

Aus der Professur für Geodäsie und Geoinformatik
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Untersuchungen zur automatisierten
Visualisierung statistischer Geodaten mittels
Punktmethode**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Annette Hey

geboren in Greiz

Rostock, den 31. Januar 2012

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Prof. Dr. Monika Sester

Leibniz Universität Hannover, Institut für Kartographie und Geoinformatik

Prof. Dr. Dirk Burghardt

Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie

Tag der Abgabe: 01. Februar 2012

Tag der Verteidigung: 12. Juli 2012

Danksagung

Zu Beginn möchte ich Herrn Prof. Koch danken, der mir die Forschung auf dem Gebiet der Automatisierung der Punktmethode vorschlug und bei der Abgrenzung des Themas entscheidend mitwirkte. Außerdem danke ich Herrn Prof. Buchroithner, der mir den Zugang zu unveröffentlichten Diplomarbeiten des Instituts für Kartographie an der TU Dresden ermöglichte.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Bill, der die Arbeit über den gesamten Zeitraum begleitete, danke ich sehr für die anregenden Diskussionen, das entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung. Mein Dank gilt außerdem allen Mitarbeitern der Professur für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock, die mich stets unterstützt haben. Insbesondere möchte ich Frau Schwarz und Herrn Schenkel für die Unterstützung bei technischen Problemen danken.

Besonderer Dank gilt meiner Familie und meinem Lebensgefährten, ohne die eine Fertigstellung innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens nicht möglich gewesen wäre. Sie haben mir den Rücken frei gehalten und durch konstruktive Kritik sehr zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Rostock im Juli 2012

Annette Hey

Zusammenfassung

Die Punktmethode ist eine in ihrer Konstruktion sehr aufwändige kartographische Darstellungsmethode zur Visualisierung quantitativer Daten und deren räumlicher Verteilung. Dabei wird eine Menge durch eine Ansammlung von Streuungspunkten, die in Größe und Wert identisch sind, abgebildet.

Durch eine fehlende automatisierte Umsetzung stand die Punktmethode bisher nur erfahrenen Kartenbearbeitern zur Verfügung und wurde daher nur selten genutzt. In der vorliegenden Arbeit wird die Literatur zum Thema Punktmethode analysiert und das Automatisierungspotential geprüft. Darauf aufbauend wird ein Verfahren zur automatischen Konstruktion einer Punktstreuungsdarstellung entwickelt. Das Verfahren basiert auf den darzustellenden Werten und einigen wenigen Parametern, wie z.B. dem Maßstab der Karte. Für den erfahrenen Kartographen bietet das Verfahren die Möglichkeit verschiedene Parameterkombinationen schnell testen zu können und damit den Entwurfsprozess zu beschleunigen. Neben der visuellen Qualitätsbeurteilung der so konstruierten Punktstreuungsdarstellung wird auch eine Fehlerbetrachtung durchgeführt, sodass eine Beurteilung der Qualität anhand des unvermeidbaren Rundungsfehlers ermöglicht wird.

Das Verfahren ist implementiert und wird zum Abschluss an realen Datensätzen getestet.

Schlüsselbegriffe:

Kartographie, Punktstreuungskarte, Darstellungsmethode, Automatisierung

Abstract

Dot Mapping is a complex cartographic visualisation method to represent quantitative data and its spatial distribution. The design of a dot map is very elaborate. Dot maps show quantities by using a gathering of dots, which are equal in size and represented value.

In this thesis a method to automatically create, in a cartographic sense, good dot maps is developed. Thereby this representation method is available to cartographic laymen. Expert cartographers are supported by speeding up the map design process.

Because of non-existing automatic methods dot mapping was reserved for expert cartographers and therefore only seldom used. This thesis analyses literature concerning dot mapping and analyses the potential of automating dot mapping. On this basis a method to automatically create dot maps is developed. This method uses the data to be presented and a few parameters, e.g. the map scale. To expert cartographers this method provides the possibility to swiftly test different parameter sets. Thus the map design process is sped up. Besides a visual quality control of the created dot, map errors are regarded. So the quality of the dot map can be rated by means of the inevitable rounding errors.

The method is implemented and is tested with real data. The results are given at the end of the thesis.

Key words:

cartography, dot map, cartographic representation method, automation

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

<i>Einleitung</i>	1
--------------------------	----------

Kapitel 2

<i>Punktmethode – Wesen und Einordnung</i>	3
---	----------

2.1 Definitionen & Bezeichnungen	3
----------------------------------	---

2.2 Geeignete Maßstäbe	14
------------------------	----

2.3 Dargestellte Daten	18
------------------------	----

2.4 Nutzung und Auswertung von Punktstreuungskarten	24
---	----

2.5 Zusammenfassung	29
---------------------	----

Kapitel 3

<i>Konstruktion einer Punktstreuungskarte</i>	31
--	-----------

3.1 Abgrenzung der Platzierungsflächen	32
--	----

3.2 Anordnung der Punkte	41
--------------------------	----

3.3 Festlegung des Wertmaßstabs (Punktwert & Punktgröße)	46
--	----

3.4 Graphische Umsetzung	64
--------------------------	----

3.4.1 Gestaltung der Streuungspunkte	64
--------------------------------------	----

3.4.2 Behandlung von Ballungsgebieten	67
---------------------------------------	----

3.4.3 Gestaltung des topographischen Hintergrundes	69
--	----

3.5 Technische Hilfsmittel	72
----------------------------	----

3.6 Zusammenfassung	73
---------------------	----

Kapitel 4

<i>Stand der Forschung – von der manuellen Kartenkonstruktion bis zur automatisierten Punktberechnung</i>	75
--	-----------

4.1 DE GEER [1922] – Die erste Punktstreuungskarte	76
--	----

4.2 KLAMT [1972] & HOFMANN [1972] – Regelmäßige Punktverteilung in vorgegebenen Flächen	81
---	----

4.3 LAVIN [1986] – Zufallsbasierte Punktplatzierung in Einheitsflächen	87
--	----

4.4 Aschenbrenner [1989] – Regelbasierte Punktplatzierung in vorgegebenen Flächen	90
---	----

4.5 Ditz [2000] – neue Ideen zu digitalen Punktstreuungskarten	105
--	-----

4.6 Kimerling [2009] – neue Ideen zur zufallsbasierten Punktplatzierung	107
---	-----

4.7 Stippling – Punktplatzierung in der Computergraphik	123
---	-----

4.8 Zusammenfassung	124
---------------------	-----

Kapitel 5

Methode zur automatisierten Konstruktion einer Punktstreuungskarte	127
5.1 Bestimmung der Platzierungsfläche	127
5.1.1 Ausschlussflächen	130
5.1.2 Mindestabstände	130
5.2 Platzierung der Punkte	131
5.2.1 Allgemeiner Spiralwirbel-Ansatz	132
Die ersten Punkte der Punktwolke	134
Der Startwinkel φ_1	136
Festlegung des Parameters a – Methode 1: Punktabstand auf der Spirale	136
Festlegung des Parameters a – Methode 2: Konzentrische Kreise	140
Berechnung der Punktkoordinaten	141
5.2.2 Ansatz des stufenweise verdichteten Spiralwirbels	143
Zeichenreihenfolge innerhalb der Punktwolke	149
Pseudo-zufällige Punktverschiebung	153
5.2.3 Ansatz der dynamischen Abstände	159
5.2.4 Maximierung der Punktzahl	164
5.3 Festlegung des Punktwertes	165
5.4 Fehlerbetrachtung	167

Kapitel 6

Test des entwickelten Automatisierungsverfahrens	169
6.1 Implementierung	170
6.1.1 Veränderbare Parameter	170
6.1.2 Programmablauf	170
6.2 Bevölkerungsdatensatz „Rostock“ (1:25 000)	171
6.3 Bevölkerungsdatensatz „KELNHOFER“ (1:150 000)	177
6.4 Zusammenfassung	182

Kapitel 7

Fazit	183
7.1 Zielerreichung	183
7.2 Ausblick	184

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literatur- und Quellenverzeichnis

Anhang

Kapitel 1

Einleitung

Die Kartographie wird verschiedenen Wissenschaftsbereichen zugeordnet. Hin und wieder wird ihr auch ein künstlerischer Anteil zugeschrieben. „Der Kartograph ist 50% Geograph, 30% Künstler, 10% Mathematiker und 10% alles übrige.“ [RAISZ 1948, S. 14] Doch während in der Kunst die subjektive Wahrnehmung des Künstlers im Vordergrund steht, wird in der Kartographie eine Darstellung der objektiven Wahrnehmung (des Raumes) angestrebt. KELNHOFER [1971] weist darauf hin, dass sich in der thematischen Kartographie keine Formeln finden lassen, um die Darstellung der Wirklichkeit in einer Karte genau zu beschreiben. Lediglich einen Rahmen vermag das Aufstellen von Regeln für die Gestaltung geben. Dieser Rahmen – so KELNHOFER – werde vom Kartographen individuell ausgefüllt, immer mit Blick auf das Thema der Karte. So meint er: „Gerade jene subjektiven Entscheidungen werden vielleicht die Themakartographie vor einer vollständigen Automation retten können, denn diese kann auch kein noch so exakt funktionierender Computer treffen.“ [KELNHOFER 1971, S. 14] Obwohl KELNHOFER auch die Unzulänglichkeit des Menschen als Gestalter der Karte als Problem anführt, so scheint er der völlig computergesteuerten Kartenherstellung mit Sorge gegenüber zu stehen. Seit diesen Äußerungen sind 40 Jahre vergangen. Die Computertechnik und damit auch die Computergrafik haben sich in dieser Zeit rasant entwickelt. Viele heute selbstverständliche Dinge, wie z.B. das Gestalten eines ansprechenden und korrekten Diagramms auf Grundlage vorhandener Daten, waren damals eine große Leistung, die nur mit viel Aufwand zu erreichen war. Dennoch sind noch nicht alle kartographischen Darstellungsmethoden automatisiert umgesetzt worden. Vor allem im Bereich der Darstellung räumlicher Verteilung mittels der Punktmethode existieren nur wenige Hilfestellungen für die Kartenkonstruktion. Diese sind aber gerade für ungeübte Kartenbearbeiter wichtig. In Zeiten, in denen die Kartenkonstruktion durch Computerprogramme auch Nichtkartographen offen steht, sind die angesprochenen Hilfestellungen unverzichtbar, um die kartographische Qualität der Ergebnisse auch bei fehlender Erfahrung des Bearbeiters zu gewährleisten. Doch auch erfahrene Kartographen können von einer Automatisierung profitieren, indem die Konstruktion der thematischen Darstellung ohne großen Aufwand für verschiedene Kombinationen der Gestaltungsparameter durchgeführt werden kann.

Punktstreuungskarten, eine spezielle Form der Punktmethode, werden nicht nur wegen ihrer Fähigkeiten bei der Visualisierung von räumlichen Verteilungen geschätzt. Sie werden häufig auch als Grundlage für die Ableitung weiterer thematischer Karten genutzt. So nennt KELNHOFER sie z.B. als Grundlage für die ‚Quadratrastermethode‘, eine Methode zur Darstellung flächenbezogener Werte.

Die ersten Arbeiten auf dem Gebiet der Punktstreuungsdarstellungen entstanden zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Form von Bevölkerungskarten, die wertproportionale Kartenzeichen verwendeten. DE GEER war es schließlich, der die Darstellung nach der ‚absoluten Methode‘ begründete (vgl. [KELNHOFER 1971], [DE GEER 1922]). Es folgten immer wieder Versuche, einheitliche Regeln für die Gestaltung einer Punktstreuungskarte festzulegen und diese als Grundlage für eine Automatisierung zu nutzen. KLAMT [1972], die sich in ihrer Diplomarbeit mit der automatischen Generierung von Punktkarten auseinandersetzt, verweist auf das große Problem der Punktmethode: die räumliche Auflösung der statistischen Daten und der enorme Arbeitsaufwand bei der Gestaltung der Karte (Festlegung von Punktgröße, Punktwert und Punktplatzierung). Sie verleiht der Hoffnung Ausdruck, dass die Punktmethode durch die Automation ein breiteres Anwendungsfeld erschließen wird. Auch HOFMANN [1972] beklagt die geringe Anwendung der Punktmethode in Karten. Die Methode sei einfach und anschaulich, allerdings – so räumt sie ein – erfordert die Punktmethode einen deutlich höheren Aufwand in der Konstruktion als andere Darstellungsmethoden. Daher sei „die automatisierte Herstellung von Karten der Punktmethode ... eine vorrangige Aufgabe der Kartographie“ [HOFMANN 1972, S. 6].

Die vorliegende Arbeit möchte dazu einen Beitrag leisten. Es soll ein Verfahren entwickelt werden, das allein auf Basis der darzustellenden Werte und deren Verortung eine Punktstreuungsdarstellung generiert, die kartographischen Ansprüchen genügt.

Die vorliegende Arbeit ist wie folgt aufgebaut: Zu Beginn werden die theoretischen Grundlagen der Punktmethode zusammengetragen. Während sich *Kapitel 2* mit den Begriffen und Definitionen beschäftigt, werden in *Kapitel 3* die Arbeitsschritte der Kartenkonstruktion behandelt. *Kapitel 4* stellt verschiedene Vorarbeiten zur Automatisierung der Punktmethode vor. In den *Kapiteln 5* und *6* wird das neu entwickelte Automationsverfahren erläutert und Ergebnisse aus Praxistests gezeigt. Das letzte Kapitel widmet sich einer Zusammenfassung der Arbeit und gibt einen Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten.

Kapitel 2

Die Punktmethode – Wesen und Einordnung

Im Folgenden sollen Begriffe rund um die Karten nach der Punktmethode zusammengetragen und geordnet werden. Ebenso sollen die bevorzugten Maßstabbereiche definiert werden. Außerdem werden auch die in Karten nach der Punktmethode dargestellten Daten und deren Nutzung näher betrachtet werden.

2.1 Definitionen & Bezeichnungen

Die Punktmethode ist „eine kartographische Darstellungsmethode, die zur Wiedergabe der räumlichen Verteilung von wert- und/oder mengenmäßig fassbaren Sachverhalten einfachste graphische Figuren in einer Größenordnung benutzt, die es gestattet, sie unabhängig von ihrer Gestalt als Punkt wahrzunehmen.“ [KOCH/STAMS 2002, S. 242]

Das Hauptmerkmal der Punktmethode ist die Verwendung von Punkten, deren Größe und Wert identisch sind. Je nach Anordnung der Punkte werden meist zwei Arten von Karten nach der Punktmethode unterschieden – Punktdichtekarten und Punktstreuungskarten (siehe Abbildung 2.1).

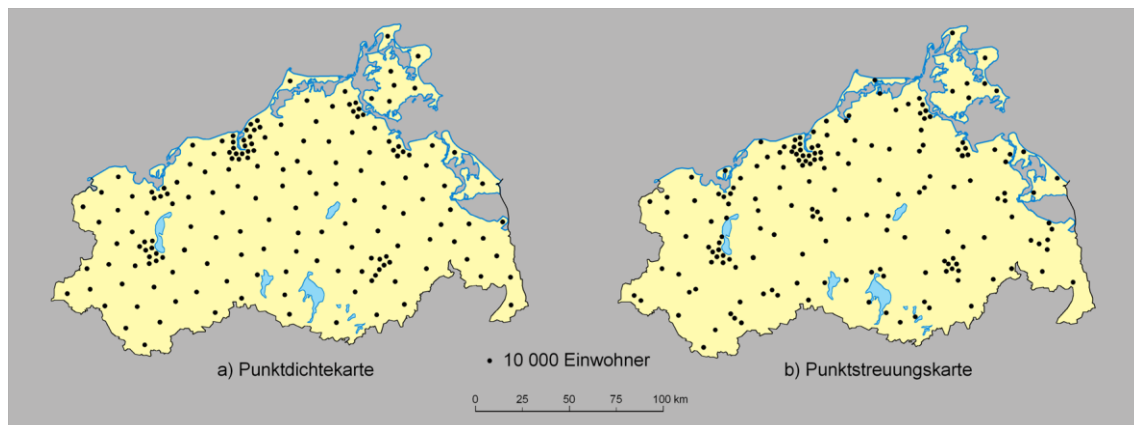


Abbildung 2.1: Kartenformen nach der Punktmethode

In Punktdichtekarten werden die Punkte gleichmäßig über das Verbreitungsgebiet verteilt. Diese Karten liefern lediglich eine Darstellung der Objektdichte, weniger ein Bild der Verteilung. Punktstreuungskarten hingegen zeigen eine genauere Verteilung, da hierbei geographische und topographische Gegebenheiten berücksichtigt werden. Die Punkte gruppieren sich meist um einen Bezugspunkt (z.B. den Schwerpunkt der Bezugsfläche) und bilden sogenannte ‚Punktwolken‘. Da für Punktdichtekarten bereits verschiedene Konstruktionshilfen existieren, konzentriert sich diese Arbeit auf die

Konstruktion von Punktstreuungskarten. Im Folgenden sollen Begriffe aus der Literatur auf diese zwei Grundformen von Punktkarten und die darin genutzten Kartenzeichen zurückgeführt werden.

Als Basis der Bezeichnungen von kartographischen Darstellungsmethoden in dieser Arbeit dient die von KOCH [2002a] verfasste Zusammenstellung. Dort wird die Punktmethode zu den punktbezogenen Methoden gezählt und als „am Ort des Vorkommens abgebildete kleine graphische Elemente (Punkte), die jeweils eine bestimmte Menge als Einheitswert (Punktwert) repräsentieren und als Punktstreuung in Erscheinung treten“ [KOCH 2002a, S. 17] charakterisiert.

WITT [1970] ordnet Karten nach der Punktmethode in die ‚absoluten Karten‘ ein. Dabei stellen diese absoluten Karten Mengen quantitativ dar, wobei sowohl eine exakte Darstellung als auch eine gestufte, klassifizierte Darstellung möglich ist. Die Menge wird durch die Größe der Kartenzeichen wiedergegeben. Diese kann demnach entweder gleich bleiben (Werteinheitssignatur) oder je nach Menge variieren (gestufter oder gleitender Wertmaßstab). Damit ist die Definition der Punktmethode von WITT weitreichender als jene von KOCH, da sie auch Mengensignaturen in gleitendem und gestuftem Wertmaßstab zulässt.

In sehr geringem Umfang werden Mengensignaturen in gestuftem Wertmaßstab in der Kleingeldmethode, einer Erweiterung der Punktmethode, eingesetzt. Bei der Kleingeldmethode werden Mengensignaturen, die unterschiedliche Werte repräsentieren, so kombiniert, dass mit möglichst wenigen Signaturen die Gesamtmenge dargestellt werden kann. Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab hingegen treten in der Punktmethode im Sinne der Definition von KOCH nicht auf. WITT erklärt den Begriff ‚Punktmethode‘ für die absoluten Karten mit der Gestalt der häufig genutzten punktförmigen Kartenzeichen bzw. der Möglichkeit, die Kartenzeichen punktgenau zu platzieren (aufgrund der Gestalt der Kartenzeichen ist der Bezugspunkt eindeutig erkennbar). Er vermengt an dieser Stelle jedoch die Positionssignaturen, die er als Synonym aufführt, mit den Werteinheitssignaturen der Punktmethode. Während Positionssignaturen vorwiegend qualitative Informationen vermitteln, sind Werteinheitssignaturen eindeutig quantitativer Natur. WITT weist zwar darauf hin, dass der Begriff ‚Punktkarte‘ oft nur für Karten verwendet wird, die in ihrer Größe gleichbleibende Kartenzeichen verwenden, dennoch schlägt er vor, die Bezeichnung für alle quantitativen Karten zu verwenden, unabhängig davon, welche Form die

Kartenzeichen tatsächlich haben und wie sie sich entsprechend der darzustellenden Menge verhalten. Er führt auch andere Begriffe für diesen Kartentyp auf. So nennt er ‚Positionskarte‘, ‚Standortkarte‘, ‚Verteilungskarte‘, ‚Konzentrationskarte‘, ‚Streuungskarte‘ und ‚Mengenkarte‘. Diese Bezeichnungen würden nach WITT jedoch nicht synonym verwendet, sondern jeweils einen bestimmten Aspekt der Kartenart betonen. Diese Bezeichnungen vermischen quantitative und qualitative Karten. Für Karten nach der Punktmethode erscheinen allenfalls die vier letztgenannten Bezeichnungen (Verteilungskarte, Konzentrationskarte, Streuungskarte und Mengenkarte) akzeptabel.

Die Kartenzeichen der Punktmethode bezeichnet WITT als ‚diagrammatische Signaturen‘. Das können z.B. Quadrate, Kreisflächen oder auch Buchstaben sein. Sogar Zahlen und bildliche Darstellungen hält er hier für möglich. Diese Kartenzeichen werden, soweit dies möglich ist, lagertreu oder schwerpunktmäßig eingetragen. Nach WITT darf die absolute Methode, zu der er die Punktmethode zählt, aber keine rein ‚räumlich angeordnete Stoffsammlung‘ bleiben. Sie muss mit anderen Informationen zum Raumgefüge verknüpft werden, da sie „isoliert kein entscheidender Beitrag ist“ [WITT 1970, S. 363]. Welche anderen Informationen das sind, lässt er offen.

WITT unterscheidet zwei Arten von Punktkarten: ‚Größenpunktkarten‘ und ‚Dichtepunktkarten‘. Hinter dem Begriff ‚Größenpunktkarten‘ verbergen sich dabei Karten mit größenvariierten Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab, die nicht der Punktmethode im Sinne der obigen Definition entsprechen. WITT empfiehlt, sie für Werte einzusetzen, die nicht gleichmäßig im Raum verteilt sind, sondern sich an bestimmten Punkten konzentrieren. Er verwendet die Begriffe ‚Dichtepunktkarte‘ und ‚Punktstreuungskarte‘ synonym und stellt auch von anderen genutzte Begriffe vor. So verwende z.B. WILHELMY [1966] die Bezeichnung ‚Dichtekarten nach absoluter Methode‘. Diese Bezeichnung ist eigentlich ein Widerspruch in sich, da sich eine Dichte stets auf etwas bezieht, während Absolutwerte sich dadurch auszeichnen, keinerlei Bezüge aufzuweisen. Die Darstellung verschiedener Qualitäten oder Zeitpunkte mittels Farbe bezeichnet WITT als ‚Kombinierte Punktstreuungskarten‘. Ebenfalls unter diesem Begriff ordnet er die Kombination von Dichtepunkten und Größepunkten, also die Kombination von Werteinheitssignaturen und Mengensignaturen in gleitendem oder gestuftem Wertmaßstab ein, wie DE GEER sie in seiner Bevölkerungskarte von Schweden (siehe *Kapitel 4* oder [DE GEER 1922]) verwendet.

KELNHOFER [1971] stellt eine Übersicht der kartographischen Darstellungsmethoden und daraus resultierende Kartenformen in Form seines ‚kartographischen Strukturschemas‘ zusammen. Er unterscheidet kartographische Aussageformen hinsichtlich ihrer Komplexität in elementar-analytische Aussagen, komplex-analytische Aussagen und synthetische Aussagen. Diese Einteilung ist jedoch unabhängig von ARNBERGERS Einteilung kartographischer Ausdrucksformen (analytische, komplex-analytische und synthetische Karte; siehe [ARNBERGER 1966]). Eine komplex-analytische Aussageform liegt demnach erst dann vor, wenn „ein Sachverhalt in seiner inneren strukturbedingten Gliederung“ [KELNHOFER 1971, S. 57] dargestellt wird. Die elementar-analytischen Aussageformen dienen dazu, die räumliche Verteilung differenziert nach Qualität und Quantität darzustellen. Eine genauere Betrachtung der Komplexitätsgrade erfolgt in *Abschnitt 2.3*. Hinsichtlich der Geometrie der verwendeten Kartenzeichen gliedert KELNHOFER in seinem Strukturschema die Kartenformen der verschiedenen Komplexitätsstufen weiter auf. Die Punktmethode tritt dabei ausschließlich im Zusammenhang mit der geometrischen Ausprägung Punktsignatur auf. Bei den synthetischen Aussageformen ist sie gar nicht zu finden. Dafür tritt sie sowohl bei den elementar-analytischen als auch bei den komplex-analytischen Aussageformen auf – dort jeweils in positions- und in flächenbezogener Form. Für die elementar-analytischen Aussageformen trifft KELNHOFER folgende Charakterisierung: In positionsbezogener Form heißt die Punktmethode ‚Mengenbild‘, bei der flächenbezogenen Form unterscheidet er ‚Streuungspunkte‘ und ‚Mengenpunkte‘. Streuungspunkte sind dabei „vorwiegend positionsbezogene Einheitswertpunkte“ [KELNHOFER 1971, S. 16] (siehe Abbildung 2.2).



Abbildung 2.2: Bevölkerungsverteilung – Streuungspunkte, Punktwerte: 25 (links) und 100 (rechts); Maßstab 1: 150 000; Abb. verkleinert [KELNHOFER 1971, Teil II, Ausschnitte aus „Bevölkerungsverteilung I“ (links) und „Bevölkerungsverteilung II“ (rechts)]

Die Mengenpunkte werden hingegen als „auf eine Bezugsfläche bezogene, gleichabständige Einheitswertpunkte“ [KELNHOFER 1971, S. 16] bezeichnet. Sie stellen eine Art Flächenkartogramm dar. Die Einteilung für die komplex-analytischen Aussageformen ist ähnlich. Der Hauptunterschied besteht darin, dass die Einheitswertpunkte nunmehr artmäßig, d.h. qualitativ, aufgegliedert sind. Für eine positionsbezogene Aussage verwendet KELNHOFER die Bezeichnung ‚Gegliedertes Mengenbild‘. Bei den flächenbezogenen Aussagen unterscheidet er ‚Pointillismus‘ (vorwiegend positionstreu) und ‚gegliederte Mengenpunkte‘ (gleichabständig). Nach ASCHENBRENNER [1989] entstammt der Begriff ‚Pointillismus‘ der darstellenden Kunst. Er bezeichnet demnach Streuungspunkte, die durch Farben qualitativ unterschieden werden. Die genannten Begriffe bezeichnen nach KELNHOFER ausnahmslos diskrete, statische Erscheinungen. Lediglich das ‚Mengenbild‘, die positionsbezogene elementar-analytische Aussageform, kann nach seinen Ausführungen auch zur Darstellung kontinuierlicher Erscheinungen verwendet werden.

KELNHOFER präsentiert auch andere Zusammenstellungen der kartographischen Darstellungsmethoden, wie sie von IMHOF [1962], FREITAG [1963] und ARNBERGER [1966] vertreten werden. IMHOF bezeichnet die Darstellungen, die KELNHOFER als ‚Mengenbild‘ (positionsbezogen, elementar-analytisch) und ‚gegliedertes Mengenbild‘ (positionsbezogen, komplex-analytisch) bezeichnet, als ‚Positions-, und ‚Ortsdiagrammkarten‘. FREITAG spricht von ‚Speziellen Darstellungen in Positionstreue (Spezialkarte)‘. Dabei werden Diskreta mit der ‚Methode der Einzelobjektsignaturen‘ dargestellt.

Die Darstellung, die von KELNHOFER mit den Begriffen ‚Mengenpunkt‘ bzw. ‚Streuungspunkt‘, ‚Prozentpunkt‘ (flächenbezogen, elementar-analytisch) und ‚Pointillismus‘ bzw. ‚gegliederte Mengenpunkte‘ (flächenbezogen, komplex-analytisch) beschrieben werden, nennt IMHOF ‚Objektstreuungen‘ bzw. ‚Dichte- und Verteilungskarten‘, genauer ‚Absolute Verteilungskarten‘ oder ‚Punktstreuungskarten‘. FREITAG führt diese Darstellungsformen unter der Bezeichnung ‚Spezielle Darstellungen in Raumtreue (Kartogramm) bezogen auf geographische Räume‘. Dabei werden zur Darstellung der diskreten Werte ‚Mengenpunkte‘ eingesetzt. ARNBERGERS kartographische Darstellungsprinzipien verbindet KELNHOFER folgendermaßen mit den von ihm gewählten Begriffen: Das ‚Mengenbild‘ (elementar-analytisch) und das ‚gegliederte Mengenbild‘ (komplex-analytisch, beide positionsbezogen) ordnet er

sowohl in das ‚Topographische Prinzip‘ als auch das ‚Bildstatistische Prinzip‘ ein. Der ‚Prozentpunkt‘ (flächenbezogene Darstellung, elementar-analytisch, Relativwert) wird ebenfalls dem ‚Topographischen Prinzip‘ und zusätzlich dem ‚Diagrammprinzip‘ zugeordnet. ‚Streuungspunkt‘ bzw. ‚Mengenpunkt‘ (elementar-analytisch) und ‚Pointillismus‘ bzw. ‚gegliederte Mengenpunkte‘ (komplex-analytisch, beides flächenbezogene Absolutwertdarstellungen) finden sich nach KELNHOFER in ARNBERGERS ‚Topographischem Prinzip‘, ‚Bildstatistischem Prinzip‘ und ‚Diagrammprinzip‘ wieder. Die Zuordnung zum ‚Topographischen Prinzip‘ ist dabei jedoch unsicher. In allen Fällen kommen ARNBERGERS ‚Werteinheitssignaturen‘ zum Einsatz. In späteren Auflagen bezeichnet ARNBERGER diese Mengensignaturen als ‚Werteinheitensignaturen‘.

Das Gestaltungselement für Karten nach der Punktmethode bezeichnet KELNHOFER als ‚invariablen Einheitspunkt‘, ohne jedoch den Begriff ‚Punktmethode‘ zu verwenden. Die Eigenschaft, einen bestimmten Wert zu repräsentieren, wird als charakteristisch für invariable Einheitspunkte genannt. Dabei ist die Figur der Punkte nicht festgelegt. „Jede beliebige geometrische Figur oder schematisierte figürliche Darstellung“ [KELNHOFER 1971, S. 60] kann dafür genutzt werden. KELNHOFER verweist auch auf die Möglichkeit, mehrere Größen von Einheitswerten zu verwenden, um die quantitative Aussage zu übermitteln. „Entscheidend ist nur, daß erst die Summe der Einzelquantitäten die eigentliche quantitative Aussage bildet.“ [KELNHOFER 1971, S. 60]. Hier unterstreicht KELNHOFER deutlich die Charakteristik der Punktmethode. Ein (Mengen-)Punkt für sich allein trifft noch keine vollständige Aussage. Erst das Zusammenwirken mehrerer Punkte in einer Ansammlung, z.B. einer Punktwolke oder innerhalb einer Bezugsfläche, führt zu einer vollständigen quantitativen Aussage. Gleichzeitig deutet KELNHOFER auch verwandte Darstellungsmethoden wie die Kleingeldmethode an, indem er unterschiedliche Größen (sowohl graphisch als auch bezogen auf die repräsentierte Menge) der Werteinheitssignaturen zulässt (siehe Abbildung 2.3). KELNHOFER schlägt in Anlehnung an ARNBERGER [1964] den Begriff ‚Mengenbilder‘ vor, um darunter alle Aussagen zusammenzufassen, die wie ein Diagramm aufgebaut sind und positionsbezogen platziert werden. Dazu gehören z.B. die Methode der Wiener Bildstatistik sowie die Zählrahmen- und Kleingeldmethode (vgl. [STAMS 2001]).

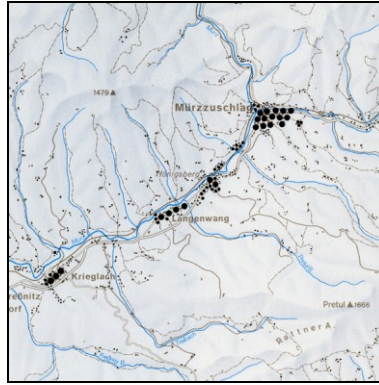


Abbildung 2.3: Bevölkerungsverteilung – Mengendifferenzierte Streuungspunkte, Punktwerte: 10, 100, 500 [KELNHOFER 1971, Teil II, Ausschnitt aus „Bevölkerungsverteilung III“]

Wie bereits aus KELNHOFERS kartographischem Strukturschema ersichtlich, spricht IMHOF von ‚Punkt-, oder ‚Punktstreuungskarten‘. Punkt- und Signaturenkartogramme bzw. Punktstreuungs- oder Punktkarten seien statistische Karten (Kartogramme), deren Hauptzweck „die Vermittlung statistischer Mengen- oder Zahlenwerte geographischer Größen eingliedert in die geographischen, mehr oder weniger grundrißlich dargestellten Räume“ [IMHOF 1972, S. 154] ist. Er bezeichnet die Punkte in Punktkarten als ‚Wertpunkte‘.

ASCHENBRENNER [1989] empfiehlt die Verwendung der Bezeichnungen ‚absolute Verteilungskarten‘ oder ‚Punktstreuungskarten‘. Den von WALTER [1957] gebrauchten Begriff der ‚Dichtepunkte‘ lehnt er ab, da die Dichte für eine relative Aussage stehe, im Gegensatz dazu die Dichtepunkte jedoch eine absolute Verteilung darstellen sollen. ASCHENBRENNER verwendet den seinerzeit „allgemein“ genutzten Begriff der ‚Werteinheitensignaturen‘, die von ARNBERGER als Signaturen verstanden werden, „welche durch ihre Form und Farbe Objekte qualitativ kennzeichnen und durch die entweder eine Summe von Objektwerten wiedergegeben wird oder die selbst nur ein Teil eines Objektwertes sind“ [ARNBERGER 1977, S. 410]. Diese Definition beschreibt den Charakter eines Punktes in einer Punktstreuungskarte sehr treffend. Der Punkt ist sowohl die Summe von Objektwerten – denn er steht für mehrere Kartenobjekte, wie z.B. 50 Einwohner – als auch Teil eines Objektwertes, da erst die Summe aller Punkte den Gesamtwert, z.B. alle Einwohner einer Stadt, darstellt.

ARNBERGER [1993] bezeichnet ‚absolute Verteilungskarten‘ als ‚Punktstreuungskarten‘. Dieser Kartentyp ist seiner Meinung nach das Hauptanwendungsgebiet für ‚Werteinheitensignaturen‘. Neben der ‚Wiener Methode der Bildstatistik‘, der ‚Kleingeldmethode‘ und der ‚Baukastenmethode‘ gehört nach ARNBERGER auch die ‚Punktstreuungskarte‘ zu den ‚Mengenbildmethoden‘. Das Wesen der Punktmethode

bezeichnet er als quantitativ zusammenfassende Wiedergabe von Objekten bzw. von Objektwerten in Form von ‚Sammelsignaturen‘. Als Beispiel für die erstmalige Verwendung einer ‚Punktstreuungskarte‘ nennt ARNBERGER DE GEERS „Karte über Bevolknings i Sverige den 1. Januar 1917, 1: 500 000“ (Karte der Bevölkerungsverteilung in Schweden am 1. Januar 1917) (vgl. [DE GEER 1922]). Die Karte verwendet sowohl Werteinheitssignaturen (1 Punkt entspricht 100 Einwohnern) als auch volumenproportionale Mengensignaturen – Kugeln. Die Werteinheitssignaturen sind zum Teil in Blöcken regelmäßig angeordnet (siehe *Kapitel 4*).

HAKE et al. [2002] sprechen von ‚Punktkarten‘, ‚Punktstreuungskarten‘ oder ‚Objektstreuungskarten‘. „Bei großer Objekthäufung und zur Wiedergabe typischer Objektverteilungen eignen sich Punkte als Gestaltungsmittel: Solange dabei jeweils ein Punkt ein Objekt repräsentiert, entspricht dies der Darstellung qualitativer lokaler Diskreta in Gestalt einer Standortkarte Ist aber jedes *einzelne* Objekt infolge sehr großer Objektdichte nicht mehr darstellbar, so wird der Punkt zur Werteinheit für eine bestimmte Menge.... Damit ist die allgemeine Signaturenmethode zu einer spezifischen *Punktmethode* übergeleitet. Bei .. *Punktkarten (Punktstreuungs- oder Objektstreuungskarten)* ergibt sich die Gesamtmenge für einen Bereich durch Auszählen der Punkte und Multiplikation mit dem Mengenwert.“ [HAKE et al. 2002, S. 470] Die Punktmethode kann demnach in die Kategorie der lokal oder flächenhaft angeordneten geometrischen Signaturen in Form von Werteinheiten eingeordnet werden. Als Vorteil geometrischer Signaturen wird die einfache und eindeutige Ausmessbarkeit bei quantitativen Vergleichen genannt. Die geometrischen Signaturen werden auch als ‚abstrakte Signaturen‘ bezeichnet. Als ‚Werteinheitssignatur‘ wird hingegen eine Signatur bezeichnet, die eine bestimmte Werteinheit repräsentiert. HAKE et al. sprechen von der ‚Kartenzeichenwerteinheit‘.

OLBRICH et al. [2002] erwähnen Punktdichtedarstellungen als Sonderfall der ‚Mengenmethode‘ bei ‚Diagrammen für Einzelwerte‘ in ‚Diagrammkarten‘. ‚Punktstreuungskarten‘ werden jedoch nicht explizit erwähnt. OLBRICH et al. beschränken sich auf eine Einteilung der thematischen Karten in ‚Karten‘ und ‚Kartogramme‘, wobei Karten als positionstreue Darstellung und Kartogramme als raumtreue Darstellung bezeichnet werden.

Nach dem Vorbild von ARNBERGER [1987] werden die Kartogramme weiter untergliedert in ‚Flächenkartogramme‘ und ‚Diakartogramme‘. Als Flächen-

kartogramme werden dabei thematische Karten beschrieben, die Bezugseinheiten thematischer Daten durch unterschiedliche Farben oder Füllmuster darstellen. In Diakartogrammen hingegen werden die Variablen in Form unterschiedlicher Diagramme dargestellt. Als Beispiele für Diagramme werden dabei Kreise und Quadrate genannt. Für die Umsetzung der quantitativen Informationen in ein Diagramm unterscheiden OLBRICH et al. mehrere Methoden: die ‚proportionale Methode‘, die ‚Mengenmethode‘, die ‚Kleingeldmethode‘ und die ‚Umrissmethode‘. Die proportionale Methode ist dabei vergleichbar einem gleitenden flächenproportionalen Wertmaßstab, wie er in GROBER [2002] beschrieben wird.

Die Mengenmethode nach OLBRICH et al. ist ähnlich der Methode der Wiener Bildstatistik. Kartenzeichen, die jeweils einen bestimmten Wert verkörpern, werden streng geometrisch angeordnet und in der Karte platziert. Die Anzahl der Kartenzeichen wird dabei durch den darzustellenden Wert bestimmt. Es werden so viele Kartenzeichen gesetzt, dass sie in der Summe den Gesamtwert repräsentieren. OLBRICH et al. bezeichnen dieses Verfahren als ‚gängig‘ für Karten der Bevölkerungsverteilung nach Regionen. Als Beispiel für ein Kartenzeichen einer solchen Karte, welches hier als ‚Signatur‘ bezeichnet wird, nennen sie abstrahierte Menschen, die jeweils 1000 Einwohner darstellen. Dabei unterstreichen OLBRICH et al. die Unveränderlichkeit der Größe der Kartenzeichen und fordern eine mittige Platzierung der schematisch angeordneten Zeichen innerhalb der Regionen in der Karte. Punktdichtedarstellungen sind laut OLBRICH et al. Sonderfälle der Mengenmethode. Anstelle der bildhaften Figuren werden dabei jedoch Punkte eingesetzt, die jeweils eine bestimmte Menge darstellen. Die Anordnung der Punkte erfolgt zufällig innerhalb der Bezugsflächen. OLBRICH et al. weisen darauf hin, dass diese Form der Darstellung von einigen Programmen zur Kartenherstellung angeboten wird. Sie raten jedoch davon ab, diese einzusetzen, da die zufällige Verteilung der Punkte echte Verteilungsmuster impliziert, die nicht dargestellt sind. Die Diagramme nach der Mengenmethode bezeichnen OLBRICH et al. als ‚Mengendiagramme‘.

Die Kleingeldmethode ist nach OLBRICH et al. eine Mischung aus Mengenmethode und proportionaler Methode. Hier werden Kartenzeichen entsprechend eines gestuften Wertmaßstabs skaliert und dann in Gruppen angeordnet, so dass die Menge sich als Summe möglichst weniger Kartenzeichen, vergleichbar verschiedener Währungseinheiten, ergibt. Die bei OLBRICH et al. genannte ‚Umrissmethode‘ ist nach Meinung

der Verfasserin in der Kartographie eher unüblich. Sie wird weder bei IMHOF [1972] noch bei ARNBERGER [1993], BOLLMANN/KOCH [2001/2002] oder HAKE et al. [2002] erwähnt. Bei der ‚Umrißmethode‘ werden nicht die Größe oder die Anzahl der Mengensignaturen verändert, sondern deren äußere Gestalt. OLBRICH et al. sprechen von ‚Formdiagrammen‘. Als Beispiel wird das ‚Zigarrendiagramm‘ erwähnt. Dabei wird die Grundform, der Kreis, dem Mittelwert der Daten gleichgesetzt. Durch horizontale oder vertikale Verzerrungen des Kreises werden positive und negative Abweichungen vom Mittelwert dargestellt. Dabei bleibt der Flächeninhalt der Ellipse stets gleich dem des Kreises.

