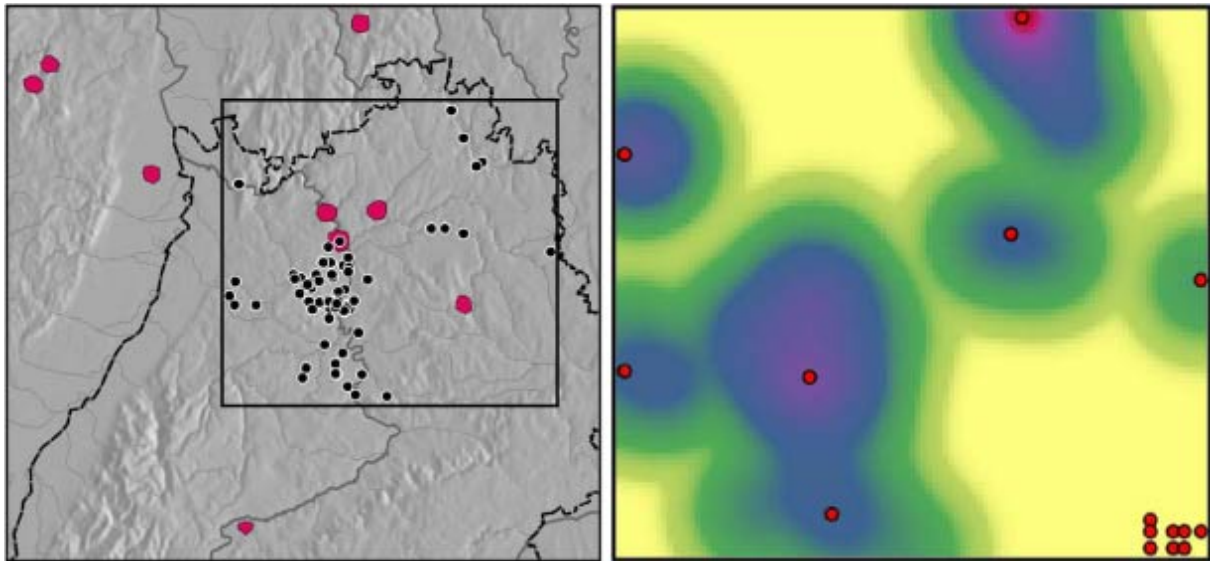


Abb. 14: Briquetagefunde und Solequelen in Südwestdeutschland. Dichte und Dichtemaxima der Briquetagefunde.

Wir können jedoch auch direkt mit den vorliegenden Punktwolken arbeiten. Eine *Dichteclusteranalyse* (HERZOG 2009) liefert uns neben einer Identifikation der Zentren eine Siedlungshierarchie. Hierbei erfolgt die Gruppenbildung durch Anbindung der Fundstellen an jene, die den höchsten Wert der mit der inversen Entfernung bewerteten Punktdichte aufweist.

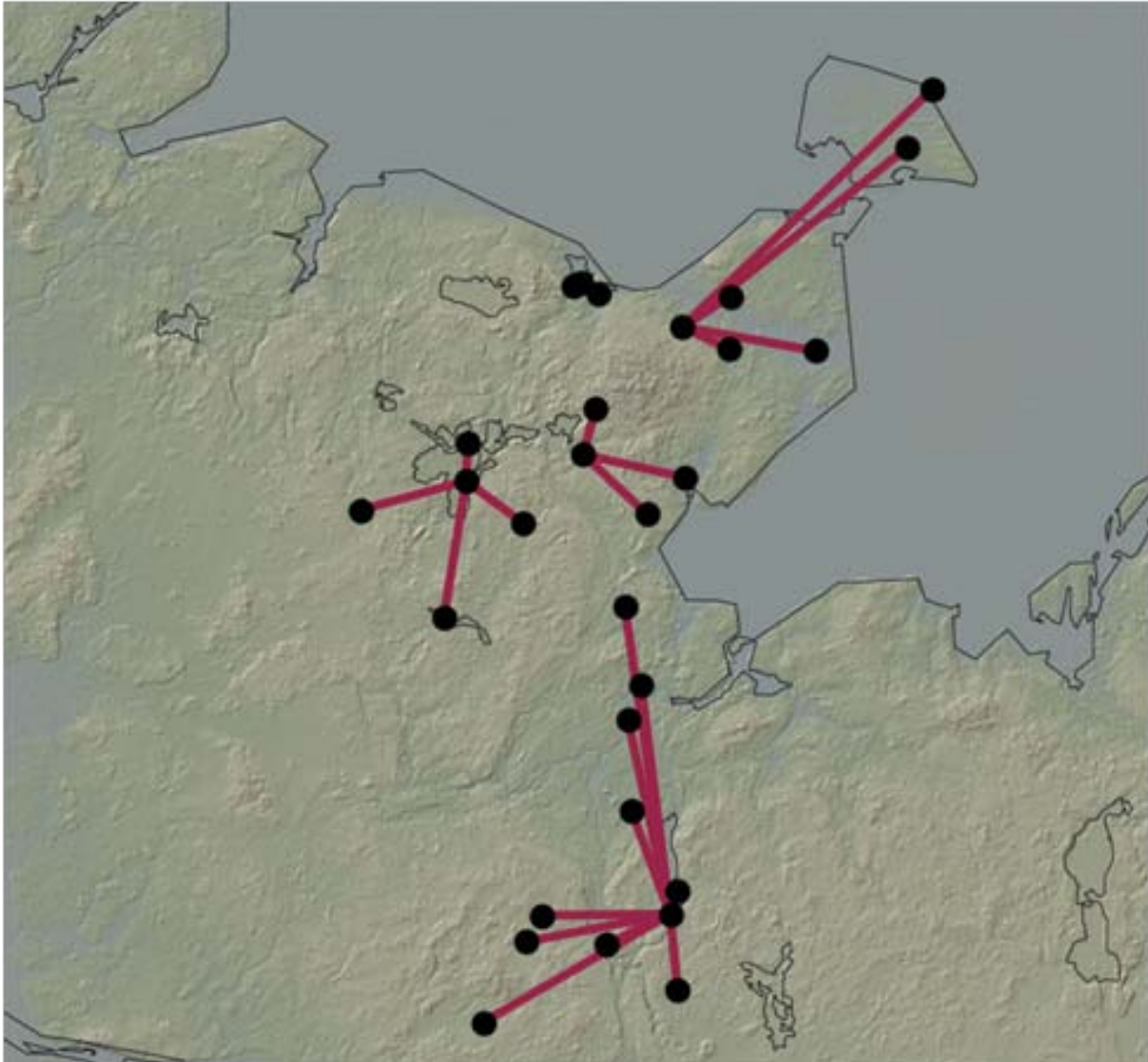


Abb. 15: Dichtecuster der slawischen Burgen in Ostholstein.

Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Die Dichtecusteranalyse kann nur dort Zentren anzeigen, wo Datenpunkte vorhanden sind. Die Ermittlung lokaler Dichtemaxima eines KDE hingegen kann auch an einem nicht belegten Punkt innerhalb eines Ringes ein Dichtemaximum anzeigen. Die Dichtecusteranalyse liefert jedoch gleich eine Hierarchie. Da die Hierarchie aus einem Optimierungsprozess hervorgeht handelt es sich um eine ideale Monohierarchie. Die Dichtecusteranalyse ist somit geeignet reale Dichtezentren und ideale Monohierarchien im Sinne CHRISTALLERS zu ermitteln.

Die Methode der Dichtemaxima geht davon aus, dass Zentren immer in Ballungsgebieten liegen. Zu dieser Annahme zwingt CHRISTALLERS Theorie nicht. Wenn wir diese Prämisse aufgeben wandeln sich die Methoden der empirischen theoretischen Zentrumslokalisierung. Es wird ermittelt, wo ein Zentrum liegen sollte.

**4.3.7.3 Charakteristik unimodaler Zentren** Punktwolken mit einem Zentrum können mit verschiedenen Parametern beschrieben werden. Gegebenenfalls müssen die einzelnen Zentren und die assoziierten Punkte mit einer räumlichen Clusteranalyse oder einer Dichtecusteranalyse zunächst getrennt werden. Der wichtigste Parameter ist zweifellos die Lage des Zentrums. Hierbei lässt sich auf die oben beschriebenen Methoden zurückgreifen. Im weiteren geht es darum die Verteilung der Distanzen aller Punkte zum Zentrum zu untersuchen. Unter einer



Normalverteilungsannahme kann nun die Standardabweichung ermittelt werden. Oft wird man eine Normalverteilung nicht voraussetzen dürfen. Hier ist es notwendig verschiedene Verteilungsfunktionen mit Anpassungstests zu überprüfen. Der Typ der Verteilungsfunktion und die angepassten Parameter können zum Vergleich der Zentren dienen.

#### 4.3.8 Territorien

Territorien sind für die Frage der Zentralität von Bedeutung. Die einzelnen Orte besitzen Interaktionsräume unterschiedlicher Reichweite. Ist die Distanz von großer Bedeutung, so ist der Überlappungsgrad der Interaktionsräume der Orte des gleichen Hierarchieniveaus gering. Im Idealfall, wie er in einem distanzoptimierten christallerschen System zu Ausdruck kommt schließen sich die Interaktionsräume beziehungsweise in CHRISTALLERS Terminologie die Ergänzungsgebiet aus und sie bilden eine Tesselierung. Die entsprechenden Gebiete, also die exklusiven Einzugsbereiche nennen wir Territorien (vgl. NAKOINZ 2009b).

Die Unterscheidung von Idealterritorien und Realterritorien ist essentiell. Erstere sind das Ergebnis einer Optimierung, die für gegebene Zentren eine optimale Grenzziehung angibt. Realterritorien hingegen sind Rekonstruktionen auf der Basis empirischer Daten.

**4.3.8.1 Idealterritorien** Zur Konstruktion von Idealterritorien können verschiedene Parameter optimiert werden. Zu denken ist hier etwa an die Ressourcenverteilung oder das Sichtfeld das für eine Kontrollmaximierung verwendet werden kann. Ebenso können Grenzen an natürlichen Barrieren wie Wasserscheiden (LÖWENBORG 2007) oder Flüssen liegen.

Ein häufig verwendeter Parameter ist die Distanz zum Zentrum. Die Grenze liegt in diesem Falle dort, wo die zwei oder drei benachbarten Zentren in gleicher Zeit erreicht werden können. Im einfachsten Fall lassen sich die Grenzen aus einem Voronoidiagramm (VORONOI 1907; Abb. 16a) ablesen. Das ist möglich, wenn man davon ausgeht, dass das Relief keinen Einfluss auf die Reisegeschwindigkeit hat und lediglich die Distanz relevant ist.

Es ist jedoch auch möglich das Relief zu berücksichtigen (Abb. 16b). Hierzu werden die Punkte gleicher Pfadlänge zu zwei Zentren anhand einer reliefbasierten Kostenoberfläche ermittelt.

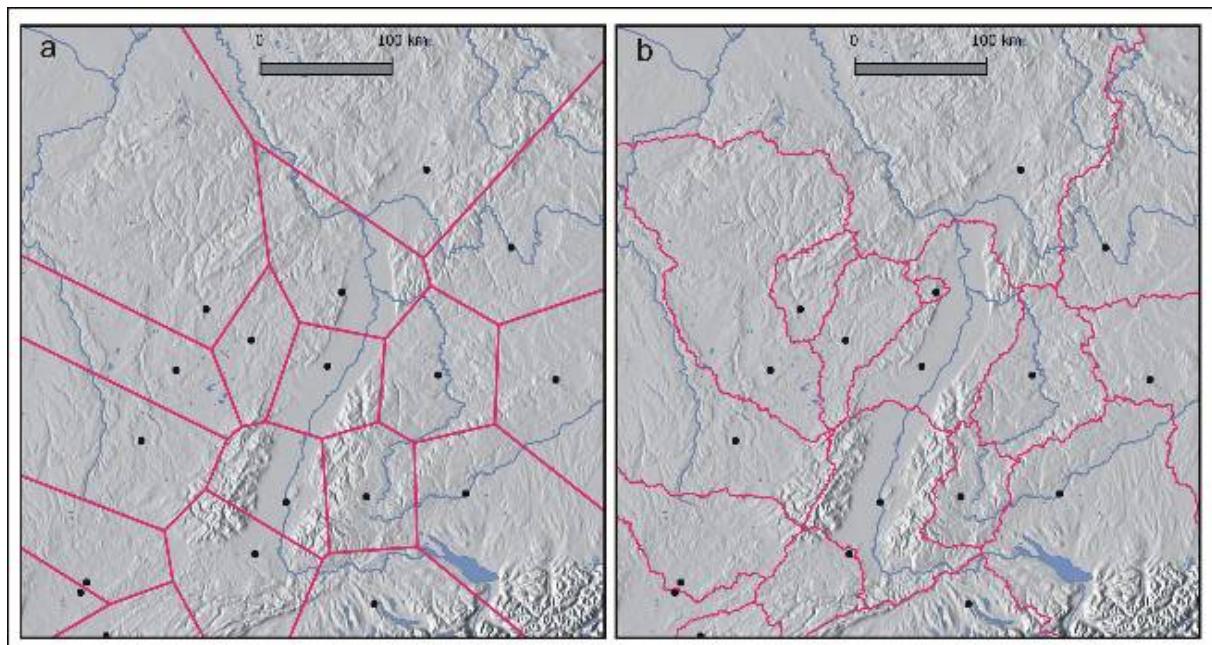


Abb. 16: Voronoidiagramme der ältereisenzeitlichen Fürstensitze (n. Nakoinz 2009##). a) Klassisches Voronoidiagramm; b) Voronoidiagramm unter Berücksichtigung des Reliefs.

Eine weitere Verbesserung ist möglich, wenn man bedenkt, dass nicht alle Orte die gleiche Bedeutung haben und bedeutendere Orte entsprechend größere Territorien haben sollten. Die Methode der gewichteten Voronoidiagramme berücksichtigt das (OKABE u. a. 2000). FETTER (1924) entwickelte diesen Ansatz für Marktareale. In die Archäologie ist sie als X-tent-Modell eingeführt worden (RENFREW u. LEVEL 1979). Als Gewichtungsfaktoren können beispielsweise die Siedlungsgröße (RENFREW u. LEVEL 1979) oder der maximale soziale Rang, der am Ort vertreten ist (STEFFEN i. V.) verwendet werden. Anhand der Anzahl von reichen Gräbern als Gewichtungsfaktor sind die Probleme der Methode aufgezeigt worden (NAKOINZ 2009b; 2010). Neben der Wahl ungeeigneter Gewichtungsfaktoren ist vor allem die Bestimmung weiterer Parameter wie der Distanzgewichtung oder eines Distanzschwellenwertes problematisch. Lassen sich diese Probleme lösen und der Ansatz der gewichteten Voronoidiagramme um eine Reliefberücksichtigung ergänzen wird ein wertvolles Modellierungswerkzeug vorliegen.

Als eine verallgemeinerte Version gewichteter Voronoi-Polygone lässt sich die unten stehende Formel (5) verwenden. Bezeichnen wir den Einfluss der von einem Ort ausgeht als  $\Phi$ . An den Punkten, an denen dieser Wert für zwei oder drei Punkte gleich ist, liegt eine Grenze. Des weiteren unterscheiden wir zwischen statischen Gewichten, die für alle Referenzpunkte gelten und dynamischen Gewichten, die referenzpunktspezifisch sind. Additive Gewichte sind im Gegensatz zu multiplikativen Gewichten distanzunabhängig. Ersteres kann man als Anziehungskraft des Zentralortes und letzteres als Transportrate bezeichnen. Statt der einfachen Distanz wird eine Funktion  $\psi$  eingeführt, welche die euklidische Distanz zwischen den Punkten manipuliert.

$$\Phi = \alpha_s (t_\alpha \alpha_d + |t_\alpha - 1|) - \gamma_s (t_\gamma \gamma_d + |t_\gamma - 1|) \psi \left( \sqrt{(x_z - x_p)^2 + (y_z - y_p)^2} \right) \quad (5)$$

$\alpha_s$  ist das statische additive Gewicht.

$\alpha_d$  ist das dynamische additive Gewicht, das für jeden Referenzpunkt unterschiedlich sein kann.

$\gamma_s$  ist das statische multiplikative Gewicht.

$\gamma_d$  ist das dynamische multiplikative Gewicht, das für jeden Referenzpunkt unterschiedlich sein kann.

$t_\alpha$  ist die Kennzeichnung, ob ein dynamisches additives Gewicht verwendet werden soll. Wenn  $t = 1$  ist, ist das der Fall, wenn  $t = 0$  ist, wird lediglich das statische Gewicht verwendet.

$t_\gamma$  ist die Kennzeichnung, ob ein dynamisches multiplikatives Gewicht verwendet werden soll. Wenn  $t = 1$  ist, ist das der Fall, wenn  $t = 0$  ist, wird lediglich das statische Gewicht verwendet.

$\psi$  ist eine Funktion, welche die euklidische Distanz zwischen zwei Punkten manipuliert. Es kann sich hierbei um eine Funktion handeln, durch die die reliefabhängigen Transportkosten berücksichtigt werden, oder um eine Funktion, die eine Verzerrung der Distanzen bewirkt. So kann es sinnvoll sein, eine Kosinusfunktion oder eine an der Normalverteilungskurve orientierte Funktion zu verwenden, um einen geringen Distanzeinfluss im unmittelbaren Umfeld eines Zentralortes und in großer Entfernung zu diesem zum Ausdruck zu bringen. Soll die euklidische Funktion verwendet werden, ist die Funktion  $\psi(\delta) = \delta$ .

$x_z$  ist der geographische Rechtswert des Referenzpunktes.