OLBRICH et al. betrachten auch die vorhandenen Softwarelösungen für die Darstellung quantitativer Daten. Die hauptsächlich mit kartographischer und GIS-Standardsoftware herstellbaren Kartentypen für quantitative Darstellungen sind demnach ‚Choroplethenkarten‘, ‚Diagrammkarten‘ und ‚mehrschichtige Karten‘. Choroplethenkarten beschränken sich auf flächenhafte Darstellungen. In Diagrammkarten kommen nach OLBRICH et al. Diagramme zum Einsatz, welche ‚räumlich angeordnet‘ sind. Je nach Bezugseinheit der quantitativen Daten unterscheiden sie zwischen ‚Positionsdiagrammkarten‘ (punktbezogen) und ‚Gebietsdiagrammkarten‘ (flächenbezogen). Mehrschichtige Karten sind Karten, in denen mehrere dieser Darstellungsarten – eventuell auch in Kombination mit qualitativen Darstellungen (‚Standortkarten‘) – aufeinander treffen. Zuweilen vermischen OLBRICH et al. diese Begriffe und sprechen verallgemeinernd von ‚Choroplethenkarten‘, wenn Karten zur Darstellung quantitativer Werte gemeint sind. ‚Diagrammkarten‘ vereinen demnach in sich die Vorteile von Karten (primär räumliche Strukturen abzubilden) und Diagrammen (nichträumliche Strukturen abzubilden). Als Diagramme werden dabei graphisch umgesetzte quantitative Daten bezeichnet. Werteinheitssignaturen, wie sie für Punkstreueungskarten relevant sind, werden von OLBRICH et al. als ‚Diagramme für Einzelwerte‘ bezeichnet. Diese zeichnen sich demnach dadurch aus, dass sie nur einen einzelnen Zahlenwert pro Diagramm darstellen. Sie sind in ihrer Form nicht näher festgelegt. Als Beispiele für Formen werden Kreise, Rechtecke und Umrisse von Tieren oder Häusern genannt. Es wird deutlich auf den Unterschied zwischen Diagrammen (quantitative Daten) und Signaturen (qualitative Daten) hingewiesen.

Der Begriff der ‚Signatur‘ wird bei OLBRICH et al. [2002] mit Hinweis auf HAKE et al. [1994] synonym mit ‚Kartenzeichen‘ verwendet. Es werden punkt-, linien- und

flächenhafte Signaturen unterschieden, wobei alle für eine „weitgehend lagetreue Verortung der Objekte im Raum“ [OLBRICH et al. 2002, S. 36] eingesetzt werden. Die qualitative Aussage einer Signatur beschränkt sich nach OLBRICH et al. jedoch nicht auf die bloße Ortsangabe, sondern schließt auch die Darstellung einer oder mehrerer Eigenschaften des Objekts ein. Wird die Aussage um eine quantitative Dimension erweitert, findet ein Übergang von der Signatur zum Diagramm statt. OLBRICH et al. nennen die verschiedenen, teilweise abweichenden Bezeichnungen für derartige Diagramme in der Literatur. So erscheinen sie bei ARNBERGER [1987] als ‚Figurenkartogramm‘ und bei IMHOF [1972] als ‚Zahlenwertsignatur‘. Hier wird nochmals deutlich, dass OLBRICH et al. die Punktstreuungskarte nicht explizit als eigene Kartenform betrachten. Bei den von OLBRICH et al. verwendeten Begriffen wären Punktstreuungskarten am ehesten als ‚Diakartogramme‘ – genauer als eine Sonderform der ‚Mengendiagramme‘ – wiederzufinden.

Die von KELNHOFER [1971] als positionsbezogen eingeordneten Aussageformen ‚Mengenbild‘ und ‚Gegliedertes Mengenbild‘ bezeichnen Karten nach der ‚Methode der Diagrammsignaturen‘ im Sinne der von KOCH [2002a] definierten Darstellungsmethoden. Gleiches gilt für die ‚Positions- und Ortsdiagrammkarten‘ von IMHOF [1962] und für die ‚Speziellen Darstellungen in Positionstreue‘ von FREITAG [1963]. Wobei diese auch deutlich in Richtung der Standortkarten, d.h. Karten ohne quantitative Angaben, weisen. Für Karten, die mit der Punktmethode gestaltet werden, kommen sie nicht in Frage. Auch die von WITT [1970] eingeführten ‚Größenpunktkarten‘ stellen keine Karten nach der Punktmethode im Sinne der Definition von KOCH dar, sondern sind ebenfalls in den Bereich der flächen- oder punktbezogenen Diagrammdarstellungen zu verweisen. Die ‚Dichtepunktkarten‘, die WITT erwähnt, sind ebenso wie die ‚Dichtekarten nach absoluter Methode‘ von WILHELMY [1966] zu den Karten nach der Punktmethode zu zählen. Eine weitere Unterscheidung nach der Art der Punktanordnung wird von beiden nicht vorgenommen. Die von KELNHOFER charakterisierten ‚Mengenpunkte‘ und ‚gegliederten Mengenpunkte‘ gehören zu den Punktdichtekarten, da sie als gleichabständig bezeichnet werden. Der von IMHOF gebrauchte Begriff der ‚Absoluten Verteilungskarten‘ kann zwar auf Karten nach der Punktmethode verweisen, ist aber nicht speziell den Punktstreuungskarten zuzuordnen. Ebenso bezeichnen die ‚Speziellen Darstellungen in Raumtreue bezogen auf geographische Räume‘ von FREITAG nicht konkret Punktstreuungskarten, sondern Kartogramme allgemein. Die Prinzipien von ARNBERGER [1993] sind sehr allgemein

gefasst und die Zuordnung einer Kartenform kann oft nicht eindeutig erfolgen. Demnach verfolgt das bildstatistische Prinzip das Ziel, Objektwerte auszählbar darzustellen. Daher ist die Punktstreuungskarte hier einzuordnen. Die Signaturen stellen bei diesem Prinzip Werteinheiten dar und werden von ARNBERGER als ‚Werteinheitssignaturen‘ bzw. ‚Werteinheitensignaturen‘ bezeichnet. Objektwerte werden dann durch das Aufsummieren der Signaturwerte ausgedrückt. Durch Anwendung des bildstatistischen Prinzips entstehen laut ARNBERGER ‚Kartogramme‘ und ‚Kartodiagramme‘.

Aus der Vielzahl der vorgestellten Begriffe verbleiben nur die von KELNHOFER verwendeten Begriffe der ‚Streuungspunkte‘ und des ‚Pointillismus‘ (qualitativ untergliederte Streuungspunkte) und die von ARNBERGER verwendeten ‚Werteinheitssignaturen‘, bzw. der in der neueren Auflage verwendete Begriff der ‚Werteinheitensignaturen‘, die eindeutig den Punktstreuungskarten zugeordnet werden. IMHOF und HAKE et al. verwenden den Begriff der ‚Punktstreuungskarte‘. ARNBERGER bezeichnet sie als ‚Punktstreuungskarte‘. In der vorliegenden Arbeit wird der von IMHOF und HAKE et al. vorgeschlagene Begriff der Punktstreuungskarte verwendet. Die zur Darstellung der Werte genutzten Kartenzeichen werden als ‚Werteinheitssignaturen‘ bzw. als ‚Streuungspunkte‘ bezeichnet. Der Begriff der ‚Mengenpunkte‘ ist unterschiedlich belegt. Während FREITAG ihn auch für die Mengensignaturen in Punktstreuungskarten verwendet, sieht KELNHOFER darin die Mengensignaturen in einer Punktdichtekarte. Die Bezeichnung ‚Mengenpunkt‘ wird daher nicht genutzt.

2.2 Geeignete Maßstäbe

Bei der Festlegung des Maßstabs gilt es, nicht nur den Kartenmaßstab zu bestimmen, sondern auch den damit indirekt verbundenen Wertmaßstab der Mengensignaturen (auch als ‚Signaturenmaßstab‘ bezeichnet) zu definieren. Beim Übergang von der Punktmethode zur Kleingeldmethode, der bei großen Wertespannen notwendig werden kann, kommt das Prinzip eines gestuften Wertmaßstabes zum Einsatz. Das Grundprinzip ist für alle Arten von Wertmaßstäben das gleiche. Für die Darstellung der quantitativen Informationen wird die graphische Variable Größe verwendet. Je mehr Objekte z.B. ein Punkt verkörpern soll, desto größer sollte der Punkt sein.

KELNHOFER weist darauf hin, dass „der knappe, aber dafür treffende Inhalt mehr über das Thema aussagt als ein überfülltes, und damit unleserliches Kartenbild“ [KELNHOFER

1971, S. 16]. Er formuliert den Zusammenhang von Komplexität einer dargestellten Erscheinung und dem geeigneten Maßstab folgendermaßen: „Je höherrangiger – also komplexer – die dargestellte Erscheinung ist, desto unsicherer wird die geometrische Festlegung ihrer Abgrenzung und desto kleiner muß daher der Maßstab werden, um diese Unsicherheit abzufangen.“ [KELNHOFER 1971, S. 33] Er betrachtet diesen Zusammenhang fast als ‚kartographisches Gesetz‘. Bezogen auf die Darstellung in einer Punktstreuungskarte kann geschlussfolgert werden, dass recht große Maßstäbe möglich sind, da eine Punktstreuungskarte eine recht einfache Aussage darstellt. Es werden lediglich Informationen zum Standort bzw. zum Verbreitungsgebiet einer Menge gegeben. In einigen Fällen werden auch Angaben zu Objekteigenschaften gemacht, allerdings ausschließlich in qualitativer Form. Die quantitative Aussage ist durch den Punktwert stets Teil der Aussage einer Punktstreuungskarte.

Aus der Erfahrung im Umgang mit Punktstreuungskarten heraus werden verschiedene Maßstabsbereiche als ‚günstig‘ oder ‚ungünstig‘ für diese Darstellungsmethode bezeichnet. So führt WITT [1970] als Beispiel für Probleme in der Anwendung der Punktmethode in kleinmaßstäbigen Karten den „Weltbevölkerungsatlas“ von BURGDÖRFER [1958] an. Die Karten liegen in den Maßstäben von 1: 7 500 000 bis 1: 45 000 000 vor. Die Punktmethode ist hier nach dem Vorbild von DE GEER [1922] (siehe *Kapitel 4*), also als Kombination von Werteinheitssignaturen und Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab (Kugeln), gestaltet. Je kleiner der Maßstab der Karte ist, desto größer muss der Punktwert sein, da die Punkte sonst in der Karte zusammenlaufen (zu viele Punkte). Gerade Gebiete mit Objektballungen sind davon betroffen. Der Unterschied zwischen Gebieten dichter und lockerer Objektverteilung erweist sich in Karten mit kleineren Maßstäben als noch schwieriger zu behandeln. Mit dem notwendigerweise immer größer werdenden Punktwert wird eine adäquate Darstellung weniger dichter Objektverteilungen schwieriger, da Zusammenfassungen von Vorkommen und damit der Verlust der Lagetreue nicht mehr zu vermeiden sind.

Nach KELNHOFER ist die Festlegung des Maßstabs eine wichtige Entscheidung bei der Gestaltung einer Karte, die vor allem durch die Größe des Kartiergebiets, das vorhandene Datenmaterial und den Zweck der Karte bestimmt wird. In ‚mittleren‘ und ‚kleinen‘ Maßstäben versagt nach KELNHOFER die Streuungspunktdarstellung. Er empfiehlt hier, auf eine kombinierte Darstellung zurückzugreifen, z.B. eine

mengenproportionale Darstellung (KELNHOFER spricht von ‚Positionsdiagramm‘) für größere Objekthäufungen und Streuungspunkte für Streusiedlungsgebiete. Für ‚kleinere‘ Maßstäbe empfiehlt er eine Kombination von Streuungspunkten mit Positionsdiagrammen (Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab, nach Vorbild von DE GEER [1922]) oder mengendifferenzierte Streuungspunkte (Mengensignaturen in gestuftem Wertmaßstab, Kleingeldmethode). Sollte der Maßstab auch dafür zu klein sein, rät er, auf eine Kombination von Absolutwert- und Relativwertdarstellung auszuweichen. Welche Maßstäbe sich hinter ‚mittel‘ und ‚klein‘ verbergen, lässt KELNHOFER offen. Er führt auch an, dass Streuungspunkte mit konstantem Punktwert nur dann sinnvoll einzusetzen sind, wenn der Punktwert selbst relativ klein bleibt, so dass eine große quantitative Genauigkeit mit einem anschaulichen Verteilungsbild entsteht. Er beruft sich auf LEYDEN [1930], der sagt, dass die Genauigkeit einer Punktkarte ab einem Maßstab von 1: 200 000 nicht mehr gegeben ist. KELNHOFER betrachtet die Relativwertdarstellung als vorrangig für kleine Maßstäbe geeignet, während die Absolutwertdarstellung, zu der Punktstreuungskarten gehören, ihr Potential vor allem in großen Maßstäben entfalten könne. Wo genau die Trennlinie zwischen diesen beiden Bereichen verläuft, vermag auch er nicht genau zu definieren. Er verweist auf verschiedene Einflussfaktoren, wie die graphische Ausführung, die Größe der Bezugsflächen und die Spannweite der darzustellenden Werte. Nach KELNHOFER bieten kleinmaßstäbige Absolutwertdarstellungen ein ‚übergeneralisiertes Bild‘, welches lediglich Ballungsräume hervorhebt. Für ‚mitteleuropäische Verhältnisse‘ sieht er die kritische Maßstabsschwelle bei 1: 1 000 000. Diese Angabe bezieht sich jedoch auf die von KELNHOFER betrachteten Bevölkerungskarten und kann für andere Kartenthemen durchaus unterschiedlich sein.

Nach IMHOF sind Maßstäbe kleiner 1: 5 000 000 für den Einsatz von Streuungspunkten nur wenig geeignet. In dünn besiedelten Gebieten täuschen isoliert stehende Punkte leicht große Siedlungen vor. Maßstäbe größer 1: 100 000 sind demnach gut geeignet für die Verwendung von Streuungspunkten. Es sollte darauf geachtet werden, keine Genauigkeit der Verteilung vorzutäuschen, die nicht in den Daten vorhanden ist. Punktstreuungskarten in einem Maßstab von 1: 25 000 und größer erlauben es oft, einen Einwohner einem bestimmten Haus zuzuordnen und ihn damit „in seinem Wohnhaus festzunageln“ [IMHOF 1972, S. 162]. Die dabei entstehenden Wohnplatzkarten sind ein Grenzfall der Bevölkerungsverteilungskarten. Sie bilden den Übergang von den Punktkarten zu den Standortkarten.

Die von HOFMANN [1972] durchgeführte Analyse verschiedener Atlanten hinsichtlich der Verwendung der Punktmethode ergab, dass diese Methode vor allem im Maßstabsbereich von 1: 10 000 000 bis 1: 30 000 000 Verwendung findet. Insgesamt sei die Darstellungsmethode im Bereich von 1: 1 000 000 bis 1: 60 000 000 angewendet worden. HOFMANN schlussfolgert daraus, dass die Punktmethode nur für kleine Maßstäbe sinnvoll ist. Sie kommt damit zu einem völlig gegensätzlichen Ergebnis als WITT, KELNHOFER und IMHOF.

Nach ARNBERGER [1993] beeinflusst die Wertspanne der Objektwerte die Maßstabswahl ebenso wie die durchschnittliche Struktur und Dichte der Darstellungsobjekte. Bei ‚ortsgebundenen‘ Objekten (ARNBERGER meint damit wahrscheinlich punktbezogene Objekte) ist die durchschnittliche Dichte der Objektballungen zu beachten, allerdings nur dann, wenn mehrere Objektballungen auftreten. Sollten Probleme auftreten, schlägt er vor, diese mithilfe der Generalisierung oder über Nebenkärtchen zu lösen. Als Generalisierungsschritte zur Entlastung des Kartenausschnitts sind nur das Verdrängen und in begrenztem Maße die quantitative Generalisierung (Zusammenfassen) möglich. Nebenkärtchen sollten nur dann eingesetzt werden, wenn die Methoden der Generalisierung aufgrund der extremen Kartenbelastung versagen, da Nebenkärtchen an anderer Stelle im Kartenlayout Platz benötigen, der für das ursprüngliche Kartenfeld verloren geht. Die Nebenkärtchen sind bevorzugt am Kartenrand zu platzieren und besitzen einen größeren Maßstab als die Hauptkarte. Die Punktwerte sind mit denen der Hauptkarte identisch. Als mögliche Szenarien für die Wahl eines geeigneten Maßstabes nennt ARNBERGER die gleichmäßige Streuung von Einzelobjekten in geringer und mittlerer Dichte (Fall 1 und 2), gleichmäßig gestreute Einzelobjekte mit nur einer Ballung (Fall 3) und die Streuung von sowohl Einzelobjekten als auch Ballungen (Fall 4). Für die Fälle 1 und 2 sind demnach kleine bzw. mittlere Maßstäbe möglich. Für Fall 3 empfiehlt ARNBERGER aufgrund der durchschnittlich mittleren Dichte mittlere Maßstäbe und für die Ballung eine Sonderlösung. Bei Fall 4 ist die mittlere Dichte in den Ballungen entscheidend für die Maßstabswahl, was im Vergleich zur ausschließlichen Betrachtung der Streuung von Einzelobjekten zu größeren Maßstäben führt. Welche Maßstäbe sich genau hinter den Begriffen ‚klein‘, ‚mittel‘ und ‚groß‘ verbergen, lässt ARNBERGER jedoch offen.

DITZ [2000] orientiert den Maßstab der topographischen Hintergrundkarte an den vorliegenden Daten. Er sieht einen Maßstab von 1: 1 000 000 als kleinstmöglichen

Maßstab für eine Punktstreuungskarte an. KOCH und STAMS [KOCH/STAMS 2002] halten eine Verwendung der Punktmethode bis zu einem Maßstab von 1: 30 000 000 für möglich.

Die Meinungen über geeignete Maßstäbe für Punktstreuungskarten gehen weit auseinander. Während WITT, KELNHOFER und IMHOF eher große Maßstäbe bevorzugen, schlussfolgert HOFMANN aus ihrer Atlasanalyse, dass vorwiegend kleine Maßstäbe geeignet seien. Die Maßstabsgrenze, die KELNHOFER und IMHOF ziehen, liegt bei 1: 100 000 bis 1: 200 000. WITT sieht alle Maßstäbe größer als 1: 1 000 000 als geeignet an, ebenso wie DITZ. KOCH und STAMS gehen noch einen Schritt weiter und erklären 1: 30 000 000 als kleinst möglichen Maßstab. Allein ARNBERGER und DITZ fokussieren auf die vorliegenden Daten. Sie argumentieren, dass die räumliche Auflösung der Daten die Maßstabswahl bestimmen sollte, da nur so eine aussagekräftige Karte entstehen könne. Der Argumentation von HOFMANN kann nicht gefolgt werden, da mit kleineren Maßstäben der zur Verfügung stehende Platz in der Karte abnimmt und damit der Punktwert steigen muss. Größere Punktwerte wiederum führen zu Problemen bei der Darstellung geringer Objektanzahlen. Die Unterschiede zwischen Gebieten geringer und hoher Dichte können dann nicht mehr so gut wiedergegeben werden. Insgesamt erscheint die Vorgehensweise von ARNBERGER und DITZ am vernünftigsten. Eine Karte kann nur so genau sein wie ihre Ausgangsdaten. Daher ist eine Maßstabswahl, die nicht an die räumliche Auflösung der Daten angepasst ist, abzulehnen.

2.3 Dargestellte Daten

Als grundlegend für die Herstellung aussagekräftiger Karten betrachtet DE GEER [1922] eine vollständige Datensammlung, die nicht nur eine Darstellung von Mittelwerten, sondern auch der in seinen Augen wichtigen ‚erhellenden und interessanten Details‘ ermöglicht. Die Anwendungsmöglichkeiten der Punktmethode sieht er nicht allein auf einzelne Objekte oder Mengen begrenzt. Sogar für Fragestellungen der physikalischen Geographie seien sie geeignet. Welche das genau sind, erwähnt er allerdings nicht.

Als Quellmaterial für räumlich hoch aufgelöste Daten, wie sie für eine Punktstreuungskarte sinnvoll sind, empfiehlt WITT [1970] topographische Karten in großem Maßstab und Luftbilder, ebenso wie Feldbegehungen und Ortserkundungen. Diese Methoden scheinen jedoch sehr aufwändig und sind nicht immer durchführbar. Allein der extrem hohe Zeitaufwand mag als Gegenargument genügen. WITT empfiehlt, Punktstreuungs-

karten zur Darstellung statistischer Werte zu nutzen, die sich auf eine Fläche beziehen. Der Flächenbezug besteht dabei darin, dass die Werte auf Basis bestimmter Flächen, z.B. administrativer Einheiten, erhoben werden.

KELNHOFER [1971] beschäftigt sich mit dem Raumbezug der Daten. In seinen Augen ist die Unterscheidung in Positions- und Flächenbezogenheit unabhängig vom Maßstab. Auch in kleinen Maßstäben bleibt eine flächenbezogene Aussage flächenbezogen. Die Darstellung beider Bezüge näherte sich zwar an, doch die Aussage bleibe unterschiedlich. Er nennt ‚Totalwerte‘ und ‚Mittelwerte‘ als Daten, die durch eine positions- oder flächenbezogene absolute Aussageform, als die die Punktkarte anzusehen ist, dargestellt werden. Dabei soll sich die positionsbezogene Aussage auf einen oder mehrere Punkte beziehen. Für flächenbezogene Aussagen wird analog eine bestimmte Fläche als Bezugsfläche angenommen. Die von KELNHOFER verwendeten Begriffe können mit den Bezeichnungen ‚Absolutwerte‘ und ‚Relativwerte‘ gleichgesetzt werden. Während die Punktstreuungskarte explizit Absolutwerte (Objektanzahlen) darstellt, zeigt eine Punktdichtekarte indirekt den Relativwert der Objektdichte. Für Punktstreuungskarten sieht KELNHOFER große Unterschiede in den quantitativen Daten als problematisch an, da diese die Wahl eines geeigneten Punktwertes erschweren.

Auch der Komplexitätsgrad der Daten hat Einfluss auf deren adäquate Darstellung. Wie bereits erwähnt, unterscheidet KELNHOFER drei Typen von kartographischen Aussageformen: elementar-analytisch, komplex-analytisch und synthetisch. Während die elementar-analytische Aussageform art- bzw. mengendifferenzierte Informationen über Sachverhalte gibt, widmet sich die komplex-analytische Aussageform der Darstellung strukturierter Erscheinungen, wobei deren qualitative und quantitative Merkmale aufgeschlüsselt werden. Sowohl das Ganze als auch die einzelnen Teile der strukturierten Erscheinung werden dabei sichtbar. Im Gegensatz dazu bietet die synthetische Aussageform lediglich Informationen über das Ganze einer strukturierten Erscheinung, ohne die einzelnen Glieder zu zeigen. ASCHENBRENNER [1989] greift diese Einteilung auf. Demnach sollten homogene Erscheinungen in Form von elementar-analytischen Aussageformen dargestellt werden und strukturierte Erscheinungen in Form von komplex-analytischen Aussageformen. Als homogene Erscheinungen betrachtet KELNHOFER Objekte, „die in allen Teilen gleichartig sind“ [KELNHOFER 1971, S. 32]. Darunter versteht er einfache Sachverhalte, wie zum Beispiel die Darstellung von Standorten oder Verbreitungen. Die Punktstreuungskarte

kann, wie bereits ausgeführt, als elementar-analytische oder auch als komplex-analytische Aussageform betrachtet werden. Steht in der Punktstreuungskarte lediglich die Darstellung von Objektverteilungen im Vordergrund, so erfolgt die Einordnung in die erstgenannte Kategorie. Werden jedoch zusätzliche Unterscheidungen qualitativer Art (z.B. durch den Einsatz verschiedenfarbiger Punkte) geliefert, so kann die Punktstreuungskarte auch in die zweite Kategorie eingeordnet werden. Die Aussage einer Punktstreuungskarte geht stets über die bloße Angabe der Standorte des Vorkommens hinaus. Sie zeigt außerdem auch die insgesamt vorhandene Menge der Objekte an. Es wird also neben der Standortinformation auch eine quantitative Information geliefert, die bei Bedarf auch auf mehrere Arten von Objekten durch Verwendung farbiger Punkte erweitert werden kann.

Nach IMHOF eignet sich die Punktmethode für Einzelobjekte, die ungleich über ein Gebiet verteilt sind. Diese Einzelobjekte können entweder feststehend sein, wie z.B. Obstbäume, oder aber bewegt. Er spricht von „stetsfort herumkrabbelnde[n] Wesen, wie Menschen und Schafe“ [IMHOF 1972, S. 154]. Als häufige Anwendungsform nennt er die Darstellung der Bevölkerungsverteilung. Der Einsatz von ‚Wertpunkten‘ ist nach IMHOF dann angebracht, wenn die Menge der Objekte zu groß ist, die Scharung zu dicht ist, die Kartenfläche zu klein ist oder die Objekte zu instabil in der Lokalisierung sind, als dass sie mit ‚Individualpunkten‘ dargestellt werden können. Er unterstreicht hier den Unterschied zwischen qualitativen Standortkarten (Methode der Positionssignaturen) und den quantitativen Punktstreuungskarten. In der Statistik sind meist nur Summen verfügbar, welche ebenfalls den Einsatz von Streuungspunkten erfordern. Bei der Darstellung sollten die Verteilung, die Streuungsdichte und die ungefähre Objektanzahl auf einem beliebigen Flächenstück erkennbar sein. Für kleine Gebiete in großen Maßstäben können nach IMHOF Luftbilder eingesetzt werden, um die Verteilung der Objekte zu bestimmen. Dies gilt allerdings nur für im Luftbild sichtbare, feststehende Objekte. Für nicht sichtbare oder mobile Objekte, wie z.B. die Einwohnerzahlen, sind Zählungen pro Haus oder pro Block erforderlich. Die Erhebung von Daten auf der Basis von Luftbildern erfolgt in deutlich größerem Maßstab, als die daraus abgeleitete Karte besitzt. Für die Herstellung von Karten in mittleren und kleinen Maßstäben werden häufig Daten der amtlichen Statistik herangezogen.

ASCHENBRENNER widmet sich in seinen Betrachtungen zur rechnergestützten Herstellung von Punktstreuungskarten der Darstellung „dispers verteilter diskreter –

also diskontinuierlicher – Sachverhalte“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 3]. Als Kriterium für die Kennzeichnung diskreter Sachverhalte hält er die von LOUIS [1957] vorgeschlagene örtliche Begrenzung nicht für ausreichend. Vielmehr verweist er auf KELNHOFER [1971], der die Werteverteilung als ausschlaggebendes Kriterium betrachtet. Demnach ist eine sprunghafte Veränderung der Werte charakteristisch. Nach KELNHOFER können diese Werte keine thematischen Oberflächen bilden.

Die Darstellung von Absolutwerten umreißt ARNBERGER als die Wiedergabe von Mengen oder Mengenunterschieden. Die wichtigste Aufgabe dieser Darstellung sieht er darin, „richtige Mengenvorstellung bei gleichzeitiger raumentsprechender Mengenbezogenheit“ [ARNBERGER 1993, S. 136] zu vermitteln. Dies ist vor allem in kleinen Maßstäben schwierig. Bei der Wiedergabe quantitativer Daten unterscheidet ARNBERGER zwischen orts-, strecken- und raumbundenen bzw. –bezogenen Werten und der Wiedergabe von Einzelobjekten bzw. einer zusammenfassenden Wiedergabe für mehrere gleichartige Objekte (Punktmethode).

HAKE et al. [2002] beschreiben die Verwendung der Punktmethode zur Darstellung quantitativer lokaler Diskreta. Als lokale Diskreta werden dabei Objekte verstanden, die sich in Qualität oder auch Quantität unterscheiden und im Kartenmaßstab nicht mehr grundrisslich darstellbar sind. Sie werden als ‚statische‘, ‚quasi-punktförmige‘ Objekte beschrieben, die lediglich lagetreu in der Karte wiedergegeben werden können. Um bei unscharfen Abgrenzungen und gegenseitigem Durchdringen flächenbezogener Quantitäten die quantitative Mischung angeben zu können, eignet sich nach HAKE et al. auch die Punktmethode. So können z.B. Mischanteile in Prozent durch die Verwendung verschiedenfarbiger Punkte aus der Darstellung abgeschätzt werden.

In den von OLBRICH et al. [2002] als ‚Diagrammkarten‘ bezeichneten Punktstreuungskarten werden Absolutwerte dargestellt. Als Beispiel für Absolutwerte wird dabei ausdrücklich die Bevölkerungszahl genannt, wobei auch darauf hingewiesen wird, dass eine flächenhafte Darstellung problembehaftet ist. Die Größe der Bezugsfläche ist demnach eine Fehlerquelle, da unterschiedlich große Flächen zu optischen Fehleinschätzungen führen. OLBRICH et al. schließen daraus: „Die flächige Darstellung von Absolutwerten ist deshalb nur bei gleich großen Flächeneinheiten zulässig.“ [OLBRICH et al. 2002, S. 39] Diese Aussage ist anzuzweifeln. Absolutwerte sollten niemals flächig dargestellt werden, wenn dafür Füllfarben oder Flächenmuster zum Einsatz kommen. Eine Darstellung der Verteilung in Form von Punktwolken

innerhalb einer Bezugsfläche ist hingegen zulässig, da so das (meist) diskrete Vorkommen und der fehlende Flächenbezug zum Ausdruck kommen. OLBRICH et al. widmen sich auch den besonderen Anforderungen an die Darstellung quantitativer Daten, insbesondere bei der Darstellung von Absolutwerten. Sie bezeichnen den Raumbezug als zentrale Eigenschaft, ebenso wie die Anzahl der Variablen, die in der Karte dargestellt werden sollen. Als ‚Variable‘ ist hierbei das Merkmal zu verstehen, welches in der Karte graphisch umgesetzt werden soll, also z.B. die Zahl der Einwohner. Flächenbezogene Daten sind demnach eine Eigenschaft eines homogenen Raumes oder eine Summe bzw. ein Mittelwert, der sich auf den Raum bezieht. Der Flächenbezug ist in diesem Zusammenhang vermutlich als Erhebungseinheit zu verstehen, die meist aus der amtlichen Statistik resultiert. Punktbezogene quantitative Daten sind demnach nur an einem bestimmten Ort gültig. Dies kann tatsächlich ein Punkt sein, z.B. eine Messstation, oder es kann sich dabei um eine Fläche handeln, die im Kartenmaßstab nicht mehr als Fläche darstellbar ist, z.B. eine Stadt in einer sehr kleinmaßstäbigen Karte.

Auch KIMERLING [2009] sieht den Zweck von Punktkarten in der Darstellung der räumlichen Streuung geographischer Erscheinungen, wie z.B. der Bevölkerung oder landwirtschaftlicher Ertragsmengen.

Als typisches Beispiel für Daten in Punktstreuungskarten werden oft Bevölkerungsdaten genannt. Die zugrunde liegenden Daten sind der Statistik entnommen und z.B. auf Basis von Landkreisen erfasst. Die daraus entstehende Karte ermöglicht Aussagen über die Einwohnerzahl der Landkreise und auch über die Gesamteinwohnerzahl des Bundeslandes. Liegen die Daten nach Gemeinden vor (erhöhte räumliche Auflösung), so sind detaillierte Aussagen über die Verteilung der Einwohner möglich. Werden nun verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung in der Statistik getrennt ausgewiesen, so ist eine Darstellung in Form farbiger Punkte möglich. Die grundsätzlichen Eigenschaften der Daten sind dabei jedoch identisch. Es werden räumliche (Zuordnung zu einer Bezugsfläche bzw. je nach Maßstab zu einem Punkt) und quantitative (Anzahl der Einwohner) Informationen zur Verfügung gestellt.

Sowohl KELNHOFER [1971] als auch ARNBERGER [1993] betrachten die Daten einer Punktstreuungskarte hinsichtlich ihres Automatisierungspotentials. Als Neuerung bei der automationsgestützten Kartenherstellung nennt KELNHOFER die veränderte Bezugsgrundlage der bereitgestellten Daten. Diese seien nun nicht mehr auf

administrative Grenzen festgelegt, sondern würden ‚koordinatenmäßig aufbereitet‘ vorliegen. Diese Daten, so ist er zuversichtlich, könnten „rasch nach den verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und sofort vollautomatisch in Karten umgesetzt werden“ [KELNHOFER 1971, S. 100]. Auch ARNBERGER betrachtet koordinatenmäßig erfasste Daten als ideale Datengrundlage, da sie auch bezogen auf ein Gitternetz darstellbar und auswertbar sind. Es ist nicht ersichtlich, worin der Unterschied zwischen den auf administrativen Einheiten beruhenden Daten und den ‚koordinatenmäßig aufbereiteten‘ Daten besteht. Falls KELNHOFER auf eine deutlich feinere räumliche Auflösung hinweist, so ist diese Hoffnung unbegründet. Die räumliche Auflösung statistischer Daten hat sich in den vergangenen Jahrzehnten nicht wesentlich erhöht. Geometrisch betrachtet ist es kein Unterschied, ob Daten für eine Fläche erfasst werden, die dann vermutlich im Schwerpunkt der Fläche dargestellt werden, oder ob die Daten bereits mit den Schwerpunktkoordinaten abgespeichert sind. Von einer vollautomatischen Kartenherstellung ist die Entwicklung noch entfernt. Ob nah oder weit hängt davon ab, welche kartographischen Qualitätsansprüche gestellt werden. Für Absolutwerte, wie sie in Punktstreungskarten dargestellt werden, sind regelmäßige Bezugsflächen nicht vorteilhafter als unregelmäßige. KELNHOFERS und ARNBERGERS optimistische Vorhersagen bezüglich einfach automatisch herzustellender Karten haben sich bisher nicht erfüllt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Punktmethode im Sinne einer Punktstreungskarte für die Darstellung diskreter Absolutwerte genutzt werden kann, welche aufgrund des Maßstabs bzw. der räumlichen Auflösung der Daten nicht mehr als Standortkarte (qualitative Aussage) dargestellt werden können. Eine Punktstreungskarte beinhaltet immer eine quantitative (durch die Festlegung des Punktwertes) und räumliche (Zusammenfassung von Individuen aufgrund von Maßstabsrestriktionen bzw. mangelnder räumlicher Auflösung der Ausgangsdaten) Generalisierung der dargestellten Daten. Die Erfassungsgenauigkeit (räumliche Auflösung) der Daten sollte den Maßstab der Karte bestimmen.

2.4 Nutzung und Auswertung von Punkstreueungskarten

WITT nennt als wichtiges Merkmal einer Punktkarte die Auszählbarkeit. Dennoch fordert er, dass die Punktkarte keine „räumlich angeordnete Statistik sein“ [WITT 1970, S. 438] soll. Er sieht den Hauptnutzen der Punktkarten in der vergleichenden Darstellung verschiedener Teilmengen einer Gesamtmenge, vor allem dann, wenn diese Teilmengen sonst nur schwer oder gar nicht dargestellt werden können, da sie zu klein sind. Er gibt jedoch zu bedenken, dass eine Reihe aufeinanderfolgender Punktkarten schnell ermüdend wirken kann.

Neben der Darstellung von Verteilungsmustern wird die Punktkarte auch zur Ableitung anderer thematischer Darstellungen genutzt. Dabei wird häufig aus der Absolutwertdarstellung der Punkstreueungskarte eine Relativwertdarstellung konstruiert. WITT geht davon aus, dass in der kartographischen Praxis meist eine Punktkarte verwendet werden wird, wenn Pseudoisarithmen bestimmt werden sollen. Pseudoisarithmen oder auch Pseudoisolines bilden das Äquivalent zu Isolines, wenn die zugrundeliegenden Daten kein kontinuierliches Wertrelief bilden, in Verallgemeinerung jedoch als solches aufgefasst werden können. Die Konstruktion dieser Linies sieht WITT als Hilfestellung für den Kartennutzer, um Bereiche gleicher oder ähnlicher Dichte in der Punkstreueungskarte besser erkennen zu können. Auch KELNHOFER [1971] sieht den Hauptverwendungszweck von Punktkarten, die Streueungspunkte mit konstantem Punktwert nutzen – also von Punkstreueungskarten – darin, als Basis für die Ableitung verschiedener Relativwerte und Relativwertdarstellungen (z.B. Wertgrenzlinien) zu dienen.

WITT weist darauf hin, dass aus Punkstreueungskarten der Dichtewert nicht direkt abgelesen werden kann. Deshalb schlägt er vor, den funktionalen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Punkte, ihrer Größe und der daraus resultierenden, von den Punkten bedeckten, Fläche zu nutzen. Die Darstellung dieser Verknüpfung kann in einem Nomogramm¹ erfolgen, welches der Legende hinzugefügt werden kann und somit ebenfalls die Ablesung der Dichtewerte ermöglicht. WITT vergleicht die Komplexität und damit die Lesbarkeit eines solchen Nomogramms für normale

¹ Nomogramm: „eine graphische Darstellung funktionaler Zusammenhänge zwischen mehreren veränderlichen Größen. ... Einige Arten von Diagrammen haben nomogrammähnlichen Charakter, wie beispielsweise das Böschungsdigramm (Neigungsmaßstab) und das Dreiecksdigramm sowie verschiedene graphische Wertmaßstäbe. Sie dienen der platzsparenden Erklärung in Legenden.“ [STAMS/GROBER 2002, S. 180]

Kartennutzer mit dem Neigungsmaßstab, der auf topographischen Karten häufig angegeben wird. Es ist jedoch schwierig einzuschätzen, wie ‚leicht‘ das Lesen eines Neigungsmaßstabs für ungeübte Kartennutzer ist. Wahrscheinlich ist davon auszugehen, dass es trotz Erläuterungstext einiger Übung bedarf.

Besonders deutlich wird der Zusammenhang zwischen dargestelltem Dichtewert und in der Karte von Punkten bedeckter Fläche bei flächentreuen Punkten. WITT zeigt, dass es möglich ist, eine Skala abzuleiten, die entsprechend jedes beliebigen Prozentwerts (Grad der Flächenbedeckung) die Anzahl der Dichtepunkte zeigt. Durch visuellen Vergleich soll der Kartennutzer dann in der Lage sein, Gebiete in der Karte einem bestimmten Dichtewert zuzuordnen zu können. Um den visuellen Vergleich zwischen dem Nomogramm in der Legende und der Punktdichte in der Karte zu unterstützen und zu erleichtern, empfiehlt WITT, Gebiete gleicher Dichte durch Pseudoarithmen zu trennen. Die Isarithmen sollen mittels gleitender Gitternetze bestimmt werden. Um die Dichtewerte exakt zu bestimmen, empfiehlt er die Nutzung eines Densitometers (optisches Dichtemessgerät). Er schränkt allerdings ein, dass die Geräte bei entsprechender Qualität sehr teuer sind und die angestrebte Objektivität bei der Bestimmung der Dichtewerte nicht unbedingt den gewünschten Erfolg bringt, da bereits bei der Platzierung der Punkte ein hohes Maß an Subjektivität eingebracht wird.

Eine andere Methode zur Ableitung von Relativwerten aus den Absolutwerten der Punktstreuungskarte, die ohne teure Geräte auskommt, sieht WITT in der Verwendung eines regelmäßigen Gitters, dessen Felder eine definierte Größe besitzen. Das Gitter wird auf die Punktstreuungskarte gelegt und für jedes Feld wird die Anzahl der darin befindlichen Punkte ausgezählt und dem Mittelpunkt des Feldes zugeordnet. Benachbarte Felder gleicher bzw. ähnlicher Werte können zu Dichtestufen zusammengefasst werden. Die Mittelpunkte der Felder können dann für die Konstruktion von Pseudoarithmenkarten genutzt werden. Veränderungen, die sich durch das Verschieben des Gitternetzes ergeben, sind demnach vernachlässigbar, da die abgeleiteten relativen Darstellungen in einem kleineren Maßstab angefertigt werden. Diese Ableitung neuer Karten aus den ursprünglichen absoluten Punktkarten erfordert „meist recht verantwortungsvolle fachwissenschaftliche Entscheidungen“ [WITT 1970, S. 408]. Die Güte der sich daraus ergebenden Isoliniendarstellung hängt demnach sowohl von der Genauigkeit, mit der die Punkte gesetzt wurden, als auch von der gewählten Werteinheit der Punkte und dem Maßstab der Punktkarte ab. WITT scheint

überzeugt, dass durch die Einführung der Gitter für die Darstellung von Sachverhalten bezogen auf die Bevölkerung, die Wirtschaft etc. der Grundstein für eine ‚Computerkartierung‘ geschaffen wurde, der langfristig zum Verschwinden der ‚Punktverteilungskarten‘ führen wird. Wie wir heute wissen, hat sich dies zum Teil bestätigt, wenn auch eher aufgrund der fehlenden Umsetzung der Punktmethode in automatisierte Abläufe.

Als größte Schwierigkeit bei der Herstellung und damit auch der Nutzung von Punktstreuungskarten betrachtet KELNHOFER [1971] die Darstellung von Räumen mit unterschiedlicher Verteilungsdichte. Er merkt an, dass ein Vergleich zwischen Ballungsräumen und Räumen mit extensiver Objektverteilung nur durch Auszählen möglich ist. Durch visuellen Vergleich ließen sich Proportionen nur schwer erfassen. Inwiefern eine korrekte Abschätzung der Mengenverhältnisse zueinander durchgeführt werden kann, erscheint in Bezug auf Punktstreuungskarten unwichtig. Ihr Zweck besteht darin, Verteilungsmuster wiederzugeben und bei Bedarf die Ermittlung konkreter Zahlenwerte (Ermittlung der Absolutwerte durch Auszählen der Punkte und Multiplikation mit dem Punktwert) zuzulassen. Diese präzise quantitative Aussage nennt KELNHOFER als Vorteil der Punktstreuungskarten, verweist jedoch gleichzeitig auf den damit einhergehenden Nachteil des großen Flächenbedarfs. Er stellt fest, dass aufgrund verschiedener Nachteile, wie der hohe Platzbedarf und die teilweise ungünstigen Daten, Punktstreuungskarten nur selten angewendet werden. Wegen des großen Platzbedarfs schlägt er vor, die Methode hauptsächlich für flächenbezogene Absolutwerte (Absolutwerte, die auf Grundlage bestimmter Flächen erfasst wurden) zu verwenden. KELNHOFER beschäftigt sich auch mit der Problematik der flächigen Darstellung diskreter Werte. Er stellt fest, dass eine lineare Interpolation zwischen den einzelnen Punkten bzw. zwischen den Standorten benachbarter Punktwolken nicht zulässig ist, da die diskreten Werte in Punktstreuungskarten keine kontinuierlichen Wertereliefs (‚thematische Oberflächen‘) bilden.

KLAMT [1972] sieht die Vorzüge der Punktmethode darin, dass nicht nur absolute Werte abgelesen werden können, sondern auch Verteilungsmuster bzw. Dichteunterschiede dargestellt werden.

ARNBERGER stellt fest: „Punktstreuungen sollten wir als gleitende Raster betrachten, deren Möglichkeiten bis heute weder richtig erkannt wurden noch ausgeschöpft sind.“ [ARNBERGER 1993, S. 158] Er deutet damit das Potential an, welches in einer

Punktstreuungskarte steckt, die digital vorliegt und daher auch mit interaktiven Methoden der Kartennutzung, wie z.B. dem automatischen Auszählen der Punkte in einem definierten Bereich, bearbeitet werden kann. Während eine analoge Punktstreuungsdarstellung nur mit höherem Aufwand detailliertere Informationen preisgab, könnte dies eine digitale Punktkarte wesentlich schneller leisten.

DITZ [2000] fokussiert auf digitale Punktstreuungskarten und betrachtet Möglichkeiten der interaktiven Kartennutzung. Die Ermittlung der genauen Einwohnerzahlen ist bei der Verwendung von mengenproportionalen Signaturen für Ballungsgebiete und Streuungspunkten für weniger dicht besiedelte Gebiete zwar erschwert, aber wie DITZ feststellt, über interaktive Methoden durchaus für den Kartennutzer einfach realisierbar. Zur Beschleunigung der Kartenherstellung bzw. der Berechnung des Kartenbildes, welches gerade angezeigt werden soll, empfiehlt DITZ die Verwendung von Linsentechniken. Er verweist auf STONE et al. [1994]. Mit Hilfe dieser Techniken kann die Berechnung der Kartendarstellung auf einzelne Bereiche beschränkt und dadurch beschleunigt werden. Linsentechniken können auch dazu verwendet werden, ein bestimmtes Thema im Linsenausschnitt darzustellen bzw. hervorzuheben (z.B. durch Änderung/Ausdünnung des topographischen Hintergrunds). DITZ betrachtet hier keine reinen Punktstreuungskarten, sondern eine Kombination aus Punktmethode und Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab. Er konzentriert sich in seinen Ausführungen auf Punktstreuungskarten am Bildschirm. So ist für Bildschirmkarten vor allem auf Farbe und Kontrast zu achten. Bildschirmkarten bieten im Gegensatz zu analogen Papierkarten den Vorteil, dass der Nutzer interaktiv mit der Karte arbeiten kann. DITZ geht soweit, die Gestaltung der Karte in die Hände des Nutzers zu legen, allerdings mit der Vorgabe einer Unterstützung für den Nutzer, so dass keine sinnlosen oder unleserlichen kartographischen Darstellungen entstehen. Die Navigation in einer Bildschirmkarte, also das Vergrößern, Verkleinern und Verschieben des Kartenausschnitts, ist wichtig für die interaktive Nutzung. Nach DITZ gehören diese Funktionen jedoch nicht zur kartographischen Interaktivität im engeren Sinne, da sie nicht den Wissenserwerb aus der Karte unterstützen. SILWESTER [1998] unterscheidet verschiedene Formen der Interaktivität, u.a. auch die graphische Interaktivität, welche auf eine Manipulation der graphischen Variablen hinausläuft.

Die Funktionen, welche eine interaktive Kartennutzung bei Punktstreueungskarten bieten kann, sind nach DITZ:

- Auszählen von Streuungspunkten
- Suche nach Orten
- Änderung des Punktwertes

Diese Funktionen will DITZ auf den Maßstab abstimmen und ggf. nicht zulassen, wenn es kartographisch unsinnig ist. Für das Auszählen der Punkte skizziert er verschiedene Anwendungsmöglichkeiten. Zum einen kann ein Gebiet interaktiv festgelegt werden, in dem die Punkte anschließend gezählt werden. Zum anderen sind topographische Elemente für die Gebietsabgrenzung nutzbar. DITZ nennt hier das Beispiel einer Höhenstufe. Diese Funktion ist jedoch, wie er selbst bemerkt, abhängig von der Platzierung der Punkte. Kleine Lageveränderungen können das Ergebnis stark verändern. Da die Punktverteilung meist in gewissen Grenzen zufällig erfolgt, ist dieser Aspekt nicht zu vernachlässigen und das Ergebnis solcher Analysen kritisch zu hinterfragen. Die Ortssuche stellt DITZ als einfache Methode vor, entweder alle Punkte zu einem Ort zu finden oder von einem Punkt auf den zugehörigen Ort schließen zu können und eventuell zu diesem weitere Informationen zu erhalten. Je nach Maßstab sind diese Varianten einsetzbar. Die Auswertung einer Punktkarte inklusive ihres topographischen Hintergrunds ist nach DITZ vor allem in Ballungsgebieten schwierig, da hier die Punkte oft nur schlecht ausgezählt werden können. Die sich zum Teil berührenden Punkte in diesen Gebieten führen zu Schätzfehlern bei der Bestimmung der Punktzahl. Dieses Problem dürfte bei den vorgeschlagenen digitalen Auswertefunktionen allerdings nicht mehr existieren.

DITZ empfiehlt den topographischen Hintergrund durch weitere Elemente zu bereichern. Als wichtigen Faktor bei der Akzeptanz automatisiert hergestellter Punktstreueungskarten am Bildschirm nennt er die Zeit. Er verweist jedoch darauf, dass mit zunehmender Prozessorleistung dieses Problem verschwinden wird. DITZ fordert Lernprogramme, um dem unbedarften Kartenbearbeiter die Kartenherstellung zu erläutern und die Möglichkeiten der Kartennutzung (und deren Grenzen) aufzuzeigen.

Für HAKE et al. [2002] sind Punktstreueungskarten Quellen für geographische Bezugseinheiten. Durch Abgrenzung der Dichtebereiche in einer solchen Karte können demnach geographische Bezugseinheiten gewonnen werden. Woher die Punktstreueungskarte dabei kommt, bleibt offen. Auch für die Gewinnung von Pseudo-

Isolinien, die konstante Werte von Objekten darstellen, die keine Kontinua sind, nennen HAKE et al., ähnlich wie WITT [1970] und KELNHOFER [1971], Punktstreuungskarten als Quellmaterial.

In der Literatur wird der Nutzen von Punktstreuungskarten oft mit dem Ableiten von Relativwerten in Verbindung gebracht. So konzentrieren sich WITT [1970], KELNHOFER [1971] und HAKE et al. [2002] auf die Auswertung von Relativwerten, die in einer Punktstreuungskarte indirekt zwar vorhanden sind, aber nicht den Hauptzweck der Karte darstellen. Punktstreuungskarten dienen in erster Linie zur Darstellung von diskreten Absolutwerten. Ebenso wird die Gewinnung von Pseudoisolinien zur flächenhaften Darstellung diskreter Werte erwähnt. Beide Verwendungszwecke sind skeptisch zu betrachten. Die Platzierung der Punkte, die aufgrund der quantitativen und räumlichen Generalisierung immer mit größeren Ungenauigkeiten behaftet ist, gewinnt dadurch mehr Einfluss auf das Ergebnis als ihr zusteht. Die Verwendung von Pseudoisarithmen wird kritisch gesehen, da es sich bei den Werten in einer Punktstreuungskarte nicht um kontinuierliche Werte handelt und eine mögliche Verallgemeinerung auf ein Kontinuum nicht immer gegeben ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zwar häufig Punktstreuungskarten für die Gewinnung von Relativwerten genutzt werden, ihr eigentlicher Zweck jedoch die Darstellung von Absolutwerten und deren räumlicher Verteilung ist. Moderne Technik kann hier helfen, das Potential der Punktmethode besser zu nutzen als analoge Karten dies vermögen.

2.5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe ‚Punktstreuungskarte‘ und ‚Werteinheitssignatur‘ bzw. ‚Streuungspunkt‘ verwendet. Es wird der Definition von KOCH/STAMS [2002] (siehe *Abschnitt 2.1*) gefolgt. Dabei wird nur die Punktmethode mit einem einzigen Punktwert betrachtet. Verwandte Darstellungsmethoden, wie z.B. die Kleingeldmethode, werden nicht behandelt.

Da sich die Maßstabswahl an der räumlichen Auflösung der Daten orientieren sollte, wird darauf im Weiteren nicht explizit eingegangen. Es wird vorausgesetzt, dass der Maßstab zu Beginn der Kartenkonstruktion festgelegt wird. Er kann gegebenenfalls bei einem erneuten Entwurf der Karte angepasst werden.

Die Daten, welche in der Punktstreuungskarte dargestellt werden, sind diskrete Absolutwerte. In den bearbeiteten Beispielen wird mit Bevölkerungsdaten gearbeitet, da sie ein typisches Anwendungsgebiet der Punktmethode darstellen (siehe *Kapitel 6*).

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Konstruktion der Punktstreuungs-darstellung. Die Entwicklung von Werkzeugen zur Auswertung und Interpretation digitaler Punktstreuungskarten wird nicht behandelt. Dafür sind weitere Arbeiten erforderlich, die auf dieser Arbeit aufbauen können.

Kapitel 3

Konstruktion einer Punktstreuungskarte

IMHOF stellt in seinem Lehrbuch zur thematischen Kartographie fest: „Das Konstruieren korrekter Punktstreuungen verursacht viel Mühe und Arbeit.“ [IMHOF 1972, S. 161] Doch welche Arbeitsschritte gehören zur Konstruktion einer Punktstreuungskarte? Diese Frage soll in diesem Kapitel behandelt werden, indem aus der Literatur die Arbeitsschritte zusammengetragen und hinsichtlich ihres Automatisierungspotentials betrachtet werden.

Die Herstellung von Punktstreuungskarten beschreibt IMHOF wie folgt: „Je nach der wirklichen Menge und Verteilung der Einzelobjekte und je nach Kartenmaßstab faßt man je x benachbarte Objekte in einem Punkt zusammen und setzt diesen so gut wie möglich in das Massezentrum, den Schwerpunkt des Objekthaufens“ [IMHOF 1972, S. 156]. Er weist darauf hin, dass die Art und Weise der Aggregation benachbarter Punkte Einfluss auf die Kartenaussage hat. „Je stärker solche Zusammenfassungen, desto mehr weicht der Eindruck des Kartenbildes von der Wirklichkeit ab und es entsteht vor allem in dünn besiedelten Gebieten der Eindruck, jeder einzelne Punkt bedeute eine lokale, größere Ansammlung (Ortschaft)“ [IMHOF 1972, S. 156]. Als Einflussgrößen für die ‚Form und Brauchbarkeit einer Punktstreuungskarte‘ nennt er den Maßstab, die zweckmäßige Wahl der ‚Punkt-Zahlenwerte‘ und die ‚zeichnerische Punktgröße‘. Er fasst das allgemeine Prinzip der Punktstreuungskarte zusammen: „Sowohl die figürliche Punktgröße, als auch der Punkt-Zahlenwert sollen den vorliegenden Streuungsverhältnissen angepaßt sein. Ist dies der Fall, so vermittelt eine Karte solcher Art sowohl eine gute Vorstellung der wirklichen Objektstreuung als auch für jede beliebige Region angenähert die Anzahl der Objekte“ [IMHOF 1972, S. 157].

Bei der Konstruktion von Punktstreuungskarten ist neben der Punktgröße auch der Wert der Streuungspunkte zu bestimmen. Dieser richtet sich nach der Anzahl der Punkte, deren Summe für die Darstellung der Menge genutzt wird. Auch DITZ [2000] nennt als wesentliche Faktoren zur Herstellung einer Punktstreuungskarte:

- Punktwert
- Punktgröße
- Anzahl der Punkte

Er verweist auf DE GEER [1922], nach dem diese Faktoren vor allem durch den Maßstab und den Zweck der Karte bestimmt sind. Während der Maßstab sich hauptsächlich auf die Fläche, die für die Platzierung der Punkte zur Verfügung steht, auswirkt, bestimmt der Zweck der Karte vorrangig den Punktwert. So ist es beim angestrebten Vergleich zweier Punktstreuungskarten wichtig, dass die verwendeten Punktwerte identisch sind.

Daraus lassen sich die wichtigen Schritte bei der Konstruktion einer Punktstreuungskarte ableiten:

- Festlegung der Flächen, in denen Punkte platziert werden dürfen
- Festlegung der Punktparameter (Punktgröße, Punktwert)
- Festlegung der Punktpositionen
- ggf. Behandlung von Problemfällen (z.B. Ballungsgebiete)
- Festlegung der graphischen Gestaltung der Karte (z.B. Punktform, topographischer Hintergrund)

Diese Schritte sollen nachfolgend eingehender betrachtet werden.

3.1 Abgrenzung der Platzierungsflächen

Für die Gestaltung einer Punktkarte ist zunächst festzulegen, welche Flächen in der Karte für die Platzierung der Streuungspunkte genutzt werden sollen. Dafür gibt es verschiedene Ansätze, angefangen von den statistischen Erhebungseinheiten über die tatsächlichen Verbreitungsgebiete bis hin zu den Feldern eines regelmäßigen Rasters. Es wird häufig zwischen Bezugsflächen und Bezugseinheiten unterschieden. In Anlehnung an OLBRICH et al. [2002] soll hierbei die Fläche als Bezugsfläche verstanden werden, in der die dargestellte Verteilung auftritt. Die Bezugseinheit hingegen ist die Fläche, auf deren Grundlage die Daten erhoben wurden (im Sinne der statistischen Bezugseinheit). Beide Flächen müssen nicht zwangsläufig untereinander bzw. mit der Platzierungsfläche identisch sein. Es sollte jedoch angestrebt werden, dass Bezugsfläche, also das Verbreitungsgebiet und Platzierungsfläche gleich sind.

ARNBERGER empfiehlt, die Sammelsignaturen (Streuungspunkte) nicht in den statistischen Erhebungseinheiten zu platzieren, sondern anhand der „tatsächlichen Verbreitungsräume und Standorte“ [ARNBERGER 1993, S. 137]. Er ist der Meinung, dass die Aussage von Sammelsignaturen nicht mehr ortsbezogen, sondern aufgrund der unsicheren/vermittelnden Platzierung raumbezogen ist. Bezugseinheiten werden oft danach ausgewählt, ob sie leicht und eindeutig bestimmbar sind und nicht danach, ob

sie eine vernünftige Aussage liefern bzw. ob sie geeignet sind. Die Bezugseinheit kann kleiner, größer oder gleich groß – bezogen auf das tatsächliche Verbreitungsgebiet – sein. Als ‚kartographische Aussagefläche‘ bezeichnet ARNBERGER „jene in den kartographischen Ausdrucksformen wiedergegebenen Flächen, innerhalb derer qualitative und/oder quantitative Aussagen gegeben werden, gleichgültig, ob die tatsächliche Verbreitungsfläche oder die rechnerische Bezugsfläche damit übereinstimmen.“ [ARNBERGER 1993, S. 149f.] Je nach Verhältnis der rechnerischen Bezugsfläche (Bezugseinheit) zur tatsächlichen Verbreitungsfläche unterscheidet er zwei Methoden der Wiedergabe statistischer Daten: die ‚geographische Methode‘ und die ‚statistische Methode‘. Demnach ist bei der ‚geographischen Methode‘ die rechnerische Bezugsfläche nahezu gleich dem tatsächlichen Verbreitungsraum (Bezugsfläche) und die Darstellung erfolgt auf der entsprechenden ‚Aussagefläche‘ (Platzierungsfläche). Diese Methode werde bei ‚Punktstreuungskarten‘ eingesetzt. Die ‚statistische Methode‘ unterscheidet sich davon dahingehend, dass hier die rechnerische Bezugsfläche oder die Aussagefläche nicht dem tatsächlichen Verbreitungsraum entspricht. Beispiele dafür sind Daten bezogen auf ein Gitternetz bzw. eine Darstellung bezogen auf Verwaltungseinheiten. Punktstreuungskarten können als die ‚geographische Methode der Absolutwertdarstellung‘ bezeichnet werden, da die Aussagefläche, also die Kartenfläche, auf der die Punkte platziert werden, nahezu gleich dem tatsächlichen Verbreitungsraum sein sollen. Da Daten oft nur bezogen auf administrative Einheiten (z.B. aus der amtlichen Statistik) vorliegen, ist eine ‚geographisch relevante‘ Darstellung, wie ARNBERGER sie nennt, kaum möglich. Die geographische Relevanz bestimmt sich dabei aus dem Verhältnis der der Berechnung zugrunde gelegten Bezugseinheit zum tatsächlichen Verbreitungsgebiet (Bezugsfläche) und der in der Karte dargestellten Fläche (kartographische Aussagefläche, Platzierungsfläche).

Die Abgrenzung von Verbreitungsgebieten bei gestreuten Objekten ist nach ARNBERGER [1993] oftmals schwierig und stark hypothetisch. Er verweist deshalb auf den von WITT [1971] verwendeten Begriff der ‚Pseudoareale‘, der im Sinne von ‚Scheinarealen‘ eingesetzt werden soll. Für die Punktmethode ist die Bestimmung des Verbreitungsraumes der Objekte wichtig, da die Punkte nur im tatsächlichen Verbreitungsgebiet gesetzt werden sollten. Verbreitungsräume sind laut ARNBERGER für Karten nur dann sinnvoll zu nutzen, wenn sie auch grundrisslich in der Karte dargestellt werden können. Für die Darstellung der Bevölkerung kommt der Abgrenzung von

Pseudoarealen weniger Bedeutung zu, da die Bevölkerung durch die Siedlungsfläche relativ sicher verortet werden kann. Die Wahl geeigneter Platzierungsflächen für die Darstellung der Objektwerte ist stets abhängig von der Erfassungsgrundlage der Daten.

Um das Verbreitungsgebiet der dargestellten Objektverteilung möglichst genau wiederzugeben, schlägt WITT vor, „die Punkte auf diejenigen Teile der administrativen Einheiten [Bezugseinheiten] zu konzentrieren, die sinngemäß dafür in Frage kommen“ [WITT 1970, S. 403]. Dabei sollen die Flächen von der Punktverteilung ausgenommen werden, in denen keine Objekte vorkommen. Auch KELNHOFER [1971] weist darauf hin, dass die Topographie bei der Platzierung der Punkte berücksichtigt werden sollte, da sonst z.B. bei Bevölkerungskarten der Fehler auftreten könnte, dass Punkte in Gebieten gesetzt werden, wo gar keine Siedlungen existieren.

KLAMT [1972] schlägt vor, dass Bezugseinheiten je nach Ursprung auch an die Punktplatzierung angepasst werden können. Zwar seien administrative Bezugseinheiten fest umrissen, naturräumliche Gliederungen hingegen seien flexibel. So könnte deren Abgrenzung leicht verändert werden, um eine günstigere Punktplatzierung zu erreichen. Die nachträgliche Anpassung der Erhebungsgebiete (Bezugseinheiten) an die Platzierung der Punkte löst zwar das Darstellungsproblem, invertiert jedoch den Sinn der Abgrenzung dieser Flächen. Welchen Aussagewert hat ein Erhebungsgebiet, welches so abgegrenzt wird, dass möglichst viele Punkte hineinpassen?

Für Gemeinden mit kleiner Fläche empfiehlt IMHOF [1972], die Punkte ‚einfach‘ in der Gemeindefläche zu verteilen. Für Gemeinden mit großen Flächen und sehr ungleicher Siedlungsdichte, wie sie z.B. im Hochgebirge häufig auftreten, sollten die Punkte möglichst genau auf der tatsächlichen Siedlungsfläche verteilt werden. Die dafür benötigten Zahlen sind dabei einer detaillierten Statistik zu entnehmen, die benötigten Flächen aus detaillierten topographischen Karten. Bei Karten in sehr kleinen Maßstäben sollen die Zahlen sinngemäß den Gemeinden, Kreisen etc. zugeordnet werden.

ASCHENBRENNER [1989] stellt vier Methoden der Anordnung von Werteinheitensignaturen innerhalb verschiedener Platzierungsflächen vor (siehe Abbildung 3.1). Er bezieht sich dabei auf ARNBERGER [1966].

- 1) Mengenzählmethode mit wirklichkeitsentsprechender (lokal unterschiedlicher) Dichtewiedergabe innerhalb des Verbreitungsraumes (Bezugsflächen);
- 2) Mengenzählmethode mit auf den Verbreitungsraum (Bezugsflächen) bezogener durchschnittlicher Dichtewiedergabe;

- 3) Mengepunktmethode mit auf einen Erhebungsraum (Bezugseinheiten) bezogener durchschnittlicher Dichtewiedergabe;
- 4) Methode der Mengepunkte bezogen auf einheitliche Flächengrößen (Bezugseinheiten).

ASCHENBRENNER verwendet hier den Begriff der Mengepunkte (gleichmäßig verteilt), der für Variante 1) nicht zutreffend ist. Hier müsste der Begriff der Streuungspunkte verwendet werden.

ASCHENBRENNER bezeichnet Variante 1) als exakteste der vier Methoden. Sie passe am besten zum Topographischen Prinzip (siehe [ARNBERGER 1966]). Allerdings sei ihre Anwendung auf große Maßstäbe beschränkt. In seinen späteren Arbeiten sieht ARNBERGER die möglichst genaue Darstellung der Verteilung als Hauptziel. Dies ist allerdings nur zu erreichen, wenn die Daten ausreichend regional gegliedert sind. Dann ist sowohl die Platzierung der Streuungspunkte entsprechend der tatsächlichen Objektverteilung mit oder ohne Angabe des Verbreitungsgebietes als auch die Platzierung entsprechend der tatsächlichen Verteilung bezogen auf ein Gitternetz möglich.

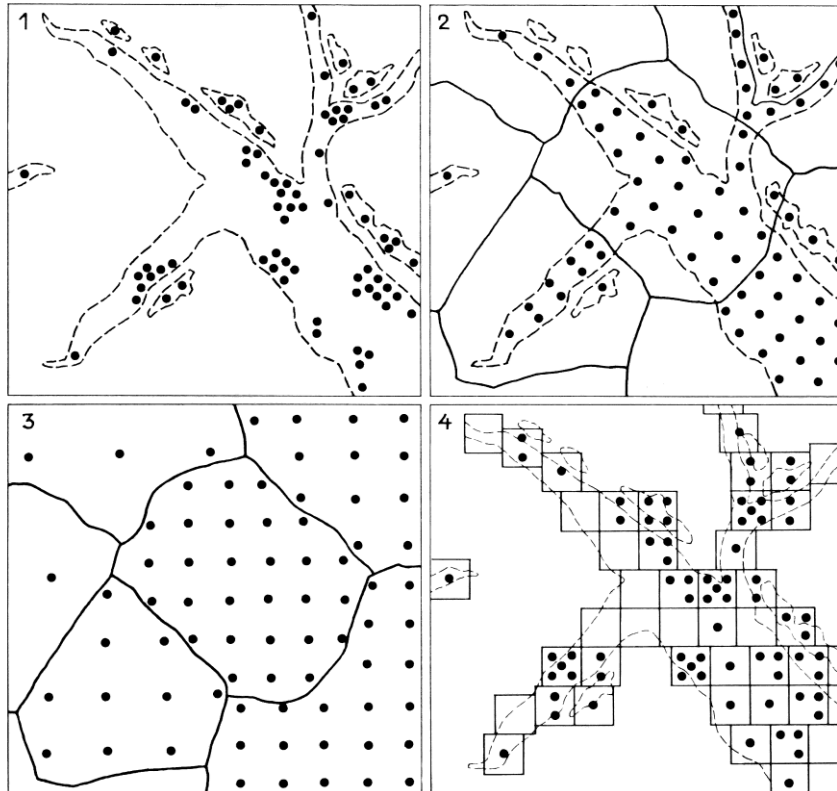


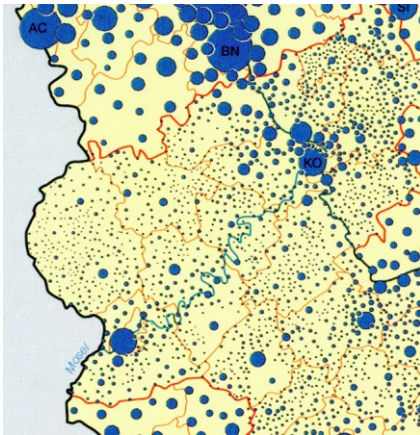
Abbildung 3.1: Methoden der Mengepunktdarstellung, aus [ARNBERGER 1966, S. 340], zitiert nach: [ASCHENBRENNER 1989, S. 5]

Als regelmäßige Bezugsflächen empfiehlt ASCHENBRENNER symmetrische Netze. Er weist darauf hin, dass die Werteinheitssignaturen sich nicht berühren oder überlappen sollten, was am einfachsten durch die regelmäßige Anordnung innerhalb regelmäßiger Bezugsflächen zu realisieren sei. Als mögliche Formen von regelmäßigen Netzeinheiten nennt er regelmäßige Sechsecke, gleichseitige Dreiecke und Quadrate. Diese drei Formen untersucht ASCHENBRENNER genauer hinsichtlich Berechnungsaufwand und Anordnung von Punkten innerhalb der Fläche. Dabei betrachtet er die Berechnung der Eckkoordinaten der Bezugsfläche und die Kombination der Bezugsfläche mit einem Quadratgitter, dessen Schnittpunkte die Mittelpunkte möglicher Werteinheitssignaturen darstellen. Die Prüfung ergibt, dass das Sechseck sowohl bei der Berechnung der Eckkoordinaten als auch bei der Füllung mit Punkten recht schwierig und aufwändig ist, ohne dass die Punktanordnung befriedigende Ergebnisse liefert. Das gleichseitige Dreieck ist demnach die günstigste Form, um die Punkte anzuordnen. Nur hier ist es möglich, dass alle Punkte stets den gleichen Abstand zueinander haben. Dennoch entscheidet er sich für das Quadrat. Durch seine Form füge sich das Quadrat problemlos in das Kartenkoordinatensystem, welches meist rechtwinklig sei, ein. Obwohl die Abstände der Punkte untereinander nicht immer gleich sind, sieht ASCHENBRENNER den Vorteil der leichten Auszählbarkeit. Während das Dreieck die größten Punktdurchmesser erlaube, können in einem Sechseck die meisten Punktmittelpunkte bestimmt werden. Das Quadrat bilde einen guten Kompromiss zwischen maximaler Punktgröße und Anzahl der Signaturenmittelpunkte. Für die Ermittlung der Signaturenmittelpunkte zur Anordnung der Punkte entwickelt ASCHENBRENNER verschiedene Verfahren (siehe *Kapitel 4*).

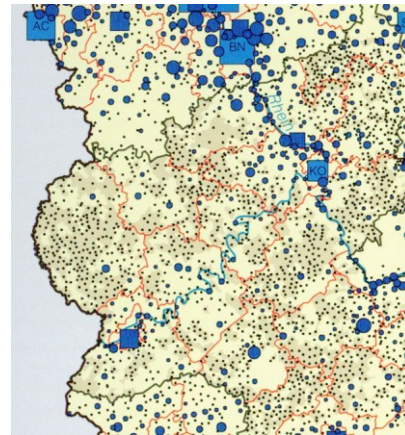
Den Vorteil von Gitternetzen sieht ARNBERGER [1993] darin, dass die Bezugseinheiten untereinander flächenmäßig gleich und dadurch gut vergleichbar sind. Das Gitternetz kann sowohl aus starren als auch in ihrer Lage flexiblen Gitternetzmaschen bestehen. Starre Maschen sind in ihrer Erzeugung leicht zu automatisieren, zerteilen jedoch unter Umständen Agglomerationen ungünstig. Flexible Maschen sind schwierig automatisch zu erzeugen. ARNBERGER stellt fest, dass unter den geometrischen Rastern nur „flächendeckende gleichseitige Vielecke in Frage [kommen], und zwar Dreiecke, Quadrate und Sechsecke“ [ARNBERGER 1993, S. 146]. Er verweist auf WITT [1971], der sich auf dieselben Figuren beschränkt. Aufgrund verschiedener Nachteile hinsichtlich unrunder Flächeninhaltszahlen, komplizierter Teilbarkeit und des schlechten Einpassens in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem, bzw. in jedes andere rechtwinklige

Koordinatensystem, empfiehlt ARNBERGER auf Sechsecke zu verzichten. Er weist außerdem auf das Problem hin, dass Gemeinden vor allem in Gebieten, die – wie er es nennt – ‚horizontal und vertikal stark gegliedert sind‘ (z.B. im Hochgebirge), aus unterschiedlich strukturierten Siedlungsteilen bestehen und daher die Bevölkerung innerhalb des Gemeindegebietes sehr unterschiedlich verteilt ist (siehe dazu auch [HEY 2006a]). Wenn in einer Gemeinde mehrere strukturell unterschiedliche Orte zusammengefasst sind, dann „divergiert z.B. der siedlungsgeographische Stadtbegriff vom administrativen so stark, daß wir nicht mehr imstande sind, die Einwohnerzahl einer Stadt, sondern nur noch die meist viel höhere ihres Gemeindegebietes statistisch ausgewiesen zu bekommen“ [ARNBERGER 1993, S. 143]. Die Vorteile der Verwaltungsgebiete als Bezugseinheiten sind laut ARNBERGER die Möglichkeiten des einfachen Vergleichs mit anderen auf dieser Basis erhobenen Daten und die weltweite Vergleichbarkeit und Fortführungsmöglichkeit. Allerdings sieht er seine Forderung, die statistischen Daten sollten so weit aufgegliedert wie möglich erfasst werden, um eine räumliche Auswertung zu ermöglichen, mit den Bezugseinheiten der amtlichen Statistik nicht erfüllt. Dafür seien sie noch zu groß bzw. falsch abgegrenzt, d.h. nicht entsprechend der geographisch und raumplanerisch bedeutsamen Gesichtspunkte.

Der vorgebrachte Vorteil der guten Vergleichbarkeit von administrativen Einheiten ist kritisch zu sehen. Die administrative Gliederung kann sehr unterschiedlich sein. Als Beispiel sei hier die Gemeindestruktur der deutschen Bundesländer angeführt. Aufgrund der starken Zusammenfassung zu großen Flächengemeinden in einigen Bundesländern zeigen Karten, die auf dieser Basis erhobene Daten darstellen, sehr große Verteilungsunterschiede, die in den tatsächlichen Verteilungen nicht auftreten. Abbildung 3.2 zeigt Ausschnitte aus Karten der Bevölkerungsverteilung. Während der linke Ausschnitt mit den unveränderten Daten der amtlichen Statistik ausgeführt wurde, ist für den rechten Ausschnitt der (aktualisierte) Datenbestand zunächst auf die tatsächlichen Siedlungen aufgegliedert worden (siehe [HEY 2006a]).



Bevölkerungsverteilung 1998 (verkleinerter Ausschnitt), Maßstab 1: 2 750 000 [RASE 2001]



Bevölkerungsverteilung 2000 (verkleinerter Ausschnitt), Maßstab 1: 2 750 000 [HEY 2006b]

Abbildung 3.2: Auswirkungen der administrativen Gliederung auf die Darstellung statistischer Daten²

Im linken Ausschnitt tritt vor allem die unterschiedliche Gemeindegröße der benachbarten Bundesländer (Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen, Saarland) hervor. Für die Bearbeitung der Daten im rechten Ausschnitt wurden Satellitenbilddaten herangezogen, um die Siedlungsflächen zu bestimmen. Diese Karte zeigt ebenfalls die sehr feingliedrige Siedlungsstruktur in Rheinland-Pfalz. Allerdings sind auch in den benachbarten Bundesländern mehr Details zu erkennen. Beide Karten verwenden eine Kombination aus Mengensignaturen in gleitendem und gestuftem Wertmaßstab. Obwohl beide Karten keine Punktstreuungskarten sind, so zeigen sie doch deutlich die Probleme, die durch die Abgrenzung der Erhebungseinheiten entstehen können. Es ist jedoch zu unterstreichen, dass, wie bereits erwähnt, die Erhebungseinheiten nicht identisch sein müssen mit der Platzierungsfläche in der Karte. Durch eine geeignete Anpassung der Daten an einheitliche Platzierungsflächen können Unterschiede in den Bezugseinheiten ausgeglichen werden (siehe Abbildung 3.2 rechts).

DITZ [2000] unterstützt die bereits von HETTNER [1900] vorgetragene Forderung, dass die Platzierung von Streuungspunkten zur Darstellung der Bevölkerungsverteilung sich an den tatsächlichen Siedlungsflächen orientieren sollte. Verallgemeinernd kann man anfügen, dass diese Forderung für alle statistischen Daten gelten sollte, die auf Basis einer Bezugseinheit erhoben werden. Diese Arbeit wird sich allgemein mit diesen Daten befassen, wobei die Bevölkerung als typisches Beispiel betrachtet werden kann. DITZ

² Die statistischen Daten beider Karten sind nicht identisch. Da es sich jedoch in beiden Fällen um die Bevölkerungszahlen aus der amtlichen Statistik handelt, wird der Unterschied des Erhebungszeitpunktes von 2 Jahren als vernachlässigbar angesehen, so dass die Unterschiede in der Karte nicht auf die Daten selbst, sondern auf deren Aufbereitung zurückgeführt werden.

regt an, auch andere topographische Faktoren in die Punktplatzierung einfließen zu lassen. Für die Darstellung von Bevölkerungszahlen, die auf Grundlage der Gemeindegrenzen erhoben wurden, weist er darauf hin, dass Punkte nicht in Gewässerflächen und anderen, nicht zum Siedlungsgebiet zählenden, Flächen platziert werden dürfen. Um die deutliche Abgrenzung der Streuungspunkte unterschiedlicher Gemeinden zu gewährleisten, verringert DITZ die Fläche für die Punktplatzierung am äußeren Rand um den halben Minimalabstand der Punkte. In den verbleibenden Flächen dienen die Ortssignaturen als Schwerpunkt für die Platzierung der Punktwolken (siehe Abbildung 3.3).

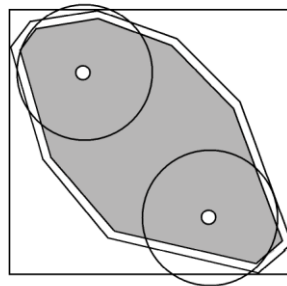


Abbildung 3.3: Abgrenzung der Platzierungsflächen
[nach DITZ 2000, S. 169]

Die Verkleinerung der Platzierungsflächen um den halben Minimalabstand ist eine sehr effektive Methode zur Trennung benachbarter Punktwolken. Sie wird auch in der vorliegenden Arbeit angewendet.

HAKE et al. [2002] betrachten die Lagegenauigkeit der Darstellung von Daten, die auf Basis von Bezugseinheiten erhoben werden. Diese absoluten Zahlen, wie z.B. Einwohnerzahlen, bezeichnen HAKE et al. als quantitative flächenhafte Diskreta (flächenbezogene Quantitäten). Die Darstellung der Werte ist jedoch nur raumtreu möglich, da sich die Werte innerhalb der Bezugseinheit nicht exakt verorten lassen. Dieses Problem besteht bei Bevölkerungsdaten auf Basis administrativer Einheiten nicht unbedingt, wenn z.B. Siedlungsflächen berücksichtigt werden und die Einwohner so genau wie möglich diesen Flächen zugewiesen werden (siehe [HEY 2006a]). Bezugseinheiten für derartige flächenbezogene Quantitäten können sowohl geographische als auch administrative und geometrische Bezugseinheiten sein. Hier werden die bereits von WITT [1971] und ARNBERGER [1993] formulierten Ideen zur Gestaltung der Bezugseinheiten für die Punktverteilung aufgegriffen. Für geographische Bezugseinheiten soll gelten, dass sie möglichst einheitliche Merkmale aufweisen und „in sachgerechter Beziehung zu den statistischen Daten stehen“ [HAKE et al. 2002,

S. 476]. So wird z.B. gefordert, dass Bevölkerungsdaten ausschließlich auf die bebaubare Fläche zu beziehen sind. Eine Unterscheidung zwischen Bezugseinheiten, Bezugsfläche und Platzierungsfläche treffen HAKE et al. nicht.

Auch OLBRICH et al. [2002] beleuchten die Probleme der Abgrenzung der Bezugseinheiten für quantitative Werte. Es wird dabei zwischen ‚echten‘ und ‚unechten‘ Flächen unterschieden. Als Beispiele für ‚echte Flächen‘ werden dabei Wasser- und Anbauflächen genannt. ‚Unechte Flächen‘ zeichnen sich demnach dadurch aus, dass sie mehr oder weniger willkürlich abgegrenzt sind. Als Beispiel dafür wird die Darstellung der Bevölkerungsdichte bezogen auf Gemeinden genannt. Wie auch ARNBERGER [1993] ausführt, kann das vor allem bei Gemeinden im Hochgebirge zu großen Fehlern führen. OLBRICH et al. verdeutlichen den Unterschied zwischen ‚Bezugsfläche‘ und ‚Bezugseinheit‘. Während die Bezugsfläche dem tatsächlichen Verbreitungsgebiet entspricht (z.B. Siedlungsfläche für die Bevölkerung), bezeichnet die Bezugseinheit den Bereich, für den die Daten erhoben wurden (z.B. administrative Einheit) bzw. für den sie gültig sind (z.B. punktuelle Messwerte, die auf ihre Umgebung ausgeweitet werden).

Insgesamt finden sich in der Literatur drei verschiedene Konzepte für die Bestimmung der Platzierungsflächen der Streuungspunkte in Punktstreuungskarten.

- statistische Bezugseinheiten, z.B. administrative Einheiten
- tatsächliche Verbreitungsgebiete, z.B. Siedlungsflächen
- regelmäßige Gitter

Frühere Hoffnungen, die Datenerhebung der Statistik würde sich zukünftig auf regelmäßige Raster beziehen, haben sich nicht erfüllt. Daher sind regelmäßige Gitter nach wie vor schwierig für die Platzierung der Streuungspunkte zu nutzen, da keine einheitlichen Regeln vorhanden sind, wie die statistischen Daten der meist administrativen Bezugseinheiten auf das Gitter umzurechnen sind. Ähnlich verhält es sich mit den tatsächlichen Verbreitungsgebieten, wenn die statistischen Daten mit geringerer räumlicher Auflösung erhoben wurden. Mögliche Lösungsansätze für Bevölkerungsdaten werden in HEY [2006a] vorgestellt. Die vorliegende Arbeit entwickelt auf Basis des von DITZ [2000] vorgestellten Konzepts eine neue Lösung für die Bestimmung der Platzierungsfläche.

3.2 Anordnung der Punkte

Die Wahl der Punktanordnung ist verbunden mit dem Aussagewert der Punktkarte und der Abgrenzung der Platzierungsflächen. Punktkarten mit einer regelmäßigen Punktanordnung innerhalb administrativer Einheiten können weniger detaillierte Informationen zur Verfügung stellen als Karten mit einer Punktanordnung, die sich an dem tatsächlichen Vorkommen innerhalb des Verbreitungsgebietes orientiert.

Zwischen Punktdichtekarten und Punktstreuungskarten sollte strikt unterschieden werden. Während Punktdichtekarten lediglich einen Bezug zwischen Absolutwerten und der Bezugseinheit in schematisierter Form wiedergeben sollen, streben Punktstreuungskarten eine genaue Abbildung der Verteilungsmuster an. Die Punktstreuungskarte sollte die Platzierung der Punkte nach echten Verteilungsmustern vornehmen und auf eine schematisierte Anordnung verzichten. Unter Umständen können dabei zufallsverteilte Punkte eingesetzt werden, wenn die Verbreitungsfläche ausreichend genau bestimmt ist, um ein tatsächliches Verteilungsmuster simulieren zu können. Hinsichtlich der Automatisierung besteht bei zufälligen Punktanordnungen das Problem, dass die zur Verfügung stehende Fläche in der Karte nicht eindeutig mit der Anzahl möglicher Punkte verknüpft werden kann. Auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist ein Problem (siehe *Kapitel 5*).

WITT verweist darauf, dass „die Punkte so genau wie möglich in den Schwerpunkt der Flächen“ [WITT 1970, S. 404] platziert werden sollen. Diese Methode bewertet er als geographisch wertvollste. Sie führe zu den ‚eindrucksvollsten Streuungspunktkarten‘. Er empfiehlt die Methode der Punktplatzierung in der Legende zu erläutern. So kann die Karte richtig interpretiert werden. Die Platzierung der Punkte kann dann entweder schematisch über die Fläche erfolgen oder aber, falls genaue Informationen verfügbar sind, so lagegenau wie möglich sein. Für eine gleichmäßige Verteilung der Punkte innerhalb der Platzierungsfläche empfiehlt WITT, die Fläche in gleichgroße Quadrate zu zerlegen und jeweils im Mittelpunkt der Quadrate einen Punkt zu platzieren. Die Anzahl der Quadrate und damit ihre Seitenlänge werden durch die Anzahl der erforderlichen Punkte bestimmt. Eine andere Methode, die Punkte gleichmäßig über die Flächen zu verteilen, ist demnach, sie an den Eckpunkten gleichseitiger Dreiecke bzw. an den Eck- und Mittelpunkten regelmäßiger Sechsecke anzuordnen. Da die Platzierungsflächen, wie z.B. administrative Einheiten, meist sehr unregelmäßig geformt sind, ist die gleichmäßige Verteilung der Punkte recht schwierig. WITT schlägt vor, die Punkte

visuell gleichabständig zu setzen, was seiner Meinung nach mit einiger Übung möglich ist.

KELNHOFER [1971] betrachtet die Positionierung der Streuungspunkte in der Karte als problematisch, da der Lagebezug eindeutig erkennbar bleiben muss. Er regt an, bei der Platzierung positionsbezogener Aussagen entweder den Schwerpunkt oder den geometrischen Mittelpunkt der Platzierungsflächen als zentralen Punkt zu nutzen. Für Ballungsgebiete empfiehlt er, eine rasterförmige Punktanordnung zu vermeiden. Als Gründe führt er zum einen die Tatsache an, dass das reale Verteilungsmuster durchaus unregelmäßig ist und zum anderen, dass dieses Muster bei schlechter Ausführung Artefakte ausbilden kann. KELNHOFER weist darauf hin, dass trotz des kleinen Punktwertes und des großen Maßstabes die Platzierung der Streuungspunkte vor allem im Streusiedlungsgebiet nicht lagertreu erfolgen kann. Besonders in diesen Gebieten ist die Zusammenfassung der oft weit verstreuten Vorkommen in Streuungspunkten, die im Schwerpunkt platziert werden, erforderlich. Bei einer Verkleinerung des Maßstabs und der damit verbundenen Vergrößerung des Punktwertes trifft dies auf das gesamte Kartiergebiet zu.