$y_z$  ist der geographische Hochwert des Referenzpunktes.

$x_p$  ist der geographische Rechtswert des Punktes, auf den Einfluss ausgeübt wird.

$y_p$  ist der geographische Hochwert des Punktes, auf den Einfluss ausgeübt wird.

Das additive Gewicht stellt eine entfernungsunabhängige Gewichtung dar. Es gibt gewissermaßen die Attraktivität eines Zentralortes an. Das multiplikative Gewicht hingegen ist entfernungsabhängig und wird in der Regel als Transportrate interpretiert. Diese grundsätzliche Unterscheidung ermöglicht, in Verbindung mit  $\psi$  und den verschiedenen Möglichkeiten, die Gewichte mit konkreten Inhalten zu belegen, die Konstruktion zahlreicher unterschiedlicher Einflussmodelle. Im Folgenden sollen lediglich zwei Modelle kurz vorgestellt werden.

**4.3.8.2 Realterritorien** Die Ermittlung von Realterritorien geht von empirischen Daten aus. Zunächst sind grenzindizierende Monumente also Territorialmarker zu nennen. Hierbei handelt es sich um Grenzsteine oder um Grenzbefestigungen wie Landwehren. Gelegentlich werden auch Megalithgräber und Grabhügel als Grenzindikatoren diskutiert.

Territorien lassen sich jedoch auch aus anderen Daten ableiten. Zunächst ist an die Siedlungsstruktur zu denken. Gehen wir davon aus, dass die Zentren mit einer überdurchschnittlichen Siedlungsdichte umgeben sind und die Territorien durch niedrige Siedlungsdichten getrennt sind, dann ergeben sich verschiedene Methoden. Die Ödmarken, also die Gebiete geringer Siedlungsdichte oder siedlungsleeren Gebiete können als Grenzbereiche kartiert werden (JANKUHN 1961). Es können aber auch Isolinien in einer Karte der Siedlungsdichte als Grenzlinien ausgewählt werden oder die Gebiete mit einem hohen Siedlungsdichtegradienten als Grenzregionen interpretiert werden. Diese Methoden werden im Zusammenhang kultureller Leitformen graphisch dargestellt (Abb. 17). Weiterhin ist es möglich eine die Siedlungen, die einem Territorium angehören durch eine Clusteranalyse der geographischen Koordinaten oder eine Dichteclusteranalyse zu ermitteln und mit einer konvexen Hülle zu umgeben. Konzeptuell korrespondieren die beiden Methoden mit jenen der Dichteberechnung. Die Dichteclusteranalyse und die KDE-Dichteberechnung basieren auf der Anzahl der Punkte je Fläche. Die Clusteranalyse der geographischen Koordinaten und die strukturbasierten Dichteberechnungsmethoden verwenden den Punktabstand. Damit können sie die detailreicheren Ergebnisse liefern, sind aber auch fehleranfälliger.

Die Dichte- und Clusteranalysen können auch mit anderen Fundstellen als Siedlungen durchgeführt werden. Gehen alle semantischen Landschaftselemente in die Analyse ein, so kann sich die Ausdehnung einer Siedlungskammer um die Kernsiedlung herum ergeben. Das ist dann möglich, wenn in den Grenzbereichen Dichteminima liegen und diese nicht durch zahlreiche Grenzmonumente markiert sind. Wir können auch erwägen, ob Sichtbarrieren als Grenzbereiche günstig sind. In diesem Fall führen wir eine Sichtclusteranalyse durch, bei der statt der Distanz zwischen den Punkten ihre gegenseitige Sichtbarkeit verwendet wird. Auf der Basis dieser Pseudodistanzmatrix findet dann die Fusionierung statt.

Funde deren Herkunft bekannt ist und die nicht vom Fundort stammen, können dann helfen, wenn es gute Gründe gibt anzunehmen, dass es sich nicht um Importe, sondern um steuerähnliche Abgaben handelt (BIEL 1985; EGGERT 2007). Eine konvexe Hülle um die Herkunftsgebiete kann das Territorium andeuten.

Gehen wir von dem Gedanken aus, dass innerhalb von Territorien eine erhöhte Interaktion herrscht, was nach den Vorüberlegungen zur Zentralität sehr plausibel ist, und dass Interaktion zu einem allmählichen kulturellen Angleich führt, dass kann auch von Kulturräumen auf Territorien geschlossen werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Kulturräume mit den Zentralorten korrespondieren. Kulturelle Leitformen kann man verwenden, wenn ihre Signifikanz zuvor ermittelt wurde. Die Methoden der konvexen Hülle, eines räumlichen Puffers, des Dichtegradienten, der Dichteisolinie und der Isolie des Dichteverhältnisses lassen sich dann einsetzen (Abb. 17).

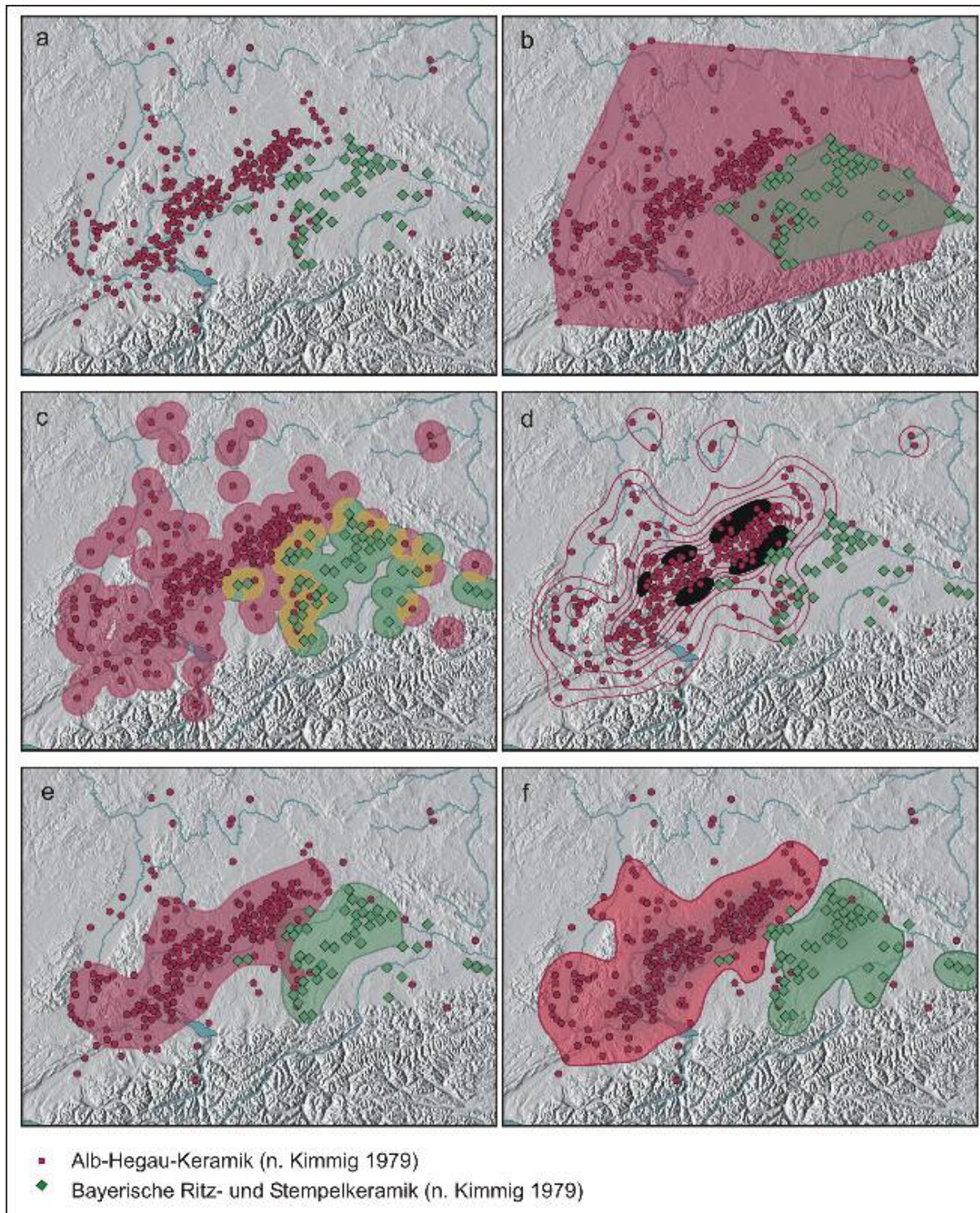


Abb. 17: Ermittlung von Territorien auf der Basis kultureller Leitformen (n. Nakoinz 2009b). a) Punktverteilung zweier Typen; b) konvexe Hülle; c) Puffer; d) Dichtegradien; e) Dichteisolines; f) Isolines des Verhältnisses.

Oft ist die Signifikanz der mutmaßlichen kulturellen Leitformen nicht erwiesen. In diesem Fall muss man eine wesentlich breitere Materialbasis verwenden (NAKOINZ 2005; 2009a; 2010). Statt kultureller Leitformen werden Typenspektren aus mehreren oder allen Fundtypen verwendet. Nun gilt es die Gebiete zu ermitteln, die sich durch gleichartige Typenspektren als ähnlich erweisen. Die Typenspektren werden für scharf oder unscharf abgegrenzte Gebiete, sogenannte räumliche Analyseeinheiten ermittelt. Die Anzahl der Funde muß hinreichend groß sein um

ein zuverlässiges Ergebnis zu Erhalten. Die Typenspektren der räumlichen Analyseeinheiten werden in einer Clusteranalyse ausgewertet und die Ergebnisse validiert. Zeigen die kulturellen Räume nun eine Korrelation mit den Zentralorten, so kann angenommen werden, dass sie die Territorien abbilden.

Wenn dieser Zusammenhang, der empirisch überprüft werden muss erwiesen ist, dann kann der Grenzverlauf näher bestimmt werden. Die Typenspektren erlauben es, die kulturelle Distanz zwischen zwei räumlichen Analyseeinheiten zu ermitteln. Werden nun für jeden Punkt im Raum beziehungsweise für jede räumliche Analyseeinheit die kulturellen Distanzen zu den Typenspektren, die den Zentren zugeordnet sind ermittelt, dann lässt sich für jeden Zentralort eine Isoliniendarstellung der kulturellen Distanzen also gewissermaßen ein Kulturgebirge darstellen. Bei Gleichsetzung der Wert kann - ähnlich wie bei den Voronoi-Polygonen - der Grenzverlauf ermittelt werden.

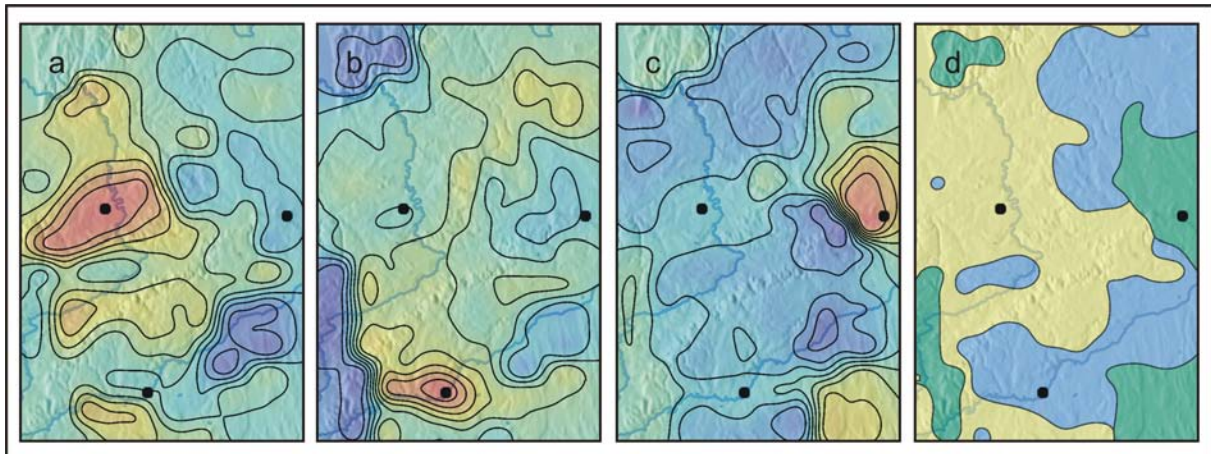


Abb. 18: Ermittlung von Territorien auf der Basis kultureller Distanzen (n. Nakoinz 2009b, Testanalyse mit vorläufigen Daten). a) Isolines der kulturellen Distanzen zum Hohen Asperg; b) Isolines der kulturellen Distanzen zur Heuneburg; c) Isolines der kulturellen Distanzen zum Ipf d) Territorialdarstellung.

Ein etwas anderer Ansatz, der verschiedene Konzepte zu verbinden versucht, ist die Constrained Cluster Analyse. Hier werden Fusionsbedingungen eingeführt. So kann eine Clusteranalyse der geographischen Koordinaten eine maximale kulturelle Distanz als Bedingung enthalten. Nützlicher scheint hingegen der umgekehrte Weg, also eine Clusteranalyse der Typenspektren mit der Bedingung einer maximalen räumlichen Distanz auszustatten. Beide Methoden ermöglichen durch die Kombination von Einflussfaktoren realistischere Ergebnisse, berauben uns aber auch wichtiger externer Validierungsmöglichkeiten.

Gehen wir davon aus, dass die Territorien ethnischen Einheiten zugeordnet sind, dann können uns ethnische Marker helfen. Ein entsprechender Ansatz wurde von SIEGMUND (2000) entwickelt und auf die Abgrenzung von Franken und Alemannen angewandt. Er geht davon aus, dass die ethnischen Marker an ihrer Verteilung erkannt werden können, da sie in Grenzbereichen gehäuft vorkommen und damit prinzipiell eine polygonale Linie um das Kerngebiet der analysierten Ethnie ausbilden müssten. Hierbei setzt SIEGMUND also einen hermeneutischen Zirkelschluss ein. Auf dem unpräzisen Vorwissen um die Lage der ethnischen Territorien werden Indikatoren abgeleitet, die eine genaue Grenzziehung erlauben.

**4.3.8.3 Territoriale Kenngrößen** Kennen wir die Ausdehnung der Territorien, so können wir territoriale Kenngrößen ermitteln, die besonders für den Vergleich sehr nützlich sind. Zunächst ist die Fläche zu nennen. Dieser Wert lässt sich nach verschiedenen weiteren Parametern differenzieren. So kann ein Flächenspektrum angegeben werden, das beispielsweise nach der Hangneigung, der Höhe oder dem Bodentyp differenziert ist. Einbezogen werden sollten aber auch Ackerbauflächen und die Verteilung anderer Nutzflächen. Neben der Ermittlung der Flächenspektren können für die territorialen Teilflächen also die klassifizierten Flächenspektren oder Patches nach land-

schaftsökologischer Terminologie, Maßzahlen der raumstrukturellen Landschaftsanalyse ermittelt werden (LANG u. BLASCHKE 2007). Die Hauptkategorien sind:

- Heterogenität (number of patches, patch density, contagion)
- Flächenanalyse (area, class area, mean patch size, patch size standard deviation)
- Kernflächenanalyse (total core area, number of core areas, core area index, cority)
- Randlinienanalyse (total edge, edge density, mean patch edge)
- Formanalyse (mean shape index, mean perimeter-area ratio, mean fractal dimension)
- Nachbarschaftsanalyse (nearest neighbor distance, proximity index)
- Gamma Diversität (proportion, richness, diversity, dominance, evenness)
- Zerschneidung (coherence, subdivision, effective mesh width, splitting index)

Zudem können punktuelle Informationen erhoben werden. Die Anzahl der Siedlungen, Rohstoffquellen und zahlreicher weiterer Angaben in einem Territorium sind hier zu nennen. Es ist mitunter sinnvoll diese Werte in Beziehung zur Territorialfläche zu setzen, so dass neben den absoluten Werten die jeweilige Dichte steht.

#### 4.3.9 Hierarchie

**4.3.9.1 Hierarchieindikatoren** Eine wichtige Frage ist, ob Hierarchien vorliegen. Die Klärung dieser Frage erlaubt das erste Klassifikationsniveau der Netzwerkklassifikation zu bestimmen. Wichtig ist es, dass wir die Siedlungen anhand eines gegebenen Parameters in eine Rangordnung bringen können. Die Siedlungsgröße bietet sich hier an, es können aber auch Proxys, wie die Anzahl von Grabhügeln für diesen Wert verwendet werden oder es kann versucht werden die Bedeutung der Siedlungen in anderer Weise zu messen. Hierarchien besitzen eine gewisse Selbstähnlichkeit. Auf jedem Niveau sind mehrere untergeordnete Siedlungen einer übergeordneten zugeordnet. Daraus ergibt sich eine besondere Verteilung der Siedlungsgrößen, die im Fall diskreter Variablen der Zipf-Verteilung und bei stetigen Variablen der Pareto-Verteilung entspricht (ARLINGHAUS 1985; HENNIG u. LUCIANU 2000; ZIPF 1949). In einer Rang-Größen-Graphik folgen die beobachteten Werte etwa einer Hyperbel. Die Abweichungen von dieser Hyperbel lassen sich besser beurteilen, wenn man eine doppellogarithmische Darstellung verwendet, in der diese als Gerade erscheint. Betrachten wir das Beispiel einer diskreten Variablen, wie der Anzahl von Grabhügeln. Die Formel von Zipf lautet:

$$f(x) = k * x^{-\frac{1}{a}} \quad (6)$$

MANDELBROT (1953, 491) erweiterte diese Formel um eine bessere Anpassung an die extremen Ränge vorzunehmen, bei der die doppellogarithmische Darstellung von der Geradenform abweicht, wenn der Korrekturwert  $c$  ungleich 0 ist:

$$f(x) = k * (x + c)^{-\frac{1}{a}} \quad (7)$$

MANDELBROT bringt derartige Verteilungen mit Selbstähnlichkeit in Zusammenhang. ARLINGHAUS (1985) konnte nachweisen, dass geographische Strukturen, die CHRISTALLERS Zentralortmodell folgen, fraktale Eigenschaften besitzen, also selbstähnlich sind. Die Größenverteilung von Städten, die dem Zipf-Gesetz folgen, sind vielfach beobachtet worden (FUJITA, KRUGMAN u. VENABLES 1999, 215-225; HAGGETT 2001, 441-446).

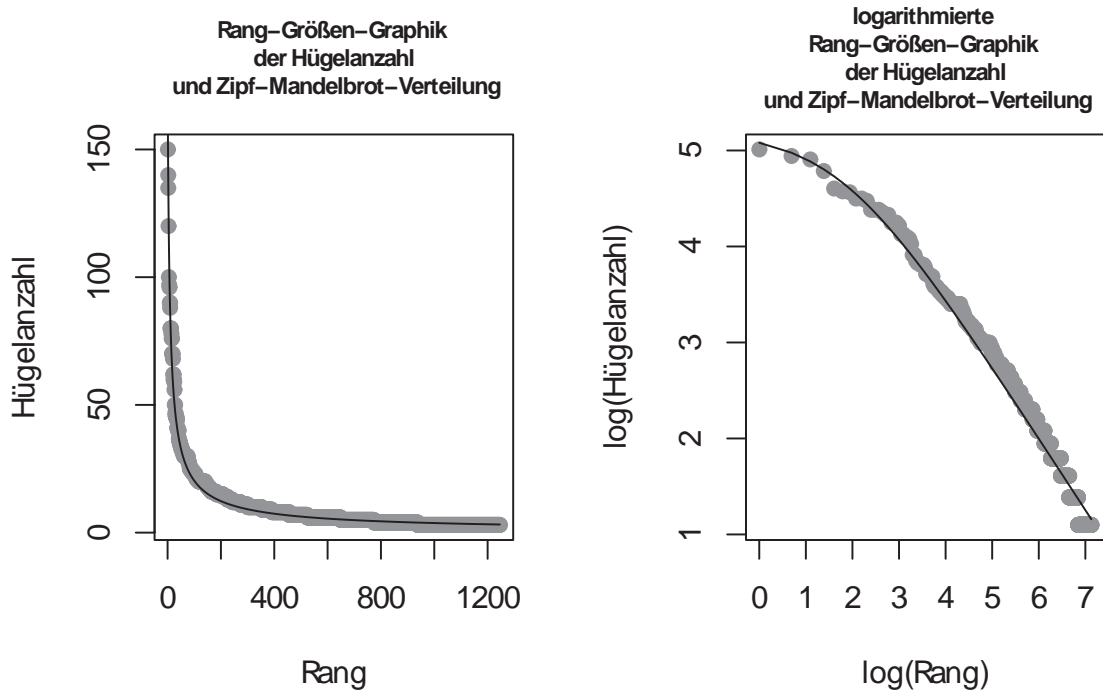


Abb. 19: Rang-Größen-Graphik der Hügelanzahl je Gräberfeld und Zipf-Mandelbrot-Verteilung (n. NAKOINZ 2010 Abb. 3.13).

Die Rang-Größen-Analyse ermöglicht weitreichendere Schlüsse (HAGGETT 2001, 445-451). Ausgehend von Überlegungen SIMONS (1955), der annimmt, dass die Rang-Größen-Regel einen stabilisierenden Faktor in Wachstumsprozessen darstellt, können Abweichungen interpretiert werden. Weist die doppellogarithmische Rang-Größen-Kurve im Bereich der ersten Ränge ein steileres Segment auf, so wird angenommen, dass wenige starke Kräfte oder äußere Einflüsse wirken (vgl. BERRY u. GARRISON 1958C). Ist der entsprechende Kurvenabschnitt hingegen flach, so entspricht er der Mandelbroterweiterung der Zipf-Kurve.

Während SIMONS (1955) Herleitung der Zipf-Verteilung aus stochastischen Prozessen und ihre Interpretation als natürliche Verteilung von Wachstumsprozessen für die Interpretation von Siedlungsgrößen ein größeres Erklärungspotential zu bieten scheint als das Konzept MANDELBROTS (1953), das von einer Maximierung von Information im Sinne SHANNONS ausgeht, spannt MANDELBROTS (1997; 2009) Identifikation des Exponenten in der Zipf-Mandelbrot-Verteilung als fraktale Dimension einen weitaus größeren Interpretationsrahmen auf. Die Untersuchung von Selbstähnlichkeit in Siedlungsstrukturen dürfte einen weitaus tieferen Einblick in die Prozesse der Ausbildung dieser Strukturen ermöglichen als der reine Vergleich von Siedlungsmustern (vgl. BROWN u. WITSCHHEY 2003).

Eine Vergleich der empirischen Verteilung mit der Zipf- oder der Pareto-Verteilung liefert uns Hinweise auf Hierarchien. Hierbei wurde die räumliche Verteilung allerdings nicht berücksichtigt. Eine Verteilung der Siedlungsgrößen von Süd nach Nord entsprechend der Rangfolge bei einer Berücksichtigung der gewünschten Verteilung würde ein positives Testergebnis liefern, hätte aber nichts mit einer räumlichen Hierarchie zu tun. Im christallerschen System sind die großen Siedlungen von kleinen Siedlungen umgeben. Eine entsprechende Ordnung liefert uns hinweise zur Klassifikationsebene 3 der Netzwerktaxonomie. Liegt ein Siedlungsmuster vor, dass nach CHRISTALLERS Gesichtspunkten geordnet wurde, dann weist das auf ein distanzbasiertes Ordnungssystem hin. Ein Indikator hierfür kann ein Test auf Autokorrelation, wie der Morans-I-Test (MÜLLER-SCHEESSEL 2007; TIEFELSDORF 2000) sein. Hohe Werte weisen auf eine große Ähnlichkeit, der Nachbarn hin. Kleine Werte hingegen deuten auf große

Unterschiede zwischen benachbarten Fundstellen hin. Letztere weisen somit auf distanzbasierte Netzwerke hin. MÜLLER-SCHEESSEL (2007, 63-64) führt an, dass der globale Morans-I-Wert für große Gebiete kein geeigneter Parameter ist, da er lokale Unterschiede verdeckt. Der lokale Morans-I-Wert, der für jede Fundstelle berechnet wird, scheint ihm weitaus geeigneter zu sein. Wir können auf die oben angesprochenen Gleitfenstertechniken zurückgreifen und entsprechende flächige Kartierungen erstellen.

Der *RUNT-Test* (HARTIGAN und MOHANTY 1992) wurde schon besprochen und kann uns auch hier helfen, da hierarchische Strukturen im Sinne Christallers multimodal sind. Hierbei setzen wir allerdings die Kenntnis der Hierarchie voraus und prüfen vor allem, ob es sich um eine Hierarchie mit den entsprechenden Eigenschaften handelt. Das Ergebnis kann bei der Unterscheidung von Knoten- und Kantenhierarchien nützlich sein.

**4.3.9.2 Hierarchierekonstruktion** Wissen wir, dass eine Hierarchie vorliegt können wir versuchen sie zu rekonstruieren. Hier können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen.

Besonders bei einer dünnen Datengrundlage kann eine prädefinierte Hierarchie ein sinnvolles Vergleichswerkzeug sein. Hierbei werden den einzelnen Hierarchieniveaus archäologische Fundtypen zugewiesen (FABECH u. RINGTVED 1995). Das ist dann sinnvoll, wenn wir die Hierarchie aus einem Siedlungsgrößenproxy wie der Anzahl von Grabhügeln erschlossen haben, aber nur wenige Hinweise zu Siedlungen vorliegen. Anhand von Oberflächenfunden und einer prädefinierten Klassifikation kann in diesem Fall eine Rangfolge konstruieren und die Siedlungsstruktur näher untersuchen.

Da eine Hierarchie aus einer Rang- und Zuordnung besteht bleibt uns in diesem Beispiel noch die Zuordnung zu ermitteln. Nur wenn wir wissen, dass ein distanzbasiertes Netzwerk vorliegt können wir eine distanzbasierte Zuordnung vornehmen. Ist das nicht der Fall, so kann die Zuordnung statt der räumlichen die kulturelle Distanz verwenden. Dieser Ansatz ist sehr wichtig um "nicht räumliche" Hierarchien zu beurteilen.

Die Dichtecusteranalyse, die oben besprochen wurde, ist eine Methode, eine distanzbasierte Hierarchie ohne prädefinierte Klassen zu konstruieren.

## **4.4 Methoden zur Untersuchung von Interaktionskanten**

Bisher haben wir die Enden der Interaktionsverbindungen, die Interaktionsknoten betrachtet. Hier geht es nun um die Interaktionen selbst. Während einige Informationen aus einzelnen Interaktionsknoten abgeleitet werden können, die damit auch redundant zu jener des Kapitels Interaktionsknoten sind, benötigen wir hier grundsätzlich relationale Informationen, also Informationen die beide Interaktionsknoten einer Interaktion betreffen. Diese Informationen liegen weitaus seltener vor. In diesem Kapitel liegt der Fokus auf der Untersuchung einzelner oder mehrerer Kanten. Ganzen Netzwerke werden im nächsten Kapitel besprochen.

### **4.4.1 Klassifikation**

Details zur Klassifikation sind im entsprechenden Kapitel zu finden. Aus den Interaktionsknoten können die Klassifikationen nach dem Interaktionszweck

1. Information
2. Güter
3. Soziale Sachverhalte
4. Gemeinsame Aktivitäten



## 5. Physische Manipulation

und den zentralen Funktionen

1. Handel
2. Herrschaft
3. Schutz
4. Produktion und Rohstoffgewinnung
5. Kult

abgeleitet werden. Die Klassifikation des Interaktionstyps erfordert schon weitere Informationen. Neben der Symmetrie

1. Asymmetrische Interaktion.
2. Symmetrische Interaktion.

sind die Intention,

1. Erwünscht Interaktion
2. Unerwünscht Interaktion

die Transportformen und

1. Kommunikation.
2. Personentransport.
3. Warentransport.

und die Organisation

1. Individuelle Interaktion.
2. Gebündelte Interaktion.

zu nennen.

### **4.4.2 Interaktionsintensität**

Interaktionsintensität ist ein Maß dafür, wie wirkungsvoll der Austausch ist. Das können wir grundsätzlich in der Zeitdauer des Interagierens, der Menge der ausgetauschten Informationen oder Güter oder auch des zeremoniellen Aufwandes der jeweiligen Interaktion messen. Diese Informationen stehen uns allerdings selten zur Verfügung.

### 4.4.3 Interaktionsdichte

Interaktionsdichte unterscheidet sich von der Interaktionsknotendichte ebenso wie von der Interaktionsintensität. Hier betrachten wir nicht die Intensität der einzelnen atomaren Interaktion, sondern der Interaktionen zwischen zwei Partnern oder zwischen zwei Orten. Das Maß der Interaktionsdichte die Anzahl der Interaktionen je Partnerkombination. Es geht also auch nicht um die Dichte der Interaktionsknoten, da hier beide Partner berücksichtigt werden. Verkehrsachsen beispielsweise sind ein deutlicher Indikator für hohe Interaktionsdichten. Auch das Auftreten zahlreicher Fremdfunde gleicher Herkunft zeigen hohe Interaktionsdichten an.

### 4.4.4 Streckenlänge

Die Streckenlänge der Interaktionskanten bedarf kaum der Erklärung. Da in diesem Kapitel nur Interaktionen mit bekannten Endpunkten betrachtet werden, ist lediglich das Distanzmaß zu klären. Neben der Distanz im euklidischen Raum kann die tatsächliche Pfadlänge betrachtet werden oder es können Wegekosten verwendet werden.

### 4.4.5 Kantenhierarchie

Die Interaktionsintensität, die Interaktionsdichte und die Streckenlänge stellen mindestens ordinale Variablen dar. Damit ist die Möglichkeit einer Rangordnung der Interaktionskanten gegeben. Mit diese Werten sollten auch der Rang-Größen-Regel folgen und damit eine Zipf- bzw. Pareto-Verteilung aufweisen. Die entsprechenden Methoden wurden oben beschrieben.

Anders als bei den Ortshierarchien ist bei den Kantenhierarchien die Zuordnung bereits gegeben, da wir nur für die Kanten eine Einordnung in die Rangfolge besitzen, für die wir auch beide Interaktionsknoten kennen. Hier gilt es nun zu prüfen, ob es sich tatsächlich um eine Hierarchie im engeren Sinne handelt oder ob eine zufällige räumliche Verteilung der Ränge vorliegt. Diese Betrachtung betrifft die Interaktionsintensität und -dichte. Hierzu wird jede Verbindung zwischen zwei Orten durch den höchsten Rang der dort lokalisierten Interaktion repräsentiert. Nun zählen wir die Kanten, die günstige Eigenschaften besitzen und vergleichen den Wert mit der Gesamtzahl der Kanten und mit der Zahl der günstigen Kanten, die sich bei einer zufälligen Verteilung ergibt. Günstige Kanten sind jene, die sich zwanglos in eine Monohierarchie integrieren lassen. Sie weisen Verbindungen zu einen höheren und einem niedrigeren Rang auf. Ungünstig sind hingegen jede, die zu zwei höheren oder zwei niedrigeren Rängen verbunden sind. Als weitere Restriktion kann eingeführt werden, dass die Rangunterschiede günstiger Kanten einen bestimmten Schwellenwert nicht überschreiten.

## 4.5 Methoden zur Untersuchung von Interaktionsnetzen

Die Analyse von Interaktionsnetzwerken ist im Vergleich zur Untersuchung der Knoten und Kanten am anspruchsvollsten. Das betrifft sowohl die Datengrundlage wie auch die Methoden.

### 4.5.1 Konstruktion und Rekonstruktion von Netzen

Auch hier ist es essentiell zwischen der Konstruktion idealer Netzwerke und der Rekonstruktion realer Netzwerke zu unterscheiden. Bei der Konstruktion von Netzwerken sehen wir die Orte als gegeben an. Das Optimierungsproblem besteht darin, die Verbindungen so anzulegen, das ein bestimmter Parameter optimiert wird. Dieser Parameter sind die Distanz beziehungsweise die Wegekosten. Hiermit ist der Optimierungsprozess allerdings noch nicht hinreichend beschrieben, wie BUNGE (1962 n. HAGGETT u. CHORLEY 1969, 115) zeigen konnte. Zunächst können wir das Netzwerk entsprechend des Standpunktes des Straßenbauers, der eine möglichst gering Gesamtpfadlänge

wünscht entwickeln. Hierbei entsteht ein Baum, also ein azyklischer Graph, in kein Punkt auf zwei Wegen erreicht werden kann. Der Baum, der die geringste Gesamtpfadlänge aufweist wird *Minimaler Spannbaum* genannt. Dieser Baum kann weiter optimiert werden, wenn man neue Knoten zulässt, die in der ursprünglichen Vorgabe nicht enthalten waren. Diese sind als Verkehrsgabelungen und nicht als Orte zu interpretieren. Der minimale Spannbaum, der mit zusätzlichen Knoten ermittelt wurde heißt *Steinerbaum*.

Für den Nutzer sind die beiden Verkehrsnetze nicht optimal. Der Nutzer ist bestrebt für jeden seiner Wege einen möglichst kurzen Pfad zu erhalten und nicht die Gesamtlänge des Netzes zu minimieren. Ideal wäre ein vollständiges Netzwerk mit allen möglichen Kanten ("all-channel-Netzwerk"). Die Gesamtpfadlänge ist in diesem Fall natürlich aus Sicht des Straßenbauers indiskutabel und die Struktur aufgrund zahlreicher annähernd paralleler Verbindungen wenig nützlich. Aus diesem vollständigen Netzwerk müssen wir geeignete Teilgraphen auswählen. Der Nutzer möchte alle Knoten auf einer möglichst geringer Strecke erreichen. Diese Anforderung könnten wir so interpretieren, dass eine Rundreise auf kürzestem Weg durch alle Knoten erfolgen soll. Die Lösung dieser als das Problem des Handlungsreisenden bekannten Aufgabe wäre der kürzeste Hamiltongraph. Im Allgemeinen wird der Nutzer aber eher ein beliebiges, aber nur ein Ziel anstreben. Wir könnten versuchen eine Kombination aus Minimalen Spannbaum und vollständigem Graphen zu realisieren. Fernverbindungen wollen wir in einen Minimalen Spannbaum integrieren und im Nahbereich sollen alle Orte direkte Verbindungen zum nächsten Zentrum aufweisen. Dieses Netzwerk lässt sich mit Hilfe der *Dichteclusteranalyse* ermitteln (siehe oben). Liegt uns eine Rangordnung der Netzwerkknoten vor, so können wir diese Werte in der Dichteclusteranalyse anstatt der Dichtewerte verwenden. Wir erhalten eine distanzgewichtete Zuordnung entsprechend der Rangordnung. Bei einer Zuordnung nach dem Vorbild der entstehen stets Bäume. Alternativ können alle möglichen Kanten mit Werten gewichtet werden, wie das Gravitationsgesetz vorhersagt. Es bietet in diesem Fall an einen unteren Schwellenwert zu verwenden, der schwache Interaktionen ausschließt.