Für die Anordnung der Punkte bestehen nach KLAMT [1972] drei Möglichkeiten. Die erste ist die schematische, gleichmäßige Verteilung der Punkte über die Platzierungsfläche. Diese eigne sich besonders gut für eine Automatisierung und gebe im Gesamtzusammenhang auch einen ausreichenden Eindruck von Dichteunterschieden. Als spezialisierte Form dieser ersten Methode nennt KLAMT die Verteilung der Punkte entsprechend der geographischen Realität (zweite Variante) und die Anordnung der Punkte um den Schwerpunkt der Platzierungsfläche (dritte Variante). Die Einbeziehung der Geographie ermögliche dabei die differenzierteste Darstellung, stelle jedoch auch einen großen Aufwand dar. So müssten die Flächen bestimmt werden, die zur Punktplatzierung genutzt werden. Innerhalb dieser Flächen fände die Punktplatzierung dann jedoch wieder schematisch statt. Die Variante der Anordnung um den Schwerpunkt kritisiert KLAMT, da die Punkte nicht lagerichtig wiedergegeben werden. Betrachtet man die anderen beiden Varianten, ist dieser Kritikpunkt jedoch kaum haltbar, da bei den anderen Methoden ebenfalls willkürliche Punktpositionen festgelegt werden, die sich nur bedingt an den tatsächlichen Gegebenheiten orientieren. Letztendlich bestimmt die räumliche Auflösung der Daten die erreichbare Genauigkeit mehr als das gewählte Anordnungsmuster.

Die von HOFMANN [1972] durchgeführte Kartenanalyse verschiedener Nationalatlanten ergab, dass in den meisten Karten der Punktmethode der Schwerpunkt der Platzierungsfläche für die Anordnung der Punkte genutzt wird.

ASCHENBRENNER [1989] favorisiert eine lokal differenzierte Punktverteilung innerhalb des Verbreitungsgebietes. Allerdings beschränkt er die Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode auf den großmaßstäbigen Bereich. Um die Unterschiede zwischen einer durchschnittlichen Dichtedarstellung und der Anordnung entsprechend der tatsächlichen Verteilung deutlich zu machen, zitiert ASCHENBRENNER eine Abbildung von MONKHOUSE und WILKINSON [MONKHOUSE/WILKINSON 1963] (Abbildung 3.4). Sie stellt eine Punktdichtekarte (links) einer Punktstreuungskarte (rechts) gegenüber. MONKHOUSE und WILKINSON unterscheiden in ‚objektive‘ (regelmäßige) und ‚subjektive‘ (individuelle) Anordnung der Punkte.

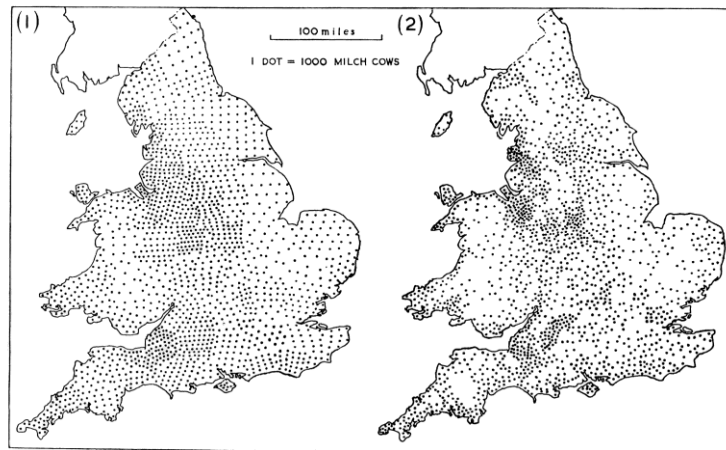


Abbildung 3.4: Punktdichtekarte (1) und Punktstreuungskarte (2) nach [MONKHOUSE/WILKINSON 1963, S. 234]

ASCHENBRENNER weist darauf hin, dass auch andere Unterscheidungen existieren. So trennt PREOBRAŽENSKIJ [1956] zwischen ‚gleichmäßiger‘ und ‚lokalisierter‘ Anordnung. Die Vorzüge der möglichst genau angeordneten Punkte unterstreicht ASCHENBRENNER mit dem Hinweis auf die Erkennbarkeit georäumlicher Besonderheiten anhand der Punktverteilung, wie z.B. des Dartmoors, welches sich im Südwesten Englands befindet. Auf der rechten Karte in Abbildung 3.4 ist es durch das Fehlen von Punkten deutlich erkennbar, während sich auf der linken Karte kein Hinweis darauf findet. ASCHENBRENNER schlägt vor, für eine möglichst realistische Punktanordnung zunächst die durchschnittliche Dichte bezogen auf die kleinste darstellbare Bezugseinheit (z.B. Haus oder Grundstück) zu berechnen. Er weist darauf hin, dass gleich große Flächeneinheiten, wie z.B. Gitternetzmaschen, den Vorteil absoluter Vergleichbarkeit

besitzen. Andererseits, so bekennt er, können geringfügige Lageveränderungen des Netzes zu großen Unterschieden in den berechneten Werten führen. Die Berechnung von durchschnittlichen Dichtewerten widerspricht der Vorgabe, Absolutwerte darstellen zu wollen. Es ist anzunehmen, dass die Verwendung des Begriffs Dichtewert hier lediglich auf die Beziehung zwischen Punktgröße und zur Verfügung stehendem Platz zurückzuführen ist.

DITZ [2000] bezeichnet die Platzierung der Punkte als den wichtigsten Aspekt bei der Herstellung einer Punktstreuungskarte. Er verweist auf die Praxis, bei der manuellen Kartenherstellung die Platzierung der Punkte in einem größeren Maßstab als dem endgültigen Ausgabemaßstab vorzunehmen. Er gibt außerdem einen Überblick über die Entwicklung automationsgestützter Punktstreuungskarten. Die ersten Ansätze verfolgten demnach eine regelmäßige Anordnung der Punkte, da sich diese am einfachsten in Formeln ausdrücken lässt. Er nennt hier ASCHENBRENNER [1989] als Beispiel. Die später entwickelten Softwarelösungen konzentrieren sich demnach auf die zufallsbasierte Punktanordnung, welche die Topographie völlig außer Acht lässt (siehe Abbildung 3.5). Auch DITZ verwendet eine zufallsbasierte Punktanordnung. Nähere Ausführungen zu dieser digitalen Methode der Punktplatzierung folgen in *Kapitel 4*.

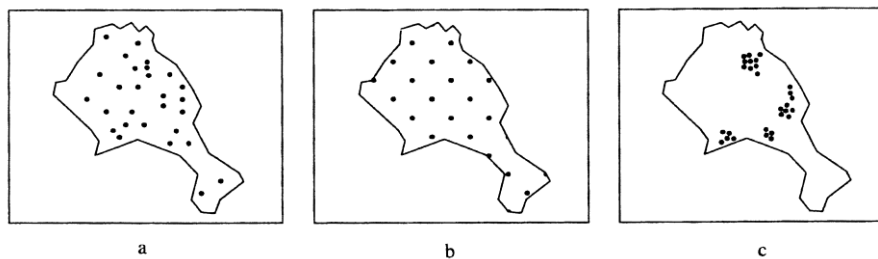
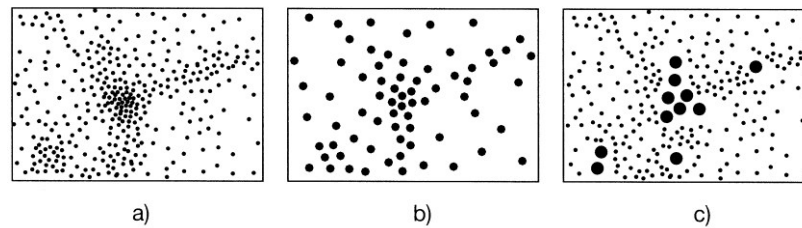


Abbildung 3.5: Unterschiede zwischen den verschiedenen Möglichkeiten einer Platzierung von Streuungspunkten: a) zufällige Platzierung, b) regelmäßige Platzierung, c) zufällige Platzierung mit Berücksichtigung der Topographie [DITZ 2000, S. 168]

HAKE et al. [2002] betonen die regelmäßige Anordnung der Punkte und unterstreichen die schnelle Erfassbarkeit und Vergleichbarkeit der so dargestellten Mengen. Im Text wird die Anordnung der Punkte explizit als ‚streng geordnet‘ bezeichnet. Die Abbildungen zeigen jedoch Punktstreuungskarten, die eine der Verteilung der Objekte entsprechende Anordnung der Punkte nahelegt. (siehe Abbildung 3.6)



Punktmethode zur Darstellung einer Objektstreuung

- a) mit einheitlichem Mengenwert (1 Punkt entspricht 10 Einheiten),
- b) mit einheitlichem Mengenwert (1 Punkt entspricht 50 Einheiten),
- c) mit gestuften Mengenwerten (1 Punkt entspricht 10 bzw. 100 Einheiten)

Abbildung 3.6: Punktmethode [HAKE et al. 2002, S. 119]

Nach KIMERLING [2009] werden die Punkte, welche eine bestimmte Quantität der dargestellten Erscheinung repräsentieren, dort platziert, wo diese Erscheinung am wahrscheinlichsten auftritt. Bei der Platzierung der Punkte soll außerdem darauf geachtet werden, dass die Dichteunterschiede innerhalb der Verteilung deutlich werden. Nähere Erläuterungen zu KIMERLINGS Punktplatzierungsmethode befinden sich in *Kapitel 4*.

Die verschiedenen Anordnungsmuster, die in der Literatur vorgestellt werden, haben sich im Laufe der Zeit verändert. Oberstes Ziel ist in jedem Fall eine möglichst lagetreue Platzierung der Punkte, die von WITT [1970] bis KIMERLING [2009] genannt wird. Allein der Weg, diese zu erreichen, ist unterschiedlich. WITT und KELNHOFER [1971] schlagen eine Platzierung im Schwerpunkt der Platzierungsfläche vor und sind auch der regelmäßigen Punktverteilung über die Fläche nicht abgeneigt. KELNHOFER beschreibt diese gar als Grundform dieser Darstellungsmethode. Auch HOFMANN [1972] und KLAMT [1972] beschreiben gleichmäßige Punktverteilungen, wobei KLAMT jedoch die Anordnung im Schwerpunkt der Fläche kritisiert. IMHOF [1972] hingegen fokussiert auf die Platzierung gemäß der tatsächlichen Verteilung. ASCHENBRENNER [1989] stimmt mit ARNBERGER [1966] überein, dass die Punktverteilung so genau wie möglich innerhalb des tatsächlichen Verbreitungsgebietes stattfinden soll. Sein Weg dorthin führt allerdings über eine gleichmäßige Punktdichte für die kleinsten verfügbaren Bezugseinheiten, die dann in kleineren Maßstäben zusammengefasst und für die lagetreue Anordnung der Punkte genutzt wird. In seinem Automatisierungsverfahren greift ASCHENBRENNER dann auf eine regelmäßige Punktanordnung zurück, die mittels verschiedener Punktauswahlverfahren in eine ‚zufällige‘ Punktverteilung umgewandelt werden kann. DITZ [2000] greift auf diese Ideen teilweise zurück und entwickelt daraus

eine zufallsbasierte Punktverteilung, die sich um einen Schwerpunkt gruppiert und nach außen hin eine abnehmende Dichte aufweist. Als Platzierungsfläche wird dabei der Verbreitungsraum genutzt. Auch KIMERLING [2009] nutzt eine zufallsbasierte Punktverteilung, die möglichst lagetreu die Verteilung wiedergeben soll. Allen Arbeiten ist gemein, dass die Streuungspunkte möglichst nur im tatsächlichen Verbreitungsgebiet gesetzt werden sollen.

Diese Arbeit verfolgt das Ziel, eine Punktstreuungskarte herzustellen, welche die Punkte möglichst genau verortet. Allerdings ist die erreichbare Genauigkeit abhängig von der räumlichen Auflösung der Ausgangsdaten. Die vorliegende Arbeit wird eine regelbasierte Punktanordnung nutzen, die sich um einen Schwerpunkt gruppiert und eine zufällige Punktverteilung simuliert. Da die Punktverteilung jedoch nicht komplett zufällig erfolgt, ist eine Vorhersage der Punktzahl bei bekannter Flächengröße möglich.

3.3 Festlegung des Wertmaßstabs (Punktwert & Punktgröße)

Zur Wiedergabe von Quantitäten wird nach HAKE et al. [2002] ein Wertmaßstab angewendet. Die Festlegung des Wertmaßstabs regelt die „Veranschaulichung von Zahlenwerten durch ihre Übertragung in die graphische Variable Größe. Der Wertmaßstab drückt das Verhältnis zwischen dem abzubildenden Wert eines Objekts bzw. Sachverhalts in der Wirklichkeit und der Figurengröße in der Karte aus.“ [GROBER 2002, S. 426] Er kann sowohl gestuft als auch stetig sein. Gestufte Wertmaßstäbe erfordern eine quantitative Generalisierung in Form einer Klassenbildung. Gleitende Wertmaßstäbe erlauben eine differenzierte Darstellung der Werte. Ein Wertmaßstab kann auch in Form von Werteinheitssignaturen auftreten. Die darzustellende Menge wird dann als „Summe gleich großer und geometrisch streng geordneter Zeichen“ [HAKE et al. 2002, S. 469] wiedergegeben.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet von Werteinheitssignaturen ist die Festlegung des Punktwertes in Punktstreuungskarten. Die Festlegung des Punktwertes ist immer mit einer quantitativen Generalisierung verbunden. Ohne diese Generalisierung, bezogen auf die dargestellten Mengewerte, würde es sich lediglich um eine Standortkarte handeln. Die Festlegung des Wertmaßstabs ist stets eine Optimierungsaufgabe. Die konkurrierenden Aspekte sind dabei die Punktgröße (der in der Karte für die Platzierung der Punkte zur Verfügung stehende Platz) und der Punktwert (Anzahl der Punkte). „Die

Wahl der Werteinheit und die Punktgröße [sind] miteinander im Kartenbild unlöslich verbunden“ [WITT 1970, S. 394]. Für die Wahl der Werteinheit (Punktwert) gilt demnach, dass der Wert möglichst klein sein sollte. Bei diskreten Objekten sollte sie allerdings nicht unterhalb der statistischen Zähleinheit liegen. Als Beispiel führt WITT Bevölkerungszahlen an. Ein Punktwert von weniger als 1 wäre hier nicht sinnvoll. Die Anzahl der zu setzenden Punkte hängt von der Größe des gewählten Punktwertes und der jeweils darzustellenden Menge ab. Je kleiner der Punktwert ist, desto mehr Punkte sind erforderlich.

KELNHOFER [1971] betrachtet den Bereich der Wertmaßstäbe unter dem Begriff des ‚Figurenmaßstabs‘. Die quantitative Aussage wird vor allem bei gleitenden Wertmaßstäben von der Länge, der Fläche oder dem Volumen der Signaturen getragen. Dabei erläutert KELNHOFER die Vor- und Nachteile der längen-, flächen- und volumenproportionalen Wertmaßstäbe. So sind die eindimensionalen Wertmaßstäbe am leichtesten zu schätzen. Allerdings erlauben sie lediglich die Darstellung geringer Wertespannen. Bei den volumenproportionalen Wertmaßstäben treten hingegen sehr große Fehler beim Schätzen auf. Ihr Vorteil besteht in einer sehr großen darstellbaren Wertespanne. Die flächenproportionalen Wertmaßstäbe liegen zwischen diesen beiden Extremen. Sie sind gut schätzbar und bieten die Möglichkeit, eine recht große Spanne an Werten darstellen zu können. Diese Eigenschaften werden auch von GROBER [2002] genannt. Als günstige Signaturen für die Anwendung eines Wertmaßstabs haben sich nach KELNHOFER ‚eckige‘ Signaturen, wie z.B. das Quadrat erwiesen, auch wenn der Kreis weit häufiger für diesen Zweck eingesetzt wird. Insgesamt erlangt die Problematik der gleitenden Wertmaßstäbe im Bereich der Punktstreuungskarte keine Bedeutung, da hier Werteinheitssignaturen verwendet werden. Daher wird sie nicht näher betrachtet.

Eine Punktstreuungskarte zeichnet sich durch die Wiedergabe quantitativer Daten aus. Jedoch wird eine Punktstreuungskarte bei Vergrößerung des Maßstabs und dadurch möglicher Verkleinerung der Punktwerte ab einem gewissen Punkt zu einer Standortkarte, die lediglich noch qualitative Informationen liefert. Je größer der Maßstab, desto kleiner kann der Punktwert sein, da mehr Platz für die Anordnung zusätzlicher Punkte zur Verfügung steht. Die quantitative Generalisierung wird dabei schrittweise zurückgenommen und verschwindet schließlich ganz.

Die Wahl des Punktwertes bestimmt das entstehende Verteilungsbild. Bei ungeeigneten Werten können z.B. Ballungen vorgetäuscht werden, die so gar nicht existieren. Nach

WITT [1970] ist die Größe der Punkte nach unten lediglich durch die Sichtbarkeit begrenzt. Die obere Grenze stellen die Gebiete großer Punktballungen dar. Hier dürfen sich die Punkte nicht berühren, man spricht auch vom ‚Zusammenlaufen der Punkte‘. WITT nennt als minimale Größen für Punkte und Quadrate einen Wert von $0,3\text{ mm}$ für den Durchmesser bzw. die Breite. Von einer großen Menge sehr kleiner Punkte rät er jedoch ab, da diese ‚visuell nicht wirksam‘ sind. Verwendet man jedoch die gleiche Anzahl sehr viel größerer Punkte, so laufen die Punkte in Gebieten erhöhter Punktdichte zusammen. Bei einem zu großen Punktwert besteht nach WITT die Notwendigkeit, die Punkte größer darzustellen, da die geringere Punktzahl sonst nicht ‚sichtbar‘ ist. Dabei bestehe allerdings die Gefahr, dass das Kartenbild grob und ungenau wirkt. Der gegenteilige Effekt tritt demnach bei sehr kleinen Punktwerten auf. Die Punktzahl steigt stark, wodurch die Punktgröße limitiert ist. Durch die große Anzahl kleinerer Punkte wird nach WITT dann aber eine höhere Genauigkeit vorgetäuscht, die nicht vorhanden ist. WITT erscheint es zweckmäßig, einen Kartenentwurf jeweils mit verschiedenen Wertmaßstäben auszuführen und so die Wirkung der Karte zu prüfen. Bei der Punktmethod wird sich das Hauptaugenmerk darauf richten, den Punktwert so festzulegen, dass eine nahezu lagerichtige Platzierung der Punkte im Ballungsgebiet möglich ist. Das wird jedoch dazu führen, dass in Gebieten mit geringer Objektdichte die Platzierung der Punkte nur noch raumtreu erfolgen kann.

Abbildung 3.7 zeigt die Auswirkungen verschiedener Punktwerte auf die Darstellung der Bevölkerungsverteilung. Die verwendeten Punktwerte sind 1000, 200, 100 und 50 Einwohner. WITT bezeichnet Abbildung 3.7-1 als ‚gleichförmig‘ und ‚ungenau‘. Aufgrund des recht hohen Punktwertes werden vor allem in den ländlichen Gebieten viele Siedlungen zusammengefasst. In den Karten 3 und 4 laufen die Punkte in dicht besiedelten Bereichen zusammen. Der ideale Punktwert befindet sich demnach zwischen 200 (Karte 2) und 100 (Karte 3). Um die Ungleichgewichte zwischen ländlichen und dicht besiedelten Bereichen auszugleichen, empfiehlt WITT eine Kombination von Mengensignaturen – in Form von flächenproportionalen Kartenzeichen (er nennt sie ‚flächenproportionale Größenpunkte‘) für dicht besiedelte Gebiete – und Streuungspunkten (er verwendet den Begriff ‚Dichtepunkte‘) für die ländlichen, die weniger dicht besiedelten Gebiete. Bei der Kombination dieser zwei Darstellungsmethoden stellt WITT allerdings die Bedingung, dass der Wertmaßstab für beide Kartenzeichentypen identisch sein muss. Wenn z.B. für die flächenproportionalen Mengensignaturen gilt, dass 1 mm^2 200 Einwohnern entspricht, dann muss der

Punktwert der Streuungspunkte so gewählt werden, dass die Größe der Punkte dem Punktwert nach diesem Wertmaßstab entspricht. Diese Forderung hebt allerdings den Vorteil der Kombination teilweise wieder auf. Durch die Verwendung von Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab ist eine Darstellung größerer Mengen bei geringerem Platzbedarf möglich als dies die Punktmethode bei gleichem Wertmaßstab erlauben würde. Die weniger dicht besiedelten Gebiete profitieren bei der kombinierten Darstellung davon, dass die Werteinheit der Streuungspunkte im Vergleich zu den dicht besiedelten Gebieten recht klein gewählt werden kann und damit eine individuellere Darstellung ermöglicht wird. Die unterschiedlichen Ansprüche der Ballungsgebiete und Streusiedlungsgebiete an den Punktwert führen zu Konflikten, da der in der Karte zur Verfügung stehende Platz, unabhängig vom Wertmaßstab, beschränkt ist. Anhand von Abbildung 3.7 wird auch deutlich, dass die von WITT betrachteten ‚Dichtepunkte‘ nicht zu ‚echten‘ Punktstreuungskarten gehören, sondern von ihm lediglich im Sinne von Punktdichtekarten angewendet werden, indem sie gleichmäßig über die Flächen verteilt werden.

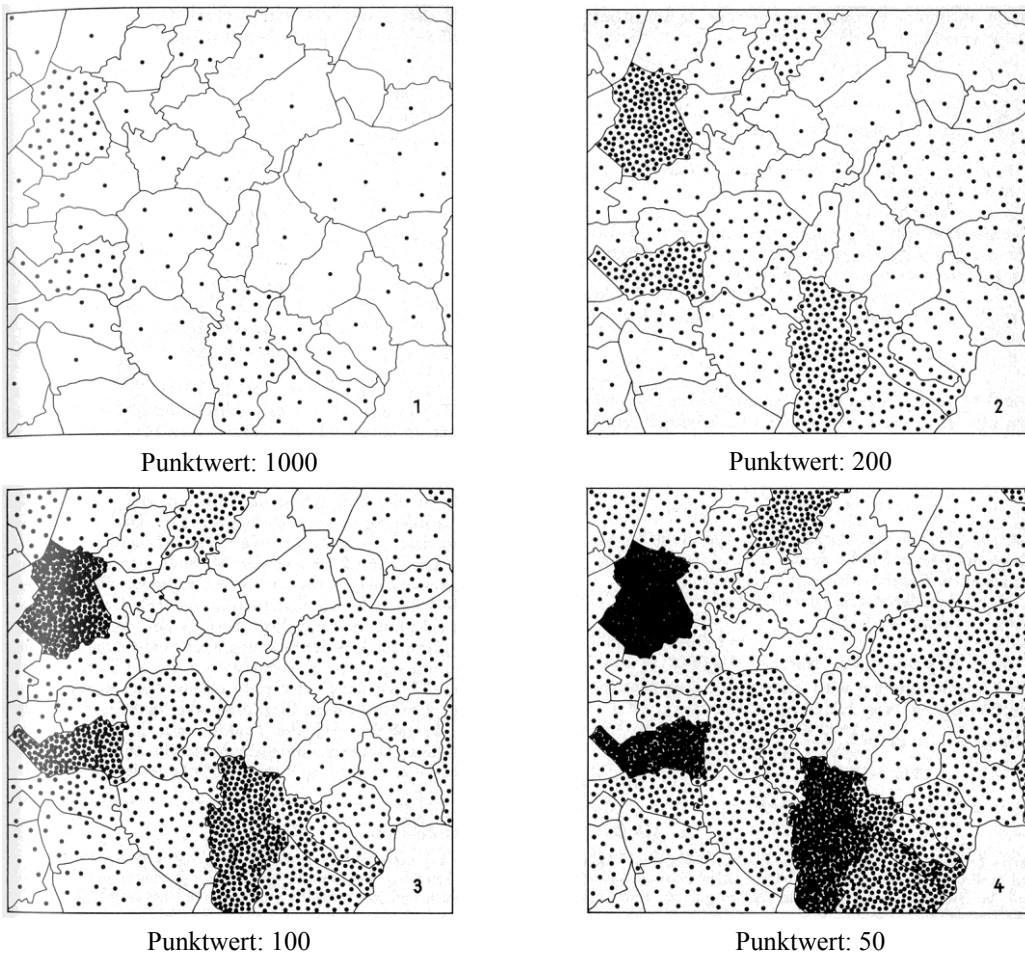


Abbildung 3.7: Auswirkung verschiedener Punktwerte [WITT 1970, S. 398]

WITT stellt ‚flächentreue Punkte‘ als einzige Möglichkeit vor, bei der die Punktgröße eindeutig bestimmt werden kann. Flächentreue Punkte werden eingesetzt, um reale Flächen, z.B. Anbauflächen, in Punktstreuungskarten darzustellen. Dabei wird die Größe der Punkte durch den Maßstab der Karte bestimmt. Allerdings stellt WITT fest, dass „diese Darstellungsmethode [...] noch keineswegs Allgemeingut der thematischen Kartographie geworden [ist]“ [WITT 1970, S. 401]. Bei der Verwendung ‚flächentreuer Punkte‘ kann demnach bei kleinen Flächen und in kleinen Maßstäben die Notwendigkeit bestehen, die Punkte größer zu gestalten als der Zusammenhang über den Maßstab festlegt, um die Darstellung deutlicher zu machen oder überhaupt leserlich zu gestalten. WITT spricht von ‚Überhöhung‘. Als Grenzwerte für Maßstäbe, die eine Überhöhung der Punktgröße erfordern, nennt er 1: 300 000 bis 1: 500 000. Eine Abwandlung der ‚flächentreuen Punkte‘ stellt er als ‚Tausendpunktkarten‘ vor. Dabei repräsentiert ein Punkt stets ein Promille der darzustellenden Gesamtmenge bzw. Gesamtfläche. Damit ist die Anzahl der Punkte je Karte auf 1000 festgelegt. Dadurch wird zwar das Problem der Punkthäufungen recht gut umgangen. Allerdings verweist WITT auch auf den erheblichen Nachteil, dass verschiedene Karten einer Kartenserie (z.B. Anbauflächen verschiedener Jahre) durch die unterschiedlichen Punktwerte nicht direkt miteinander verglichen werden können. Als mögliche Lösung dieses Problems stellt er die Variation der Punktgröße in Abhängigkeit vom dargestellten Promillewert vor. Neben den ‚Tausendpunktkarten‘ können auch ‚Hundertpunktkarten‘ erstellt werden, bei denen ein Punkt jeweils ein Prozent der Gesamtmenge bzw. Gesamtfläche darstellt. Als weitere Sonderform der ‚flächentreuen Punkte‘ erwähnt WITT die Anwendung in Größenklassen, z.B. zur Darstellung von Betriebsgrößen in der Landwirtschaft. Dabei entspricht die Punktgröße einer Klasse z.B. dem Mittelwert der Klasse, oder dem am häufigsten in einer Klasse vertretenen Wert. Der unterschiedliche Platzbedarf der jeweils ‚flächentreuen Punkte‘ führt allerdings dazu, dass meist nicht alle Klassen in ein und derselben Karte dargestellt werden können. Dann ist die Darstellung in Form einer Kartenserie erforderlich.

KELNHOFER [1971] geht wie WITT [1970] auf die Möglichkeit der ‚flächentreuen‘ Punktedarstellung ein. Dabei entspricht die Fläche eines Punktes maßstäblich der dargestellten Fläche. Diese Methode ist jedoch nur dann einsetzbar, wenn die darzustellenden Flächenanteile in angemessenem Verhältnis zur Gesamtfläche stehen, da sonst zu wenig Platz in der Karte zur Verfügung steht. KELNHOFER weist auch auf die Schwierigkeit unrunder Werte hin, die dazu führt, dass bei der Festlegung der

Punktwerte eine quantitative Generalisierung (Aufrunden und Abrunden) durchzuführen ist und damit die Darstellung verfälscht wird.

Die Punktgröße ist jedoch nicht nur hinsichtlich des in der Karte zur Verfügung stehenden Platzes zu wählen, sondern möglichst auch so, dass die Karte graphisch gut wirkt. Ist die zeichnerische/figürliche Punktgröße zu klein, so täuscht die Karte leere Räume vor. Bei einer zu großen Punktgröße hingegen wird eine Überfüllung des Raumes vorgetäuscht. Wird der Punktwert jedoch zu groß gewählt, kann die Karte zu leer erscheinen. Mit einem zu klein gewählten Punktwert kann wiederum eine zu große Objektdichte vorgetäuscht werden. Die Karte droht dann zu ‚versanden‘. Es gilt zwischen diesen Extremen einen Mittelweg zu finden. Dieser kann nach IMHOF [1972] durch zeichnerische Versuche oder den Vergleich mit anderen Karten gefunden werden. Er stellt die Punktgröße und den Punktwert als Parameter direkt gegenüber. Der Maßstab der Karte wird nicht explizit als Einflussgröße erwähnt. Die Beziehung zwischen gewähltem Punktwert und dem entstehenden Verteilungsbild formuliert IMHOF folgendermaßen: Je kleiner der Punktwert, „desto feingliedriger und treuer [ist] das Streuungsbild.“ [IMHOF 1972, S. 162] Sehr feine und sehr dichte Punkthaufen sind schlecht auszählbar. Der Dichteindruck ist dann oft stark verfälscht und Dichteunterschiede werden nivelliert. Je größer der Punktwert, „desto unrealer das Streuungsbild, desto leichter aber andererseits das Zählen der Punkte.“ [IMHOF 1972, S. 162] Hier besteht allerdings das Problem, dass wenige isolierte Punkte in sonst leeren Räumen Siedlungen vortäuschen, die oftmals gar nicht vorhanden sind. IMHOF setzt damit die Größe des Punktwertes in direkte Beziehung zur Zählbarkeit der Punkte und damit zur Kartenaussage. Er erweitert die Einflussfaktoren auf die Brauchbarkeit einer Punktstreuungskarte um die „Zuverlässigkeit und Gliederung der Objektzählungen“ und die „Art der Streuung in der Wirklichkeit“ [IMHOF 1972, S. 162]. Er mahnt zur Vorsicht beim Einsatz von Werteinheitssignaturen mit verschiedener Form, Farbe und Bedeutung. Für die Wahl des passenden Wertmaßstabs empfiehlt WITT [1970] die Beachtung der in der Karte zur Verfügung stehenden Fläche, also des Maßstabs. Er stellt fest, dass die Ermittlung des Wertmaßstabs nicht objektiv aus dem Maßstab der Karte bestimmt werden kann, sondern vielmehr durch Probieren gefunden wird. In seinen Augen hängt die Qualität einer Punktkarte entscheidend davon ab, wie Punktgröße und Punktwert gewählt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass sich die Kartenzeichen in Ballungsgebieten nicht zu stark überlappen. In weniger dicht besetzten Gebieten soll

dennoch ein aussagefähiges Kartenbild entstehen. WITT empfiehlt, das Kartenbild anhand des Gesamteindrucks zu beurteilen. Allerdings schlägt er vor, den prozentualen Anteil der von Kartenzeichen bedeckten Fläche zu Rate zu ziehen. Er nennt eine Spanne von 10-20%, schränkt jedoch ein, dass dieser Wert eventuell überprüft werden muss, da z.B. eine andere Farbwahl die Bedeckung der Kartenfläche bereits anders erscheinen lasse. WITT erwähnt die von TÖPFER [1967] ausgearbeiteten Formeln zur Bestimmung der ‚tragbaren Kartenbelastung‘. Unter diesem Begriff wird ein Maß der Inhaltsdichte von Karten verstanden. Dafür wird die von den einzelnen Kartenzeichen bedeckte Kartenfläche ins Verhältnis zur Gesamtfläche der Karte gesetzt. Die allgemeine Formel lautet:

$$p = \frac{n \cdot f}{F_N} \cdot M^2$$

wobei gilt: p : Kartenbelastung in %

n : Zahl der Signaturen

f : Größe der Einzelsignatur in mm^2

F_N : Gesamtfläche des darzustellenden Gebiets in mm^2

M : Maßstabszahl

Für die Punktmethode passt TÖPFER die Formel an, indem er n ersetzt. Es gilt:

$$n = \frac{N}{W_0}$$

mit: N : Gesamtzahl der darzustellenden Einheiten

W_0 : Mengenwert eines Punktes

Als ‚üblicher Betrag‘ für ‚Hauptelemente‘ der Karte nennt WITT unter Berufung auf TÖPFER einen Wert von 12%. Durch die formelmäßige Bestimmung der Kartenbelastung sieht WITT den Weg geebnet, willkürliche Festlegungen bei der Wahl der Punktgröße und des Punktwertes objektiver zu gestalten. Dabei soll folgendermaßen vorgegangen werden: Für die Kartenbelastung wird der Erfahrungswert eingesetzt. Die Punktgröße wird ‚nach Zweckmäßigkeit Gesichtspunkten‘ ausgewählt. Dadurch ist der Punktwert festgelegt. Allerdings weist WITT auf Schwachstellen dieser Methode hin. So sei die Kartenbelastung nur ein durchschnittlicher Wert, der keinesfalls für die gesamte Kartenfläche gelte. Gerade Punktstreuungskarten wären aber dazu bestimmt, räumliche

Unterschiede der Streuungsdichte aufzuzeigen. Daher sei auch die Kartenbelastung im Kartiergebiet unterschiedlich. DITZ [2000] äußert Kritik am Ansatz, über TÖPFERS Formeln zur Kartenbelastung den Punktwert zu bestimmen, da die Zwischenräume zwischen den Punkten nicht berücksichtigt würden und die mittlere Kartenbelastung lediglich ein Erfahrungswert sei.

Die Kartenbelastung kann sicher als Anhaltspunkt dienen, wenn es darum geht, den Bedeckungsgrad der Karte abzuschätzen. Allerdings spielen dabei auch die anderen Kartenobjekte eine entscheidende Rolle, sodass die alleinige Betrachtung der ‚Hauptelemente‘ im Allgemeinen nicht ausreichend ist. Vielmehr ist davon auszugehen, dass durch die unterschiedliche Streuungsdichte der dargestellten Objekte die Kartenbelastung dann im Rahmen bleibt, wenn ein für die größeren Objektballungen angemessenes Verhältnis zwischen Punktgröße und Punktwert und damit zwischen dem in der Karte zur Verfügung stehenden Platz und der Anzahl der Punkte gefunden wird.

HOFMANN [1972] nennt drei Varianten zur Bestimmung des Punktwertes:

- über die Kartenbelastung
- über die Maximumbedingung
- über die Mittelwertbestimmung

Wird die Kartenbelastung als Kriterium genutzt, kann die Anzahl der Punkte, die in einer Bezugsfläche platziert werden kann, so bestimmt werden, dass die Punkte 12% der Fläche bedecken. Dieser ideale Wert der Kartenbelastung beruht, wie bereits erwähnt, auf Erfahrungswerten (vgl. [TÖPFER 1967]). Als Ausgangswert für die Berechnung der Punktzahl dient der darzustellende Mengenswert, der am nächsten am arithmetischen Mittel aller Werte liegt. Mit der zugehörigen Bezugsfläche wird der Quotient gebildet und mit der Kartenbelastung multipliziert. Mit einer zuvor festgelegten Punktgröße kann nun die Anzahl der möglichen Punkte berechnet werden. Bei Verwendung der Maximalbedingung wird der größte darzustellende Wert mit der vom Kartenredakteur festgelegten Maximalanzahl von Punkten gleichgesetzt. Mittels Division des Wertes durch die Punktzahl wird der Punktwert berechnet. Die Methode der Mittelwertbestimmung nutzt hingegen das arithmetische Mittel aller Werte. Dieser Wert entspricht dem Punktwert. Anschließend wird für jede Bezugsfläche die notwendige Anzahl an Punkten ermittelt.

Die Methode der Maximumbedingung hat den Nachteil, dass die Entscheidung eines Kartenredakteurs notwendig ist. Da die vorliegende Arbeit ein Verfahren auch für

unerfahrene Kartenbearbeiter entwickeln will, ist die Punktwertbestimmung über die Maximumbedingung nicht geeignet. Die Methode über die Mittelwertbestimmung ist ebenfalls problematisch. Durch die Art und Weise der Punktwertfestlegung führt sie dazu, dass in einigen Flächen keine Punkte gesetzt werden. Wieso diese Methode von HOFMANN als geeignet vorgestellt wird, ist nicht nachzuvollziehen. Eventuell ist ihr hier ein Fehler bei der Beschreibung der Methode unterlaufen.

KELNHOFER [1971] sieht als zentralen Punkt der Konstruktion einer Punktstreuungskarte die Wahl des Punktwertes. Wird dieser zu klein gewählt, kommt es zu Überlappungen der Punkte in Ballungsgebieten. Dies, so vermerkt er, nimmt der Darstellungsmethode den Sinn, da die quantitative Information (durch Auszählen der Punkte) dann nicht mehr erkennbar ist. KELNHOFER nennt auch Gegenargumente zu dieser Ansicht, die besagen, dass kaum jemand die Punkte einer Punktstreuungskarte wirklich auszählt. Er stellt dem entgegen, dass dann auf die aufwändige Konstruktion von Punktkarten verzichtet werden kann, wenn es lediglich darum geht, Ballungsgebiete von Streusiedlungsgebieten zu unterscheiden. Die Grundannahme, dass ein zu kleiner Punktwert zu Punktverschmelzungen in Ballungsgebieten führt, setzt voraus, dass die Punktgröße bereits feststeht, bevor der Punktwert definiert wird. Um derartige Probleme zu umgehen, liegt es daher nahe, Punktgröße und Punktwert so aufeinander abzustimmen, dass keine Überlappungsprobleme mehr auftreten. Durch diese Verknüpfung wird ein Anhaltspunkt gegeben, wie der Punktwert korrekt festgelegt werden kann. KELNHOFER rät strikt davon ab, den Punktwert durch Vergleich mit anderen Karten zu ermitteln, da diese immer an die regionalen Besonderheiten der Verteilung angepasst sind. Er meint, dass der Punktwert so gewählt werden sollte, „daß durch ihn eine möglichst wirklichkeitsgetreue Charakterisierung der Bevölkerungsverteilung [oder jeder anderen Verteilung] gewährleistet werden kann“ [KELNHOFER 1971, S. 96]. Als Hinweis, wie das zu realisieren ist, führt er die Bedingung an, dass der Punktwert dem in einer statistischen Häufigkeitsanalyse der vorliegenden Daten am häufigsten auftretenden Wert bzw. einem Vielfachen dessen entsprechen soll. Als Grund nennt er die gute Lokalisierbarkeit der daraus resultierenden Punkte. Auf Basis des so bestimmten Punktwertes empfiehlt er die Betrachtung von Ballungsgebieten. Die erforderliche Punktzahl muss in diesen Gebieten so gesetzt werden können, dass keine Überlappungen auftreten. KELNHOFER spricht in diesem Zusammenhang von der ‚Tragfähigkeit an Punkten‘. Daraus ermittelt er die Punktgröße. Für die Verknüpfung von Punktwert und Punktgröße wählt er die Fläche und formuliert die Bedingung, dass

die Punkte einer Verteilung nicht über die jeweilige Platzierungsfläche hinausragen dürfen.

Unabhängig davon, ob eine flächenbezogene Aussage (wie bei den ‚flächentreuen Punkten‘) dargestellt werden soll, oder kein direkter Flächenbezug vorliegt, kann die Fläche als Hilfsmittel dienen, um die Punktgröße zu bestimmen. KELNHOFER verweist hier auf das von MACKAY [1949] entwickelte Nomogramm³, welches eine rein graphische Verbindung zwischen Punktgröße und Punktdichte herstellt. KELNHOFER entwickelt dieses Nomogramm auf einer leicht abgewandelten Basis weiter. Daran können dann Punktgröße, Punktabstand und Punktezahl pro cm^2 abgelesen werden (siehe Abbildung 3.8).

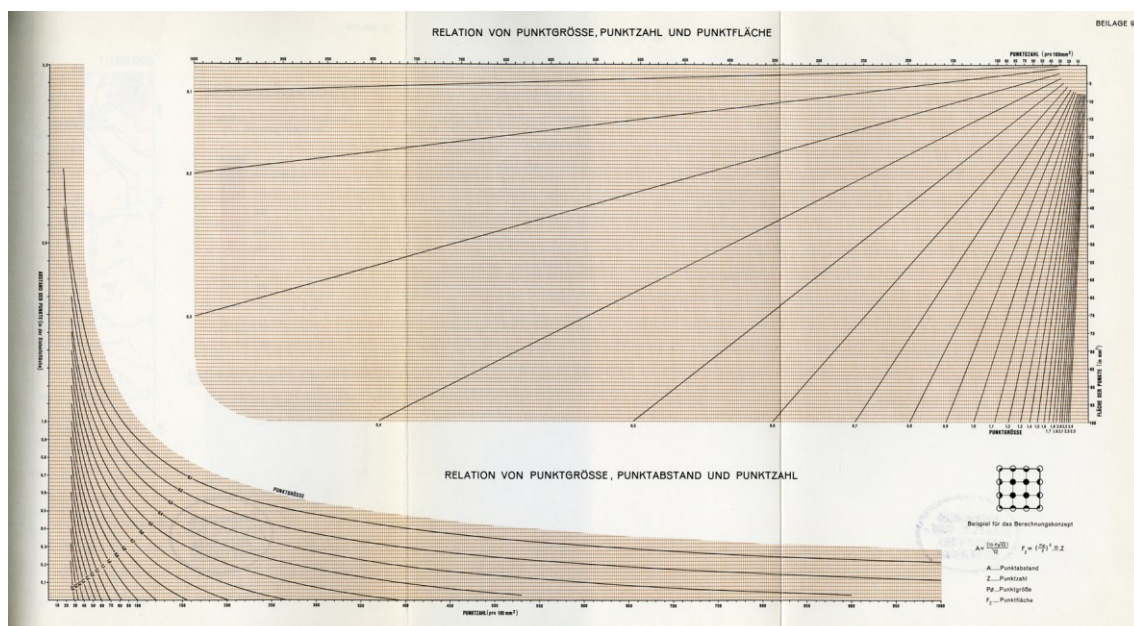


Abbildung 3.8: Nomogramme zur Darstellung der Relation von Punktgröße, Punktezahl und Punktfläche bzw. der Relation von Punktgröße, Punktabstand und Punktezahl [KELNHOFER 1971, Teil II]

Abbildung 3.8 unten zeigt das von KELNHOFER entwickelte Nomogramm zur Bestimmung der Punktgröße in Abhängigkeit von Punktabstand und Punktezahl. Die zugrunde liegende Berechnung bezieht sich auf eine regelmäßige Anordnung der Punkte innerhalb einer Einheitsfläche von 100 mm^2 (siehe Abbildung 3.8 rechts unten). KELNHOFER weist darauf hin, dass diese ‚rasterförmige‘ Punktanordnung nicht der tatsächlichen Anordnung in der Punktkarte entspricht, allerdings sei dies „die einzige Möglichkeit .., Beziehungen dieser Art mathematisch zu erfassen“ [KELNHOFER 1971, S. 97]. Diese Aussage muss relativiert werden. Jede regelbasierte Anordnung, die mathematisch beschrieben werden kann, ist hierfür geeignet. KELNHOFER verwendet

³ siehe Fußnote S. 24

lediglich die einfachste Variante, die ohne große technische Hilfsmittel auszuführen ist. Er empfiehlt Werte für die Punktgröße zu wählen, die nicht an der Grenze zum Verschmelzen benachbarter Punkte liegen. Zur Berechnung des Punktabstandes verwendet er die Formel:

$$A = \frac{10 - P_d \cdot \sqrt{Z}}{\sqrt{Z}}$$

mit: A : Punktabstand, P_d : Punktdurchmesser („Punktquerschnitt“) und Z : Punktzahl.