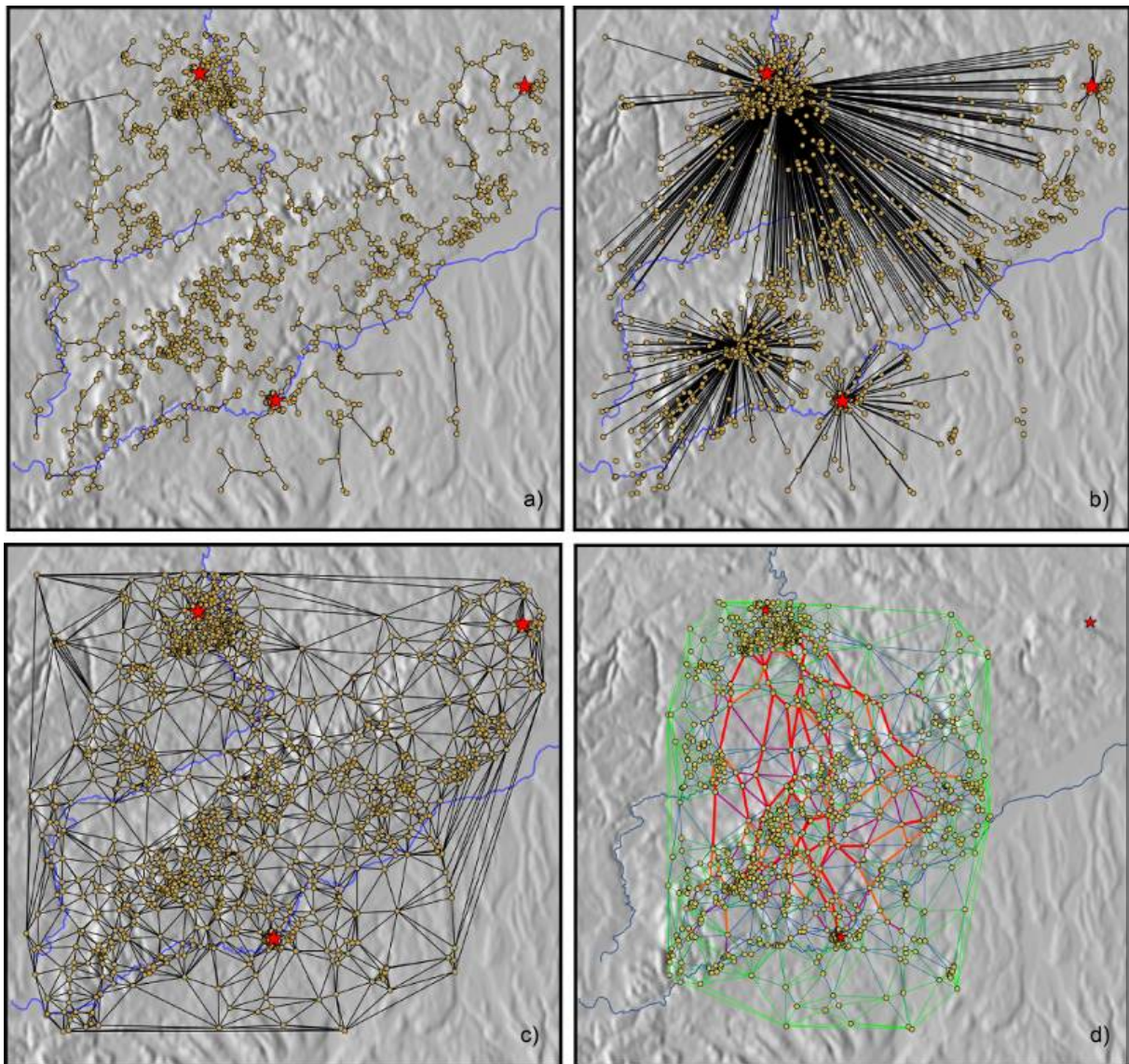


Abb. 20: Auswahl idealer Netzwerke. a) Minimaler Spannbaum, b) Dichtecluster, c) Voronoidiagramm, d) Voronoidiagramm mit Gewichtung anhand kürzester Pfade (n. NAKOINZ i. Druck).

In diesem System, zwar ein Baum ist, aber doch noch zahlreiche annähernd parallele Verbindungen aufweist, können wir Transportsynergien nur für Fernverbindungen realisieren. Wir sollten also noch möglichst viele Kanten zusammenfassen. Dies lässt sich am besten realisieren wenn wir von dem Gedanken ausgehen, dass alle natürlichen Nachbarn direkt miteinander verbunden sein sollten und längere Verbindungen als Kantenzüge über mehrere Nachbarschaftsverbindungen laufen. Der *Delaunay-Graph* liefert uns das gewünschte Ergebnis. Er ist ein moderates Basisnetzwerk, das die Anforderungen der Nutzer und Erbauer weit möglichst in Einklang bringt. Innerhalb dieses Netzwerkes können wir weitere Synergien durch eine Hierarchie der Kanten erreichen, wie sie etwa ein Straßensystem mit Autobahnen und Landstraßen darstellt. Die Gewichtung der Kanten kann in diesem Fall als die Anzahl der kürzesten Wege, die durch einen Pfad laufen festgelegt werden (NAKOINZ i. Druck).

Die ideale Netzwerke dürfen im Allgemeinen - um auf diesen wichtigen Punkt noch einmal hinzuweisen - nicht für die Ermittlung von Netzwerkparametern verwendet werden, da es sonst zu Zirkelschlüssen kommt.

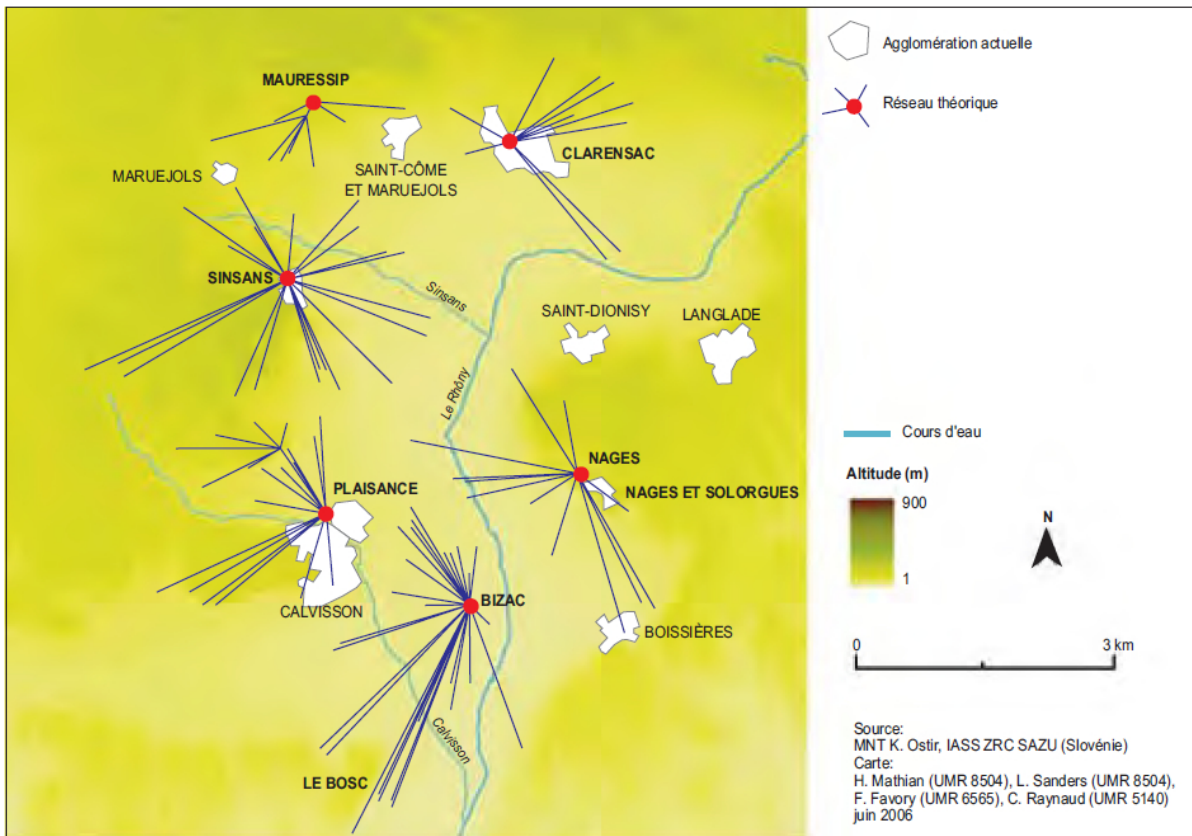


Abb. 21: Distanzbasierte Bäume mit gegebener Rangordnung (n. NUNINGER u. a. 2006).

Reale Netzwerke zu rekonstruieren ist weitaus schwieriger, da die erforderlichen Daten zunächst gewonnen werden müssen. Liegen jedoch erst einmal die erforderlichen Informationen zu den Interaktionskanten vor, da lässt sich hieraus recht einfach ein Netzwerk generieren. Zwischen jedes Paar von Interaktionsknoten wird eine Interaktionskante gelegt. Je nach Fragestellung können nun einige Transformationen erfolgen. Zunächst kann man die Mehrfachkanten zu einer gewichteten Kante zusammenfassen. Die Gewichtung der Kanten mit realen Interaktionen wertet das Netzwerk für weitere Analysen deutlich auf. Zudem kann eine Projektion des Netzwerkes auf einen Delaunay-Graphen erfolgen. Ob das zulässig ist muß im Einzelfall geprüft werden.

Einige ausgewählte Transformationen von Netzwerken sind in Abb. 22 zu sehen. Links oben ist aus Ausgangspunkt eine ideale Datenbasis mit gewichteten atomaren Interaktionen zu sehen. Durch verschiedene Transformationen entstehen hieraus Netzwerke, die in verschiedenen Analysen verwendet werden können. Die Unterschiede und der jeweilige Verlust von Daten ist bei der Interpretation zu beachten. Analysen, die unterschiedliche Netzwerkzustände verwenden sind nicht direkt vergleichbar, sondern erlauben lediglich Aussagen zu unterschiedlichen Facetten des Netzwerkes. Fast alle der aufgeführten Transformationen sind mit einem Informationsverlust verbunden:

- t1 Umwandlung in einen ungewichteten Graphen.
- t2 Zusammenfassung paralleler Kanten.
- t3 Zusammenfassung paralleler Kanten mit Gewichtung der Anzahl.
- t4 Extraktion eingehender Kanten.
- t5 Extraktion ausgehender Kanten.
- t6 Umwandlung in einen ungerichteten Graphen durch Summieren der Gewichte.

t7 Umwandlung in einen ungerichteten Graphen durch Summieren der Beträge der Gewichte.

t8 Umwandlung in einen ungerichteten und ungewichteten Graphen.

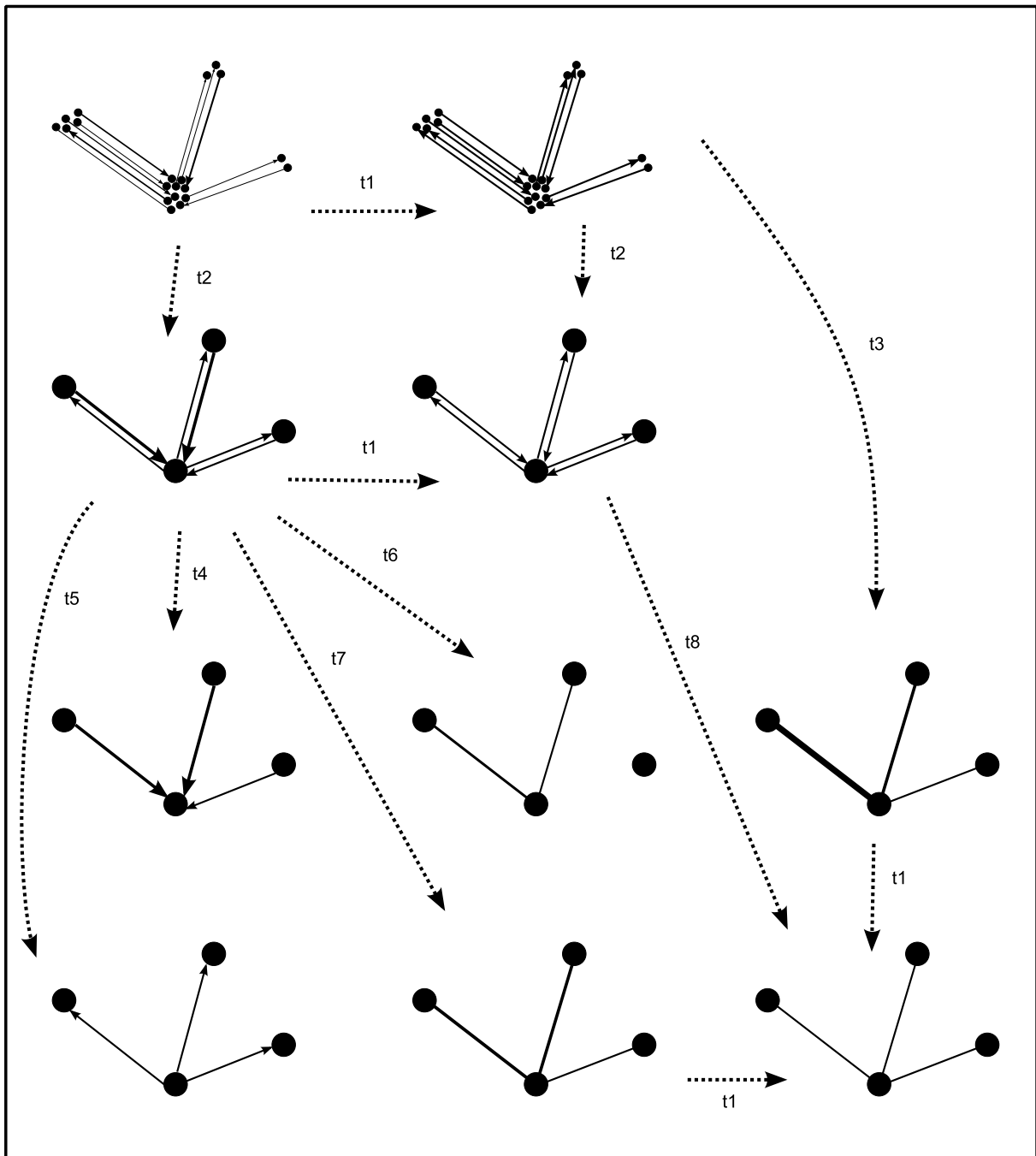


Abb. 22: Ausgewählte Transformationen von Netzwerken.

#### 4.5.2 Einfache Netzwerkparameter

Aus Netzwerken lassen sich einfache strukturelle Parameter ablesen. Triviale Angaben sind die *Anzahl der Knoten* und die *Anzahl der Kanten*. Daraus lässt sich das Verhältnis der möglichen Kantenzahl zur realen Kantenzahl ermitteln. Hierbei handelt es sich um die *Netzwerkdicke*. Weiterhin ist die *Anzahl der Nachbarn*, also der Partner

mit denen ein Knoten verbunden ist von Interesse. Dieser Wert lässt sich in einem Histogramm darstellen. Liegt eine Hierarchie vor, so kann in gleicher Weise die *Anzahl der untergeordneten* wie auch der *übergeordneten Nachbarn* dargestellt werden. Letztere muß im Fall von Monohierarchien gleich Eins sein. Die Zuordnungszahl erlaubt demnach zwischen Mono- und Polyhierarchien zu unterscheiden. Den Kopplungsgrad zu beurteilen hilft auch die *Anzahl der Blätter*, also der Knoten mit nur einem Nachbarn, die ins Verhältnis zur Knotengesamtanzahl gesetzt werden kann. Bei Monohierarchien kann die *RUNT-Zahl* je Knoten und die RUNT-Summe von Interesse für die Beurteilung der Hierarchiestruktur sein.

Schließlich kann für alle Werte die für jeden einzelnen Knoten erhoben werden auch deren räumliche Verteilung mit der Hilfe von Kartierungen und Autokorrelationstests untersucht werden.

### 4.5.3 Netzwerkanalyse

**4.5.3.1 Netzwerkklassifikation** Für den Vergleich von Netzwerken bietet sich die oben beschriebene Klassifikation an. Hierbei werden Schrittweise Organisationstyp, Organisationsgegenstand, Distanzrelevanz und Kopplungsgrad bestimmt. Wie oben dargestellt lassen sich die dichotomen Einzelklassifikationen durch graduelle Angaben ersetzen. Im Fall christallerscher Strukturen kann zudem die Bestimmung der *k*-Werte versucht werden.

Weiterhin können anhand der einfachen Netzwerkparameter Klassifikationen der Graphenformen vorgenommen werden. So erlaubt es die Verteilung der Kantenanzahlwerte und die Beurteilung der mittleren Kantenzahl zu entscheiden, ob ein vollständiges Netzwerk vorliegt und zu unterscheiden ob sternförmige oder lineare Strukturen dominant sind. Schließlich ist es wichtig die räumliche Homogenität des Netzwerkes zu beurteilen. Das kann nur in Kombination der genannten Werte mit einer Kartierung erfolgen.

**4.5.3.2 Kennzahlen für Verkehrsnetze** Weiterhin sind auch Kennzahlen zur Beschreibung von Verkehrsnetzen (NUHN u. HESSE 2006; TAAFFE u. a. 1973) zu nennen:

- Zyklomatische Zahl. Die Anzahl der Knoten wird von der Anzahl der Kanten subtrahiert und die Anzahl der zusammenhängenden Subgraphen addiert. Bäume weisen den Wert Null auf während vollständige Netzwerke hingegen hohe Werte aufweisen.
- Alpha-Index. Hier wird die Differenz der Kanten- und Knotenanzahl zuzüglich Eins in das Verhältnis zur doppelten Knotenanzahl abzüglich fünf gesetzt. Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1.
- Gamma-Index. Hierbei wird die Kantenzahl in das Verhältnis zu Knotenzahl abzüglich Zwei gesetzt und durch drei geteilt. Auch hier liegen die Werte zwischen 0 und 1.
- Beta-Index. Die Anzahl der Kanten im Verhältnis zur Anzahl der Knoten ergibt Beta.
- Eta-Index. Dieser Wert ergibt sich als Gesamtlänge aller Kanten im Verhältnis zur Anzahl aller Kanten.
- Theta-Index. Hier wird die Gesamtlänge aller Kanten in das Verhältnis zur Anzahl aller Knoten gesetzt.
- Pi-Index. Die Gesamtlänge aller Kanten wird hier in das Verhältnis zum Netzwerkdurchmesser gesetzt. Bäume besitzen hierbei den Wert 1.

**4.5.3.3 Zentralität** Ein wichtiger Aspekt der Netzwerkforschung, der gerade unseren Themenbereich entspricht ist die Ermittlung von Zentralitätsindizes. Die Zentralität wird für einzelne Knoten oder Kanten auf der Basis ihrer Beziehungen zu allen anderen Knoten beziehungsweise Kanten berechnet. Hierzu gibt es mittlerweile eine umfangreiche Literatur (BONACICH 1987; BONACICH u. LLOYD 2001; BORGATTI 2005; FREEMAN 1977;

1979; KANG 2007; KOSCHÜTZKI u. a. 2005a; 2005b; MUTSCHKE 2010). Die Vielzahl der verwendeten Kennzahlen macht deutlich, dass jeweils ein anderer Aspekt beleuchtet wird und es keine universelle Zentralitätsmessung im Rahmen der Netzwerktheorie gibt. Die betrachteten Parameter sind unter anderem die Anzahl der Transitverbindungen und die Entfernung aller Knoten im Netzwerk. Schon diese beiden Parameter zeigen die Vielschichtigkeit der Zentralitätsauffassungen. Der folgenden Übersicht liegt die Zusammenstellung von MUTSCHKE (2010) zugrunde:

- Degree Centrality. Da der Grad eines Knoten in der Graphentheorie die Anzahl der Nachbarn bezeichnet wird auch hier die Anzahl der direkten Nachbarn angegeben. Dieser Wert kann in das Verhältnis zur Anzahl aller möglichen Interaktionspartner gesetzt werden. Es kann zwischen der Degree Centrality eingehender und ausgehender Verbindungen unterschieden werden. Mit der Reach Centrality kann die Degree Centrality auf Nachbarn höheren Grades erweitert werden. Die k-Path Centrality gibt an, wieviele Pfade der maximalen Länge k vom betrachteten Knoten ausgehen können. Die Betrachtung ist in jedem Fall auf ein bestimmtes Umfeld des ausgewählten Knotens beschränkt.
- Closeness Centrality. Hier wird der Kehrwert der Summe der Anzahl der Kanten in den kürzesten Pfaden zu allen anderen Punkten gemessen. Der Wert kann auf die Länge aller kürzesten Pfade normiert werden. Ein hoher Wert gibt an, dass die Interaktion von wenigen Drittknoten abhängt. Als verwandte Konzepte führt MUTSCHKE Radiality, Eccentricity Distance-Based F-Feasure und Markov Centrality auf. Der Closeness kann die geographische Nähe an die Seite gestellt werden, in die nicht die Anzahl der Kanten des kürzesten Pfades, sondern die räumliche Weglänge oder die Wegekosten eingehen.
- Information Centrality. Dieser Wert ist der Closeness Centrality vergleichbar, verwendet aber anstatt des kürzesten Pfades alle kantendisjunkten Pfade.
- Eigenvector Centrality. Ausgehend von dem Gedanken, dass die Zentralität eines Punktes auch durch die Zentralität der Nachbarnpunkte beeinflusst wird. Dementsprechend wird die Eigenvector Centrality aus der Summe der Zentralität der Nachbarn ermittelt. Eine Verallgemeinerung für nicht symmetrische Netzwerke stellt die Alpha Centrality dar. Eine negativer Einfluss der Nachbarn wird in der Beta oder Power Centrality ermöglicht.
- Entropy Centrality. Hierbei handelt es sich um die negative Summe der Wahrscheinlichkeiten auf einem Pfad einen bestimmten Punkt zu erreichen, die mit der jeweiligen logarithmierten Wahrscheinlichkeit multipliziert wird. Eine Normierung auf die Maximalwert kann erfolgen. Die Random Walk Centrality ist mit diesem Ansatz verwandt.
- Betweenness. Dieser Wert gibt an auf wie vielen kürzesten Pfaden zwischen allen Punkten der betrachtete Punkt liegt. Eine Normierung auf die Gesamtanzahl der kürzesten Pfade kann erfolgen. Verwandte Konzepte sind die k-Betweenness, die Length-Scaled Betweenness, die Ego Network Betweenness und das Reachability-based F-Measure.
- Flow Betweenness. Hier werden nicht nur die kürzesten Pfade, sondern alle kantendisjunkten Pfade verwendet. Diese Kennzahl wird insbesondere bei gewichteten Graphen eingesetzt. Eine Verallgemeinerung ist die Max-Flow Betweenness Vitality.
- Random Walk Betweenness. Diese Kennzahl berücksichtigt nicht nur die kürzesten Pfade, sondern alle zyklenfreien Pfade.

Zudem sind Prestigemaße zu nennen, bei denen auf den betrachteten Knoten gerichtete Kanten verwendet werden:

- Degree-Prestige. Hierbei handelt es sich um den Degree Centrality Wert für eingehende Interaktionen. Das Verhältnis der Degree der eingehenden zur Degree der ausgehenden Interaktionen kann nützlich für die Interpretation sein.



- Proximity-Prestige. Dies ist das Äquivalent zur Closeness, wobei nur eingehende Interaktionen berücksichtigt werden. Statt der Summe der Distanzen kommt die Durchschnittslänge der Pfade zum Einsatz.
- Rank-Prestige. Hierbei handelt es sich um die Eigenvektor Centrality für gerichtete Graphen.

Die Prestigemaße können entsprechend ihrer Definition nur auf gerichtete Netzwerke angewendet werden.

Die Zentralitätsindizes greifen in der beschriebenen Form weitgehend auf die Information zu, ob zwischen je zwei Knoten eine Interaktionsbeziehung besteht oder nicht. Da wir implizit weiterhin davon ausgehen, dass Mehrfachverbindungen zwischen den Orten zu Einfachverbindungen reduziert wurden und nicht die Transformation zu gewichteten Graphen vorgenommen wurde, die oben beschrieben wurde, basieren die Kennwerte auf eingeschränkten Informationen. Die Informationslücke besteht darin, dass das Ausmaß der Interaktionen zwischen zwei Orten nicht berücksichtigt wird. Damit können die Kennwerte lediglich ein Zentralitätspotential angeben, das durch bestimmte strukturelle Rahmenbedingungen gegeben ist. Wir sollten für unsere Zwecke Zentralitätsindizes verwenden, die gewichtete Kanten berücksichtigen. Das Gewicht darf nicht die Pfadlänge sein, die wir zur Konstruktion von idealen Netzwerken verwendet haben, sondern sollte die Interaktionsintensität sein. Das können wir dadurch begründen, dass die Konzentration von Interaktion, die unsere Definition von Zentralität bildet nur beobachtet werden kann, wenn wir entsprechende numerische Daten verwenden. Boolesche Werte bleiben damit allenfalls auf atomare Interaktionen beschränkt. In den Netzwerken, die wir hier untersuchen wurden diesen jedoch schon zusammengefasst, wenn die gleichen Interaktionspartner vorliegen. Wir können eine modifizierte Auswahl von Zentralitätsindizes verwenden. Die Indizes werden als Topoi Zentralitätsindizes bezeichnet. Die hierarchische Notation ist selbsterklärend.

- TZI1: Gewichtete Grad Zentralität. Summe der Kantengewichte der Kanten zu allen Nachbarn. Der Wert kann auf den Maximalwert normiert werden (TZI1n).
- TZI1e: Gewichtete eingehende Grad Zentralität. Summe der Kantengewichte eingehenden Interaktionen von allen Nachbarn. Der Wert kann auf den Maximalwert der gewichteten Grad Zentralität normiert werden (TZI1en).
- TZI1a: Gewichtete ausgehende Grad Zentralität. Summe der Kantengewichte ausgehenden Interaktionen zu allen Nachbarn. Der Wert kann auf den Maximalwert der gewichteten Grad Zentralität normiert werden (TZI1an).
- TZI1v:  $TZI1e / TZI1a$ . Auch hier können die normierten Werte verwendet werden (TZI1vn).
- TZI21: Gewichtete Closeness Zentralität. Hier wird die Summe des minimalen Kantengewichtes der Kanten in den kürzesten Pfaden geteilt durch die Pfadlänge für anderen Punkten gemessen.
- TZI21a: Gewichtete ausgehende Closeness Zentralität. Hier wird die Summe des minimalen Kantengewichtes der Kanten in den kürzesten Pfaden geteilt durch die Pfadlänge für anderen Punkten gemessen. Es werden nur die Kanten beachtet, die vom betrachteten Punkt wegführen.
- TZI21e: Gewichtete eingehende Closeness Zentralität. Hier wird die Summe des minimalen Kantengewichtes der Kanten in den kürzesten Pfaden geteilt durch die Pfadlänge für anderen Punkten gemessen. Es werden nur die Kanten beachtet, die zum betrachteten Punkt hinführen.
- TZI21v:  $TZI21e / TZI21a$
- TZI21d:  $TZI21 - TZI1$
- TZI22: Gewichtete Closeness Zentralität. Hier wird die Summe des minimalen Kantengewichtes der Kanten aller kantendisjunkten Pfade geteilt durch die Pfadlänge für anderen Punkten gemessen.

- TZI22a: Gewichtete ausgehende Closeness Zentralität. Hier wird die Summe des minimalen Kantengewichtes der Kanten aller kantendisjunkten Pfade geteilt durch die Pfadlänge für anderen Punkten gemessen. Es werden nur die Kanten beachtet, die vom betrachteten Punkt wegführen.
- TZI22e: Gewichtete eingehende Closeness Zentralität. Hier wird die Summe des minimalen Kantengewichtes der Kanten aller kantendisjunkten Pfade geteilt durch die Pfadlänge für anderen Punkten gemessen. Es werden nur die Kanten beachtet, die zum betrachteten Punkt hin führen.
- TZI31: Gewichtete Betweenness. Die Summe der minimalen Kantengewichte der kürzesten Pfaden zwischen allen Punkten der betrachtete Punkt liegt. Eine Normierung auf das höchste Kantengewicht kann erfolgen (TZI41n).
- TZI32: Gewichtete Betweenness. Die Summe der minimalen Kantengewichte aller kantendisjunkten Pfade zwischen allen Punkten der betrachtete Punkt liegt. Eine Normierung auf das höchste Kantengewicht kann erfolgen (TZI42n).
- TZI31d: TZI31-TZI21
- TZI32d: TZI31-TZI22
- TZI4: Gewichtete Eigenvektor Zentralität. Der Wert ergibt sich aus der Summe der kantengewichteten Zentralitäten der Nachbarn.
- TZI4d: TZI4-TZI1

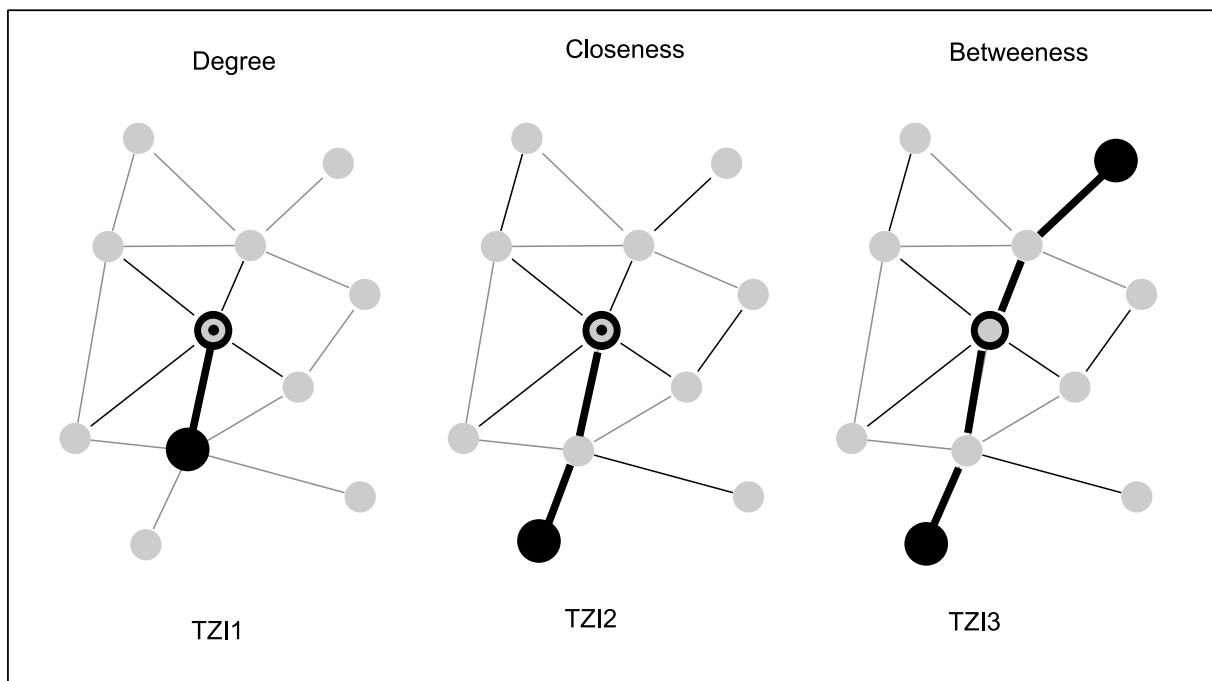


Abb. 23: Schematische Darstellung wichtiger Gruppen von Zentralitätsindizes.

Die Anwendbarkeit dieser 21 Indizes hängt von der Datengrundlage und der Fragestellung ab. Auch wenn keiner der Indizes ein universeller Zentralitätsindikator ist erlauben sie doch eine nähere Beurteilung der Zentralität von Netzwerkknoten. Ihrer Definition entsprechend gelten sie allerdings nur für einzelne Knoten und geben zunächst nur wenige Informationen zur Charakterisierung des gesamten Netzwerkes. Hier helfen jedoch zwei Herangehensweisen, die wir schon mehrfach angewendet haben. Zunächst kann die Verteilung der Werteklassen der Indizes

in einem Histogramm dargestellt werden. Eine gleichmäßige Verteilung spricht hier für eine gering ausgeprägte Hierarchie oder eine Heterarchie. Zudem muß auch die räumliche Verteilung betrachtet werden. Hier kommen wieder Kartierungen und Autokorrelationstests zum Einsatz.

Nun soll das Interpretationspotential der TZI-Klassen kurz skizziert werden. TZI1 gibt Informationen zum Austausch mit Nachbarn und ist damit ein gutes lokales Interaktions- und damit Zentralitätsmaß, wenn eine entsprechende räumliche Verteilung und Werteverteilung vorliegt. Ein hoher TZI1-Wert weist dann auf Zentralität hin, wenn der Wert mit Distanz zum Zentrum im Territorium abnimmt. TZI2 ist hingegen ein Indikator für Gesamtaustausch des betreffenden Knoten. Seine Bedeutung im Vergleich zu TZI1 wird durch das Netzwerkmodell bestimmt. In einem Netzwerk, das gewissermaßen auf ein Voronoidiagramm projiziert wurde laufen allen Verbindungen durch die benachbarten Punkte. In diesem Fall gibt TZI21d die Reichweite der Interaktionen zu erkennen. Enthält das Netzwerk hingegen direkte Fernverbindungen, dann spiegelt dieser Wert das Verhältnis von nahem und fernem Umland wider. Dominiert TZI1, dann liegt ein lokales Zentrum vor. Dominiert hingegen TZI21 handelt es sich eher um ein Fernhandelszentrum.

TZI4 ist hoch, wenn die Nachbarn zentral sind. Das kann der Fall sein, wenn wir es mit einer zentralen Region zu tun haben, oder wenn in einer Monohierarchie auf untergeordnete Zentren verwiesen wird. TZI4d erlaubt diese Fälle zu unterscheiden, da es sich hier um einen deutlichen Hierarchieindikator handelt. TZI3 zeigt vor allem Transitinteraktionen an. Hohe Werte deuten die Lage an einer Verkehrsachse in einem Netzwerk mit Kantenhierarchie an. Mit Hilfe von TZI31d kann die Reichweite beurteilt werden. Ist diese hoch, so bestätigt sich die entsprechende Interpretation des Knotens im Verlauf einer Verkehrsachse. Aber auch hier sind die Kartierungen ein wichtiger Interpretationshinweis.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Zentralitätsindizes weniger für die Feststellung der Gesamtzentralität, als für eine differenzierte Betrachtung der Zentralität geeignet sind. Sie bilden damit eine Ergänzung zur Dichteanalyse der atomaren Knoten. Der Sachverhalt, dass hier jeweils unterschiedliche Facetten von Zentralität in Erscheinung treten ist wichtig und lässt einfache Unterscheidungen von zentralen und nicht zentralen Orten als um so fragwürdiger erscheinen.