Der Zähler des Quotienten steht dabei für den Teil einer Seite des Einheitsquadrats (Seitenlänge 10 mm), der nicht von Punkten bedeckt ist. Diese ‚Freiflächen‘ werden anschließend durch die Anzahl der Punkte, die sich insgesamt auf dieser Seite befinden (\sqrt{Z}), geteilt, um den Abstand zwischen zweien dieser Punkte zu erhalten. Mit der gefundenen Punktgröße ist es nun möglich, die Fläche zu berechnen, die von den Punkten tatsächlich belegt wird, und somit eine Aussage über die Kartenbelastung zu erlangen. Dafür hat KELNHOFER ein weiteres Nomogramm entwickelt (siehe Abbildung 3.8 oben). Die von ihm verwendete Formel berechnet das Vielfache einer Kreisfläche (in diesem Fall der Punktfläche). Da sich die Angabe der Punktzahl auf eine Einheitsfläche bezieht, kann der abgelesene Wert sofort in einen Anteil an der Gesamtfläche umgewandelt werden. Zur Bestimmung eines passenden Punktwertes empfiehlt KELNHOFER die Verwendung des gleichen Nomogramms wie zur Bestimmung der Punktgröße. Die Punktgröße leitet er aus der Bezugsfläche ab, welche im Verhältnis zur darzustellenden Menge den geringsten Platz aufweist. Diese Vorgehensweise verhindert, dass einige Mengen nicht darstellbar sind, weil entsprechend des gewählten Punktwertes zu wenige Punkte in der Bezugsfläche Platz finden. KELNHOFER weist ausdrücklich darauf hin, dass sich die Punkte auf keinen Fall berühren dürfen, „da sonst der Sinn dieser Darstellung, nämlich die exakte Auszählbarkeit, verlorengehe“ [KELNHOFER 1971, S. 61].

Die Verwendung der Nomogramme erlaubt den Verzicht auf die früher üblichen Entwurfsproben und beschleunigt so den Kartenentwurfsprozess. Die Anwendung der Nomogramme beschreibt KELNHOFER so, dass zunächst nach ‚kritischen Punkten‘ des Kartiergebiets gesucht werden soll. Darunter sind Ballungsgebiete mit einer hohen darzustellenden Menge auf – im Vergleich dazu – wenig Platz zu verstehen. Die der Erhebung zugrunde liegenden Flächen werden flächenmäßig bestimmt und auf die Einheitsfläche umgerechnet. Die Einwohnerzahl wird proportional dazu auch verändert.

So ist die Ablesung der gesuchten Dichtewerte im Nomogramm möglich (siehe Abbildung 3.9 unten). Der nächste Arbeitsschritt besteht darin, diese Dichtewerte in die Anzahl der zur Darstellung benötigten Punkte umzurechnen. Für diesen Schritt hat KELNHOFER ebenfalls ein Nomogramm entwickelt, welches die manuelle Bearbeitungszeit verkürzt (siehe Abbildung 3.9 oben). Sein Einwand, dass die viel zu genaue Berechnung der Quotienten mittels Computer nicht notwendig ist, trifft aus heutiger Sicht nicht mehr zu, da der gesamte Entwurfsprozess digital durchgeführt wird. Eine Berechnung der Quotienten ist notwendig, wenn eine automatisierte Kartenkonstruktion durchgeführt werden soll.

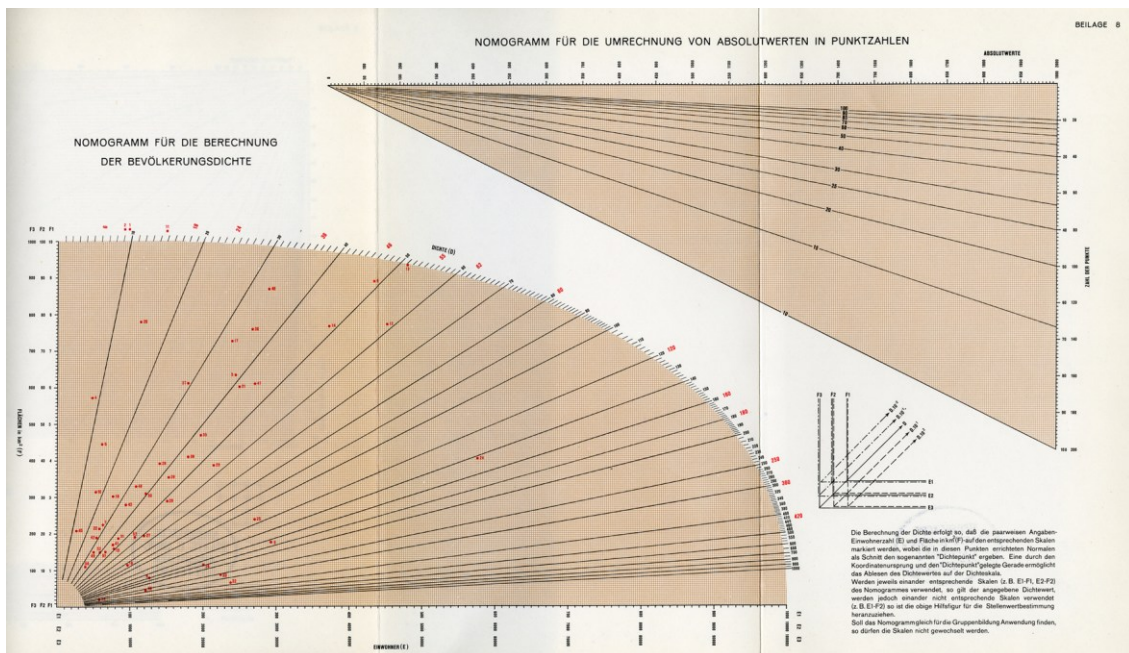


Abbildung 3.9: Nomogramme für die Umrechnung von Absolutwerten in Punktzahlen und für die Berechnung der Bevölkerungsdichte [KELNHOFER 1971, Teil II]

KELNHOFER widmet sich auch der Frage nach dem richtigen Runden der Werte. Um einen Wert in eine bestimmte Anzahl von Punkten umsetzen zu können, ist es notwendig, diesen Wert entweder auf- oder abzurunden. Dabei wird in der Regel eine Differenz zur statistisch erfassten Gesamtmenge auftreten. KELNHOFER empfiehlt diese Differenz als Restbetrag in die nächsthöhere Gliederungsstufe zu übernehmen und aufzusummieren. Der Betrag wird dann wiederum in Punkte umgerechnet und anteilmäßig auf die kleineren Erhebungseinheiten aufgeteilt. Der dabei entstehende Differenzbetrag soll wiederum in die nächsthöhere Ebene übernommen werden. Da dies ein unendlich fortführbarer Prozess ist, sollte er auf maximal einen Ebenenwechsel beschränkt werden.

Der Fehler, der durch das Runden in jeder Punktstreuungskarte entsteht, darf nicht außer Acht gelassen werden. Betrachtet man jeden dargestellten Wert (also jede Punktwolke) einzeln, so wird der individuelle Fehler stets kleiner als der Punktwert sein. Wird jedoch das gesamte Kartiergebiet betrachtet, so können durchaus insgesamt größere Abweichungen entstehen. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fehler für jede Punktwolke einzeln und alle dargestellten Werte insgesamt berechnet und ausgegeben. So kann der Kartenbearbeiter entscheiden, ob er zusätzliche Punkte als Ausgleich setzt oder ggf. Punkte entfernt.

Da das Nebeneinander von Gebieten mit hoher Objektdichte und Gebieten mit niedrigem Objektvorkommen sehr unterschiedliche Anforderungen an die Wahl eines Punktwertes stellt, ist es oft nicht möglich, alle Anforderungen mit einem einzigen Punktwert zu erfüllen. Dann stellen mengendifferenzierte Streuungspunkte (gestufter Wertmaßstab) eine gute Lösung dar. KELNHOFER [1971] formuliert diese unterschiedlichen Anforderungen so, dass Streusiedlungsgebiete durch kleine Punktwerte treffender dargestellt werden können, diese Methode aber bei den Ballungsgebieten versagt, da dort schlichtweg der Platz für die große Anzahl an Punkten fehlt. Ballungsgebiete sind seiner Meinung nach besser durch Streuungspunkte mit großem Wert darstellbar, da die Bevölkerungszahl mit einem Blick erfasst werden könne. Die Punktwerte der mengendifferenzierten Streuungspunkte sollten demnach ebenso wie für die Streuungspunkte mit konstantem Punktwert aus einer Häufigkeitsanalyse der statistischen Daten gewonnen werden. Die Größe der verwendeten Kartenzeichen soll sich zwischen den Stufen gut voneinander unterscheiden. Die hier von KELNHOFER beschriebene Darstellungsmethode ist die mit der Punktmethode verwandte Kleingeldmethode. Da sich die vorliegende Arbeit auf die klassische Punktmethode mit nur einem Punktwert konzentriert, wird die Festlegung mehrerer Punktwerte nicht weiter betrachtet.

Ähnlich wie KELNHOFER weist auch ARNBERGER bei Punktstreuungskarten darauf hin, dass die „Häufigkeit der Werte und vorkommender Streuungen sowie die Größe der räumlichen Streuungsbereiche“ die Basis für „die Zuordnung von Werten zu Werteinheitensignaturen“ [ARNBERGER 1993, S. 88] sind. Es sollten statistische Untersuchungen der Objektwerte vorgenommen werden, um geeignete Punktwerte zu bestimmen. Im Zusammenhang mit ARNBERGERS Ausführungen zur quantitativen Zusammenfassung im Rahmen der Generalisierung (vgl. [ARNBERGER 1993]) stellt sich

die Frage, ob bei einer Punktstreuungskarte nebeneinander liegende Objekte zusammengefasst werden können, wenn sie einzeln nicht durch einen Punkt dargestellt werden würden. Außerdem ist zu klären, wie weit diese Objekte dann maximal voneinander entfernt sein dürfen und wo der zusammengefasste Punkt platziert wird. Der Übergang von der Realität zur Karte erfordert ebenso wie der Übergang von einem größeren zu einem kleineren Maßstab eine Generalisierung, damit die Karte lesbar ist. ARNBERGER versteht unter kartographischer Generalisierung „eine maßstabs- und sachgebundene, graphische und inhaltliche Vereinfachung einer kartographischen Ausdrucksform im Wege der Objektauslese, der qualitativen und quantitativen Zusammenfassung und einer repräsentativen Formvereinfachung“ [ARNBERGER 1966, S. 369]. In der späteren Auflage seines Werks stellt er einen Fragenkatalog vor, der für die richtige Wahl des Generalisierungsgrades und –prinzips genutzt werden sollte (vgl. [ARNBERGER 1993]). Dieser Fragenkatalog kann auch auf die Darstellung in einer Punktstreuungskarte angewendet werden, da es sich im weitesten Sinne um eine quantitative Generalisierung handelt. Zugeschnitten auf die Darstellung der Bevölkerungsverteilung ergeben sich folgende Fragen:

- Ist der Maßstab überhaupt geeignet für die Anwendung der Punktmethode?
(siehe *Kapitel 2.2*)
- Wie liegen die Ausgangsdaten vor? Sind sie bezogen auf die Siedlungsflächen (siehe [HEY 2006a]) oder bezogen auf die Gemeinden (amtliche Statistik)?
- Wie dürfen Siedlungen zusammengefasst werden bzw. ab wann dürfen sie nicht mehr zusammengefasst werden (weil sie zu weit voneinander entfernt sind oder weil der Unterschied zwischen ihnen zu groß ist)?

Die ersten beiden Fragen können relativ leicht beantwortet werden. Die dritte Frage ist sehr komplex und wird in dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden, da erst auf Basis des hier entwickelten Verfahrens entsprechende Untersuchungen zur Beantwortung der Frage durchgeführt werden können.

Die Generalisierung thematischer Karten, zu denen Punktstreuungskarten zählen, fokussiert nach KELNHOFER [1971] auf den Inhalt, weniger auf die Geometrie, wie es bei topographischen Karten der Fall ist. Bei Punktkarten wird die quantitative Generalisierung durch eine Erhöhung des Punktwertes erreicht. Die Punktgröße und der Punktabstand unterliegen, wie auch KELNHOFER anmerkt, den Beschränkungen der visuellen Wahrnehmbarkeit und können daher nur in sehr engen Grenzen verändert

werden. Er unterstreicht, dass bei Streuungspunkten andere Größen einzuhalten sind, da sie nicht nur gerade so erkennbar sein sollen, wie das bei der Bestimmung von Mindestgrößen im Allgemeinen vorausgesetzt wird, sondern dass gewährleistet sein muss, dass „die Punkte nicht nur als solche erkennbar sein sollen, sondern darüber hinaus auch noch ein optisch einprägsames und nicht zuletzt auch auszählbares Bild ergeben müssen“ [KELNHOFER 1971, S. 126]. Nach KOCH/STAMS [2002] werden für die Punktmethod Punkte mit einem Durchmesser von $0,3 \text{ mm} - 1 \text{ mm}$ verwendet. KELNHOFER warnt eindringlich davor, eine vorhandene Punktkarte als Grundlage für das Zusammenfassen von Punkten zu verwenden, indem mehrere kleinere Punkte zu einem größeren Punkt zusammengefasst werden und dieser dann im Schwerpunkt angeordnet wird, da dies dazu führt, dass alle Rundungsfehler, die bei der Herstellung der Ausgangskarte entstanden sind, direkt in die neue Karte übernommen werden. Er weist ausdrücklich darauf hin, dass jede quantitative Generalisierung wieder auf Grundlage der Originaldaten ausgeführt werden soll. Beim Zusammenfassen nur einiger der Streuungspunkte zu „höherwertigeren“ Mengensignaturen geht nach ARNBERGER [1993] die Punktmethod über in die Kleingeldmethod.

HOFMANN schlägt vor, für die Bestimmung des Punktwertes das Gebiet mit der größten Objektdichte zu betrachten. Es soll der Quotient aus der Objektanzahl und der Anzahl der „graphisch möglichen Punkte“ [HOFMANN 1972, S. 8] gebildet werden. Dieses Verfahren orientiert sich an den Charakteristika der darzustellenden Werte und erfordert keine Erfahrungswerte. Es ist daher besonders gut für eine automatische Umsetzung geeignet.

DENT [1996] konzentriert sich im Gegensatz zu Hofmann auf die Gebiete der geringsten Objektdichte. Er schlägt vor, den Punktwert so zu bestimmen, dass dort zwei bis drei Punkte erforderlich sind. DITZ [2000] weist jedoch darauf hin, dass bei dieser Vorgehensweise die Punkte in Ballungsgebieten meist verschmelzen. Er schlägt vor, den Punktwert zu erhöhen, um dem Problem in den Ballungsgebieten zu begegnen. Dies kann jedoch zu einer Darstellung führen, die für Gebiete mit einer geringen Objektdichte kein aussagefähiges Bild mehr liefert. Als Lösung schlägt er die Verwendung mehrerer Punktwerte und damit einen Übergang zu Mengensignaturen in gestuftem Wertmaßstab (DITZ bezeichnet sie wie KELNHOFER als ‚mengendifferenzierte Streuungspunkte‘) bzw. zur Kleingeldmethod vor. Sollte dieser Schritt nicht ausreichend sein, die Unterschiede zwischen Ballungsgebieten und

Streusiedlungsgebieten auszugleichen und eine lesbare und aussagekräftige Darstellung zu erhalten, so empfiehlt er die Verwendung von mengenproportionalen Signaturen, genauer spricht DITZ von ‚flächenproportionalen Kreisdiagrammen oder Kugeln‘ für Ballungsgebiete und Streuungspunkten für die weniger dicht besiedelten Räume. Damit besinnt sich DITZ auf die erste Karte, welche die Punktmethode nutzt, die Karte der Bevölkerungsverteilung von DE GEER [1922]. Der Nachteil dieser Variante besteht darin, dass das Verteilungsbild nicht mehr so gut wiedergegeben wird wie durch eine reine Streuungspunktdarstellung.

DITZ verweist für die eindeutige Bestimmung des Punktwertes auf WITTS ‚flächentreue Punkte‘ (vgl. [WITT 1970]). Nur wenn die Punktfläche zur Darstellung eines flächenbezogenen Themas maßstäblich der dargestellten Fläche entspricht, sei eine eindeutige Bestimmung des Punktwertes möglich. Die Festlegung des Punktwertes bedarf demnach zuvor festgelegter Werte. DITZ stellt fest: „Da diese Werte durch den Zweck der Karte, die statistischen Daten, die topographische Grundkarte und die Erfahrungen des Bearbeiters beeinflusst werden, ist eine programmunterstützte Bestimmung nicht möglich und würde vor allem unbefriedigende Ergebnisse für den Benutzer liefern.“ [DITZ 2000, S. 172]

Dieser Ansicht kann nicht ganz gefolgt werden. Da es unmöglich ist, für alle Datensätze passende Werte vorzugeben, muss es möglich sein, aufgrund der Formalisierung der Entscheidungen, die ein menschlicher Kartenbearbeiter während des Entwurfs einer Punktstreuungskarte trifft, eine Punktstreuungsdarstellung automatisiert herzustellen. DITZ weist darauf hin, dass eine Verringerung des Punktwertes mit einer Vergrößerung des Maßstabs einhergehen muss. Er ist überzeugt, dass die große manuelle Kunstfertigkeit, welche die analoge Herstellung einer Punktstreuungskarte erfordert, durch die Automatisierung ersetzt werden kann. Dabei beschränkt er die automatisierten Arbeitsschritte jedoch auf die Platzierung der Punkte. Die Bestimmung des Punktwertes überlässt er der Erfahrung von Fachleuten.

Der gewählte Punktwert bestimmt, wie bereits erwähnt, die Genauigkeit der Wiedergabe. Je kleiner er ist, desto detaillierter ist die Darstellung der Verteilung. Der Punktwert soll nach HAKE et al. [2002] anhand des Gebiets mit der größten Objektballung bestimmt werden. Ist der so bestimmte Punktwert recht groß, wird die Darstellung für Gebiete geringerer Dichte zu ungenau. In diesen Gebieten würde ein Punkt mit hohem Wert einen recht großen Bereich repräsentieren und die Streuung der

Objekte ist dann nicht mehr ausreichend erkennbar. Zur Lösung dieses Problems schlagen HAKE et al. vor, den Übergang zur Kleingeldmethode zu vollziehen und einen weiteren (größeren) Punktwert für Gebiete großer Objektballungen einzuführen. Der größere Punktwert sollte dann durch eine ‚besondere Signatur‘ zum Ausdruck gebracht werden. HAKE et al. weisen darauf hin, dass mit Hilfe der computergestützten Kartenherstellung der optimale Wertmaßstab der Signaturen leicht am Bildschirm bestimmbar ist. Es ist einzuwenden, dass diese Bestimmung ohne die entsprechenden Algorithmen noch immer recht aufwändig ist.

WITT [1970] wirft in Bezug auf die Festlegung des Punktwertes und der Punktgröße einige Fragen auf und verweist auf ‚Empfehlungen‘ aus der ‚amerikanischen Literatur‘, wonach ein Zusammenlaufen der Punkte durchaus zulässig ist. Auch PREOBRAŽENSKIJ [1956] bezeichnet demnach ein Berühren der Punkte untereinander als akzeptabel, „wenn kein gegenseitiges Überdecken“ [nach WITT 1970, S. 394] auftritt. Die Möglichkeit, einzelne Punkte zu erkennen und die Anzahl der Punkte durch Auszählen zu bestimmen, wäre damit nicht mehr gegeben. WITT verweist an dieser Stelle jedoch darauf, dass diese Möglichkeit in der Praxis nur selten genutzt wird und provoziert mit der Frage nach dem ‚wissenschaftlichen Wert‘ der Punktmethode, die in hohem Maße „von der persönlichen Ansicht des Autors der Karte oder des Zeichners abhängt“ [WITT 1970, S. 394]. Über die Subjektivität ist sicher nachzudenken. Allerdings wird dieser Faktor im Zuge der Automatisierung deutlich zurückgedrängt. An seine Stelle tritt eine weitgehend objektive Vorgehensweise, die auf regelbasierten Entscheidungen beruht. Insofern wird diese Arbeit den ‚wissenschaftlichen Wert‘ der Punktmethode nicht schmälern, sondern erhöhen.

Insgesamt werden recht viele Methoden in der Literatur vorgestellt, wie der Punktwert und die Punktgröße optimal festgelegt werden können. Während WITT [1970] sich dem Thema über die Formeln der Kartenbelastung [TÖPFER 1967] nähert oder verschiedene spezielle Punktformen vorschlägt (flächentreue Punkte, Tausendpunktkarten), entwirft KELNHOFER [1971] ein Nomogramm, welches als graphisches Hilfsmittel die Entwurfsarbeit direkt erleichtert, indem nach einfachen Regeln die passenden Werte abgelesen werden können. Auch DITZ [2000] greift die Ideen der flächentreuen Punkte und der Kartenbelastung auf. Die Kartenbelastung wird von ihm als wichtiges Kriterium für die Qualität einer Karte betrachtet.

HOFMANN [1972] stellt verschiedene Methoden zur Bestimmung des Punktwertes vor. Eine davon nutzt ebenfalls die von TÖPFER formulierte Kartenbelastung. Eine andere Methode setzt die Festlegung der maximalen Punktzahl zur Darstellung des größten Wertes voraus und ist damit für eine regelbasierte Umsetzung nicht geeignet.

Die Verwendung flächentreuer Punkte, wie sie von WITT, KELNHOFER und DITZ behandelt wird, ist skeptisch zu betrachten. Die flächentreuen Punkte bieten eine sehr spezielle Lösung, da sie ausschließlich zur Darstellung flächenhafter Werte geeignet sind. Da die in dieser Arbeit entwickelte Methode allgemeingültig sein soll, für alle Arten von diskreten Absolutwerten, wird das Prinzip der flächentreuen Punkte nicht näher untersucht. Tausendpunktkarten sind eine ähnlich spezielle Lösung, die eine Vergleichbarkeit mit anderen Karten extrem erschwert. Da Vergleiche bei Bedarf aber möglich sein sollen, werden auch diese Karten nicht weiter betrachtet. Als Lösungsvorschlag für das Problem unterschiedlicher Anforderungen an den Punktwert durch Ballungsgebiete und ländliche Gebiete bietet DITZ den Übergang zur Kleingeldmethode an. Ähnliches findet sich dazu auch bei HAKE et al. [2002]. WITT hingegen präsentiert eine kombinierte Darstellung von Streuungspunkten und Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab vergleichbar mit DE GEER [1922]. Während WITT das Zusammenlaufen der Punkte durchaus zulassen würde, stellt sich KELNHOFER strikt dagegen. KELNHOFER präsentiert außerdem einen interessanten Ansatz zur Punktwertbestimmung. Er fordert, alle darzustellenden Werte einer statistischen Häufigkeitsanalyse zu unterziehen und als Punktwert den häufigsten auftretenden Wert oder ein Vielfaches davon zu verwenden.

Obwohl nicht uninteressant, führt dieser Ansatz u.U. zu sehr unrunder Punktwerten, welche die Interpretierbarkeit und Vergleichbarkeit der Karte beeinträchtigen. Sowohl KELNHOFER als auch HOFMANN und HAKE et al. empfehlen für die Bestimmung des passenden Punktwertes Gebiete mit ungünstigem Fläche-Wert-Verhältnis zu nutzen. Das sind Flächen, die verglichen mit dem darin darzustellenden Wert sehr klein sind bzw. deren Wert gemessen an der Fläche sehr groß ist. Diese Idee wird aufgegriffen und im Rahmen der vorliegenden Arbeit erweitert. Flächen mit ungünstigem Fläche-Wert-Verhältnis werden genutzt, um bei gegebener Punktgröße über die maximal mögliche Punktzahl den minimal möglichen Punktwert für das gesamte Kartiergebiet zu bestimmen.

3.4 Graphische Umsetzung

Die graphische Umsetzung der diskreten Absolutwerte in eine Punktstreuungskarte besteht neben der Wahl einer geeigneten Punktanordnung innerhalb einer definierten Platzierungsfläche und der Festlegung des Wertmaßstabs auch aus der Wahl der eigentlichen Punktform, Festlegungen zur Behandlung von Ballungsgebieten im Vergleich zu ländlichen Gebieten, der Gestaltung des topographischen Kartenhintergrundes, sowie der Festlegung ob und wie die Bezugseinheiten der Daten dargestellt werden.

3.4.1 Gestaltung der Streuungspunkte

Für die graphische Umsetzung verschiedener Objektmerkmale in eine kartographische Darstellung werden graphische Variablen genutzt. In der Kartographie wird meist auf die graphischen Variablen von BERTIN [1974] verwiesen: Farbe, Form, Größe, Helligkeit, Muster und Orientierung. Diesen Variablen werden jeweils Eigenschaften zugeordnet, welche durch die Variation der Variable ausgedrückt werden können. So hat zum Beispiel Farbe eine selektive Wirkung und ist dadurch besonders gut geeignet, Qualitäten zu unterscheiden. Die Variable Helligkeit hat eine ordnende Wirkung und kann dafür eingesetzt werden, eine Rangfolge abzubilden. Die einzige Variable, der eine quantitative Aussage zugeordnet wird, ist die Variable Größe. Die Darstellung in Punktstreuungskarten wird sich daher hauptsächlich auf die Verwendung der Variable Größe stützen.

Die Darstellung quantitativer Daten erfolgt nach OLBRICH et al. [2002] durch ‚unterschiedlich große Darstellungen‘. Diese ‚Darstellungen‘, vermutlich die Mengensignaturen, sollen sich flächenproportional verhalten und wie bei der Mengenmethode (siehe *Kapitel 2.1*) beschrieben, streng geometrisch geordnet platziert werden. Als Vorteil dieser Methode wird hervorgehoben, dass große Wertespanssen dargestellt werden können, „ohne die Werte zu stark runden zu müssen“ [OLBRICH et al. 2002, S. 51]. Das charakteristische Merkmal der Summendarstellung wird für die Mengenmethode nicht explizit erwähnt.

WITT [1970] weist wiederholt darauf hin, dass Punktstreuungskarten schnell monoton wirken, vor allem, wenn sie einfarbig gestaltet sind. Ihre Aussagekraft schätzt er als eher vage ein. Dem kann seiner Meinung nach entgegengewirkt werden, indem gleichzeitig in der Karte Sachverhalte und Objekte hervorgehoben werden, die mit dem Thema der Punktstreuungskarte zusammenhängen. Er erwähnt auch die Möglichkeit,

verschiedene Sachverhalte durch verschiedene gleichgroße Kartenzeichen darzustellen, die nicht alle zwangsläufig Punkte sein müssen. Sie können sich sowohl in Form als auch in Farbe unterscheiden. Für den Erfolg einer solchen Darstellung ist demnach aber nicht nur die Wahl passender Farben entscheidend, sondern auch die Mischung der verschiedenen ‚Punkte‘ in der Karte. Nicht geeignet ist die Methode demnach dann, wenn sich die Punkte zu stark vermischen und ein buntes Durcheinander bilden. Gut geeignet ist die Methode, wenn durch die Punkte eine deutliche regionale Differenzierung gezeigt wird, also eine Punktfarbe in einem Teil der Karte dominiert. Für die Wahl der passenden Farbe rät WITT, dass bei ‚gleichwertigen‘ Fakten auch Farben mit einer nahezu gleichen Farbintensität verwendet werden.

WITT bemängelt, dass eine Punktstreuungskarte meist nur einen Zeitpunkt darstellt und fordert, dass der Karte ein Diagramm, welches die Entwicklung über einen längeren Zeitraum aufzeigt, beigegeben ist. Dabei soll das in der Karte dargestellte Jahr im Diagramm deutlich gekennzeichnet werden. Das Problem einer fehlenden Zeitreihendarstellung haben alle analogen Karten gemeinsam. Es kann durch die Gestaltung von Kartenserien in Form von Zeitreihenfolgen gelöst werden. Im Großen und Ganzen folgt WITT den Grundprinzipien der thematischen Kartengestaltung, indem er ähnliche Qualitäten mit ähnlichen Farben verbindet. Verschiedene ‚Punktformen‘, wie er sie auch zulässt, gehen über die klassische Punktmethode hinaus, wenn die unterschiedliche Form bedeutungstragend wird. Dann wird man eher von der Methode der Wiener Bildstatistik sprechen, wobei die strenge Anordnung der Punkte, wie sie für diese Methode typisch ist, nicht unbedingt gegeben sein wird.

Nach IMHOF wird der Punkt – „die miniaturhaft kleine Kreis-Scheibe“ [IMHOF 1972, S. 155] – wie er sie nennt, häufig für gestreute Objekte eingesetzt. Neben dem Punkt können auch andere ‚Kleinst-Signaturen‘ eingesetzt werden, wie z.B. Kleinstquadrate, Dreiecke oder Kreuze. Für alle Punktstreuungen gelte demnach gleichermaßen, dass die Kleinfiguren/Punkte nicht nur in ihrer Form, sondern auch in ihrer Farbe variieren können. Die farbige Differenzierung sollte allerdings nur zur Unterscheidung qualitativer Merkmale eingesetzt werden. Die Kodierung der Menge über die Farbe ist nicht zu empfehlen, da sie das Streuungsbild stört und die graphische Variable Farbe nach BERTIN nicht quantitativ wirkt. Qualitätsunterschiede können neben der Variation der Farbe auch durch die Veränderung der Form dargestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Signaturformen und –farben annähernd das gleiche visuelle Gewicht

haben. Die Formen sollten leicht vergleichbar sein. IMHOF empfiehlt hierfür Kreise, Quadrate, Rechtecke und Dreiecke und schließt sich damit WITT an.

Für ARNBERGER [1993] sind Punkte an sich erst einmal nur ‚bildaufbauende Bausteine‘. Erst durch die Zuweisung einer quantitativen Aussage in Form des Punktwertes wird dieser zu einer Signatur. Punkte zählt ARNBERGER zu den geometrischen Signaturen, wenn sie regelmäßig angeordnet sind. Als Grundform der geometrischen Signaturen nennt er den Kreis. Aufgrund ihres abstrakten Charakters besitzen geometrische Signaturen nur geringe mnemotechnische Eigenschaften, d.h. sie weisen in ihrer Form kaum Bezüge zum dargestellten Objekt auf. Die klare Formgebung der geometrischen Signaturen ist jedoch vorteilhaft für die Lesbarkeit und Unterscheidbarkeit der Signaturen (auch bei geringer Größe). Aus ARNBERGERS Sicht sind geometrische Signaturen für die mechanisierte und automatisierte Zeichentechnik bestens geeignet. In Punktstreuungskarten werden meist geometrische Signaturen in Form von Werteinheitssignaturen genutzt. Diese besitzen demnach sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Aussage. Die Qualität der dargestellten Objekte wird durch die Form und/oder Farbe wiedergegeben. Neben der Veränderung der Variable Größe nennt ARNBERGER auch die Veränderung der Form und des Musters (Ausfüllung) als Möglichkeiten für den Ausdruck von Quantitätsunterschieden. Die Verwendung von Form und Farbe als Ausdruck für Quantitäten ist jedoch abzulehnen, da weder die Form noch die Farbe an sich eine quantitative Aussage besitzen. Ist ein Dreieck mehr als ein Quadrat? Auch Farben können nicht nach ‚Wert‘ geordnet werden. Die Frage „Ist Blau mehr als Rot?“ kann nicht allgemeingültig beantwortet werden. Auch die Farbgewichte, wie ARNBERGER sie ins Spiel bringt, sind ebenfalls nicht leicht zu bestimmen. Farbe und Form können zur Unterstützung der quantitativen Aussage der Variable durchaus sinnbringend eingesetzt werden. Als alleinige Indikatoren für Quantitäten sind sie jedoch abzulehnen. Die angesprochenen Farbgewichte können im Sinne der graphischen Variable Helligkeit unterstützend für die quantitative Aussage wirken. Da die graphische Variable Größe jedoch nach BERTIN die einzige Variable mit quantitativer Wirkung ist und in Kombinationen von mehreren graphischen Variablen Eigenschaften, die nicht alle beteiligten Variablen besitzen, abgeschwächt werden, tragen sowohl Form, Farbe als auch Helligkeit stets zu einer Verminderung der quantitativen Wirkung bei. Sie schaffen im Gegenzug dafür aber einen erhöhten Rezeptionsanreiz und wirken somit der von WITT [1970] befürchteten Monotonie entgegen.

Neben der Darstellung der absoluten Zahlenwerte in einer Punktstreuungskarte durch Punkte sind nach HAKE et al. [2002] auch die Verwendung von lokalen Signaturen und lokalen Diagrammen möglich. Die Unterscheidung von Qualitäten ist durch kräftige Farbwechsel oder den Übergang zu ‚kleinen Formsiguren‘ möglich (Kombination der Variablen Farbe, Form und evtl. Orientierung). HAKE et al. sehen Punktstreuungskarten aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten zur qualitativen Differenzierung als vorwiegend monothematisch an.

Da in der vorliegenden Arbeit nur die klassische Punktstreuungskarte mit einem einzigen Punktwert und ohne qualitative Unterscheidungen betrachtet werden soll, werden spezielle Signaturformen nicht weiter behandelt. Grundsätzlich ist jedoch die Festlegung einer anderen ‚Punktform‘ außer der einfachen Kreisscheibe möglich (siehe Kapitel 5).

3.4.2 Behandlung von Ballungsgebieten

Ein für Punktstreuungskarten wichtiger Aspekt ist die Behandlung von Ballungsgebieten. In diesen Bereichen kann es bei ungünstiger Wahl von Punktwert und/oder Punktgröße zu Punktüberlagerungen kommen. Die Dichteunterschiede zwischen Ballungsgebieten und Gebieten geringer Objektdichte stellen oft die größten Herausforderungen beim Entwurf von Punktstreuungskarten dar. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze, wie damit umgegangen werden sollte.

Bereits DE GEER [1922] stößt in seiner Karte auf das Problem der Ungleichgewichte zwischen Ballungen und Gebieten sehr geringer Dichte. Er entscheidet sich für eine Kombination aus Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab für die Ballungen und Werteinheitssignaturen für die Gebiete geringerer Dichte. Diese Lösung betrachtet WITT zwar als geeignet, „visuell sehr ansprechende, lebendige und eindrucksvolle Bilder“ [WITT 1970, S. 382] zu vermitteln. Sie führe aber in Ballungsgebieten zur Unterschätzung der dargestellten Mengen. Dennoch sei diese Methode die einzige, welche eine kartographische Darstellung dichter Ballungen überhaupt erlaube. Diese Auffassung ist sicher etwas drastisch. Es ist dennoch nicht von der Hand zu weisen, dass die größten Schwierigkeiten bei der Darstellung quantitativer Werte in deren unterschiedlich dichtem Auftreten liegen. Schwierigkeiten sieht WITT vor allem in der Nutzung von Kugelsignaturen. Der räumliche Eindruck kann hier nur mit erhöhtem Aufwand vermittelt werden, der allerdings in der computergestützten Kartographie keine Bedeutung mehr hat. Ein großes Problem dreidimensionaler Figuren, vor allem in

zweidimensionaler Darstellung, sind jedoch die großen Schätzfehler. Daher sollten volumenproportionale Mengensignaturen nur sparsam eingesetzt werden und die Darstellung durch weitere Informationen zum dargestellten Wert, wie z.B. Zahlenangaben, ergänzt werden.

Durch die Kombination von Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab und Werteinheitssignaturen in Form von Streuungspunkten kommt es im Umfeld von großen Siedlungen zu Überlagerungen der Mengensignaturen mit den Streuungspunkten. KELNHOFER [1971] schlägt vor, dieses Problem durch eine farbige Darstellung der Mengensignaturen zu umgehen, da so die überlagernden Streuungspunkte sichtbar bleiben. Er verweist außerdem auf die Möglichkeit, Bereiche dichter Objektballungen in der Karte zu kennzeichnen und ggf. auf Nebenkärtchen in größerem Maßstab auszuweichen. Auch WITT stuft die Überlagerung der Kugelsignaturen untereinander und mit den eventuell eingesetzten Werteinheitssignaturen als problematisch ein. Er empfiehlt die Kugelsignaturen in helleren Schraffuren bzw. Farben zu zeichnen, damit die in kräftiger Farbe bzw. ausgefüllt gestalteten Werteinheitssignaturen sich gut abheben. Allerdings sollen Überlagerungen auf das Nötigste beschränkt werden.

Die Lösungsvorschläge zum Umgang mit Ballungsgebieten von WITT [1970] und KELNHOFER [1971] sind ähnlich und orientieren sich an der Karte von DE GEER [1922]. HAKE et al. [2002] schlagen zum Teil andere Lösungen vor. Der Ausweg, die Menge in Form einer Zahlenangabe neben den Mengensignaturen darzustellen, wird von ihnen (zu Recht) als ungenügend zurückgewiesen. Als bessere Alternative werden Nebenkärtchen vorgestellt.

In Hinblick auf die Aussagekraft der Karte ist darauf zu achten, dass alle Objekte in der Karte erkennbar sind und sich die Anzahl der Überlappungen bei den Werteinheitssignaturen und den Mengensignaturen in gleitendem oder gestuftem Wertmaßstab in vernünftigem Rahmen bewegt. Zur Lösung von Überlappungsproblemen empfehlen OLBRICH et al. [2002] eine quantitative Generalisierung in Form einer Klassenbildung. Sie weisen jedoch auch darauf hin, dass eine Überlagerung der Signaturen (in gewissem Rahmen) durchaus sinnvoll ist, um z.B. die Konzentration der Bevölkerung um Kernstädte herum zu verdeutlichen. Diese Betrachtungen gelten nicht mehr den klassischen Punktstreuungskarten im Sinne der Definition von KOCH/STAMS [2002], sondern den Karten nach der Kleingeldmethode bzw. Karten, die sich einer Kombination aus Werteinheitssignaturen und Mengensignaturen in gleitendem

Wertmaßstab bedienen. In der vorliegenden Arbeit wird eine Überlappung der Streuungspunkte nicht zugelassen.

3.4.3 Gestaltung des topographischen Hintergrundes

Jede thematische Karte bedarf eines topographischen Hintergrundes, um das dargestellte Thema räumlich einordnen zu können. Darüber wie umfangreich die topographischen Informationen sein sollen und welche zusätzlichen Eintragungen eine Punktstreuungskarte enthalten soll, gehen die Meinungen auseinander.

Die Platzierung der Ortsbezeichnungen in Punktkarten der Bevölkerungsverteilung und die Darstellung administrativer Grenzen sieht WITT [1970] kritisch. Für die Schrift empfiehlt er die Verwendung einer anderen Farbe. Bei den administrativen Grenzen rät er zum Weglassen. Er empfiehlt außerdem, die Grenzlinien der Bezugsflächen in die Karte mit aufzunehmen. Allerdings sollten die Grenzen in matten Farben dargestellt werden und die Punkte (Werteinheitssignaturen) durch kräftige Farben hervorgehoben werden. Sollten die Bezugsflächen im Kartenmaßstab sehr klein sein, so empfiehlt WITT, die Grenzen ‚trotz besserer Einsicht‘ wegfällen zu lassen. Je nachdem, ob die Punkte gleichmäßig über die Fläche verteilt werden oder ob sie so gut wie möglich an die tatsächliche Verteilung der Objekte angepasst werden, sind nach WITT unterschiedliche Anforderungen an die Kartengrundlage zu stellen. Für Karten mit gleichmäßiger Punktanordnung sollen demnach keine detaillierten Eintragungen des Flussnetzes, des Reliefs, der Siedlungen oder des Verkehrsnetzes erfolgen. Ebenso sollen Beschriftungen nicht vorgenommen werden, da sie meist die regelmäßige Punktanordnung stören. Diese Forderung WITTS führt zu, wie er sie selbst treffend bezeichnet, ‚überwiegend stummen Karten‘. Wenn diese vorgebrachten Einschränkungen wirklich notwendig sind, dann sind die sich daraus ergebenden Karten in ihrer Aussagekraft derartig eingeschränkt, dass ihr Nutzen insgesamt mehr als fragwürdig scheint. Bei Punktkarten mit möglichst realitätsnah angeordneten Punkten fordert WITT hingegen, unbedingt die kartographische Situation (also u.a. Siedlungen, Verkehrswege und Gewässernetz) darzustellen, um so die geographischen Grundlagen der Verteilung zu verdeutlichen. Allerdings sieht er den erhöhten Aufwand für eine Karte mit exakt platzierten Punkten sehr kritisch und stellt den Nutzen von Punktstreuungskarten insgesamt in Frage.