**4.5.3.4 Cliques** Cliques sind Teilgraphen, die sich durch eine höhere Netzwerkdicke von ihrem Umfeld absetzen (HANNEMANN u. RIDDLE 2005; KOSUB 2005; TÄUBE 2010). Im engeren Sinne werden Cliques als vollständige Teilgraphen aufgefasst. Eine Verallgemeinerung sind n-Cliques, die n Zwischenschritte erlauben. Verwandt hiermit ist das Konzept der n-Clans. Ein k-Plex hingegen ist ein fast vollständiger Teilgraph, in dem maximal k Kanten für jeden Knoten fehlen dürfen. Hier wird gewissermaßen ein lokaler Netzwerkdichteschwellenwert festgelegt.

In unserem Zusammenhang erlauben Cliques, je nach Kontext unterschiedliche Interpretationen. Es kann sich um die Territorien von Zentralorten handeln, die durch erhöhte Interaktion verbunden sind. In diesem Fall handelt es sich um Netzwerke mit hoher Distanzrelevanz und hohem Kopplungsgrad. Cliques können aber auch zentrale Regionen sein. Hierbei werden die zentralen Funktionen von mehreren Siedlungen gemeinsam erfüllt. Wenn die Interaktionsintensität innerhalb der Clique gering oder moderat ist, kann eine Interpretation als Heterarchie in diesem Teilgraphen naheliegen.

**4.5.3.5 Cluster** Cluster sind natürliche Gruppen von Knoten (GAERTLER 2005). Hier können ähnliche Methoden angewendet werden, wie sie im Kapitel zur Klassifikation beschrieben wurden. Auch hier ist zwischen partitionierenden und agglomerierenden Verfahren zu unterscheiden. Erstere Unterteilen den Graphen in Teilgraphen durch das Lösen schwach gewichteter Kanten. Agglomerierende Verfahren hingegen fassen solange Knoten zu Gruppen zusammen, bis ein Schwellenwert der Kantengewichte oder der Gruppengröße erreicht wurde. Begonnen wird hier mit den hohen Gewichten. Wie Cliques zeigen Cluster Gruppen an, die durch erhöhte Interaktion

verbunden sind. Hier steht aber nicht die Anzahl, sondern die Gewichtung der Kanten im Fokus der Betrachtung. Monohierarchisch organisierte Territorien lassen sich nicht als Cliques, sondern nur als Cluster erkennen. Der Vergleich beider Analysen führt zu entsprechenden Interpretationen.

**4.5.3.6 Superposition** Eine wesentliche Frage ist, ob Polyhierarchie durch Überlagerung mehrerer Monohierarchien entstehen oder eine einheitliche Struktur darstellen. Die Netzwerkanalyse bietet keine Werkzeuge zur Klärung dieser Frage. Die Dekomposition gerichteter Graphen in Teilgraphen die auf einen Knoten ausgerichtet sind kann hier jedoch hilfreich sein.

#### **4.5.4 Kybernetische und komplexe Systeme**

Kybernetische Analysen untersuchen den Fluss zwischen den Orten. Sie behandeln also gerichtete und gewichtete Graphen.

Ein wichtiges Werkzeug ist hier die Modellierung. Hierbei wird beobachtet welche Zustandsänderungen bei der Variation einzelner Parameter auftreten.

#####

### **4.6 Ideal- und Real**

Der Vergleich idealer und realer Strukturen ist für die Interpretation sehr hilfreich. Insbesondere dann, wenn Abweichungen auftreten können diese den Ausgangspunkt zur Erklärung der Strukturen bilden. Der Begriff des Zentralisierungspotentials spielt hier eine wichtige Rolle.

Bestimmte Rahmenbedingungen können die Entstehung zentraler Orte begünstigen. Lokaler Reichtum, der aus Rohstoffen oder Raubzügen stammt ist hier ebenso von Bedeutung wie die Raumverfügbarkeit oder die Verkehrsanbindung. Wir können hier ein naturräumliches von einem strukturellen Zentralisierungspotential unterscheiden. Die naturräumliche Ausstattung bestimmter Orte kann diese prädestinieren. Die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln kann in Gebieten mit guten Böden und einer guten Wasserversorgung einfacher sein als in anderen und damit die Möglichkeiten bieten Menschen beziehungsweise Interaktionsknoten zu akkumulieren. Die ideale Siedlungsdichte, die sich aus der Archäoprognose ergibt kann das abbilden. Aber auch das Vorhandensein von Rohstoffen kann zu Zentralität in unserem Sinne führen, wenn dieser Abgebaut und verhandelt wird. Zu erwähnen ist schließlich die Lage an natürlichen Verkehrsachsen.

Das strukturelle Zentralisierungspotential basiert auf einer gegebenen Siedlungsstruktur. Hier sind die traditionellen Zentralitätsindizes von Bedeutung. Sie geben an, welche Bedeutung eine Siedlung im Siedlungssystem spielen kann. So ist es denkbar, dass naturräumlich hervorgehobene Lagen strukturelle ungünstig sind und deshalb kein Zentralort entsteht. Ebenso aufgrund der guten strukturellen Einbettung ungünstige Lagen zu Zentralorten führen. Hier gilt es zu untersuchen wie die naturräumlichen Mängel ausgeglichen werden und ob es harte Grenzen der Zentralität gibt.

Bei Entstehung oder Aufgabe zentraler Orte ist eine wesentliche Frage, ob die Ursache in einem Wandel des naturräumlichen oder strukturellen Zentralitätspotential besteht oder andere Faktoren eine Rolle spielen. Zunächst zeigt der Vergleich der idealen und realen Interaktionsknotendichte sowie der idealen und realen Zentralitätsindizes, ob stabile, angepasste Strukturen bestehen oder ob dynamische Bereiche zu erkennen sind. Auf dieser Basis können die relevanten Parameter näher betrachtet werden.

## 4.7 Analysestrategien

Bisher wurden die Methoden geordnet nach den Datengrundlagen dargestellt. Im folgenden sollen sie aus Sicht der Fragestellung besprochen werden. Da die Methoden schon detailliert vorgestellt wurden, kann hier eine knappe Übersicht genügen. Die aufgeführten Analysestrategien bilden komplementäre Ansätze, die unterschiedliche Aspekte beleuchten und sich nicht ersetzen können. Die Frage der Zentralität ist im Kern eine Frage nach räumlichen Organisationsstrukturen. Demnach gilt es als erstes zu klären welcher Art die Organisationsstrukturen im Arbeitsgebiet sind. Zeichnet sich eine hierarchische Organisation ab gilt es die Zentren zu identifizieren und zueinander in Beziehung zu setzen. Schließlich kann versucht werden näheres über die Siedlungsstruktur und die in sie eingebundenen Siedlungen zu erfahren.

### 4.7.1 Organisationsstrukturen

Die Klassifikation der Organisationsstrukturen ist eine der wichtigsten Aufgaben Zentralitätsanalysen. Die oben vorgestellte Klassifikation ist sowohl an den relevanten Parametern wie auch an den verfügbaren Daten und Methoden orientiert. Die vier Gliederungsebenen können aufgrund des isomorphen Aufbaus mit einheitlichen Methoden bearbeitet werden.

1. Organisationstyp. Hierarchieindikatoren erlauben zu entscheiden, ob Hierarchien oder Heterarchien vorliegen. Insbesondere deutliche Größenunterschiede der Orte deuten eine Hierarchie an.
2. Organisationsgegenstand. Ist die Verteilung der zentralen Orte einer Hierarchieebene eher gleichmäßig oder linear? Lineare Muster sprechen für Kantenhierarchien. Finden Interaktionen bevorzugt zwischen gleiche oder im Niveau unterschiedlichen Partnern statt? Ersteres deutet eher auf Kantenhierarchien hin, da eine strenge Hierarchie von Orten grundsätzlich Beziehung zwischen gleichberechtigten Partnern zulässt. Zudem können die Indikatoren der Netzwerkzentralität helfen, zwischen Knoten- und Kantenhierarchien zu unterscheiden.
3. Distanzrelevanz. Welche Reichweite besitzen die Interaktionsverbindungen eines Ortes? Welchen Umfang besitzen die Überlappungen mit den Interaktionsradien anderer Orte?
4. Kopplungsgrad. Liegen Mehrfachzuordnungen vor? Weist ein Ort Interaktionen zu mehreren übergeordneten Orten auf?

### 4.7.2 Zentralitätsverteilung

Die nächste Analysestrategie setzt an der räumlichen Verteilung von Zentralität im Sinne der Konzentration von Interaktion an. Folgt die Bevölkerungsverteilung den naturräumlichen Gegebenheiten, also ist die Bevölkerung so verteilt, dass eine optimale Nutzung des Naturraums gegeben ist, so liegt eine Zentralität im eigentlichen Sinne nicht vor. Jede Gemeinschaft kann unabhängig ihre Bedürfnisse befriedigen, ohne in Interaktion mit anderen treten zu müssen. Der Naturraum führt durch die unterschiedliche Bevölkerungsverteilung lediglich zu unterschiedlichen Interaktionspotentialen. Weicht die Bevölkerungsverteilung von dem idealen Modell ab, so können wir schließen, dass eine Interaktion notwendig geworden ist und die Dichtezentren zentrale Orte sind. Die Abweichungen können möglicherweise als das Ergebnis von Optimierungen der Organisationsstrukturen interpretiert werden.

1. Ideale Bevölkerungsdichte. Anhand der naturräumlichen Daten wird für ein Modell einer idealen Bevölkerungsverteilung ermittelt.
2. Reale Bevölkerungsdichte. Anhand der empirischen Daten wird die reale Bevölkerungsverteilung ermittelt.

3. Bevölkerungsdichteanomalien. Von der realen wird die ideale Dichte subtrahiert.
4. Signifikanzbeurteilung. Es ist zu prüfen, ob die Abweichungen signifikant sind oder im Bereich der natürlichen Streuung liegen.
5. Zentren. Als Zentren können die lokalen Dichtemaxima der Bevölkerungsdichteanomalien angesprochen werden.
6. Hierarchieniveaus. Die Zentren werden anhand der Werte der Bevölkerungsdichteanomalien auf einer logarithmischen Skala klassifiziert.

#### 4.7.3 Netzwerkanalysen

Die eleganteste und zugleich problematischste Analysestrategie ist die Netzwerkanalyse. In einem gegebenen Netzwerk, das durch einen Graph repräsentiert wird, werden verschiedene Parameter ermittelt, die der Klassifikation und dem Vergleich dienen. Das Problem liegt darin, dass in der Regel nicht über die notwendigen Daten verfügt wird. Relationale Daten, die zwei Orten miteinander in Verbindung bringen liegen oft nicht vor (NAKOINZ 2009b). Diese Daten müssen einen Fluss zwischen den beiden Orten repräsentieren, wie es in der Beziehung eines Produktions- zu einem Fundort eines Fundes der Fall ist. Derartige Beziehungen können im Allgemeinen nicht zwischen den Funden einer Verbreitungskarte aus dieser abgeleitet werden. Archäologische Netzwerke können modelliert werden. Oft werden hierbei die Beziehungen zwischen den Orten nach bestimmten, mitunter distanzorientierter Regeln konstruiert. Hierbei aber handelt es sich um einen Optimierungsprozess dessen Ergebnis ein ideales und kein empirisches Netzwerk ist. Werte die sich aus der Analyse derartiger Netzwerke ergeben müssen mit größter Vorsicht verwendet werden. Sie sind jedoch keinesfalls von vorne herein als Charakteristika empirischer Netzwerke anzusehen. Insbesondere dann, wenn Parameter erschlossen werden, die in die Netzwerkmodellierung eingeflossen sind, sind die Werte nicht verwertbar. Es liegt ein Zirkelschluss vor, es sei denn man verwendet die Werte ausschließlich zur Prüfung der Modellgüte.

Liegen für die Analyse hinreichende Daten vor, so bietet sich folgende Analyse an:

1. Modellierung verschiedener idealer Netzwerke.
2. Generierung eines Graphen mit allen verfügbaren Interaktionen.
3. Transformation des Graphen in Formen, die für die einzelnen Analysen geeignet sind.
4. Vergleich der idealen mit den realen Netzwerken und Abschätzung der optimierten Parameter.
5. Berechnung der traditionellen Zentralitätsindizes auf der Basis ungewichteter Graphen.
6. Berechnung der Topoi Zentralitätsindizes auf der Basis gewichteter Graphen.
7. Untersuchung der Verteilung der Werte in beiden Kategorien durch Histogramme, Karten und Autokorrelationsstests.
8. Vergleich der idealen und realen Zentralitätsindizes und Ermittlung von Abweichungen.
9. Cluster- und ggf. Cliquenanalyse.

## 4.8 Vergleich von Zentralität

Zentralität ist eine Eigenschaft, die Orte nicht an sich besitzen, sondern die sie erst im Rahmen von Organisations- und Siedlungsstrukturen erhalten. Dementsprechend steht der Vergleich von Siedlungsstrukturen im Vordergrund. Auf dieser Grundlage lassen sich jedoch auch einzelne Orte miteinander vergleichen. Mit weiteren Vergleichsparametern ergeben sich sechs Vergleichstypen:

	ideal/real	diachron	diatopisch
Siedlung, Parameter	-	V2	V5
Struktur, Parameter	-	V3	V6
Struktur, Ausprägung	V1	V4	-

- V1** Der Vergleich idealer und realer Strukturen kann nur als Vergleich der jeweiligen Ausprägungen erfolgen.
- V2** Der Vergleich unterschiedlicher Phasen einer Siedlung erfolgt im Kontext der Zentralörtlichkeit als Gegenüberstellung einzelner Parameter.
- V3** Unterschiedliche Phasen von Siedlungsstrukturen lassen sich ebenfalls parametergestützt vergleichen.
- V4** Unterschiedliche Phasen von Siedlungsstrukturen können aber auch direkt verglichen werden.
- V5** Siedlungen an unterschiedlichen Orten werden parametergestützt verglichen.
- V6** Siedlungsstrukturen an unterschiedlichen Orten werden ebenfalls parametergestützt verglichen.

Ein Vergleich ist nur möglich, wenn definiert ist, was gleich, was nicht gleich und wie groß eine Distanz ist. Es muss also eine Metrik vorhanden sein. Die entsprechende Norm muß explizit angegeben werden, wenn von der Euklidischen Norm als Standard abgewichen wird.

### 4.8.1 Parametervergleich

Oben wurden zahlreiche Parameter für Orte oder für Siedlungsstrukturen angegeben. Sie eignen sich alle mehr oder weniger für Vergleiche. Liegt für die zu vergleichenden Gegenstand je ein Wert eines Parameters vor, so ist der Vergleich einfach. Die euklidische Distanz bietet sich hier an. Es ist zur erwägen, ob normierte Werte zum Einsatz kommen sollen.

Liegen jedoch mehrere Parameter vor, so stehen verschiedene Möglichkeiten zur Wahl. Die Werte werden zunächst in einem Vektor zusammengefasst. Es ist nun zu entscheiden, ob die einzelnen Parameter separat oder gemeinsam verglichen werden sollen. Bei einem gemeinsamen Vergleich muß eine geeignete Norm gewählt werden. Die Auflistung aus der Besprechung der Clusteranalyse gibt eine Orientierung. Während bei einem Parameter nur größer und kleiner zu unterscheiden sind, gibt es hier zahlreiche bis unendlich viele Richtungen der Unterschiede. Ein Differenzvektor dessen Länge der euklidische Norm entspricht kann eine nützlich Ergänzung zu einem Abstandsmaß sein.

### 4.8.2 Ausprägungsvergleich

Der Ausprägungsvergleich von Siedlungsstrukturen ist deutlich anspruchsvoller als der Parametervergleich. Auch hier gilt es zunächst eine Metrik zu definieren. Im Fall von Dichtekarten ist das Ergebnis ebenfalls eine Karte und zwar der Differenzen. Wird ein einzelner Parameter gewünscht können die Werte summiert werden.

Für den Vergleich von Graphen bieten sich zunächst andere Ansätze an. Sind Knoten in beiden Graphen die gleichen oder annähernd gleich, so können wir uns auf die Kanten konzentrieren. Wir erhalten wieder zwei zu vergleichende Vektoren, die entsprechend dem Parametervergleich gehandhabt werden können. Das gleiche gilt für

den Fall dass wir die Siedlungsgewichte vergleichen wollen. Liegt jedoch eine Verschiebung der Knoten vor, so sind diese Techniken nicht mehr anwendbar. Die Lösung hängt von der Art des Unterschiedes der Strukturen ab. Können wir die Knoten beider Graphen miteinander identifizieren, so können wir die Summe der Translationen als Distanz wählen. Die Kanten können hier wie oben beschrieben verglichen werden. Sind viele Punkte zuweisbar können wir die Vereinigungsmenge beider Graphen nutzen. Wir ermittelt erst die Translationssumme und addieren eine gewichtete Distanz der booleschen Vorkommensvektoren der Knoten beider Graphen zur Vereinigung. Hier wird das Problem deutlich, dass Kantenvergleich und Knotenvergleich mit zunehmender Unähnlichkeit immer schwieriger zu verbinden sind.

Ist keine Zuordnung der Knoten zweier Graphen möglich, so können Dichtekarten durch Berechnung der Differenz verglichen werden. Ein entsprechendes Vorgehen für die Kanten wird nur in Ausnahmefällen sinnvoll sein.

Grundsätzlich ist auch eine graphentheoretische Betrachtung möglich (BAUR u. BENKERT 2005). Zunächst werden die zwei Graphen auf Isomorphie geprüft. Liegt diese nicht vor, ist die Distanz also  $>0$  können in einem ungewichteten und ungerichteten Graphen die geringste Anzahl atomarer Graphenoperationen als Distanz aufgefasst werden, die zur Umformung des einen zum anderen Graphen notwendig sind. Wir können jedoch auch den Trick anwenden, den wir oben mit der Vereinigungsmenge der Knoten verwendet haben. Es geht darum etwas zu finden, das beide Graphen umfasst oder in beiden enthalten ist. Hier bietet sich der größte Subgraph an. Dieser kann mit den oben beschriebenen Methoden mit beiden Graphen verglichen werden. Die gesuchte Distanz ist die Summe beider Einzeldistanzen. Nachteil der graphentheoretischen Ansätze ist, dass die Geographie nicht berücksichtigt wird. Es ist fraglich ob derartige Methoden für unsere Zwecke nützlich sind.

#### 4.8.3 Qualitative Vergleiche

Da nicht alle Aspekte quantisierbar sind sollen die quantitativen Vergleiche durch qualitative Vergleiche flankiert werdende. Das gilt um so mehr, da die unvollkommenen archäologischen Datenbestände in quantitativen Analysen schnell zu Artefakten führen können. Eine rein qualitative Betrachtung kann mitunter diese Punkte offenlegen und andere Zusammenhänge nahelegen.

### 4.9 Modellierung und Simulation von Zentralität

Modelle stellen die Zusammenhänge und Sachverhalte einer Theorie dar (#####). Sie sind ein schematisches Abbild der Wirklichkeit, das auf die Parameter reduziert wurde, denen in der verwendeten Theorie Relevanz zukommt. Modelle können nun konstruiert oder rekonstruiert sein. Erste sind als "Modelle für" die Vorlage für beziehungsweise der Bauplan von einem zu realisierenden Original (MAHR#####). Rekonstruierte Modelle, also "Modelle von" bilden etwas zuvor vorhandenes ab. In Simulationen werden Modelle mit konkreten Inhalten gefüllt. In der Regel dienen Simulationen dazu bestimmte Parameter zu setzen und andere Parameter abzulesen. Ein wichtiger Typ von Simulationen hat Optimierungsprozesse zum Inhalt. Die zentrale Frage lautet hierbei: In welche Richtung entwickelt sich ein gegebenes System mit bestimmten Parametern und konvergiert es zu einem bestimmten Zustand? Hiermit befinden wir uns auf dem Gebiet der Kybernetik.

In der Praxis ist zwischen zwei Typen der Simulation zu unterscheiden. Die parametrische Simulation betrachtet Systemparameter und verfolgt deren Entwicklung auf der Basis von globalen Parameterzusammenhängen. Die agentenbasierte Entwicklung verwendet hingegen atomare Systemeinheiten, deren Verhalten bestimmten Regeln folgt. Aus den zahlreiche, oft voneinander abhängigen Einzelaktionen der Agenten ergibt sich der Zustand des Systems nach einer bestimmten Zeit. In beiden Fällen können bestimmte Parameterwerte und Entscheidungen auf Zufallszahlen beruhen.

Der Vorteil der agentenbasierten Simulation besteht nun darin, das konkrete Verhaltensweisen angegeben und deren Folgen betrachtet werden können. Die Modellierung scheint zunächst näher an der Realität zu liegen. Alle



Agenten handeln jedoch immer rational oder begehen vorherbestimmte Irrationalitäten. Es ist offen, ob sich das Gesamtsystem verbessert oder nicht. Der Vorteil der parametrischen Simulation liegt hingegen darin, dass keine individuellen Verhaltensweisen mit ihren zahlreichen Abhängigkeiten und Zusammenhängen angegeben werden müssen. Die Agenten handeln nur statistisch rational und zwar so, dass sich das Gesamtsystem verbessert. Die zahlreichen Zusammenhänge, die zu diesem Ergebnis führen müssen ebensowenig bedacht werden, wie die Irrationalitäten. Es werden globale Zusammenhänge optimiert. Zusammenfassend können parametrische Simulationen bei unzureichenden empirischen Daten und mit dem Ziel ein wirklichkeitsnahes Gesamtsystem darzustellen als einfacher realisierbar beurteilt werden.

#### **4.9.1 Modell A**

Schrittweise Umgestaltung des Siedlungsmusters

Gegeben: Punktverteilung (2 Punkttypen), Interaktionsbeziehungen

Variiert: Punktverteilung

Optimiert: Gesamtwegekosten der ausgewählten Interaktionsbeziehungen

Regeln: Nur ein Punkttyp darf verschoben werden; Das Verhältnis zwischen beiden Typen kann variiert werden; Die Wegekosten zwischen den beiden Typen können unterschiedlich sein; Jeder statische Punkt ist mit einem dynamischen verbunden; die dynamischen Verbindungen sind zufällig. Das neue Siedlungsmuster wird verwendet, wenn es zu geringeren Gesamtkosten führt; gebündelte Interaktionen können günstiger sein.

Schritte:

Dichtefilter

Zufallspunkte

Beziehungen definieren

Kosten ermitteln

Punkte verschieben nach Zufallswerte in beiden Dimensionen und Kostenfunktion

Kosten ermitteln

Wenn Kosten geringer, dann beibehalten, sonst verwerfen

Schleife, erneut verschieben

#### **4.9.2 Modell B**

Auswahl des besten Interaktionsmusters

Gegeben: Punktverteilung (2 Punkttypen),

Variiert: Interaktionsbeziehungen

Optimiert: Gesamtwegekosten

Regeln: Bestimmte Interaktionen müssen gegeben sein; gebündelte Interaktionen können günstiger sein.

#### **4.9.3 Modell D**

###

kombiniertes Modell Interaktionsknoten und Interaktionen sind dynamisch.

#### **4.9.4 Modell C**

Agenten müssen Interagieren oder dürfen ihren Standort verändern. Interaktion gibt kostenabhängige Punkte und Standortänderung kann künftige Kosten senken.

#### **4.9.5 Resultat der allgemeinen Modellierungen und Simulationen**

#####

## 5 Fazit der theoretischen und methodischen Überlegungen

#####

Eine leichte Modifikation der zugrunde liegenden Theorie zentraler Orte und andere Anwendung dieser Theorie führt zu einem erheblich größeren Anwendungspotential in der empirischen Forschung. Insbesondere da einfache Dichtekarten archäologischer Funde einen wesentlichen Beitrag zur Untersuchung zentraler Orte und ihrer Siedlungsstrukturen erbringen, vervielfacht sich die Grundlage verwertbarer Daten.

Das vorgestellte Konzept von Zentralität bietet einige Vorteile:

1. Die zugrunde liegende Theorie ist einfach
2. Sie ist transdisziplinär und lässt sich in verschiedenen Forschungsfeldern einsetzen
3. Sie enthält die Christallersche Theorie zentraler Orte und die Netzwerktheorie der Zentralität als Sonderfälle
4. Sie legt ein weites Spektrum an Methoden der empirischen Analyse nahe
5. Die Methoden sind über verschiedene Datenqualitäten skalierbar.
6. Die Analysemethoden erlauben es zahlreiche Daten einzubeziehen und so auch mit dünnen Datengrundlagen zu arbeiten.
7. Die Theorie und die assoziierten Methoden bieten eine gute Grundlage für den Vergleich von Zentralorten.

## **Teil II**

# **Anwendung - Fallbeispiele**

**6 Projekt 1**

**7 Projekt 2**

**8 Synthese**

###

## Teil III

# Anhang

## 9 Literatur

- Abels 2007: H. Abels, Interaktion, Identität, Präsentation: Kleine Einführung in interpretative Theorien der Soziologie (Wiesbaden 2007<sup>4</sup>).
- Arlinghaus 1985: S. J. Arlinghaus, Fractals take a central place. *Geografiska Annaler* 67B, 1985, 83-88.
- Beavon 1977: K. S. O. Beavon, Central Place Theory: A reinterpretation (London/New York 1977).
- Bernbeck 1997: R. Bernbeck, Theorien in der Archäologie (Tübingen/Basel 1997).
- Berry u. Garrison 1958a: B. J. L. Berry u. W. L. Garrison, A Note on Central Place Theory and the Range of a Good. *Economic Geography* 34, 1958, 304-311.
- Berry u. Garrison 1958b: B. J. L. Berry u. W. L. Garrison, Functional Bases of the Central Place Hierarchy. *Economic Geography* 34, 1958, 145-154.
- Berry u. Garrison 1958c: B. J. L. Berry u. W. L. Garrison, Alternate Explanations of Urban Rank-Size Relationships. *Ann. Assoc. American Geogr.* 48, 1958, 83-91.
- Biel 1985: J. Biel, Der Keltenfürst von Hochdorf (Stuttgart 1985).
- Blotevogel 1975: H. H. Blotevogel, Zentrale Orte und Raumbeziehungen in Westfalen vor der Industrialisierung (Paderborn 1975).
- Blotevogel 1996: H. H. Blotevogel, Zentrale Orte: Zur Karriere und Krise eines Konzepts in Geographie und Raumplanung. *Erdkunde* 50, 1996, 9-25.
- Blotevogel 2003: H. H. Blotevogel, „Neue Kulturgeographie“ - Entwicklungen, Dimensionen, Potenziale und Risiken einer kulturalistischen Humangeographie. *Ber. dt. Landeskunde* 77, 2003, 7-34.
- Blotevogel 2006: H. H. Blotevogel, Neuformulierung des Zentrale-Orte-Konzeptes. In: Ministerium des Innern und für Sport des Landes Rheinland-Pfalz (Hrsg.), Neugestaltung des landesplanerischen Zentrale-Orte-Konzeptes (ZOK) (Mainz 2006) 21-29.
- Bonacich 1987: P. Bonacich, Power and Centrality: A Family of Measures. *American Journal of Sociology* 92, 1987, 1170-1182.
- Bonacich u. Lloyd 2001: P. Bonacich u. P. Lloyd, Eigenvector-like Measures of Centrality for Asymmetric Relations. *Social Networks* 23, 2001, 191-201.
- Borgatti 2005: S. P. Borgatti, Centrality and Network Flow. *Social Networks* 27, 2005, 55-71.
- Brink 1996: S. Brink, Political and Social Structures in Early Scandinavia. *Tor* 28, 1996, 235-281.
- Brown u. Witschey 2003: C. T. Brown u. W. R. T. Witschey, The Fractal Geometry of Ancient Maya Settlement. *Journal Archaeological Science* 30, 2003, 1619-1632.
- Bunge 1962: W. Bunge, Theoretical Geography. *Lund Studies in Geography Series C. General and Mathematical Geography* (Gleerup 1962).

- Christaller 1933: W. Christaller, Die Zentralen Orte in Süddeutschland (Jena 1933).
- Clarke 1968: D. L. Clarke, Analytical Archaeology (London 1968).
- Clarke 1978: D. L. Clarke, Analytical Archaeology (London 1978, 2. Auflage).
- Crumley 1995: C. L. Crumley, Heterarchy and the Analysis of Complex Societies. Archeological Papers of the American Anthropological Association 7, 1995, 1–5.
- Crumley 2005: C. L. Crumley, Remember How to Organize: Heterarchy Across Disciplines. In: C. S. Beekman u. W. S. Baden (Hrsg.), Nonlinear Models for Archaeology and Anthropology (Aldershot 2005) 35-50.
- Cunliffe 1974: B. Cunliffe, Iron Age Communities in Britain (London/Boston 1974).
- Denecke 1973: D. Denecke, Der geographische Stadtbegriff und die räumlich-funktionale Betrachtungsweise bei Siedlungstypen mit zentraler Bedeutung in Anwendung auf historische Siedlungsepochen. In: H. Jankuhn, W. Schleswinger u. H. Steuer (Hrsg.), Vor- und Frühformen der europäischen Stadt im Mittelalter (Göttingen 1975) 33-55.
- Dobat 2001: A. S. Dobat, Hedeby and its Maritime Hinterland. The Schlei Fjord as an Early Medieval Communication Route. Jahrb. Bodendenkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern 51, 2003, 419-435.
- Eco 1977: #####
- Eggert 2007: M. K. H. Eggert, Wirtschaft und Gesellschaft im früheisenzeitlichen Mitteleuropa: Überlegungen zum „Fürstenphänomen“. Fundber. Baden-Württemberg 29, 2007, 255-302.
- Everitt, u. a. 2011: B. S. Everitt, S. Landau, M. Leese u. D. Stahl, Cluster Analysis (Chichester 2011).
- Fabech 1993: C. Fabech, Skåne – et kulturelt og geografisk grænseland i yngre jernalder og i nutiden. Tor 25, 1993, 201-245.
- Fabech u. Ringtved 1991: C. Fabech u. J. Ringtved (Hrsg.), Samfundsorganisation og Regional Variation. Norden i romersk jernalder og folkevandringstid (Aarhus 1991).
- Fabech u. Ringtved 1995: C. Fabech u. J. Ringtved, Magtens geografi i Sydkandinavien. In: H. G. Resi (Hrsg.), Produksjon og samfunn. Om erverv, spesialisering og bosetning i Norden i 1. årtusind e. Kr. Nordiske jernaldersymposium 2, Granavolden, 1992 (Oslo 1995) 11-37.
- Fahlander u. Oestigaard 2004: F. Fahlander u. T. Oestigaard (Hrsg.), Material Culture and Other Things (Gothenburg 2004).
- Fehn 1970: K. Fehn, Die zentralörtlichen Funktionen früher Zentren in Altbayern. Raumbindende Umlandbeziehungen im bayerisch-österreichischen Altsiedelland von der Spätlatènezeit bis zum Ende des Hochmittelalters (Wiesbaden 1970).
- Fetter 1924: F. A. Fetter, The Economic Law of Market Areas. The Quarterly Journal of Economics, 38/3, 1924, 520-529.
- Freeman 1977: L. C. Freeman, A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. Sociometry 40, 1977, 35-41.
- Freeman 1979: L. C. Freeman, Centrality in Social Networks - Conceptual Clarification. Social networks 1, 1978/1979, 215-239.
- Fujita, Krugman u. Venables 1999: M. Fujita, P. Krugman u. A. J. Venables, The Spatial Economy (Cambridge/M. 1999).

- Gebhardt 1996: H. Gebhardt, Forschungsdefizite und neue Aufgaben der Zentralitätsforschung. Informationen zur Raumentwicklung 1996, 691-700.
- Granovetter 1974: M. Granovetter, Getting a Job. A Study of Contacts and Careers (Chicago 1974).
- Grimm 2006: O. Grimm, Großbootshaus. Zentrum und Herrschaft. Zentralplatzforschung in der nordeuropäischen Archäologie (1.-15. Jahrhundert). RGA Ergänzungsband 52 (Berlin 2006).
- Grimm 2009: O. Grimm, Verkehr, Transport und Handel in Norwegen und Böhmen in einer Langzeitperspektive. Arch. Inf. 21, 2009, 55-68.
- Grimm im Druck#####: O. Grimm, Traffic-related Reflections on Norway's Prehistory and Some Remarks about Sweden. In: M. Hardt, H. Jöns, S. Kleingärtner, B. Ludowici and J. Scheschkewitz (Hrsg.), Trade and Communication Networks of the 1st Millennium AD in the Northern Part of Central Europe - Central Places, Beach Markets, Landing Places and Trading Centres [Workshop Bad Bederkesa 2008]. Neue Studien zur Sachsenforschung (Hannover im Druck).
- Gringmuth-Dallmer 1983): E. Gringmuth-Dallmer, Die Entwicklung der frühgeschichtlichen Kulturlandschaft auf dem Territorium der DDR unter besonderer Berücksichtigung der Siedlungsgebiete, Akademie-Verlag, Berlin 1983. Schriften zur Ur- und Frühgeschichte 35 (Berlin 1983).
- Gringmuth-Dallmer 1996: E. Gringmuth-Dallmer, Kulturlandschaftsmuster und Siedlungssysteme. Siedlungsforsch. Arch.-Gesch.-Geographie 14, 1996, 7-31.
- Güßfeld 2005: J. Güßfeld, Die Raumwirtschaftstheorien von Christaller und Lösch aus der Sicht von Wirtschaftsgeographie und "New Economic Geography" (Göttingen 2005).
- Hägerstrand 1952: T. Hägerstrand, The Propagation of Innovation Waves. Lund Stud. Geogr. B4 (Lund 1952).
- Härke 1979: H. G. H. Härke, Settlement Types and Patterns in the West Hallstatt Province. BAR Internat. Series 57 (Oxford 1979).
- Harris 1964: B. Harris, A Note on the Probability of Interaction at a Distance. Journal of Regional Science 5/2, 1964, 31-35.
- Haggett 1965: P. Haggett, Locational Analysis in Human Geography (London 1965).
- Haggett 1973: P. Haggett, Einführung in die kultur- und sozialgeographische Regionalanalyse (Berlin/New York 1973).
- Haggett 2004: P. Haggett, Geographie. Eine globale Synthese (Stuttgart 2004).
- Haggett u. Chorley 1969: P. Haggett u. R. J. Chorley, Network Analysis in Geography (London 1969).
- Handl, Knowles u. Kell 2005: J. Handl, J. Knowles u. D. B. Kell, Computational Cluster Validation in Post-genomic Data Analysis. Bioinformatics 21, 2005, 3201-3212.
- Hanneman u. Riddle 2005: R. A. Hanneman u. M. Riddle: Introduction to Social Network Methods. University of California, Riverside, Department of Sociology, Riverside, CA. Digitalpublikation, <http://faculty.ucr.edu/hanneman/>.
- Hansen 2003a: A. S. Hansen, Central-pladser i romersk jernalder. Kuml 2003, 179-211.
- Hansen 2003b: K. P. Hansen, Kultur und Kulturwissenschaft (Tübingen/Basel 2003).