Als topographischen Hintergrund speziell für thematische Karten zur Bevölkerungsverteilung empfiehlt KELNHOFER „eine vereinfachte und stark reduzierte Siedlungsdarstellung, ein für das Gebiet charakteristisch generalisiertes Verkehrsnetz und

selbstverständlich ein sich in diese Elemente harmonisch einfügendes Gewässernetz“ [KELNHOFER 1971, S. 89]. Außerdem könne eine vereinfachte Reliefdarstellung in Form von Isohypsen (Höhenlinien) oder Schummerung genutzt werden. KELNHOFER verweist auch auf die Ausschlussflächen und ist der Meinung, dass z.B. die Darstellung der Waldflächen in der topographischen Grundlagenskarte diese gut hervorhebt. Dem ist hinzuzufügen, dass neben den Waldflächen auch andere eindeutig von Siedlungen ausgenommene Flächen in die Hintergrundkarte eingetragen werden könnten, wie z.B. größere Gewässerflächen. Da bei dem topographischen Hintergrund einer thematischen Karte darauf geachtet werden sollte, die Informationen auf das Nötigste zu beschränken, erscheint es jedoch sinnvoller, z.B. die Siedlungsflächen als tatsächliches Verbreitungsgebiet zu kennzeichnen. KELNHOFER regt auch die Aufnahme administrativer Grenzen in die topographische Grundkarte von Bevölkerungsverteilungskarten an. Dem wird nicht uneingeschränkt zugestimmt. Die administrativen Grenzen mögen in der Mehrzahl der Fälle die Erhebungsgrundlage der Daten darstellen, jedoch meist in einem anderen Detailgrad als die Darstellung in der Grundkarte vermuten lässt. Daher sollte die Eintragung dieser Grenzen gut abgewogen werden und nur dann erfolgen, wenn die Kartenbelastung dies zulässt. Zur Farbgestaltung der topographischen Basiskarte äußert sich KELNHOFER dahingehend, dass dezente Farben oder neutrales Grau verwendet werden sollen. Dies versteht sich von selbst, da in einer thematischen Karte der topographische Hintergrund lediglich zur Orientierung dient, jedoch die Thematik der eigentliche Hauptinhalt der Karte ist.

Nach DITZ [2000] ist die Abstimmung des Detailgrades des topographischen Hintergrundes mit jenem der vorliegenden statistischen Daten unbedingt zu beachten. Er verweist auf DE GEER [1922]. Die Inhaltselemente der topographischen Karte sollen demnach sorgfältig ausgewählt werden. Was das außer der bereits erwähnten Anpassung des Detailgrades umfasst, bleibt leider offen. Eine dem von DITZ aufgegriffenen Minimalmaßstab für Punktstreuungskarten von 1: 1 000 000 entsprechende topographische Karte könnte seinen Angaben nach ausgewählte Orte, die Gemeindegrenzen, das Relief und das Gewässernetz enthalten. Die Darstellung der Verkehrswege bezeichnet er zwar als ‚wünschenswert‘, lehnt sie aber aus Gründen der Übersichtlichkeit ab, da sie zu Konflikten mit der Streuungspunktdarstellung führen würde.

Die Platzierung der Punkte in einer Punktstreuungskarte erfolgt auf der Grundlage zuvor bestimmter Platzierungsflächen. Diese können, wie bereits ausgeführt, identisch sein mit den statistischen Erhebungseinheiten oder aber dem tatsächlichen Verbreitungsgebiet der dargestellten Objektvorkommen entsprechen. Ob und wie diese Flächen in der Karte zusätzlich eingetragen werden, wird in der Literatur unterschiedlich gesehen.

WITT [1967] fordert, dass die kartographische Umsetzung statistischer Daten nicht aus statistischer sondern primär aus räumlicher Perspektive erfolgen sollte. Dem ist zuzustimmen, da dies genau die Stärke kartographischer Darstellungen ist – die Verortung verschiedener Sachverhalte. Fehlinterpretationen in Bezug auf die Dichte der dargestellten Objektstreuung kann entgegengewirkt werden, indem stets nur die tatsächliche Bezugsfläche, nicht die statistische Bezugseinheit gekennzeichnet wird.

KELNHOFER bezeichnet das Wesen absoluter Darstellungen als „kartographische Symbolisierung von disjunkten Zahlenwerten oder Mengenangaben, in der die räumliche Verbreitung des darzustellenden Objektes ... möglichst genau wiedergegeben wird“ [KELNHOFER 1971, S. 93]. Bei der Darstellung flächenbezogener Absolutwerte mittels gleichmäßig verteilter ‚Mengenpunkte‘ (Punktdichtekarte), sollen demnach unbedingt die Grenzen der Bezugsflächen eingezeichnet werden, um einer Verwechslung mit ‚Streuungspunkten‘ (Punktstreuungskarte) vorzubeugen. Für die Wiedergabe von positions- und flächenbezogenen Absolutwerten empfiehlt KELNHOFER ‚punkthafte Symbole‘, die bei Positionsbezug positionstreu und bei Flächenbezug je nach Maßstab raumtreu platziert werden. Da Absolutwerte nicht mit anderen Größen verbunden sind, bezeichnet er sie als „in ihrer Aussage eindeutig und objektiv“ [KELNHOFER 1971, S. 93]. Die Subjektivität der Punktstreuungskarte wird durch die Wahl des Wertmaßstabs und die Anordnung der Punkte erzeugt. Auch die objektivsten Ausgangsdaten können dies nicht verhindern. KELNHOFER unterscheidet zwei Arten von Absolutwerten – positionsbezogene und flächenbezogene. Der Unterschied besteht dabei in der Form der Darstellung. Bei flächenbezogenen Absolutwerten erscheint die Bezugseinheit auch in der Karte. KELNHOFER betont jedoch, dass auch positionsbezogene Absolutwerte meist auf Grundlage einer (im Kartenmaßstab nicht mehr flächig darstellbaren) Bezugseinheit erhoben werden. Wenn die Daten für einen großen Maßstab nicht ausreichend genau räumlich differenziert sind, so verweist er auf die Möglichkeit, die Platzierung der Kartenzeichen bezogen auf den

Schwerpunkt durchzuführen. Werteinheitssignaturen (,Streuungspunkte mit konstantem Punktwert') werden laut KELNHOFER zu Unrecht als ,Primitivkartographie' bezeichnet. Trotz ihrer recht einfachen Erscheinungen ist eine Ausführung „unter Wahrung größtmöglicher Objektivität“ [KELNHOFER 1971, S. 96] schwierig, da entsprechende praktische Anleitungen fehlen. Für die Darstellung flächenbezogener Absolutwerte, also von Absolutwerten, die auf einer Bezugseinheit erhoben wurden, ohne dass eine direkte Verbindung zur Fläche besteht, empfiehlt er, die Größe der Bezugseinheit als Einflussfaktor zu eliminieren. Dafür sollen die Werte auf ein geometrisches Netz umgerechnet werden. In jedem Fall soll jedoch bei flächenbezogenen Absolutwerten die Begrenzung der Bezugseinheiten in der Karte angegeben werden.

Für die Pseudoisarithmen, welche in die Karte eingetragen werden können, um den visuellen Vergleich verschiedener Dichtewerte in der Karte zu unterstützen, schlägt WITT [1970] eine farbige Gestaltung vor, damit sie die Punktdarstellung nicht ,stört' (siehe dazu auch *Kapitel 2.4*).

3.5 Technische Hilfsmittel

KELNHOFER [1971] verweist darauf, dass bereits eine Vielzahl von Hilfsmitteln für die Konstruktion von Punktkarten zur Verfügung steht. Allerdings beziehen sich diese auf die analoge Kartenherstellung. Es handelt sich dabei um Zirkel, Tabellen, Diagramme und Ähnliches. So beschreibt er die Vorgehensweise zur Erhöhung der Lagegenauigkeit der Punkte in Punktstreuungskarten folgendermaßen: Zunächst wird eine Arbeitskarte in größerem Maßstab hergestellt. Diese wird dann mittels reprotischer Verkleinerung in den Publikationsmaßstab überführt. Der hier beschriebene Arbeitsschritt spielt für die computergestützte Kartenherstellung keine Rolle mehr. Der größere Entwurfsmaßstab wird bei On-Screen-Arbeiten durch Vergrößerung eines Bildschirmausschnitts erreicht. Techniken, die in der überwiegend analog ablaufenden Herstellung von Punktstreuungskarten eingesetzt werden, sind laut Kelnhofers u.a. Stempeltechnik, Stanzen, Punktieren mit Feder oder Nullenzirkel, Stripfilm und elektronische Punkteinkopierung. Er gibt den photolithographischen Techniken (Stripfilm und Punkteinkopierung) den Vorzug als „sauberste kartographische Zeichnung“ [KELNHOFER 1971, S. 100]. Ein Nachteil dieser Methoden seien jedoch die hohen Kosten. Diese Feststellung ist für den heutigen Entwicklungsstand nicht mehr relevant.

Gerade weil die Konstruktion von Punktstreuungskarten manuell sehr aufwändig ist, gibt es bereits seit langem Bestrebungen, zumindest einen Teil der Entwurfsarbeiten zu automatisieren. Im Mittelpunkt der entwickelten Verfahren steht meist die Berechnung der Punktkoordinaten, sodass in vergleichsweise kurzer Zeit verschiedene Kombinationen aus Punktwert und Punktgröße getestet werden können. Das setzt allerdings voraus, dass es gelingt, die Platzierung der Punkte in Abhängigkeit vom gewählten Wertmaßstab zu bestimmen. Näheres zu bereits vorhandenen Automationsansätzen wird in *Kapitel 4* vorgestellt.

3.6 Zusammenfassung

Die einzelnen betrachteten Bereiche, die es in der Konstruktion einer Punktstreuungskarte zu durchlaufen gilt, haben unterschiedliches Potential für die Automatisierung. Die Abgrenzung der Bezugseinheiten oder -flächen kann nicht automatisiert erfolgen. Da sie bereits bei der Erhebung der Daten feststehen, sollte dies auch nicht notwendig sein. Ob und wie diese Flächen in die Karte einbezogen werden, hängt vor allem davon ab, ob die Flächen in digitaler Form vorliegen. Dann kann z.B. die Platzierung der Punkte in der Karte auf diese Flächen begrenzt werden. Die zusätzliche Berücksichtigung von Ausschlussflächen, in denen keine Objekte der dargestellten Verteilung auftreten können, ist automatisiert möglich, wenn diese Flächen digital vorliegen. Sie können helfen, ein detaillierteres Streuungsbild zu erzeugen, aber auch Flächen in der Karte von der Punktplatzierung auszunehmen, die für andere Kartenelemente, wie z.B. die Beschriftung, benötigt werden. Bei der Bestimmung der Platzierungsflächen sollte, wie von DITZ [2000] vorgeschlagen, bei der Punktplatzierung ein Mindestabstand zum Rand der Fläche eingehalten werden, um Punktüberlappungen benachbarter Punktwolken zu verhindern. Allgemein wird der Platzierung der Punkte innerhalb der tatsächlichen Verbreitungsgebiete der Vorzug gegeben.

Der aufwändigste Teil der manuellen Kartenkonstruktion ist die Platzierung der Punkte. Eine Automatisierung dieses Prozesses wird die Kartenkonstruktion am effektivsten vereinfachen. Da die Platzierung regelbasiert oder zufällig erfolgt, liegt hier großes Automatisierungspotential. Vorhandene Arbeiten, die sich diesem Thema widmen, werden in *Kapitel 4* vorgestellt und ausgewertet.

Die Festlegung der Punktgröße und des dazu passenden Punktwertes erfordert in der manuellen Entwurfsarbeit viel Erfahrung. Diese lässt sich jedoch auf regelbasierte Entscheidungen des Kartenbearbeiters zurückführen und damit auch automatisieren. Entscheidend dabei ist die Formulierung eines Zusammenhangs zwischen Platzierungsfläche in der Karte und der Anzahl möglicher Punkte, die in dieser Fläche bei bekannter Punktgröße angeordnet werden können. Ist die Anzahl der Punkte je Fläche bekannt, kann über den jeweils darzustellenden Wert der passende Punktwert bestimmt werden.

Die spezielle Behandlung von Ballungsgebieten, z.B. durch Darstellung in vergrößerten Nebenkärtchen oder durch den Übergang zur Kleingeldmethode, ist sehr komplex. Es gilt dabei nicht nur, die Ballungsgebiete zu identifizieren, sondern auch weitere Punktwerte zu bestimmen oder einen Platz in der Karte für das Nebenkärtchen zu finden. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die einfache Punktmethode, mit nur einem Punktwert und keiner Sonderbehandlung von Objektballungen. Sie bildet die Grundlage, auf der diese komplexeren Arbeitsschritte aufbauen können. Sollte die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode eine unbefriedigende Lösung für einige Objektdichten liefern, so ist der Kartenbearbeiter gefordert, die Karte entsprechend in Gebiete gleichartiger Dichte aufzuteilen und diese dann jeweils getrennt zu bearbeiten, was das Problem durch den Übergang zur Kleingeldmethode lösen würde.

Die graphische Ausgestaltung der Punktform wird bei der manuellen Kartenkonstruktion oft nicht allein auf den klassischen Punkt beschränkt. Daher wird die vorliegende Arbeit die Signaturpositionen und -größen so bestimmen, dass verschiedene Signaturformen möglich sind (siehe dazu *Kapitel 5*).

Die Darstellung des topographischen Hintergrundes ist bei entsprechend strukturiert vorliegenden Daten (z.B. Daten des Digitalen Landschaftsmodells aus ATKIS⁴) durchaus automatisiert möglich. Es ist dann jedoch darauf zu achten, dass genügend Platz für die Platzierung der Punkte bleibt und keine gravierenden Überlagerungen auftreten. In der vorliegenden Arbeit wird die Einbeziehung des topographischen Hintergrundes nur auf Basis von Verbreitungs- und Ausschlussflächen betrachtet. Eine Erweiterung aufbauend auf dem entwickelten Verfahren ist jedoch möglich.

⁴ ATKIS: Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem ist ein Projekt der Vermessungs- und Katasterverwaltungen der Bundesländer. Es beschreibt die Erdoberfläche mit digitalen Landschafts- und Geländemodellen. (vgl. [AdV])

Kapitel 4

Stand der Forschung – von der manuellen Kartenkonstruktion bis zur automatisierten Punktberechnung

Die Punktmethode ist seit ihrer Erfindung stetig weiterentwickelt worden. Zunächst galt es, verbindliche Richtlinien für die manuelle Herstellung festzulegen und zu verbessern. Mit dem Einzug der Rechentechnik in die Kartographie wurden und werden immer wieder Versuche unternommen, die Konstruktion und Herstellung von Punktkarten zu automatisieren.

Bereits WITT [1970] stellt einige Verfahren zur Automatisierung der Punktmethode vor. Er bezeichnet die Herstellung von Punktkarten als ‚in der Regel sehr arbeitsaufwendig‘. Entsprechend der damaligen Technik wurden Lochkarten und Hollerithmaschinen eingesetzt, um eine Automatisierung zu erreichen. Die Neuerung dabei war, dass die Koordinaten der Punkte nicht mehr in Zahlenform ausgegeben, sondern direkt maßstäblich entsprechend des Koordinatennetzes gezeichnet wurden. WITT stellt jedoch klar: „Durch dieses Verfahren wird die bisherige Kartographie nicht überflüssig gemacht. Der Wert liegt in der Schnelligkeit des Durchprobierens verschiedener Merkmalkombinationen...“ [WITT 1970, S. 411]. Er sieht die Perspektiven der Automation bereits sehr positiv und vermerkt: „Karten aus dem Computer werden für viele Geowissenschaften, die sich der statistischen Analyse und der Synthese bedienen und denen es in erster Linie auf die Raumzusammenhänge ankommt, eine Selbstverständlichkeit sein; heute sind die wissenschaftlichen Methoden hierfür zum großen Teil erst noch zu entwickeln.“ [WITT 1970, S. 471]. Die vorliegende Arbeit soll ein Teil dieser Entwicklungsarbeit leisten und die Fortschritte ergänzen, die bisher in der Automatisierung des Kartenentwurfs und der Kartenherstellung erzielt wurden. Die Hauptanwendungsgebiete für automatisierte Schritte in der Kartenkonstruktion und -herstellung sieht WITT bei sich wiederholenden Routineaufgaben, wo Berechnungen und die sich daraus ergebende Darstellung nach stets gleichen oder ähnlichen Mustern ablaufen.

Bei ARNBERGER stehen Punktstreuungskarten ganz oben auf der Liste gebräuchlicher und notwendiger Darstellungsmethoden für die amtliche Statistik speziell der Bevölkerungsentwicklung. Punktstreuungskarten hält er für „recht einfache, immer

wieder gleichartig wiederkehrende Darstellungsarten“ [ARNBERGER 1993, S. 213], die „für eine Computerkartographie mit wenigen ebenfalls gleichbleibenden Programmen besonders geeignet“ [ARNBERGER 1993, S. 213] sind. Doch nicht alle sind so optimistisch. DITZ [2000] geht davon aus, dass eine Automatisierung der Konstruktion von Punktstreuungskarten schwierig ist, da auch der topographische Hintergrund in die Gestaltung mit einbezogen werden muss.

Im Folgenden soll diese Entwicklung anhand verschiedener Stufen dargestellt werden, beginnend mit der manuellen Herstellung, erstmals untersucht von DE GEER im Jahr 1922, bis hin zu dem wahrscheinlickeitsbasierten Ansatz von KIMERLING aus dem Jahr 2009 und dem Stippling-Verfahren, welches in der Computergraphik Anwendung findet. Die einzelnen Arbeiten werden in chronologischer Reihenfolge vorgestellt.

4.1 DE GEER [1922] – Die erste Punktstreuungskarte

Die ersten wissenschaftlichen Betrachtungen der Punktmethode gehen auf DE GEER zurück. Er fertigte eine Bevölkerungskarte von Schweden an, die eine Kombination aus Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab und Streuungspunkten für die Darstellung nutzt. Sie wird allgemein als die erste Punktstreuungskarte angesehen (vgl. [ARNBERGER 1993]), obwohl sie weder eine reine Streuungspunktdarstellung ist, noch die erste Karte dieser Art darstellt. DE GEER selbst führt die Methodik der Karte auf eine bereits 1906 von ihm entworfene Bevölkerungskarte von Gotland zurück. Für diese Karte wurde die Insel in Quadrate mit jeweils 4 km^2 Fläche eingeteilt. Sein Ansatz besteht darin, die Quadrate infinitesimal klein werden zu lassen, um so von einer Mittelwertdarstellung zu einer Absolutwertdarstellung zu kommen. Die Quadrate gehen bei zunehmender Verkleinerung in mathematische Punkte über. DE GEER schlägt vor, Siedlungen durch eine Ansammlung von Punkten darzustellen, wobei für jedes Haus ein Punkt gesetzt wird. Da eine detaillierte Einzelhausdarstellung nur in Karten sehr großer Maßstäbe vorhanden ist, verwendet er statt der Häuser die Einwohnerzahlen aus der Statistik als Grundlage für die Bestimmung der Punkte. Für die Platzierung der Punkte innerhalb der statistischen Erhebungseinheit zieht er die Häuser heran. DE GEER führt an, dass es bei der Darstellung mobiler Objekte auch eine zeitliche Komponente gibt. Als Beispiel führt er die Wanderbewegung der nomadisch lebenden Rentierzüchter und die Pendlerströme großer Zentren an. Er kommt jedoch zu der Erkenntnis, dass diese zeitliche Unschärfe aufgrund fehlender statistischer Daten nicht beseitigt werden kann.

Als das Wesentliche der Punktmethode bezeichnet DE GEER die Tatsache, dass alle Punkte in Größe und Wert identisch sind. Sie bilden Einheiten einer größeren Menge. Er vertritt die Ansicht, dass Punktkarten nicht auf große Maßstäbe oder kleine Punktwerte beschränkt sind und verweist auf eine von ihm 1914 veröffentlichte Weltkarte mit einem mittleren Maßstab von 1: 80 000 000 und einem Punktwert von 1 000 000 Einwohnern. Als Einflussfaktoren auf die Wahl des Punktwertes nennt DE GEER neben dem Maßstab auch die Art und Dichte der Verteilung im Kartiergebiet sowie den Zweck der Karte. Die Punktgröße sollte auf Wandkarten größer sein als in Handkarten. Dabei sollte die Größe des Punktes in ausgewogenem Verhältnis zur maßstäblichen Größe des Objekts in der Karte stehen. DE GEER räumt ein, dass in kleinmaßstäbigen Karten eine vergrößerte Punktdarstellung hinzunehmen ist. Für den Kartenvergleich ist es demnach notwendig, das Verhältnis zwischen Punktgröße und dargestelltem Objekt entweder bezogen auf die Objektgröße im Kartenmaßstab oder bezogen auf ein einheitliches Maß, wie z.B. *mm* oder *mm²*, anzugeben. DE GEER favorisiert Letzteres. Für größere Siedlungen verwendet er jeweils eine Kugel anstelle der Streuungspunkte. So können die größeren Einwohnerzahlen mit vertretbarem Platzbedarf dargestellt werden. DE GEER verwendet für seine Karte also Werteinheitssignaturen und Mengensignaturen in einem gleitenden Wertmaßstab. Allerdings betrachtet er auch die Werteinheitssignaturen (Streuungspunkte) als Kugeln. Die Berechnung der Kugelgröße beruht auf einem Einheitsvolumen. Er empfiehlt, den Kugelcharakter durch eine Schattierung sichtbar zu machen. Doch er erkennt, dass dies für die im Vergleich zu den Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab kleineren Streuungspunkte nicht machbar ist. Statt eines Schattenwurfs verwendet er zur Erzeugung eines räumlichen Eindrucks daher einen Lichtfleck. Die Streuungspunkte werden als einfache zweidimensionale Punkte dargestellt. Das Erfassen des Kugelcharakters überlässt er hier dem Kartennutzer selbst. Ein Vorteil dieses Vorgehens besteht demnach darin, dass sich die Streuungspunkte sehr gut von den anderen Kartenelementen abheben. In seinen Augen wiegt das den Verlust der theoretischen Konsistenz auf. Als wichtiges Kriterium bei der Beurteilung der Qualität von kartographischen Darstellungen der Menge und Dichte nennt DE GEER Deutlichkeit und Unmissverständlichkeit. Er fordert eine strenge Proportionalität zwischen Punktwert und Punktdarstellung hinsichtlich Farbgewicht und/oder Größe. Diese Verknüpfung wird von BERTIN [1974] später durch seine Einteilung der graphischen Variablen untermauert. Bei BERTIN ist jedoch die Größe die einzige Variable mit quantitativer

Wirkung. Auch DE GEER beschränkt sich in seiner Bevölkerungskarte auf die Variation der Punktgröße (siehe Abbildung 4.1). Als Grenze zwischen der Darstellung mittels Streuungspunkten und der Verwendung von Mengensignaturen in gleitendem Wertmaßstab legt DE GEER eine Einwohnerzahl von 5000 fest, wobei die Streuungspunkte einen Punktwert von 100 besitzen. DE GEER bevorzugt die Darstellung mittels Streuungspunkten, da sie das Bestimmen der Einwohnerzahl durch einfaches Auszählen ermöglicht. Die Berechnung der entsprechenden Kugelgröße ist hingegen aufwändiger.

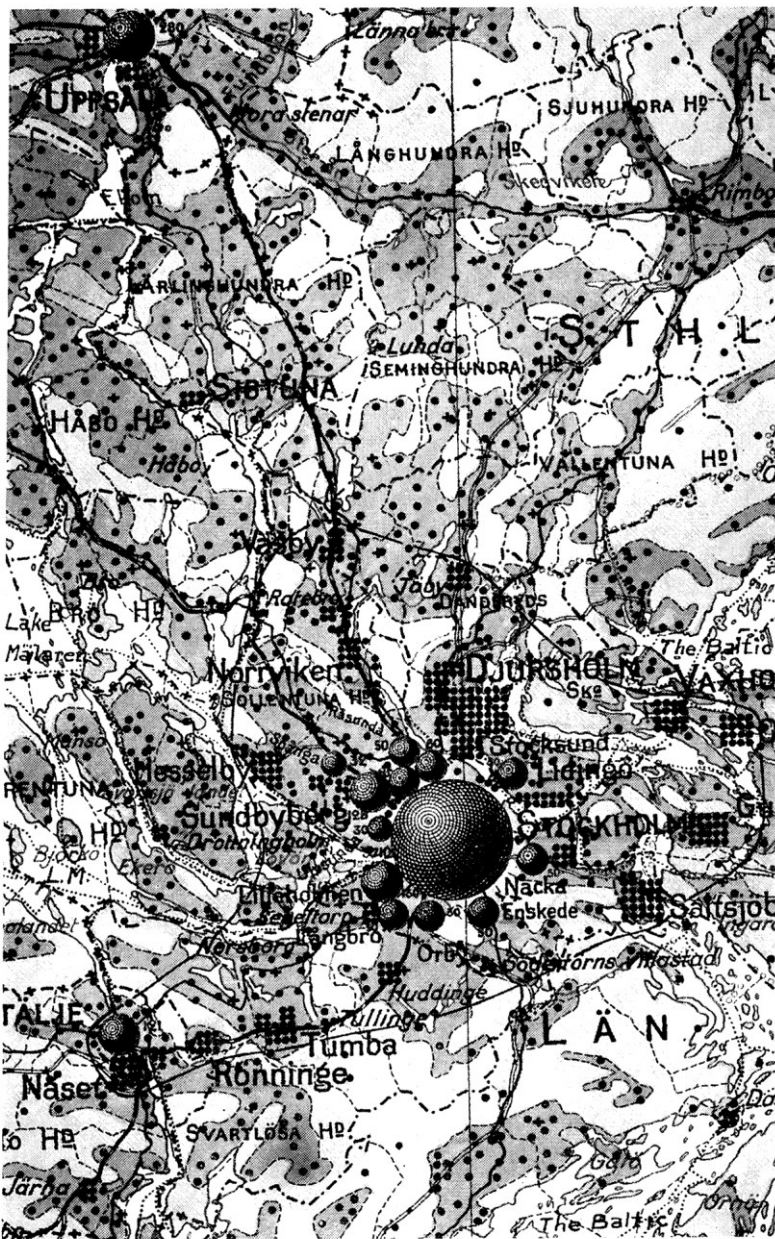


Abbildung 4.1: Ausschnitt aus der Bevölkerungskarte von Schweden, Maßstab 1: 500 000, 1917
[DE GEER 1922, S. 77]

Die Anordnung der Punkte nutzt DE GEER, um ländliche und städtische Siedlungen visuell voneinander zu trennen. Für städtische Siedlungen schlägt er vor, die Punkte in Form gleichmäßig angeordneter Reihen in Quadraten, Rechtecken oder anderen Formen anzuordnen. Ländliche Siedlungen werden hingegen durch unregelmäßig verteilte Punkte dargestellt. DE GEER räumt ein, dass dabei unweigerlich Fehler in der Zuordnung zu einer der beiden Kategorien entstehen, dennoch sei der Gewinn an Interpretationsqualität der Karte groß. Die regelmäßig angeordneten Punktreihen bezeichnet DE GEER als ‚Punktnetz‘ (‚Dot Net‘). Dabei werden die Punktreihen entweder horizontal oder vertikal oder entlang der Längsachse der Gemeinde ausgerichtet. Doch der Nutzung von Punktnetzen sind Grenzen gesetzt. Der von DE GEER formulierte Grundsatz „a dot shall fall entirely within its own parish“ [DE GEER 1922, S. 79] – ein Punkt sollte sich immer vollständig innerhalb des zugehörigen Gemeindegebietes befinden – kann durch den großen Flächenbedarf der Punktnetze nicht immer eingehalten werden. Der Wert, ab dem die Nachteile der regelmäßigen Punktanordnung die Vorteile überwiegen, wird daher von ihm bei 5000 Einwohnern festgelegt. Anstelle des Punktnetzes tritt dann eine Darstellung mittels größenproportionaler Kugeln. Zum Vergleich stellt er den Platzbedarf der verschiedenen Darstellungsmethoden für die Stadt Stockholm (371 000 Einwohner) gegenüber. Der Radius der entsprechenden Kugel beträgt 8,9 mm. Die Streuungspunkte würden insgesamt einen Kreis mit einem Radius von 34,4 mm bedecken. Ein Punktnetz mit den notwendigen 3710 Streuungspunkten würde ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 75 mm in Anspruch nehmen. Um Vergleiche der Kugeln untereinander und auch mit den Streuungspunkten zu erleichtern, setzt DE GEER die dargestellte Menge/Anzahl in Form einer Zahlenangabe neben oder in die Kugel. Dabei verwendet er Angaben in vollen Hundertern, z.B. für Stockholm 3710. Als untere Grenze für die Nutzung eines Punktnetzes legt DE GEER Punktnetze mit drei oder vier Punkten fest. Diese Punktnetze repräsentieren dann Siedlungen mit 300 oder 400 Einwohnern, die einen städtischen Charakter aufweisen.

DE GEER sieht deutliche Unterschiede zwischen der Theorie der Punktmethode und ihrer praktischen Umsetzung. Während die Theorie recht einfach sei, bezeichnet er die praktische Ausführung als relativ kompliziert. Er stellt außerdem fest, dass nur wenig mechanisch gelöst werden kann, selbst wenn ausreichend Daten zu Anzahl und Position der Punkte vorhanden sind. Er unterteilt die Kartenkonstruktion in zwei Schritte. Im ersten Schritt versucht er die Siedlungen jeweils zu 100 Einwohnern zusammenzufassen

(Punktwert der Streuungspunkte) bzw. teilt er größere Siedlungen in die entsprechende Anzahl von 100er-Anteilen. Dabei wird jeweils auf volle Hunderter gerundet. Der zweite Schritt der Kartenkonstruktion besteht dann darin, ‚mit Bedacht‘ die Positionen der Punkte in der Karte zu wählen. Sollen die Punkte in Form eines Punktnetzes angeordnet werden, besteht die Möglichkeit, sie entweder in quadratischer Form, entsprechend der Form der Siedlung oder nach dem in der Karte zur Verfügung stehenden Platz zu platzieren.

DE GEER formuliert drei Regeln, die es bei der Platzierung einzelner Punkte, die für die Darstellung verstreuter Siedlungen genutzt werden, zu beachten gilt. Die erste Regel besagt, dass ein Punkt direkt über einen Ort mit mehr als 50 Einwohnern gesetzt werden soll. Dieser Ort entspricht – bei dem von ihm gewählten Punktwert von 100 Einwohnern – mehr als der Hälfte der dargestellten Menge. Laut der zweiten Regel soll der Punkt möglichst im Schwerpunkt der repräsentierten verstreuten Siedlungen liegen. Nach der dritten Regel sollen auch benachbarte Siedlungen in die Platzierung des Punktes einbezogen werden. So sollen z.B. zwei Siedlungen, die an der Gemeindegrenze nebeneinander liegen und insgesamt jeweils etwa 50 Einwohner haben, nicht durch zwei Punkte (getrennte Betrachtung der Gemeinden), sondern durch einen gemeinsamen Punkt dargestellt werden. Je kleiner der Hauptort der verstreuten Häuser ist, desto mehr werden bei der zentralisierten Platzierung des Punktes auch die anderen Häuser einbezogen. Diese drei Regeln können nicht alle gleichzeitig vollständig befolgt werden. Bei der Suche nach einem guten Kompromiss ist geographisches Fachwissen gefragt, um den Einzelfall zu beurteilen. Daher können keine verbindlichen Regeln für die Punktplatzierung in jedem Fall festgelegt werden. Je erfahrener der Kartenbearbeiter, desto mehr wird nach DE GEERS Meinung die Karte die tatsächlich vorhandenen Gegensätze und auch leeren Gebiete richtig abbilden. Für ihn ist die sorgfältige Platzierung der Punkte wichtiger für die Korrektheit der Karte als die passende Methode der Größenbestimmung der Punkte.

DE GEER legt den Schwerpunkt auf die Erfahrung des Kartenbearbeiters. Durch das Fehlen verbindlicher Regeln ist seine Vorgehensweise für die Automatisierung kaum geeignet. Seine Ausführungen zeigen jedoch die kartographischen Ansprüche (eindeutige Zuordnung der Punkte, möglichst genaue Darstellung durch optimalen Punktwert), die an eine Karte nach der Punktmethode gestellt werden sollen. In dieser Hinsicht soll DE GEERS Arbeit als Vorbild dienen.

4.2 KLAMT [1972] & HOFMANN [1972] – Regelmäßige Punktverteilung in vorgegebenen Flächen

KLAMT beschäftigt sich mit der automatisierten Gestaltung von Punktkarten nach der ‚einfachen Punktmethode‘. Als Gerätesystem werden dabei Linotron 505, eine Setzmaschine, und Robotron 300, ein Großrechner, verwendet. Als Kriterium für die einfache Punktmethode legt KLAMT die Identität von Größe und Wert aller Punkte fest und bezieht sich damit auf die von [HOFMANN 1972] vorgelegte Charakterisierung der Punktmethode. Beide Arbeiten entstanden parallel und sind eng miteinander verknüpft.

Für eine Automatisierung der Methode sei es erforderlich, ein Verfahren zu entwickeln, wie Punkte gleichmäßig auf Flächen verteilt werden können. Dazu müsse eine Gesetzmäßigkeit gefunden werden, die beschreibt, wie die Koordinaten der Punkte und ihre Lage in der Fläche zusammenhängen.

Für die Platzierung der Punkte schlägt KLAMT vier Prinzipien vor:

- das Prinzip der Flächenaufteilung
- das Strahlenprinzip
- das Gitternetzprinzip
- das Abstandsprinzip

Das Prinzip der Flächenaufteilung wird genutzt, um die Platzierungsfläche in kleinere Teilflächen zu zerlegen. Als Ausgangspunkt dafür dient der Schwerpunkt der Platzierungsfläche. Von ihm ausgehend werden Teilungslinien zu zuvor festgelegten Randpunkten gezogen und so die Platzierungsfläche zerlegt. Im Schwerpunkt jeder Teilfläche wird ein Punkt gesetzt, ebenso wie im Schwerpunkt der Ausgangsfläche. Die Bestimmung der Randpunkte, zu denen eine Teilungslinie gezogen wird, erfolgt entweder über die Anzahl der Punkte, die den Umriss der Platzierungsfläche definieren oder über den Winkel, der zwischen zwei Teilungslinien am Bezugsflächenschwerpunkt aufgespannt wird (siehe Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3).

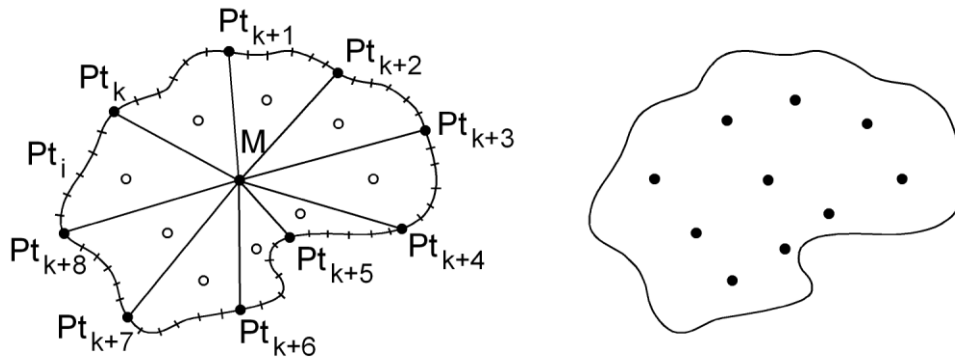


Abbildung 4.2: Prinzip der Flächenaufteilung mit festgelegten Randpunkten
[nach KLAMT 1972, S. 29]

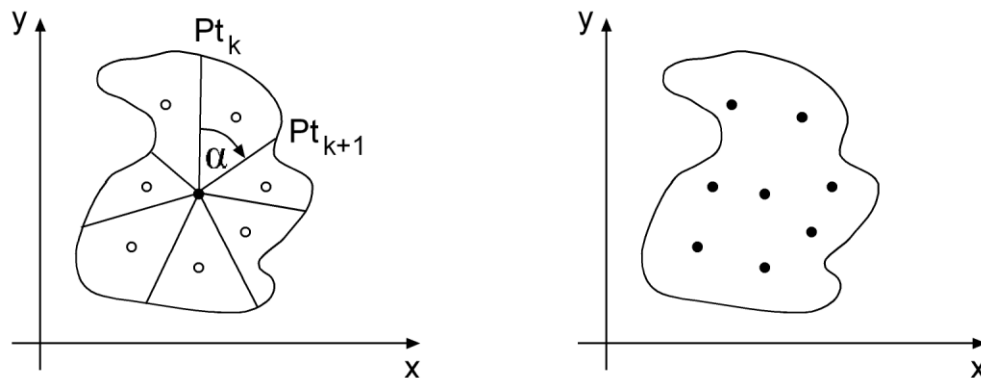


Abbildung 4.3: Prinzip der Flächenaufteilung über festgelegten Winkel [nach KLAMT 1972, S. 31]

Der Nachteil beider Methoden ist die ungleichmäßige Größe und Form der Teilflächen, was zu einer unregelmäßigen Punktanordnung führt. KLAMT schlägt daher vor, die Gesamtfläche ausgehend vom Flächenschwerpunkt in gleichgroße Sektoren zu unterteilen. Im Schwerpunkt jedes so gebildeten Sektors wird dann ein Streuungspunkt angeordnet. Im Schwerpunkt der Gesamtfläche wird ebenfalls ein Streuungspunkt gesetzt. Alternativ können auch die Sektorengrenzen für die Punktplatzierung genutzt werden. Dabei werden die Streuungspunkte nicht im Schwerpunkt der Sektoren gesetzt, sondern in bestimmten Abständen auf den Grenzlinien zwischen den Sektoren. Es ist auch eine Flächeneinteilung in Form einer Baumstruktur (vergleichbar einem Quadtree) möglich. Dabei werden Teilflächen in immer kleinere Teilflächen zerlegt und die Streuungspunkte im Mittelpunkt dieser Flächen gesetzt (siehe Abbildung 4.4).

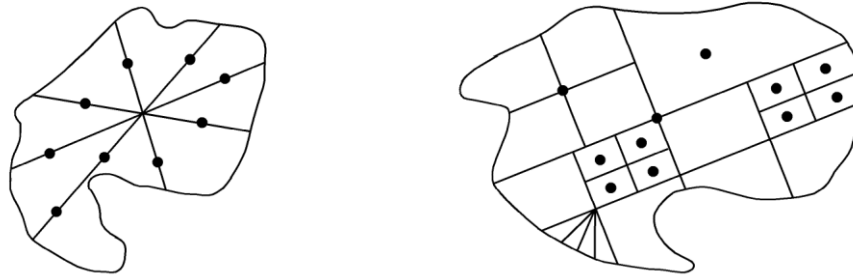


Abbildung 4.4: Alternative Methoden der Punktplatzierung durch Flächenaufteilung
[nach KLAMT 1972, S. 34 f.]

Die Methode der Flächenaufteilung eignet sich jedoch nur für eine geringe Anzahl von Streuungspunkten.

Das Strahlenprinzip nutzt ebenfalls den Flächenmittelpunkt als Basis. Es werden Linien vom Mittelpunkt zu den Punkten der Flächenbegrenzung gezogen und auf diesen Linien die Streuungspunkte platziert. Es können dabei auch mehrere Punkte auf einer Linie angeordnet werden (siehe Abbildung 4.5). Je nach gewünschter Punktzahl und -dichte werden nur bestimmte Verbindungslinien für die Punktplatzierung ausgewählt. KLAMT verweist hier lediglich darauf, dass eine gleichmäßige Punktverteilung erreicht werden kann. Dafür seien jedoch weitere Untersuchungen der Zusammenhänge notwendig.

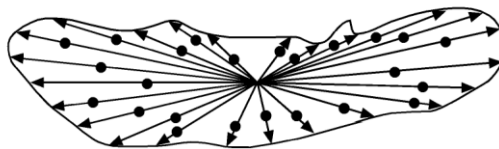


Abbildung 4.5: Strahlenprinzip [nach KLAMT 1972, S. 35]

Das Gitternetzprinzip basiert auf einer Überlagerung der Fläche mit einem Netz gleichgroßer Gitterzellen. Die Streuungspunkte können an Schnittpunkten der Netzlinien oder in den Netzzellen platziert werden. Die Punkte können die Gitterzellen ggf. fast vollständig ausfüllen. Ebenso wäre es möglich mehrere Punkte in einer Gitterzelle anzuordnen, falls die Punktzahl dies erfordert (siehe Abbildung 4.6). Mit diesem Verfahren kann eine größere Anzahl an Punkten platziert werden. Die genaue Punktzahl variiert jedoch mit der Lage des Gitters zur Fläche. Ebenso können Positionen am Rand der Fläche zu Überlagerungen mit Punkten benachbarter Flächen

führen. KLAMT führt hier einen Test durch, ob der Abstand der Punktposition zum Rand ausreicht, um zwischen benachbarten Punkten einen Mindestabstand einzuhalten. Der Abstand zwischen Punktposition und Rand soll dabei den Wert $r_p + 0,2 \text{ mm}$ nicht unterschreiten. Wenn die Anzahl der Punkte, die so gesetzt werden kann, nicht ausreicht, wird die Gitterweite verringert.

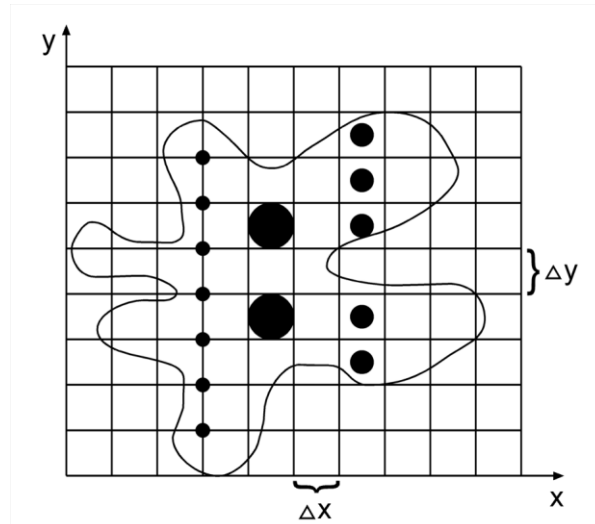


Abbildung 4.6: Gitternetzprinzip [nach KLAMT 1972, S. 36]

HOFMANN entwickelt für das Gitternetzprinzip von KLAMT Modelle zur Anordnung von 1 bis 25 Punkten innerhalb einer Gitterzelle. Dabei wird eine möglichst gleichmäßige, flächenfüllende Platzierung angestrebt. Es wird außerdem versucht, den Übergang zu benachbarten Gitterzellen möglichst fließend zu gestalten, so dass keine offensichtlichen Lücken entstehen (siehe Abbildung 4.7). Die Größe der Gitterzellen wird dabei an das Ausgabegerät Linotron angepasst. HOFMANN empfiehlt eine Maschenweite von 5 oder 10 mm. Dadurch würde das Zusammenfassen benachbarter Gitterzellen im Rahmen der Generalisierung beim Übergang zu kleineren Maßstäben erleichtert.

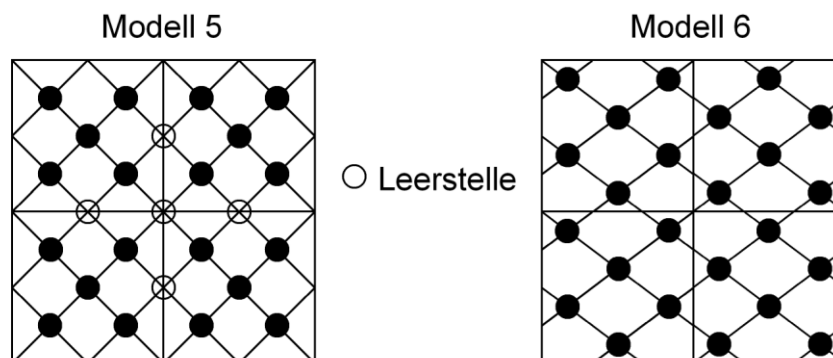


Abbildung 4.7: Modelle der Punktplatzierung innerhalb eines Gitternetzes [nach HOFMANN 1972, S. 32 f.]

HOFMANN bezieht auch einen Mindestabstand der Punkte zum Gitterzellenrand bzw. untereinander in die Punktplatzierung ein. Überschneidungen sollen zwar vermieden werden, jedoch können sie zuweilen günstig sein, wenn dadurch eine Flächendeckung in den Modellen erreicht werden kann. Als besonders günstig (gut flächendeckend) werden Modelle mit quadratischer Punktzahl empfohlen.

Das Abstandsprinzip ist eine Variante des Gitternetzprinzips. Dabei werden die Punkte ausgehend vom Mittelpunkt der Fläche in gleichmäßigen Abständen s in x und y angeordnet (siehe Abbildung 4.8). Um nur Punkte zu setzen, die sich im Inneren der Fläche befinden, müssen die Punkte der Flächenbegrenzung in hoher Auflösung vorliegen. Daher, so vermutet KLAMT, wird diese Methode kaum praktische Anwendung finden, da der Arbeitsaufwand im Vergleich zu den anderen Methoden stark erhöht ist.

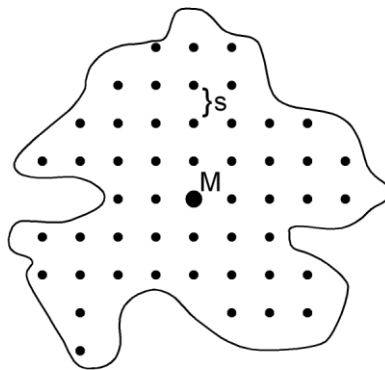


Abbildung 4.8: Abstandsprinzip [nach KLAMT 1972, S. 37]

KLAMT entscheidet sich dafür, das Prinzip der Flächenaufteilung (günstig für wenige Punkte) und das Gitternetzprinzip (günstig für viele Punkte) zu kombinieren. Die Punktgröße wird festgelegt. Der Punktwert wird anhand der darzustellenden Werte bestimmt. Dafür wird aus allen darzustellenden Werten jener ausgewählt, der am nächsten an deren Mittelwert liegt. Die zugehörige Fläche und die aus empirischen Untersuchungen abgeleitete Kartenbelastung von 12% werden verwendet, um die Anzahl der Punkte zu bestimmen, die in dieser Fläche zu einer Kartenbelastung von 12% führt. Mit der erforderlichen Punktzahl kann dann der Punktwert berechnet werden.

Dieses Vorgehen erscheint recht willkürlich. Die wahren Problemfälle werden dabei nicht beachtet. So sollten vor allem die Flächen herangezogen werden, in denen der Quotient aus darzustellendem Wert und Flächengröße besonders ungünstig ist (großer

Wert, kleine Fläche). Diese Flächen sollten die Wahl des Punktwertes bestimmen, da es sonst immer Flächen gibt, in die nicht genügend Punkte gesetzt werden können.

Nach der Punktwertbestimmung berechnet KLAMT die Gitterweite für die Punktplatzierung. Für kleinere Punktmengen soll das Prinzip der Flächenaufteilung genutzt werden. Für größere Punktmengen soll das Gitternetzprinzip eingesetzt werden. Wo genau die Trennung zwischen beiden Kategorien erfolgt, vermag auch KLAMT nicht zu sagen. Bei einer großen Punktzahl kann es vorkommen, dass die erforderliche Gitterweite zu klein ist, um mit dem Gerät Linotron dargestellt zu werden. Dann, so empfiehlt KLAMT, solle die Gitterweite solange vervielfacht werden, bis sie darstellbar ist. Der Punktwert ist dann entsprechend anzupassen. Die Gitterweite der Netze wird für jede Fläche individuell festgelegt. Die Berechnung erfolgt anhand der Flächengröße und der erforderlichen Punktzahl.

Es ist nicht ersichtlich, warum nicht gleich die kleinstmögliche Maschenweite geprüft wird und danach der Punktwert festgelegt wird. Wie bereits ausgeführt, ist es sehr unwahrscheinlich, mit der ‚Mittelwertmethode‘ (siehe *Kapitel 3.3*) einen für alle Flächen passenden Punktwert zu ermitteln. Durch die unterschiedlichen Gitterweiten ergeben sich unterschiedliche Dichteindrücke. Dadurch gewinnt die Größe der Platzierungsfläche einen viel zu großen Einfluss auf das Ergebnis. Bedenkt man wie willkürlich diese Flächen oft abgegrenzt werden, so wird klar, dass ihr Einfluss so gering wie möglich gehalten werden sollte.

KLAMT strebt eine gleichmäßige Verteilung der Punkte über die Fläche an, wobei die Fläche so gut wie möglich mit Punkten gefüllt werden soll. Das Hauptmerkmal der Punktmethode sei „die Wiedergabe von Dichteunterschieden, von Streuungen und Verteilungen“ [KLAMT 1972, S. 107]. KLAMT ist sich dessen bewusst, dass die vorgestellte Methode nicht in allen Fällen zu einem befriedigenden Ergebnis führen wird und empfiehlt bei Problemfällen auf die ‚konventionelle Art‘ der Kartenkonstruktion zurückzugreifen. Es wurden von ihr zwei Gemeinden testweise bearbeitet. Die Bevölkerung wurde mittels Punktmethode dargestellt (siehe *Abbildung 4.9*). Der Bezugsmaßstab ist 1: 200 000. Die Originalpunktgröße liegt bei $r_p = 0,35 \text{ mm}$ bzw. $r_p = 0,6 \text{ mm}$. Der Punktwert beträgt 10 bzw. 30.

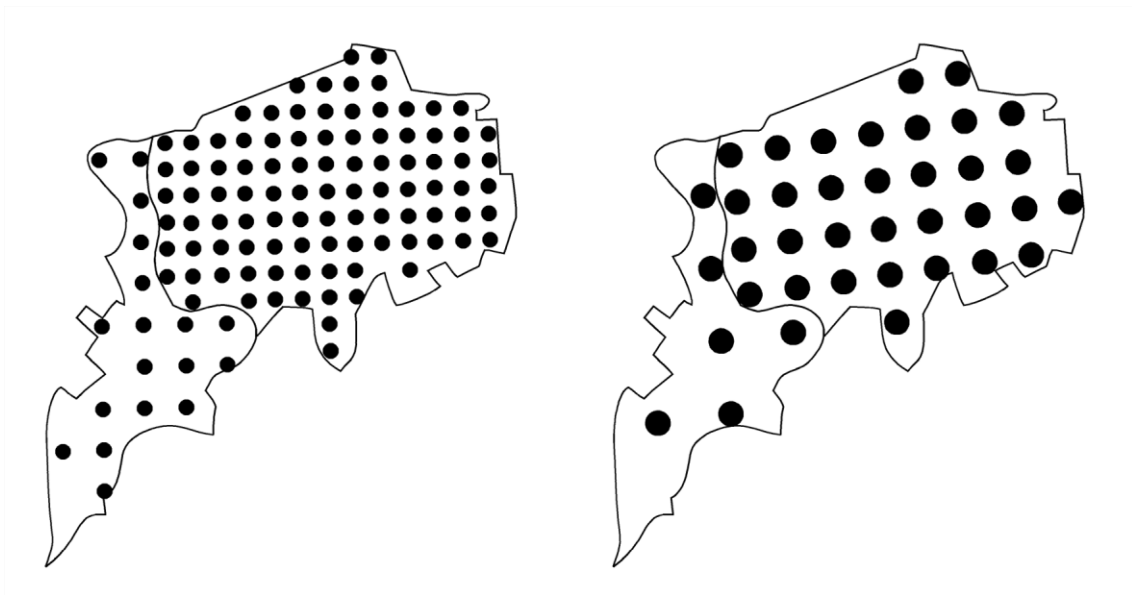


Abbildung 4.9: Ergebnisse der automatisierten Punktplatzierung
[nach KLAMT 1972, Anhang, S. 13f.]

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Flächendeckung der Punkte nicht angestrebt. Die Verteilung der Punkte soll nicht möglichst gleichmäßig sein, sondern sich um den Bezugspunkt der Menge gruppieren, wobei die Dichte im Inneren der Ansammlung am höchsten ist. Die Bestimmung des Punktwertes erfolgt erst nach der Berechnung möglicher Punktpositionen, nicht wie bei KLAMT davor. Dichteunterschiede bei gleicher Punktzahl wird es nicht in dem Maße geben, wie sie durch unterschiedliche Gitterweiten entstehen würden. Die Größe und Form der Platzierungsfläche soll so wenig Einfluss wie möglich auf die Punktparameter haben. Die Idee, Überlappungen benachbarter Punkte zu vermeiden, indem die Einhaltung eines Mindestabstands geprüft wird, wird auch in der vorliegenden Arbeit verfolgt.

4.3 LAVIN [1986] – Zufallsbasierte Punktplatzierung in Einheitsflächen

LAVIN widmet sich der automatisierten Herstellung von Punktkarten. Er konzentriert sich jedoch auf Punktdichtedarstellungen zur Visualisierung stetiger Daten. Für die vorliegende Arbeit sind seine Untersuchungen von Interesse, da er ein Verfahren entwickelt, um eine festgelegte Anzahl von Punkten in einer definierten Fläche anzuordnen. LAVIN vergleicht seine ‚Punktdichte-Schummerung‘ (dot density shading) mit der Isolinienmethode, da beide für die Darstellung von Wertereiefs verwendet werden. Die Punktdichte-Schummerung ist dabei nach LAVIN die visuell effektivere Methode. Wobei das Extrahieren numerischer Informationen, wie er zugeben muss, mit Isolinienkarten wesentlich besser durchführbar ist.

Bei der Bestimmung der Punktdichte berechnet LAVIN zunächst ein regelmäßiges quadratisches Raster von Punkten, deren Werte anhand des Wertereliefs interpoliert werden. Um jeden dieser Punkte wird eine sogenannte Einheitsfläche konstruiert – eine Quadratgitterzelle, deren Mittelpunkt der Datenpunkt ist. Die Größe dieser Einheitsfläche richtet sich nach dem Abstand der Datenpunkte untereinander. Innerhalb der Fläche soll nun eine dem Datenwert entsprechende Anzahl von Punkten platziert werden. LAVIN berechnet die Punktzahl N_d folgendermaßen:

$$N_d = \frac{P}{A_d A_g}$$

wobei P für die Punktbedeckung steht, A_d für die Fläche eines einzelnen Punktes und A_g für die Fläche der Gitterzelle. Er verwendet Bedeckungsgrade zwischen 0 und 0,8. Dabei steht ein Wert von 0,8 für eine 80%-ige Bedeckung der Gitterzelle mit Punkten. LAVIN strebt möglichst kontinuierliche Dichteübergänge an, was mit Schrittweiten von 5% bei den Bedeckungsgraden gut gelingt, wie Abbildung 4.10 zeigt.

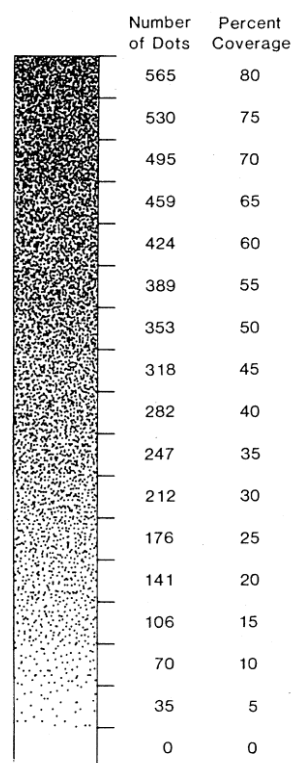


Abbildung 4.10: Beziehungen zwischen Punktzahl, prozentualer Bedeckung und der visuellen Erscheinung der Punktdichte-Muster [LAVIN 1986, S. 143]

LAVIN erwähnt auch das Punktplatzierungsverfahren von DUTTON [1978]. Dieser setzt Punkte zufällig, ohne die Überlappung der Punkte zu beachten. Wie LAVIN kritisch anmerkt, ist damit eine Steuerung der Punktdichte, die ihre visuelle Wirkung durch den Grad der Punktbedeckung entfaltet, nicht möglich. Ein weiterer Kritikpunkt, den LAVIN

gegenüber DUTTON anbringt, ist die verringerte Gleichmäßigkeit der Punktdichtedarstellung. Daher verfolgt LAVIN einen etwas anderen Ansatz bei der Platzierung der Punkte – eine quasi-zufällige Platzierung. Dieses Verfahren ist so angelegt, dass sich Punkte nicht mehr überlappen können. LAVIN beziffert die Abweichung der tatsächlichen Punktbedeckung von der anhand der Punktzahl zu erwartenden Bedeckung bei der zufälligen Punktplatzierung (DUTTON-Methode) auf bis zu 35%.

Als mögliche Alternative zur absolut zufälligen Punktplatzierung führt LAVIN folgende Methode an: Ein Punkt wird zufällig gesetzt. Seine Koordinaten und deren unmittelbare Umgebung werden gespeichert. Wird nun ein zweiter Punkt zufällig gesetzt, so wird geprüft, ob er nicht zu dicht am ersten Punkt liegt. Liegt er zu dicht, wird der Punkt gelöscht und erneut gesetzt. Ist die Entfernung zum ersten Punkt ausreichend, bleibt der Punkt erhalten und die Platzierung wird mit einem dritten Punkt fortgesetzt. Diese Methode ist, wie LAVIN selbst auch bemerkt, extrem zeit- und rechenaufwändig. Bereits bei geringen Punktzahlen ist dieses Verfahren nicht mehr sinnvoll nutzbar. Daher hat LAVIN eine weitere Alternative zur zufallsbasierten Punktplatzierung ohne Punktüberlappung entwickelt. Die Arbeitsschritte zeigt Abbildung 4.11.

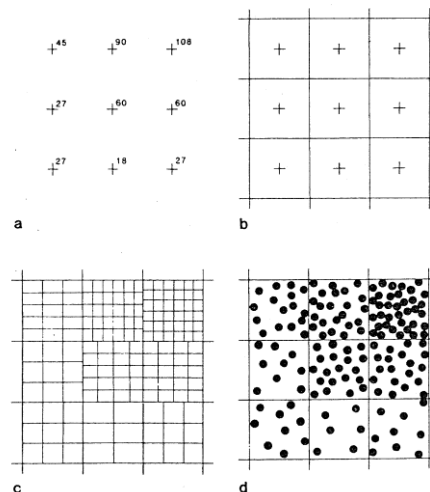


Abbildung 4.11: Abfolge der Schritte bei der Punktdichte-Schattierung: (a) erste Eingabe der gerasterten Datenmatrix, (b) Konstruktion der quadratischen Gitterzellen, (c) Einteilung der Gitterzellen in Zeichen-Subzellen, (d) zufällige Punktplatzierung innerhalb der Subzellen [LAVIN 1986, S. 145]

Die Gitterzellen (Einheitsflächen), die für die Platzierung der Punkte um die Datenpunkte konstruiert wurden, werden dafür in kleinere Teilflächen zerlegt. Die Anzahl der Zeilen und Spalten, die dabei entstehen, wird berechnet aus der Quadratwurzel der notwendigen Punktzahl. Diese Wurzel wird auf die nächste

Natürliche Zahl gerundet und dann durch Quadrieren dieser Zahl die Abweichung zur Punktzahl bestimmt. Ist die Abweichung zu hoch, wird die Anzahl der Zeilen um 1 verändert. Durch erneute Multiplikation mit der (unveränderten) Spaltenanzahl wird die Abweichung der Anzahl der so entstandenen Teilzellen mit der Anzahl der notwendigen Punkte nochmals berechnet. Dieser iterative Vorgang wird solange wiederholt, bis die Anzahl der Teilzellen innerhalb einer zuvor festgelegten Toleranz zur Punktzahl liegt. In jeder der entstandenen Teilzellen wird anschließend ein Punkt zufällig gesetzt. Durch die Eingrenzung der möglichen Koordinaten auf die jeweilige Gitterzelle wird eine Überlappung der Punkte weitestgehend verhindert. Geringfügige Überlappungen können jedoch auftreten. Als Gründe nennt LAVIN Rundungsfehler bei der Berechnung und die Zeichengenauigkeit des Geräts. Diese Probleme könnte LAVIN allerdings lösen, wenn er den Spielraum der zufälligen Koordinaten durch einen schmalen Streifen am Rand der Teilzellen weiter eingrenzen und so den minimalen Punktabstand auf einen Wert größer als 0 festlegen würde.

Eine weitere Unklarheit in LAVINS Vorgehen ist die einseitige Veränderung der Zeilenanzahl. Dadurch entstehen immer wieder in ähnlicher Weise ‚verzerrte‘ Verteilungsbilder. Es wäre interessant zu wissen, ob sich dies deutlich sichtbar in den Punktverteilungen niederschlägt, oder ob es durch die ohnehin zufällige Punktplatzierung als ‚Rauschen‘ untergeht. Insgesamt scheint die Methode von LAVIN geeignet, um zufällige Punktplatzierungen ohne Überlappung der Punkte zu generieren. Allerdings beschränkt sich die Darstellung auf Punktdichtedarstellungen stetiger Daten und wird daher im Rahmen dieser Arbeit keinen Eingang finden.

4.4 ASCHENBRENNER [1989] – Regelbasierte Punktplatzierung in vorgegebenen Flächen

Zur Herstellung von Punktstreuungskarten entwickelt ASCHENBRENNER einen vektororientierten und einen rasterorientierten Lösungsansatz zur Bestimmung der Streuungspunktmittelpunkte. Als Entscheidungskriterium, welcher Ansatz Verwendung findet, nennt er neben den zur Verfügung stehenden Geräten die vorliegenden Ausgangsdaten. Die analytische Verarbeitung der Geometriedaten in Vektorform bezeichnet er als „äußerst umständlich und zeitaufwendig“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 8]. Er schlägt daher eine Umwandlung in Rasterdaten vor, eine Lösung, die er als ‚Rastersimulation‘ bezeichnet. Dabei soll eine Zählung, die in einem zwei-

dimensionalen Datenfeld durchgeführt wird, die analytische Berechnung ersetzen. ASCHENBRENNER geht davon aus, dass jedes beliebige Objekt eineindeutig auf einem Quadratgitter (Raster) positioniert werden kann. Um das Objekt zu beschreiben, sind dann nur die Objektseiten zu bestimmen. Streuungspunktmittelpunkte, die sich innerhalb dieses Objekts befinden, können dann durch einen einfachen Zählvorgang bestimmt werden. Mithilfe der Indizes des Rasters kann der gefundene Mittelpunkt leicht in Koordinaten zurückgeführt werden.

Die analytische Bearbeitung der Geometriedaten beschreibt ASCHENBRENNER als sehr aufwändig. Dabei wird ein Positionierungsgitter über einer Fläche platziert. Die Kreuzungspunkte des Gitters markieren dabei die möglichen Streuungspunktmittelpunkte. Mithilfe von Geradenschnitten sollen die innen liegenden Mittelpunkte ermittelt werden. ASCHENBRENNER warnt davor, dass diese Methode nur für geschlossene Flächen vernünftig anzuwenden ist, da bei ‚Innenhöfen‘ eine Zuordnung der inneren Kontur zur umschließenden Fläche nicht einfach gegeben ist. Er schlägt vor, für diesen Fall zunächst die Mittelpunkte zu bestimmen, die in einen solchen ‚Innenhof‘ fallen und diese dann von den Mittelpunkten, die für die Außenfläche berechnet werden, abzuziehen. Da dieser Vorgang in seinen Augen sehr aufwändig ist, meint er, dass „eine Koordinatenbestimmung über analytische Schritte eher als theoretische Möglichkeit anzusehen“ ist [ASCHENBRENNER 1989, S. 8].

Betrachtet man den zeitlichen Kontext seiner Äußerung, so ist sie nachvollziehbar. Aus heutiger Perspektive ist das Argument des hohen Rechenaufwands zu vernachlässigen. Dank der rasanten Weiterentwicklung der Rechentechnik seit damals sollte es keine Probleme mehr geben. Vektordaten besitzen den Vorteil, relativ unabhängig von Auflösung und Maßstab zu sein, was auf Rasterdaten nicht zutrifft. Daher ist eine Berechnung auf Basis von Vektordaten vorzuziehen.

Für die Berechnung der innen liegenden Streuungspunktmittelpunkte schlägt ASCHENBRENNER vor, zunächst die Objektseiten zu bestimmen, welche einen Schnittpunkt mit einer Gitterlinie m aufweisen. Ist eine solche Seite gefunden, werden die genauen Schnittpunktkoordinaten bestimmt, also die Punkte, wo die Gitterlinie das Objekt ‚betritt‘ und ‚verlässt‘. Sind beide Punkte bestimmt, werden entlang der Gitterlinie zwischen den beiden Schnittpunkten weitere Punkte bestimmt, welche untereinander den gleichen Abstand haben und Kreuzungspunkte mit zur ersten

Gitterlinie senkrecht verlaufenden Gitterlinien darstellen (siehe Abbildung 4.12). Sind alle Mittelpunkte auf m bestimmt, wird die nächste Gitterlinie betrachtet.

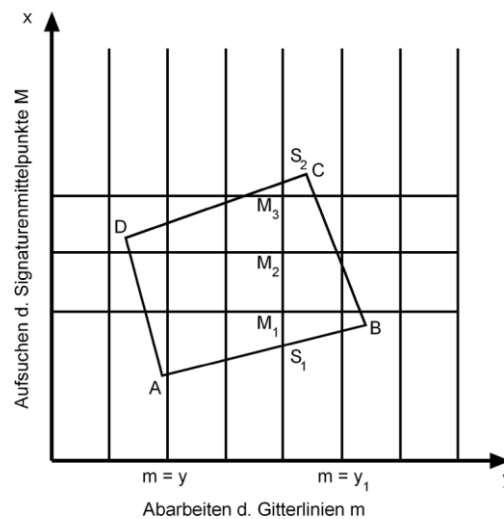


Abbildung 4.12: Bestimmung der Koordinaten der Signaturenmittelpunkte mittels analytischer Schritte [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 9]

ASCHENBRENNER weist darauf hin, dass einige Besonderheiten beachtet werden müssen, um zu verhindern, dass ein berechneter Mittelpunkt auf einer Objektseite zu liegen kommt und damit nicht mehr als ‚innen liegend‘ betrachtet werden kann. Die erste Maßnahme, um dies zu verhindern, ist, dass sich die x -Koordinaten der Mittelpunkte stets innerhalb des durch die Seitenschnittpunkte (S_1 und S_2 in Abbildung 4.12) begrenzten Wertebereichs befinden müssen. Sie dürfen mit keinem der beiden Schnittpunkte identisch sein. Verläuft eine Objektseite parallel zu einer Gitterlinie oder ist mit ihr identisch, liegen entweder alle berechneten Mittelpunkte auf der Objektseite oder es gibt keine Mittelpunkte, da sich Gitterlinie und Objektseite nie schneiden. Beide Fälle sind nach ASCHENBRENNER nicht gewünscht. Daher werden die Eckpunkte, welche eine Objektseite begrenzen, auf ihre y -Koordinate hin untersucht. Ist diese für beide identisch, wird die Objektseite sofort übergangen. Um eine rechnerische Identität von Objektseite und Gitterlinie von vornherein auszuschließen schlägt ASCHENBRENNER vor, die Koordinaten beider Geraden in unterschiedlichen Genauigkeiten anzugeben. Dieser Schritt lässt sich nicht nachvollziehen, da so ein Erkennen identischer Linien zwar nie vorkommt, die Tatsache, dass beide Geraden übereinanderliegen, damit jedoch nicht verhindert wird. ASCHENBRENNER nennt als Notwendigkeit dieses Vorgehens die rechnerische Handhabung bei vor- und zurückspringenden Objektteilen, wobei vermutlich eine mit einer Gitterlinie identische Objektseite unterbrochen wird. Für das Erkennen der Identität ist der Koordinatenvergleich mit unveränderten Genauigkeiten

nach Ansicht der Verfasserin eine effektive Variante. Dieser Schritt ist unbedingt notwendig, um dann den Sonderfall der hervor- oder zurückspringenden Objektteile behandeln zu können. Dafür sollten dann senkrecht zur betrachteten Gitterlinie m verlaufende Gitterlinien geprüft werden, ob sie in der Lücke verlaufen. Diese Vorgehensweise erscheint wesentlich einfacher als die von ASCHENBRENNER vorgeschlagene. Ergeben sich aufgrund der Form und Lage des Objekts mehrere Kantenschnittpunkte auf einer Gitterlinie, so sind nach ASCHENBRENNER alle Schnittpunkte als Streuungspunktmittelpunkte auszuschließen (siehe Abbildung 4.13).

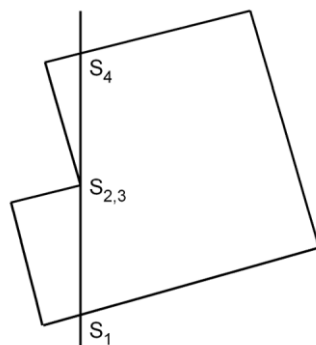


Abbildung 4.13: Mehrfachdefinition von Schnittpunkten [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 11]

Nach ASCHENBRENNER ist das ‚Aufrastern‘ von Objekten und das Auffinden von Streuungspunktmittelpunkten per Rastersimulation eine günstige Vorgehensweise. Als Grund führt er das Prinzip der Mittelpunktbestimmung an. Dabei wird ein Objekt mit den Feldern eines Gitters in Übereinstimmung gebracht. Die genaue Lage der Objektseiten ist hierbei unerheblich, da es lediglich darum geht, innen- und außenliegende Gitterpunkte zu unterscheiden. Als wesentliche Kriterien bei der Aufrasterung von Objekten nennt ASCHENBRENNER die Eineindeutigkeit der Datenüberführung, die Unabhängigkeit von der Digitalisierichtung und die Vermeidung von Sonderfällen. Zur Einhaltung dieser Kriterien schlägt er vor, für alle Endpunkte von Objektseiten jeweils den nächstgelegenen Gitterpunkt des Rasters zu bestimmen, indem die Koordinaten gerundet werden (siehe Abbildung 4.14). Da das Rundungsprinzip dabei stets gleich bleibt, entstehen nach ASCHENBRENNER auch keine Sonderfälle.

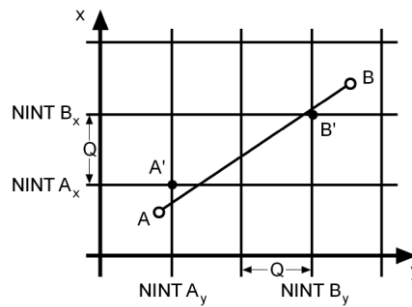
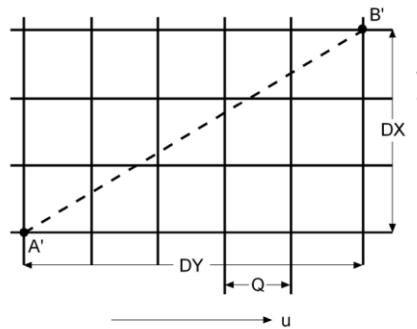


Abbildung 4.14: Bestimmung der Endpunkte der Objektseiten auf dem Gitter
[nach ASCHENBRENNER 1989, S. 12]

ASCHENBRENNER bestimmt dann die ‚Schrittweiten‘ für beide Achsenrichtungen. Die längere Kathete des entstehenden Dreiecks bestimmt die Schrittweite Q . Die kürzere dient zur Ableitung eines Verkürzungsfaktors (siehe Abbildung 4.15). Nachdem beide bestimmt sind, wird geprüft, ob die Gerade ansteigt oder fällt. Dann werden die Punkte zwischen A' und B' bestimmt.



$$DY > DX \rightarrow u = Q, v = (DX/DY) * Q$$

Abbildung 4.15: Ermittlung der Schrittweiten für die Aufrasterung der Objektseiten
[nach ASCHENBRENNER 1989, S. 12]

Die Punkte zwischen A' und B' repräsentieren die durch die Objektseite belegten Gitterfelder (Rasterzellen). Die Felder werden mit der Kennziffer 1 belegt und markieren so den Flächenumriss. Abbildung 4.16 zeigt die belegten Rasterzellen der Objektseite $A'B'$. Die Schrittweiten bestimmen dabei die Größe der Rasterelemente und deren mögliche Positionen.

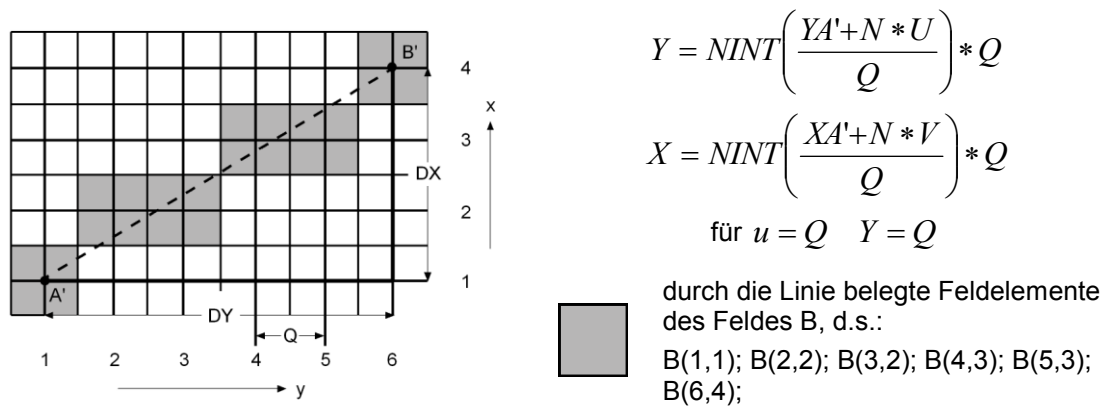


Abbildung 4.16: Aufrasterung der Objektseite [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 13]

Um nun die möglichen Streuungspunktmittelpunkte zu ermitteln, ist es erforderlich, eine Unterscheidung in innen- und außenliegende Punkte zu treffen. Bei analytischer Betrachtungsweise werden dafür Gitterlinien mit den Objektseiten zum Schnitt gebracht, was nach ASCHENBRENNER eine Reihe von Sonderfällen produzieren kann, deren Beachtung recht aufwändig ist (siehe Abbildung 4.17).

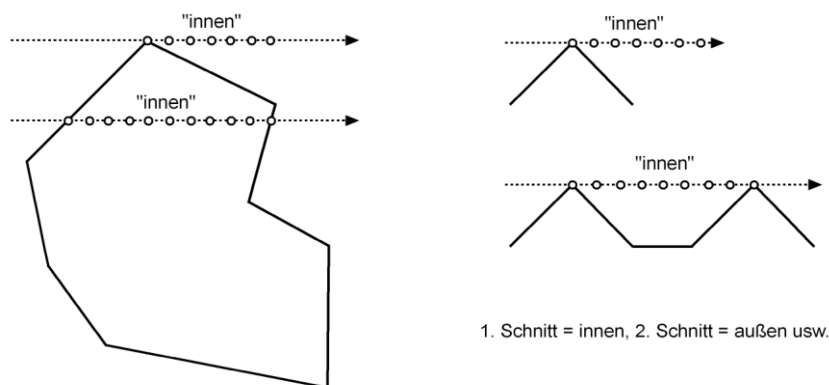


Abbildung 4.17: Erkennen innenliegender Rasterzellen mittels analytischer Schritte [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 14]

Verfolgt man den rasterbasierten Ansatz, so ist ein zweidimensionales Datenfeld zu durchsuchen. ASCHENBRENNER legt für die erste Suche in horizontaler Achsenrichtung den Minimum- und Maximumwert fest (die Rasterzellen, welche zur Objektkontur gehören). Alle freien Rasterzellen, die zwischen diesen Werten liegen, werden als flächenzugehörig erfasst und mit einer Flächenkennziffer belegt. Auch Rasterzellen, die außerhalb des Objekts liegen, werden so erfasst und von der Punktplatzierung durch entsprechende Kennzeichnung ausgeschlossen. In einem zweiten Suchlauf wird die senkrecht dazu verlaufende Achsenrichtung durchsucht. Zunächst werden wieder der Minimum- und der Maximumwert festgelegt und alle dazwischen liegenden Zellen, die zur Fläche gehören (Kennzahl 1), mit der Ziffer 100 belegt. Diese Rasterzellen stellen

Nach ASCHENBRENNER können die so ermittelten Rasterzellenindizes in Koordinaten zurückgeführt werden, was eine Rückübertragung der Streuungspunktmittelpunkte in Vektordaten ermöglicht. Er unterstreicht den Vorteil der Rastersimulation – den reduzierten Rechenaufwand, da es sich um einen einfachen Zählvorgang handelt. Wie bereits erwähnt, ist dieser Vorteil aus heutiger Sicht vernachlässigbar.

Es ist unklar, wie diese Suchläufe automatisiert ablaufen sollen, da sie eine Unterscheidung von ‚normaler‘ Fläche und ‚Innenhof‘ voraussetzen, die nur ein Bearbeiter manuell treffen kann. Nach Vorstellung der Autorin sollte eine automatisierte Vorgehensweise, die auf dem von ASCHENBRENNER entwickelten Rasterverfahren basiert, wie folgt verfahren: Zunächst werden alle vorhandenen Grenzlinien von Objekten/Flächen mit den Ziffern 1 bis n belegt werden. Jede Ziffer markiert dann ein Objekt/eine Fläche. Diese Nummerierung wird sofort bei der Rasterung vorgenommen. Bei den Suchläufen wird verfahren wie von ASCHENBRENNER vorgeschlagen, mit dem Unterschied, dass jedes Feld mit einem Wert > 0 als Grenze erkannt wird. Innenliegende Flächen werden somit nicht direkt als ‚Innenhof‘ identifiziert. Die für die Platzierung von Streuungspunkten geeigneten Rasterzellen werden beim Durchsuchen nicht, wie von ASCHENBRENNER vorgeschlagen, mit 100 belegt, sondern mit $n + 1$. Beim ersten Suchlauf werden alle Rasterzellen zwischen Minimum und Maximum mit der Flächenkennziffer belegt, es sei denn, die Rasterzelle besitzt bereits eine Kennziffer > 0 . Sobald man auf eine solche Zelle stößt, werden keine Kennziffern mehr gesetzt, bis erneut eine Rasterzelle mit der aktuellen Flächenkennziffer erreicht wird, bevor der Maximumwert erreicht ist. Beim zweiten Suchlauf werden dann alle Rasterzellen, die nach ‚Überquerung‘ der Flächenkennziffer folgen, mit dem Wert $n + 1$ belegt, wenn sie innerhalb der durch Minimum und Maximum gekennzeichneten Spanne liegen und mit der Flächenkennziffer belegt waren. Wird im zweiten Suchlauf eine Rasterzelle mit einem anderen Wert, als der aktuellen Flächenkennziffer erreicht, so wird diese und alle folgenden Zellen mit 0 belegt, bis entweder erneut eine Rasterzelle mit der aktuellen Flächenkennziffer kommt oder der Maximumwert erreicht ist. Rasterzellen, die im zweiten Suchlauf mit dem Wert 0 belegt sind, erhalten keine neuen Werte. So werden die ‚Innenhöfe‘ automatisch von der Punktplatzierung ausgenommen, ohne dass es der Identifizierung durch einen Bearbeiter bedarf. Durch die fortgeschrittene Rechentechnik ist es nunmehr jedoch möglich, die Vorteile der Vektordaten bei der Bestimmung von Punktpositionen zu nutzen. Um

festzustellen, ob ein Punkt in einer gegebenen Fläche (Polygon) liegt, wird in der vorliegenden Arbeit ein Punkt-in-Polygon-Test⁵ durchgeführt.

ASCHENBRENNER unterscheidet zwei Verfahren der Punktanordnung: das Mengenbild und die Streuungspunktanordnung. Unter einem Mengenbild versteht er eine lückenlose Anordnung der Punkte um einen zentralen Punkt. Als Streuungspunktanordnung bezeichnet er „eine lockere, unregelmäßig wirkende Anordnung innerhalb des Verbreitungsraumes“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 16] (siehe Abbildung 4.20).

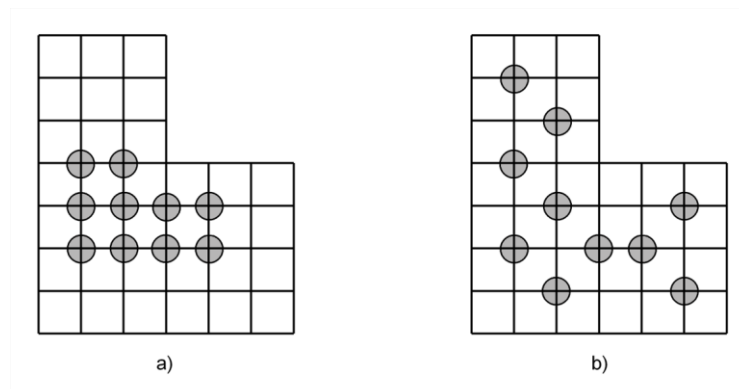


Abbildung 4.20: Punktanordnung in Form eines Mengenbildes (a) und als Streuungspunktdarstellung (b) [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 16]

Um die Gitterpunkte auszuwählen, die schließlich als Streuungspunktmittelpunkte dienen, stellt ASCHENBRENNER vier Verfahren vor: das lineare Aufsuchen, den spiralenförmigen Suchlauf, das Prinzip der konzentrischen ‚Fangkreise‘ und die Punktauswahl mittels Distanzmatrix (siehe Abbildung 4.21).

Das lineare Aufsuchen der Punkte beschreibt ASCHENBRENNER so, dass – ausgehend von einem bestimmten zentralen Gitterpunkt – zunächst die direkten Nachbarn (4er-Nachbarschaft) und dann die indirekten Nachbarn (8er-Nachbarschaft) aufgesucht werden. Befinden sich die Gitterpunkte innerhalb der Fläche, wird der Punkt ausgewählt, andernfalls fällt er heraus. Nach dieser ersten Stufe der Punktsuche wird das entstandene Quadrat um eine Reihe erweitert. Aschenbrenner weist hier auf das Problem hin, dass einige Punkte dieser zweiten Stufe nur durch ‚Rösselsprünge‘ erreicht werden können, was programmiertechnisch sehr aufwändig sei. Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist das Entstehen von Löchern in der Punktverteilung, wodurch eine Mengenpunktanordnung nicht erreicht werden kann und eine Streuungspunktdarstellung,

⁵ Der Punkt-in-Polygon-Test wird bei Vektordaten über Schnitte eines Strahls ausgehend vom zu testenden Punkt mit den Seiten des zur Prüfung herangezogenen Polygons durchgeführt. Dabei werden nur ‚echte‘ Schnitte, also Schnittpunkte, die auf den Polygonseiten – nicht in ihrer Verlängerung – auftreten betrachtet. Ist die Anzahl der Schnittpunkte ungerade, liegt der Punkt innerhalb des Polygons bzw. auf einer der Polygonseiten. (vgl. [BILL 2010, S. 452 ff.])

wie ASCHENBRENNER anmerkt, „nicht sinnvoll realisiert werden kann“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 16].

Der spiralförmige Suchlauf arbeitet nach der Methode, dass jeweils eine Koordinate beibehalten und die andere verändert wird. Damit werden stets Folgepunkte bestimmt, was sich nach ASCHENBRENNER leicht programmieren lässt und zu einem ‚graphisch ansprechendem Mengenbild‘ führt.