- Hansen 2009: K. P. Hansen, Kultur und Kollektiv: Eine essayistische Heuristik für Archäologen. In: D. Krause u. O. Nakoinz (Hrsg.), Kulturraum und Territorialität: Archäologische Theorien, Methoden, Fallbeispiele. Kolloquium des DFG-SPP 1171 Esslingen 17.-18. Januar 2007. Internationale Archäologie – Arbeitsgemeinschaft, Symposium, Tagung, Kongress 13 (Rahden/Westf. 2009) 15-23.
- Hårdh u. Larsson 2002: In: B. Hårdh u. L. Larsson (Hrsg.), Central Places in the Migration and Merovingian Periods [Kongr. Lund 2001] (Lund 2002).
- Hennig u. Lucianu 2000: H. Hennig u. C. Lucianu, Zipf, Christaller, Gräberfelder. Sind latente Besiedlungsstrukturen der Hallstattzeit aus der Verteilung der Nekropolen ersichtlich? Arch. Korrb. 30, 2000, 527-548.
- Herschend 1999: F. Herschend, Halle. RGA 13, 1999, 414-25.
- Herzog 2009: I. Herzog, Analyse von Siedlungsterritorien auf der Basis mathematischer Modelle. In: D. Krause u. O. Nakoinz (Hrsg.), Kulturraum und Territorialität: Archäologische Theorien, Methoden, Fallbeispiele. Kolloquium des DFG-SPP 1171 Esslingen 17.-18. Januar 2007. Internationale Archäologie – Arbeitsgemeinschaft, Symposium, Tagung, Kongress 13 (Rahden/Westf. 2009) 71-86.
- Hodder 1977: I. Hodder, The Distribution of Material Culture Items in the Baringo District, Western Kenya. Man, New Series 12, 1977, 239-269.
- Hodder u. Orton 1976: I. Hodder u. C. Orton, Spatial Analysis in Archaeology (Cambridge 1976).
- Hurcombe 2007: L. M. Hurcombe, Archaeological Artefacts as Material Culture (Abingdon 2007).
- Jankuhn 1961: H. Jankuhn, Terra ... Silvis horrida. Arch. Geogr. 10/11, 1961/1963, 19-38.
- Jenks 1967: G. F. Jenks, The Data Model Concept in Statistical Mapping. Internat. Yearbook Cartography 7, 1967, 186-190.
- Jöns 2002: H. Jöns, Eisenzeitliche und frühmittelalterliche Reichtumszentren, Zentral- und Handelsplätze an der südwestlichen Ostseeküste. In: B. Hårdh u. L. Larsson (Hrsg.), Central Places in the Migration and Merovingian Periods [Kongr. Lund 2001] (Lund 2002) 231-246.
- Jones 2007: A. Jones, Memory and Material Culture (Cambridge 2007).
- Kamermans, Leusen u. Verhagen 2009: H. Kamermans, M. V. Leusen u. P. Verhagen (Hrsg.), Archaeological Prediction and Risk Management: Alternatives to Current Practice (Leiden 2009).
- Kang 2007: S. M. Kang, A Note on Measures of Similarity Based on Centrality. Social Networks 29, 2007, 137-142.
- Kimmig 1969: W. Kimmig, Zum Problem späthallstädtischer Adelssitze. In: K.-H. Otto u. J. Herrmann (Hrsg.), Siedlung, Burg und Stadt. Studien zu ihren Anfängen [Festschr. P. Grimm] (Berlin 1969) 95-113.
- Knitter im Durck: D. Knitter, A Local Archaeological Predictive Model for Late Roman Settlements using quantitative geomorphologic parameters. Arch. Anzeiger (im Druck).
- Koschützki u. a. 2005a: D. Koschützki, K. A. Lehmann, L. Peeters, S. Richter, D. Tenfelde-Podehl u. O. Zlotowski, Centrality Indices. In: U. Brandes u. T. Erlebach (Hrsg.), Network Analysis (Berlin 2005) 16-61.
- Koschützki u. a. 2005b: D. Koschützki, K. A. Lehmann, D. Tenfelde-Podehl u. O. Zlotowski, Advanced Centrality Concepts. In: U. Brandes and T. Erlebach (Hrsg.), Network Analysis (Berlin 2005) 83-111.
- Krauß 2004: D. Krauß, Frühe Zentralisierungs- und Urbanisierungsprozesse. Zur Genese und Entwicklung frühkeltischer Fürstensitze und ihres territorialen Umlandes. Ein Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Arch. Nachrichtenbl. 9, 2004, 359-374.



- Krauß u. Nakoinz 2000: D. Krauß u. O. Nakoinz, Binnenkolonisation und Zentralisation. Überlegungen zur latènezeitlichen Besiedlungs- und Bevölkerungsentwicklung im Mittelgebirgsraum nordwestlich der Mosel. In: V. Guichard, S. Sievers u. O. H. Urban (Hrsg.), *Les processus d'urbanisation à l'âge du Fer*. Collection Bibracte 4 [Kongreßber. Glux-en-Glenne 1998] (Glux-en-Glenne 2000) 127-140.
- Krugman 1997: P. Krugman, *Development, Geography, and Economic Theory* (Cambridge, MA 1997).
- Kunow 1988: J. Kunow, Zentrale Orte in der Germania Inferior. *Arch. Korrb.* 18, 1988, 55-68.
- Kunow 1989: J. Kunow, Strukturen im Raum: Geographische Gesetzmäßigkeiten und archäologische Befunde aus Niedergermanien. *Arch. Korrb.* 19, 1989, 377-390.
- Kunow u. Müller 2003: J. Kunow u. J. Müller (Hrsg.), *Landschaftsarchäologie und geographische Informationssysteme. Prognosekarten, Besiedlungsdynamik und prähistorische Raumordnungen. Archäoprognose Brandenburg I* (Wünsdorf 2003).
- Kunow u. Müller 2007: J. Kunow, J. Müller u. F. Schopper (Hrsg.), *Archäoprognose Brandenburg II. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 10* (Wünsdorf 2007).
- Lang u. Blaschke 2007: S. Lang u. T. Blaschke, *Landschaftsanalyse mit GIS* (Stuttgart 2008).
- Löwenborg 2007: D. Löwenborg, Watersheds as a Method for Reconstructing Regions and Territories in GIS. In: J. T. Clark u. E. M. Hagemeyer (Hrsg.), *Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage*. CAA 2006. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (Budapest 2007) 176-182.
- Lösch 1940: A. Lösch, *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft* (Jena 1940).
- Lösch 1954: A. Lösch, *The economics of location* (New Haven 1954).
- Mandelbrot 1953: B. Mandelbrot, An Informational Theory of the Statistical Structure of Language. In: W. Jackson (Hrsg.), *Communication Theory, the Second London Symposium* (London 1953) 486-504.
- Mandelbrot 1997: B. Mandelbrot, *Fractals and Scaling in Finance. Discontinuity, Concentration, Risk* (New York 1997).
- Mandelbrot 2009: B. Mandelbrot, New Methods of Statistical Economics, Revisited: Short vs. Long Tails, Gaussian vs. Power-Law Distribution. *Complexity* 14, 2009, 55-65.
- Meijers 2007: E. Meijers, From Central Place to Network Model: Theory and Evidence of a Paradigm Change. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 98, 2007, 245-259.
- Milligan 1981: G. W. Milligan, A Monte Carlo Study of Thirty Internal Criterion Measures for Cluster Analysis. *Psychometrika* 46, 1981, 187-199.
- Müller 2009: U. Müller, Netzwerkanalysen in der Historischen Archäologie, Begriffe und Beispiele. In: S. Brather, D. Geuenich u. C. Huth (Hrsg.), *Historia archaeologia. Festschr. Heiko Steuer. Ergänzungsbände zum Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 70* (Berlin/New York 2009) 735-754.
- Müller-Scheeßel 2007: N. Müller-Scheeßel, Weitere Überlegungen zu den Besiedlungsstrukturen der Hallstattzeit Süddeutschlands: Tests auf Autokorrelation. *Arch. Korrb.* 37, 2007, 57-66.
- Müller-Wille im Druck: M. Müller-Wille, Comments on Dagfinn Skre, Centrality, Places and Sites. The Central Place Skiringssal in Vestfold, Norway. In: M. Hardt, H. Jöns, S. Kleingärtner, B. Ludowici u. J. Scheschkewitz (Hrsg.), *Trade and Communication Networks of the 1st Millennium AD in the Northern Part of Central Europe. Central Places, Beach Markets, Landing Places and Trading Centres* [Workshop Bad Bederkesa 2008]. *Neue Studien zur Sachsenforschung* (Hannover im Druck).

- Myhre 1978: B. Myhre, Agrarian Development, Settlement History and Social Organisation in Southwest Norway in the Iron Age. In: K. Kristiansen u. C. Paludan-Müller (Hrsg.), *New Directions in Scandinavian Archaeology. Studies in Scandinavian Prehistory and Early History 1* (Copenhagen 1978) 224-271.
- Myhre 1987: B. Myhre, Chieftains' Graves and Chieftains' Territories in South Norway in the Migration Period. *Stud. Sachsenforsch.* 6, 1987, 169-188.
- Nakoinz 2005: O. Nakoinz, Studien zur räumlichen Abgrenzung und Strukturierung der älteren Hunsrück-Eifel-Kultur. *Universitätsforsch. Prähist. Arch.* 118 (Bonn 2005) und elektronische Dissertation (Kiel 2004).
- Nakoinz 2009a: O. Nakoinz, Die Methode zur quantitativen Untersuchung kultureller Ähnlichkeiten im Raum des Projektes „Siedlungshierarchien und kulturelle Räume“. In: D. Krause u. O. Nakoinz (Hrsg.), *Kulturraum und Territorialität: Archäologische Theorien, Methoden, Fallbeispiele. Kolloquium des DFG- SPP 1171 Esslingen 17.-18. Januar 2007. Internationale Archäologie – Arbeitsgemeinschaft, Symposium, Tagung, Kongress 13* (Rahden/Westf. 2009) 87-99.
- Nakoinz 2009b: O. Nakoinz, Zentralortforschung und zentralörtliche Theorie. *Arch. Korrbbl.* 39, 2009, 361-380.
- Nakoinz 2010: O. Nakoinz, Siedlungshierarchien und kulturelle Räume der älteren Eisenzeit in Süddeutschland (Abschlussbericht des DFG-Projektes "Siedlungshierarchien und kulturelle Räume" und Synthese des DFG-Schwerpunktprogramms 1171; in Vorbereitung). [Habilitationsschrift, Abgabe Mai 2010]
- Nakoinz 2011: Topoi, Parallele Raumstrukturen
- Nakoinz u. Steffen 2008: O. Nakoinz u. M. Steffen, Siedlungshierarchien und kulturelle Räume. In: D. Krause (Hrsg.), *Frühe Zentralisierungs- und Urbanisierungsprozesse. Zur Genese und Entwicklung frühkeltischer Fürstentümer und ihres territorialen Umlandes. Koll. DFG-SPP 1171 Blaubeuren Oktober 2006* (Stuttgart 2008) 381-398.
- Nielsen 1994: P. O. Nielsen (Hrsg.), *The Archaeology of Gudme and Lundeborg* (København 1994).
- Nuhn u. Hesse 2006: H. Nuhn u. M. Hesse, *Verkehrsgeographie* (Paderborn 2006).
- Nuninger u. a. 2006: L. Nuninger, L. Sanders, F. Favory, P. Garmy, C. Raynaud, C. Rozenblat, L. Kaddouri, H. Mathian u. L. Schneider, *La modélisation des réseaux d'habitat en archéologie: trois expériences. Mappemonde* 83, 2006.
- Renfrew 1973: C. Renfrew, *Before Civilisation* (London 1973).
- Renfrew u. Level 1979: C. Renfrew u. E. V. Level, Exploring Dominance: Predicting Polities from Centers. In: C. Renfrew u. K. L. Cooke (Hrsg.), *Transformations. Mathematical Approaches to Cultural Change* (New York u. a. 1979) 145-167.
- Rieckhoff 2001: S. Rieckhoff, Die Kelten in Deutschland. Kultur und Geschichte. In: S. Rieckhoff u. J. Biel (Hrsg.), *Die Kelten in Deutschland* (Stuttgart 2001) 13-276.
- Scott 2000: J. Scott, *Social Network Analysis* (London u. a. 2000).
- Segschneider 2002: M. Segschneider, Trade and Centrality between Rhine and the Limfjord around 500 AD. The Beachmarket on the Northfrisian Island Amrum and its Context. In: B. Hårdh u. L. Larsson (Hrsg.), *Central Places in the Migration and Merovingian Periods [Kongr. Lund 2001]* (Lund 2002) 247-256.
- Siegmund 2000: F. Siegmund, Alemannen und Franken. *Ergbd. Reallexikon Germ. Altertumskunde* 23 (Berlin/New York 2000).

- Simon 1955: H. Simon, On a Class of Skew Distribution Functions. *Biometrika* 42, 1955, 425-440.
- Sindbæk 2007: S. M. Sindbæk, Networks and Nodal Points: The Emergence of Towns in Early Viking Age Scandinavia. *Antiquity* 81, 2007, 119-132.
- Sindbæk 2009: S. M. Sindbæk, Open Access, Nodal Points and Central Places. Maritime Communication and Locational Principles for Coastal Sites in South Scandinavia, c. AD 400-1200. *Estonian Journ. Arch.*, 13, 2009, 96-109.
- Steinhausen u. Langer 1977: D. Steinhausen u. K. Langer, Clusteranalyse. Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation (Berlin/New York 1977).
- Steffen 2008: M. Steffen, Sichtfeldanalysen im Umfeld der Heuneburg bei Herberlingen-Hundersingen, Lkr. Sigmaringen. *Arch. Korrb.* 38, 2008, 353-364.
- Steffen u. Steffen (i. V.): M. Steffen u. C. Steffen, Siedlungssysteme der Späthallstattzeit in Baden-Württemberg - Modellierung des sozio-ökonomischen Potentials ältereisenzeitlicher Siedlungskammern auf Basis siedlungs- und sozialarchäologischer Kennzahlen. In: D. Krause (Hrsg.), Frühe Zentralisierungs- und Urbanisierungsprozesse. Zur Genese und Entwicklung frühkeltischer Fürstentümer und ihres territorialen Umlandes. Abschlusskolloquium des DFG-Schwerpunktprogramms 1171 in Stuttgart, 12.-15. Oktober 2009 (in Vorbereitung).
- Steuer 2007: H. Steuer, Zentralorte. *RGA* 35, 2007, 878-914.
- Stjernquist u. a. 1998: B. Stjernquist, Detector Finds from Uppåkra as a Source of Information, illustrated by the Fibulae from the Early Iron Age. In: L. Larsson u. B. Hårdt (Hrsg.), *Centrality - Regionality. The Social Structure of Southern Sweden during the Iron Age. Uppåkrastud 7* (Lund 2003) 67-88.
- Svanberg 1997: F. Svanberg, Cultural Diversity in Present-day Scania and Blekinge ca. AD 800-1000. *Lund Arch. Rev.* 3, 1997, 59-72.
- Taaffe u. a. 1973: E. J. Taaffe, H. L. Gauthier u. M. E. O'Kelly, *Geography of Transportation* (Upper Saddle River 1973).
- Thrane 1985: H. Thrane, Gudme. A Focus of Archaeological Research 1833-1987. In: P. O. Nielsen, K. Randsborg u. H. Thrane (Hrsg.), *The Archaeology of Gudme and Lundeberg* [Kongr. Svendborg 1991] (København 1994) 9-15.
- Tiefelsdorf 2000: M. Tiefelsdorf, Modelling Spatial Processes: The Identification and Analysis of Spatial Relationships in Regression Residuals by Means of Moran's I (Berlin u. a. 2000).
- Tobler 1967a: W. Tobler, Evidence for Central Place Theory in the Nile Delta. *Earth Resource Surveys from Spacecraft. US Army Corps of Engineers Earth Resources Survey Program. Vol I* (Washington DC, 1967) 28-29.
- Tobler 1967b: W. Tobler, Computer Use in Geography. *Behavioral Science* 12/1, 1967, 57-58.
- Verhagen 2007: P. Verhagen, *Case Studies in Archaeological Predictive Modeling* (Leiden 2007).
- Volli 2002: #####
- Voronoi 1907: G. Voronoi, Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques. *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik* 133, 1907, 97-178.

- v. Carnap-Bornheim 2007: C. v. Carnap-Bornheim, Neue Forschungen in Haithabu. In: C. v. Carnap-Bornheim u. M. Segschneider, Die Schleiregion. Land - Wasser - Geschichte. Führer arch. Denkmäler Deutschland 49 (Stuttgart 2007) 67-73.
- v. Thünen 1875: J. H. v. Thünen, Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie (Hamburg 1875).
- Wehner 2007: D. Wehner, Wolin/Wollin und Umland in der Slawenzeit. Eine Auseinandersetzung mit E. Gringmuth-Dallmers Zentralortkonzeption. In: G. H. Jeute, J. Schneeweiß u. C. Theune (Hrsg.), Aedificatio terrae. Beiträge zur Umwelt- und Siedlungsarchäologie Mitteleuropas. Festschrift für Eike Gringmuth-Dallmer zum 65. Geburtstag. Internat. Arch., Studia honoraria 26 (Rahden/Westf. 2007) 363-371.
- Wheatley u. Gillings 2002: D. Wheatley u. M. Gillings, Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS (London 2002).
- Zadeh 1965: L. A. Zadeh, Fuzzy Sets. Information and Control 8, 1965, 338-353.
- Zimmermann u. a. 2004: A. Zimmermann, J. Richter, T. Frank u. K. P. Wendt, Landschaftsarchäologie II - Überlegungen zu Prinzipien einer Landschaftsarchäologie. Ber. RGK 85, 2004, 37-95.
- Zipf 1949: G. K. Zipf, Human Behavior and the Principle of Least Effort (Cambridge/MA 1949).