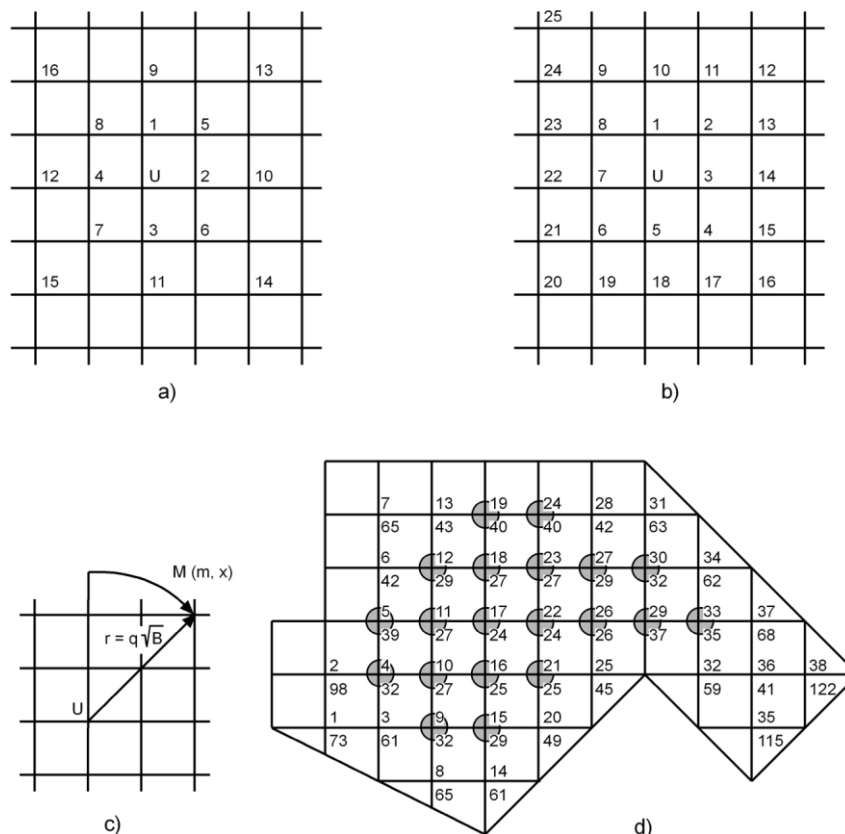


Abbildung 4.21: Verfahren der Punktauswahl: (a) Lineares Aufsuchen, (b) spiralförmiger Suchlauf, (c) konzentrische Fangkreise und (d) Auswahl mittels Distanzmatrix [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 17]

Die Punktauswahl mittels konzentrischer ‚Fangkreise‘ beschreibt er hingegen als sehr kompliziert und aufwändig. Zu Beginn werden die Distanzen zu den möglichen Punkten bestimmt. Sie bestimmen den Radius der Fangkreise. ASCHENBRENNER nennt dabei das Wurzelziehen für die Bestimmung der Distanz zu diagonal liegenden Punkten als problematisch. Er verweist auf Ungenauigkeiten, die dazu führen können, dass die Koordinaten nicht mehr als passende Punktkoordinaten erkannt werden, da sie in den Dezimalstellen voneinander abweichen. Als weiteres Problem nennt er die Notwendigkeit, den Mittelpunkt des Fangkreises in kartesischen oder Polarkoordinaten ausdrücken zu können, was verschiedene Berechnungsformeln für die Distanz-

bestimmung verlangt. Als zusätzliches Problem nennt er die Berechnung des Schnitts von Fangkreis und Gitterlinie. Unklar ist, warum ASCHENBRENNER hier wieder vom Rasteransatz ablässt und zum Vektoransatz zurückkehrt.

Die drei bisher vorgestellten Verfahren vereint nach ASCHENBRENNER der Nachteil, dass die vorher bereits ermittelten möglichen Streuungspunktmittelpunkte jeweils noch einmal berechnet werden. Danach werden sie mit den vorhandenen Punktkoordinaten abgeglichen, damit endgültige Mittelpunkte bestimmt werden können. Die vierte Methode der Punktauswahl verfolgt daher einen anderen Ansatz.

Die Punktauswahl mittels Distanzmatrix eignet sich demnach sowohl für die Herstellung von Mengenbildern als auch für Streuungspunktdarstellungen. Bei diesem Verfahren wird den potentiellen Streuungspunktmittelpunkten nicht nur eine Lage, sondern auch eine Gewichtung zugewiesen. Diese Gewichtung ermöglicht eine Punktauswahl in Abhängigkeit vom Darstellungsprinzip, ohne dafür die Punktkoordinaten neu berechnen zu müssen. Sind die Punkte auf einem Quadratgitter (Raster) angeordnet, empfiehlt ASCHENBRENNER als Maß für die Zentralität die Manhattan-Distanz. Die Manhattan-Distanz, auch bekannt als City-Block-Metrik, ist „die Summe der absoluten Differenzen in beiden Achsenrichtungen“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 18]. Da der Startpunkt der Distanzbetrachtung stets ein möglicher Streuungspunktmittelpunkt, d.h. ein Gitterpunkt ist, ergibt sich die Manhattan-Distanz immer als ganzzahliges Vielfaches der Maschenweite Q . Da dieser Wert für mehrere Punkte gleich sein wird, empfiehlt ASCHENBRENNER ein weiteres Merkmal einzusetzen, um die Punktauswahl zu ermöglichen. Er wählt die ‚Nachbarnzahl‘, welche die Anzahl direkter Nachbarn angibt und in einem Quadratgitter maximal den Wert 4 annehmen kann. Diesen Wert verknüpft er mit der Summe der Manhattan-Distanzen eines Punktes. Die Summe der Distanzen ist für einen Punkt, der sich in der Nähe des Mittelpunktes befindet, kleiner als für einen Punkt am Rand der Verteilung. Ebenso ist die Nachbarnzahl für einen zentral gelegenen Punkt größer als für einen Punkt in Randlage. Beide Werte verknüpft ASCHENBRENNER über die Formel:

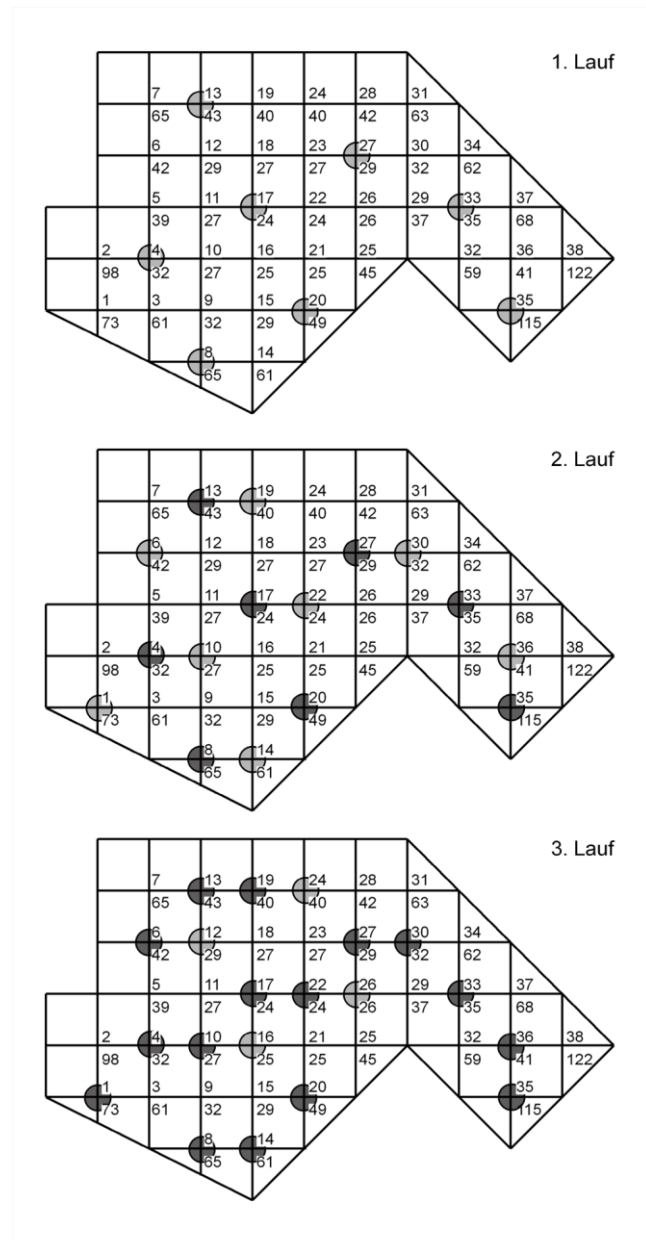
$$\text{Gewicht} = \frac{\sum \text{Entfernungen}}{\text{Nachbarnzahl}} * 100$$

Die so bestimmten Gewichtungen der Punkte nutzt er als Ordnungsmerkmal. Punkte mit geringer Gewichtung besitzen die höchste Zentralität. Punkte, welche nach dieser Berechnung die gleiche Gewichtung besitzen, betrachtet ASCHENBRENNER als absolut

gleichwertig und ordnet sie nach der Punktnummer. Durch diese Form der Punktauswahl und eine Platzierung entsprechend der Reihenfolge der aufsteigend geordneten Gewichtung entstehen Mengenbilder. Für Punktstreuungsdarstellungen sind andere Herangehensweisen erforderlich.

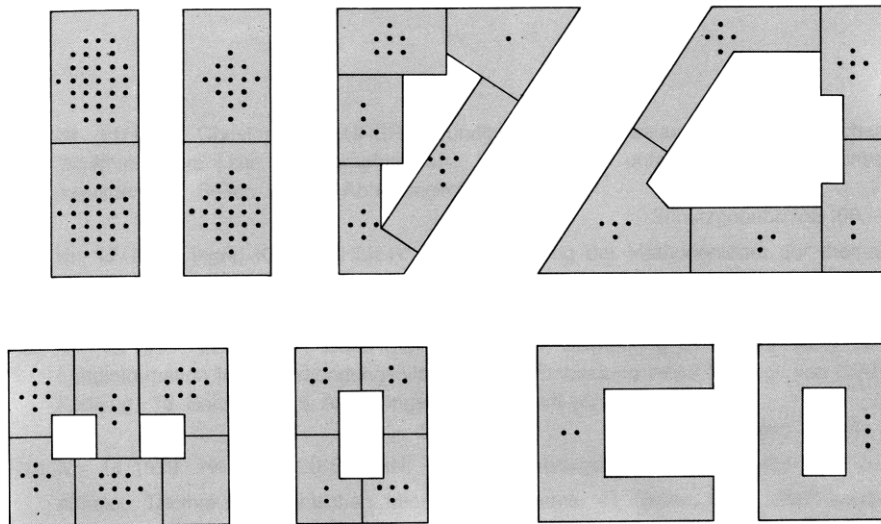
Dafür schlägt ASCHENBRENNER vor, die Clusterbildung um den zentralen Punkt zu vermeiden, indem Nachbarn eines ausgewählten Punktes mit einem Sperrvermerk belegt werden. Die Platzierung soll dann mit dem nächsten freien Punkt mit der geringsten Gewichtung fortgesetzt werden. Diese Schritte werden durchgeführt, bis keine freien Punkte mehr vorhanden sind. Dann werden alle Sperrvermerke gelöscht und die Punktplatzierung beginnt wieder bei dem freien Punkt mit der geringsten Gewichtung. Abbildung 4.22 zeigt das Ergebnis der Punktplatzierung nach einem, zwei und drei Durchläufen.

ASCHENBRENNER erzielt mit dieser Methode eine zufällig anmutende Punktverteilung, welche jedoch ihre gitterbasierte Grundstruktur nicht verheimlichen kann. Positiv zu vermerken ist die Anordnung der Punkte ausschließlich in den vorgesehenen Flächen, die idealerweise dem tatsächlichen Verbreitungsgebiet entsprechen. Ein weiterer positiver Aspekt ist die Wiederholbarkeit (Reproduzierbarkeit) der Verteilungsmuster. Egal wer die Bearbeitung durchführt, die Punktverteilung wird bei gleichen Eingangsdaten und gleicher Anzahl an Auswahldurchläufen immer gleich aussehen. Das wird als wichtiges Kriterium für die Konstruktion der Karte betrachtet. Als nachteilig ist anzumerken, dass die Gesamtpunktzahl, die pro Fläche gesetzt werden kann, nur in Form eines Mengenbildes erreicht wird, welches einer Punktdichtekarte entspricht. Eine Verknüpfung von Punktzahl und zur Verfügung stehender Fläche ist für Punktstreuungsdarstellungen nicht ohne weiteres zu bewerkstelligen, da die Bestimmung der maximalen Punktzahl hierfür mit der vorgestellten Methode nicht eindeutig möglich ist und die erreichbare Punktzahl stark von der Form der jeweiligen Fläche abhängt.

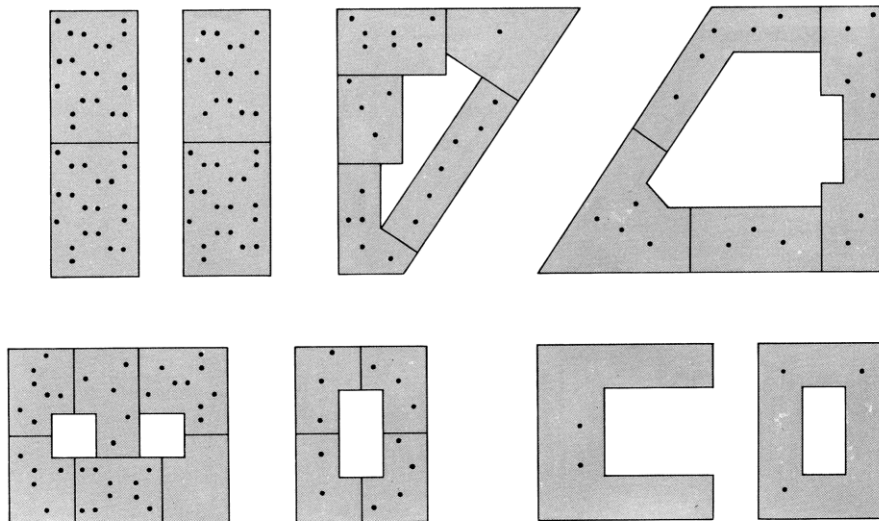


**Abbildung 4.22: Streuungspunktanordnung durch Belegung von Nachbarn gesetzter Punkte
[nach ASCHENBRENNER 1989, S. 20]**

ASCHENBRENNER stellt fest, dass mit der von ihm entwickelten Methode „das Bild einer konventionellen Punktstreuungskarte erzielt“ wird [ASCHENBRENNER 1989, S. 21]. Gleichzeitig tritt das Problem der sich überlagernden Punkte zufälliger Punktverteilungen nicht auf. ASCHENBRENNER bezieht sich in seiner Aussage auf Abbildung 4.23. Für den damaligen Stand der Computerkartographie erzielt er erstaunliche Ergebnisse. Jedoch ist die Punktstreuungsdarstellung nach Meinung der Autorin noch nicht mit einer manuell konstruierten Punktstreuungskarte vergleichbar.



a) Mengenbildartige Punktverteilung



b) Punktstreuungsdarstellung

Abbildung 4.23: Ergebnisse der automatisierten Punktanordnung [ASCHENBRENNER 1989, Anhang]
 ASCHENBRENNER betrachtet auch den Fall, dass sich ein Objekt nicht darstellen lässt. Dieses Problem kann auftreten, wenn z.B. nicht genügend Streuungspunktmittelpunkte in der Fläche angeordnet werden können. Das setzt jedoch voraus, dass der Punktwert zumindest grob festgelegt ist, da sonst eine Anpassung der notwendigen Punktzahl an die zur Verfügung stehende Flächengröße theoretisch immer möglich ist. ASCHENBRENNER begegnet diesen ‚nicht lösbaren Objekten‘, wie er sie nennt, indem er sie vermerkt und anstelle der Streuungspunkte eine ‚Sammelsignatur‘ zur Darstellung einsetzt.

Die Sammelsignatur ist dabei eine flächenproportionale Kreisscheibe, welche mit einem gleitenden Wertmaßstab an den darzustellenden Wert angepasst wird. Der Mittelpunkt der Sammelsignatur ist der Streuungspunktmittelpunkt mit der geringsten Gewichtung (s.o.). ASCHENBRENNER weist darauf hin, dass ein gestufter Wertmaßstab nicht möglich ist, da zu Beginn nicht bekannt ist, welche Objekte ‚nicht lösbar‘ sind und wie viele es sind. Für eine Größenanpassung ‚aller Signaturen insgesamt‘ verwendet er einen linearen Skalierungsfaktor. Diese Formulierung lässt offen, ob damit nur Sammelsignaturen skaliert werden oder auch die Streuungspunkte in ihrer Größe angepasst werden.

Gebiete dichter Objektverteilungen stellen eine große Herausforderung bei der Gestaltung von Punktstreuungskarten dar. ASCHENBRENNER weist darauf hin, dass eine Signaturenverdrängung nicht angedacht ist, „da es dem Charakter einer Streuungspunktdarstellung widerspricht, derart dichte Räume einer Verteilung wiederzugeben“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 22]. Im Idealfall soll die Auswahl geeigneter Werte für Punktgröße und Punktwert dieses Problem lösen. Derartige Gebiete von vornherein für Punktstreuungsdarstellungen zu sperren ist nach Meinung der Verfasserin nicht erstrebenswert.

ASCHENBRENNER nennt als Vorteil seiner Arbeit die Möglichkeit, „immer wiederkehrende kartographische Aufgaben rasch und in stets gleichbleibender Form zu lösen“ [ASCHENBRENNER 1989, S. 23]. Er verweist auf Daten aus der amtlichen Statistik und hebt besonders Bevölkerungsdaten als Anwendungsgebiet hervor. ASCHENBRENNER zitiert ARNBERGER [1977] als Vertreter der These, dass vor allem die Punktstreuungsdarstellung für die Computerkartographie geeignet ist.

ASCHENBRENNERS Methode bietet einen entscheidenden Vorteil – die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Nur so ist eine kartographisch sinnvolle Automatisierung zu erreichen. Die technischen Möglichkeiten der damaligen Zeit beschränken jedoch die visuelle Qualität der von ASCHENBRENNER erreichten Ergebnisse. Als gleichwertig zu manuell konstruierten Punktstreuungskarten sind sie nicht anzusehen. Ein weiterer Nachteil ist die Voraussetzung von kartographischer Erfahrung, da sich die Methode lediglich auf die Bestimmung der Punktpositionen bezieht und die Festlegung des Punktwertes als gegeben voraussetzt.

4.5 DITZ [2000] – neue Ideen zu digitalen Punktstreuungskarten

DITZ nennt, wie bereits erwähnt, als wesentliche Faktoren zur Konstruktion einer Punktstreuungskarte die Festlegung von:

- Punktwert,
- Punktgröße und
- Anzahl der Punkte.

Für die Platzierung der Streuungspunkte empfiehlt er, sich an den tatsächlichen Verbreitungsflächen zu orientieren. Er regt an, auch andere topographische Faktoren in die Punktplatzierung einfließen zu lassen. So sollten z.B. bei der Darstellung von Bevölkerungsdaten größere Gewässerflächen von der Punktplatzierung ausgenommen werden. Für die eindeutige visuelle Trennung benachbarter Punktwolken verringert er die Fläche für die Punktplatzierung am äußeren Rand um den halben Minimalabstand der Punkte untereinander (siehe *Kapitel 3.1*).

DITZ betrachtet in seiner Arbeit die Darstellung von Bevölkerungszahlen. Er beginnt mit der Platzierung der Punkte bei dem Ort mit der höchsten Einwohnerzahl. Dort wird im Schwerpunkt (anstelle der Ortssignatur) der erste Punkt der Punktwolke gesetzt. Danach, so schlägt er vor, ist eine bestimmte Anzahl von Punkten innerhalb eines Umkreises um diesen Schwerpunkt zufällig zu setzen. Bei jedem neu erzeugten Punkt wird dann geprüft, ob er sich innerhalb der Siedlungsfläche befindet und ob der Minimalabstand zu den anderen Punkten eingehalten ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Punkt gelöscht und der Vorgang mit einem neuen Punkt wiederholt. Ist der erste konzentrische Kreis mit den Punkten gefüllt, so wird, falls weitere Punkte aufgrund einer höheren Einwohnerzahl erforderlich sind, ein konzentrischer Kreisring an den ersten Umkreis angefügt und wiederum für die Platzierung einer bestimmten Anzahl von Punkten nach eben beschriebenem Muster genutzt (siehe *Abbildung 4.24*). Ist die Platzierung für alle Siedlungen abgeschlossen, die mittels einer Ortssignatur festgelegt sind, schlägt DITZ vor, die verbleibenden Punkte (Einwohner in Streusiedlungsgebieten) per Zufall in der Siedlungsfläche zu verteilen. Er weist jedoch auch auf die Probleme dieser Vorgehensweise hin. Gerade in Ballungsgebieten werden oft viele Anläufe benötigt, um alle Punkte zu setzen, so dass lange Rechenzeiten entstehen. Zum Teil können auch Endlosschleifen auftreten. Die dann notwendige Verringerung der

Punktgröße kann soweit führen, dass die Punkte zu klein werden, um sie noch wahrnehmen zu können.

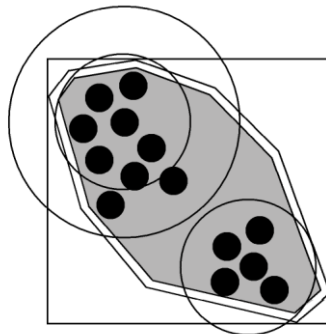


Abbildung 4.24: Zufällige Punktplatzierung der Streuungspunkte [nach DITZ 2000, S. 169]

Dieses Vorgehen wirft einige Fragen auf. Die statistischen Daten scheinen hier keine einheitliche Bezugsgrundlage aufzuweisen. Wenn die Einwohner auf Basis der Gemeindezugehörigkeit erfasst sind, so kann keine quantitative Zuordnung zu Ortschaften innerhalb der Gemeinde erfolgen. Die genaue Anzahl der Punkte innerhalb des ersten, zweiten usw. konzentrischen Kreises um den Schwerpunkt lässt DITZ im Dunkeln. Ein großes Problem wird in diesem Zusammenhang sein, dass der zur Verfügung stehende Platz nicht eindeutig mit einer Anzahl von Punkten gleicher Größe korreliert werden kann. Bei einer zufälligen Punktverteilung wird der Platz nicht optimal genutzt. Eine Aussage über die Punktzahl, bzw. die Entscheidung, ob eine Fläche ‚vollständig besetzt‘ ist, kann nicht getroffen werden. In der von DITZ vorgestellten Methode der Punktplatzierung ist ebenfalls unklar, ob die Anzahl und die Größe der konzentrischen Kreise für alle Ortschaften gleich sind, oder ob sie von der Einwohnerzahl oder vom Siedlungstyp abhängig sind. Die Grundidee, dass sich die Bevölkerung eines Ortes im Zentrum konzentriert, ist nachvollziehbar, was eine Platzierung in konzentrischer Form mit abnehmender Dichte nach außen rechtfertigt.

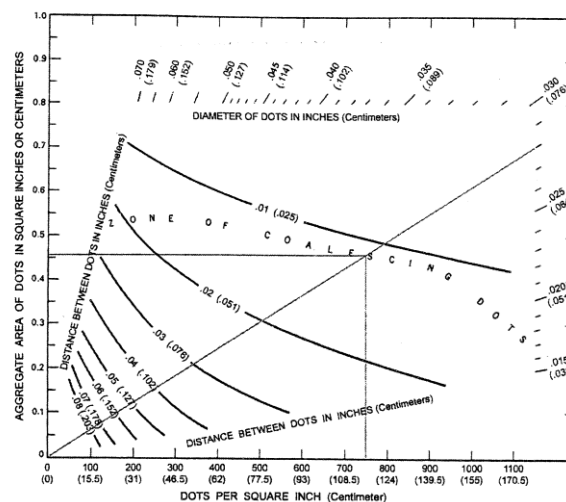
DITZ beschränkt seine Vorschläge zur automatisierten Konstruktion von Punktstreuungskarten auf die Platzierung der Punkte. Die Bestimmung des Punktwertes überlässt er weiterhin dem Bearbeiter, ebenso wie die Wahl der Punktgröße. Besonders problematisch erscheint die fehlende Formalisierung der Punktplatzierung durch eindeutige Kriterien, welche für eine Automatisierung unerlässlich ist. Für die vorliegende Arbeit wurde das Konzept für die Trennung benachbarter Punktwolken oder ‚Punkthäufungen‘ – wie DITZ sie nennt – und die Idee der Ausschlussflächen übernommen und weiterentwickelt.

4.6 KIMERLING [2009] – neue Ideen zur zufallsbasierten Punktplatzierung

KIMERLING bezeichnet als grundlegende Schritte bei der Konstruktion von Punktkarten (er spricht vom ‚Dotmapping‘) das Auswählen der Punktgröße, das Festlegen des Punktwertes und das Platzieren einer dem darzustellenden Wert entsprechenden Anzahl von Punkten, welche die räumliche Verteilung der Objekte ‚richtig‘ wiedergibt. Die Auswahl der Punktgröße bezeichnet er dabei als eine ‚subjektive Entscheidung‘. Im Gegensatz dazu sieht er die Festlegung des Punktwertes als objektiv an, da sie seiner Aussage nach mittels einer graphischen Auswahlhilfe, wie dem MACKAY-Nomogramm [MACKAY 1949], bestimmt wird. Dieses Nomogramm hat KIMERLING genauer untersucht und festgestellt, dass es für die Bestimmung des passenden Punktwertes nicht geeignet ist, wenn die Punktanordnung anhand von computergenerierten Zufallszahlen stattfindet, da diese zu sich überlagernden Punkten führen. In traditionellen Punktkarten wurden die Punkte nach KIMERLINGS Erkenntnis pseudo-zufällig platziert, wobei ein bestimmter Grad an Punktüberlappung zugelassen wurde. Diese pseudo-zufällige Punktplatzierung mit einer Beschränkung der maximalen Punktüberlappung modelliert er, um Punktkarten erzeugen zu können, die den traditionellen Punktkarten ähnlich sind. Für die Platzierung der Punkte favorisiert KIMERLING den Ort, wo die dargestellte geographische Erscheinung am wahrscheinlichsten auftritt. Besonderen Wert legt er darauf, dass Dichteunterschiede innerhalb der Objektverteilung deutlich werden.

Als Grundlage für die Wahl der Punktgröße nennt KIMERLING visuelle Perzeptionsgrenzen und ästhetische Überlegungen. Er verweist auf ROBINSON et al. [1995], die feststellen, dass zu klein gewählte Punkte eine Verteilung zu spärlich und unbedeutend erscheinen lassen, während zu große Punkte eine viel zu hohe Dichte vortäuschen. Ist die Punktgröße erst einmal bestimmt, wird der Punktwert nach KIMERLING entweder durch Probieren oder unter Zuhilfenahme des genannten Nomogramms bestimmt. Das ursprüngliche Nomogramm ist mit englischen Maßeinheiten versehen, neuere Veröffentlichungen, z.B. in [ROBINSON et al. 1995, S. 499-500] sind mit metrischen Einheiten versehen. Abbildung 4.25 zeigt das MACKAY-Nomogramm, ergänzt mit metrischen Einheiten und Eintragungen von KIMERLING. Es wird demnach von Kartographen genutzt, um die Anzahl der Punkte je $inch^2$ bzw. cm^2 der Kartenfläche bei vorgegebenem Punktdurchmesser zu finden. Dabei wird wie folgt vorgegangen: Zuerst wird eine Gerade vom Ursprung zum gewählten Punktdurchmesser

gezogen. Die Skala der Punktdurchmesser ist strahlenförmig im Nomogramm angegeben. Der Punkt, an dem diese gezeichnete Gerade die Zone der verschmelzenden Punkte („Zone of coalescing dots“) durchquert, wird markiert. Von diesem Punkt wird anschließend das Lot auf die horizontale Achse gefällt und so die Anzahl der Punkte je Flächeneinheit bestimmt, ab der die Punkte der vorgegebenen Größe miteinander verschmelzen. Mit diesen Werten können nun die Erhebungseinheiten und die jeweiligen Datenwerte betrachtet werden, um den passenden Punktwert zu bestimmen. Dabei dient vermutlich die Erhebungseinheit mit dem extremsten Verhältnis von Datenwert zu vorhandener Fläche (d.h. ein hoher Datenwert auf, im Vergleich dazu, sehr kleiner Fläche) als Maßstab.



**Abbildung 4.25: MACKAY-Nomogramm mit Ergänzungen durch KIMERLING
[KIMERLING 2009, S. 166]**

KIMERLING bemängelt, das MACKAY-Nomogramm besitze Nachteile bei der Nutzung in der modernen Computerkartographie. Der erste Kritikpunkt ist die Beschränkung der Punktgrößen. So sind mit heutiger Technik bereits Punkte mit einem Durchmesser von 1 pt ($1\text{ Postscript point} = 0,015\text{ inch} = 0,353\text{ mm} = 0,0353\text{ cm}$) gleichmäßig herstellbar. Bei der manuellen Herstellung war das nicht möglich. KIMERLING verweist auf ESRI ArcMap welches Punktgrößen ab $0,5\text{ pt}$ erlaubt. Diese Größen sind im MACKAY-Nomogramm nicht mehr enthalten. Die Skala im Nomogramm beginnt zwar schon bei $0,015\text{ inch}$ bzw. $0,0353\text{ cm}$. Eine Gerade vom Ursprung zu diesem Punktdurchmesser würde die Zone der verschmelzenden Punkte jedoch nicht berühren oder durchqueren. Der zweite Kritikpunkt, den KIMERLING anbringt, ist die Gestaltung der Zone der verschmelzenden Punkte. Anstelle einer flächenhaften bzw. einer geometrisch genauen Eintragung in das Nomogramm ist lediglich ein Schriftzug gegeben, welcher nur eine

ungefähre Abschätzung erlaubt. MACKAY bleibt eine mathematische Herleitung seines Nomogramms schuldig. Lediglich allgemein beschreibt er seine Vorgehensweise. So hat MACKAY die Zone der verschmelzenden Punkte bestimmt, indem er Punkte in ein Quadrat gezeichnet hat. Dabei ging er so vor, dass jeder Punkt in den größten zur Verfügung stehenden Platz gesetzt wurde, bis das gesamte Quadrat mit Punkten gefüllt war, die sich gerade so berühren. Diese Vorgehensweise impliziert nach KIMERLING eine viel glattere Kurve als sie der Schriftzug im Nomogramm zeigt. Als Argument führt er an, dass die Anzahl der Punkte, die zur Füllung des Quadrats notwendig sind, sich quadrieren sollte, sobald der Punktdurchmesser halbiert wird. Das Fehlen der mathematischen Herleitung in MACKAYS Ausführungen ist für KIMERLING der größte Kritikpunkt. Auch die Grundlage der Gestaltung der beiden Achsen und die Entstehung der strahlenförmigen Skala der Punktdurchmesser werden nicht erläutert. KIMERLING meint jedoch, den mathematischen Ursprung erkennen zu können. Er vermutet, das Nomogramm zeigt eine graphische Umsetzung der Formel:

$$\text{Punktfläche} \times \text{Punktdichte} = \text{Gesamtfläche der Punkte}$$

Als bemerkenswert bezeichnet er die Tatsache, dass diese Gleichung (und damit auch das Nomogramm) nur Gültigkeit besitzt, wenn die Punkte sich nicht überlappen. KIMERLING nennt als Beispiel für eine computertechnische Umsetzung dieser pseudozufälligen Punktplatzierung ohne Überlappung LAVIN [1986] (s.o.). Er weist außerdem darauf hin, dass die meisten Punktplatzierungsalgorithmen nicht auf diese Art und Weise funktionieren, da dort die Punktkoordinaten auf Zufallszahlen basieren. Als Beispiel dafür nennt er DUTTONS [1978] Algorithmus zur zufallsbasierten Koordinatenbestimmung der Streuungspunktmittelpunkte. Daraus leitet KIMERLING ab, dass das MACKAY-Nomogramm nicht geeignet ist für die Bestimmung von Punktparametern, wenn die Koordinaten auf Zufallszahlen basieren, da sich die Punkte dann auch überlappen. Er setzt sich zum Ziel, einen Algorithmus zu entwickeln, der die Gesamtpunktfläche und die Häufigkeit von Punktüberlappungen mit Mitteln der Wahrscheinlichkeitstheorie modelliert.

Dafür zieht er SOLOMON [1967] heran. Dieser vergleicht die Konstruktion einer Punktkarte mit dem zufälligen Füllen von Quadraten mit Kreisen. KIMERLING überträgt diese Aussage auf das Fallen von Münzen in ein Einheitsquadrat. Dabei entspricht die Wahrscheinlichkeit, dass eine Münze auf eine bestimmte Fläche innerhalb des Einheitsquadrates fällt, dem Anteil dieser Fläche an der Gesamtfläche des Einheits-

quadrates. Die Münzen stehen dabei für die Punkte, die platziert werden. KIMERLING leitet aus diesen Überlegungen eine verkürzte Einheitsgleichung (unification equation) her, mit der er vorausbestimmen kann, wie viel Fläche die Punkte insgesamt einnehmen werden, wenn eine bestimmte Anzahl von Punkten in das Einheitsquadrat gezeichnet werden. Die Punkte sollen dabei zufällig platziert sein, es kann also auch zu Überlagerungen kommen. Werden die so berechneten Größen in ein Diagramm gefasst, welches die Gesamtfläche der Punkte mit der Anzahl der zufällig platzierten Punkte verknüpft, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie im MACKAY-Nomogramm. Doch die Werte unterscheiden sich. Während sich im MACKAY-Nomogramm für eine Punktgröße von 2 pt eine Punktzahl von 116 sich nicht überlappenden Punkten ergibt, zeigt das neue Diagramm laut KIMERLING eine Anzahl von ca. 160 Punkten. Die Differenz interpretiert er als Maß für die Häufigkeit von Punktüberlagerungen. Die von ihm (zu Recht) kritisierte nebulöse Zone der verschmelzenden Punkte im MACKAY-Nomogramm soll durch eine quantitative Bestimmung der Punktüberlappung ersetzt werden. Demnach ist dies recht einfach zu implementieren. Tatsächlich ist die vorgeschlagene Berechnung sehr einfach. Es wird die Fläche, welche die Punkte insgesamt einnehmen, wenn sie sich nicht überlappen, als Ausgangswert genommen und davon die durch die verkürzte Einheitsgleichung berechnete Gesamtpunktfläche abgezogen. Die Differenz entspricht dann der Fläche, auf der sich Punkte überlappen. Multipliziert man diesen Wert mit 100 erhält man den prozentualen Anteil der Punktüberlappung.

Um die Aussagen der verkürzten Einheitsgleichung hinsichtlich der Gesamtpunktfläche zu überprüfen, entwickelte KIMERLING ein Verfahren, bei dem die gemessenen Werte einer tatsächlichen Punktverteilung mit den berechneten Werten aus der Gleichung verglichen werden. Er geht wie folgt vor: Zunächst werden mithilfe eines C-Programms Punktkoordinaten erzeugt. Die so erzeugten Koordinatenpaare werden normiert, damit sie in das Einheitsquadrat fallen. Die Punktkoordinaten werden anschließend in Excel importiert und daraus ein Scatterplot erzeugt, der die Punktwolke in Form kleiner Rauten wiedergibt. Diese Punktwolke wird in Freehand importiert und dort weiterbearbeitet. Die Rauten werden durch Punkte mit einem bestimmten Durchmesser ersetzt. Punkte, die über die Kanten des Einheitsquadrates hinausragen, werden kopiert und auf der gegenüberliegenden Seite wieder eingefügt, so dass die überstehende Punktfläche nicht verloren geht. Dieser Schritt ist, wie KIMERLING bemerkt, sehr zeitaufwändig. Die so in Freehand bearbeiteten Punktverteilungen wurden in Photoshop

überführt und dort mit Hilfe des Histogramms die Gesamtpunktfläche bestimmt. KIMERLING weist darauf hin, dass durch graue Randpixel der Punkte auch hellere Grauwerte als ‚Punkt‘ angesehen werden müssen und das Histogramm entsprechend zu interpretieren ist. Dadurch wird die Frage aufgeworfen, warum KIMERLING die grauen Randpixeln nicht einfach aus dem Rasterbild entfernt bzw. deren Entstehung von vornherein unterbindet, da sie lediglich Ergebnis des Anti-Aliasing sind. Es könnte z.B. auf eine 1-Bit-Darstellung (schwarz-weiß) zurückgegriffen werden. Damit würde das Histogramm eindeutig interpretierbar. Die von KIMERLING ausgeführten Arbeitsschritte zeigt Abbildung 4.26.

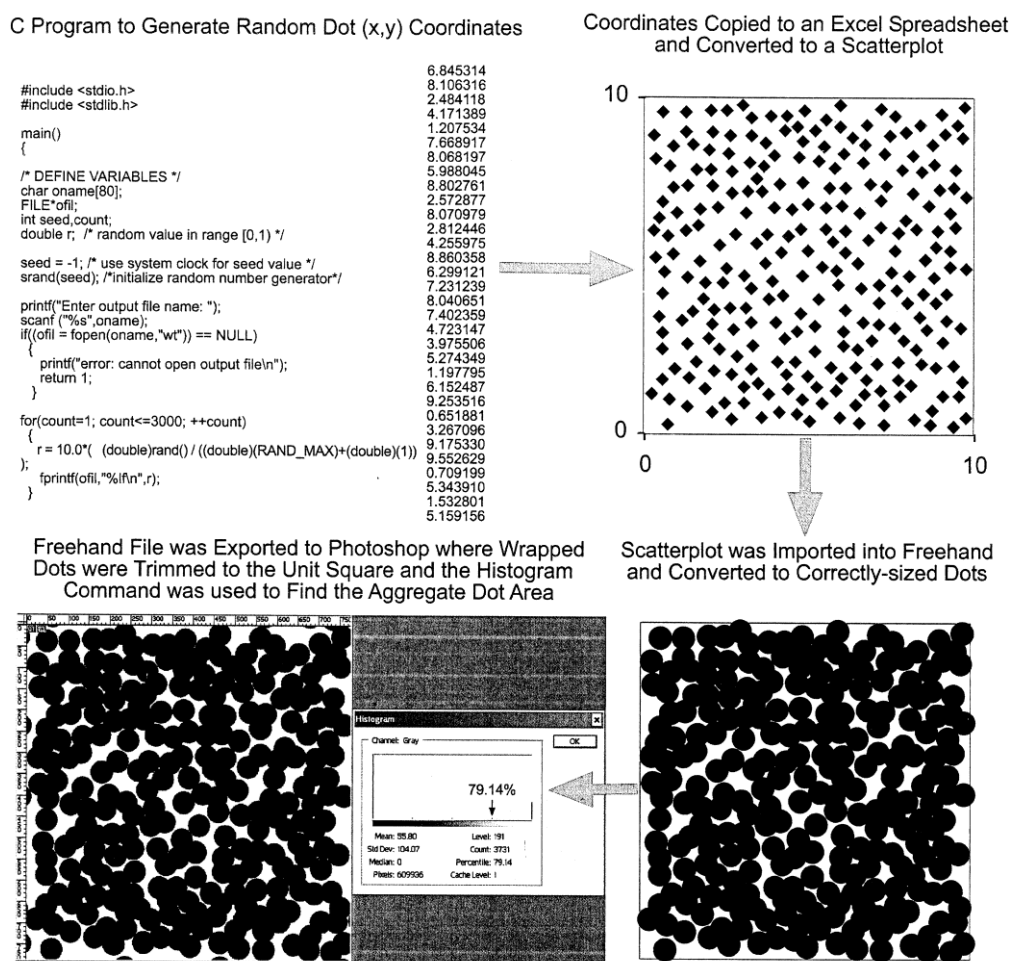


Abbildung 4.26: Schritte zur Erzeugung einer zufälligen Verteilung gleichgroßer Punkte, deren Gesamtpunktfläche als Flächenanteil am Einheitsquadrat bestimmt werden kann [KIMERLING 2009, S. 170]

Mit den so gewonnenen Werten wurde die Genauigkeit der verkürzten Einheitsgleichung für die Überlappungsgrade 10%, 20%, 30%, 40% und 50% in Kombination mit neun verschiedenen Punktgrößen von 1 bis 5 pt überprüft. Das Ergebnis dieser Überprüfung wurde wiederum in ein Diagramm (siehe Abbildung 4.28) eingetragen. Die dabei betrachteten 45 Kombinationen zeigt Abbildung 4.27.

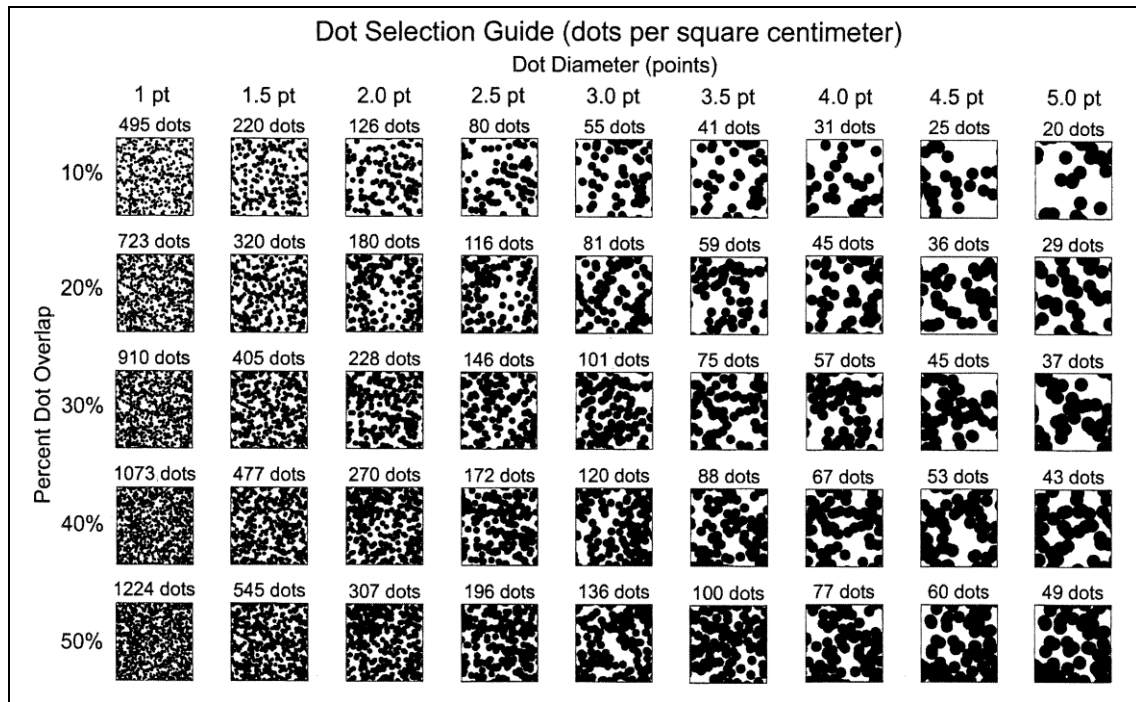


Abbildung 4.27: Berechnete Anzahl von zufällig platzierten Punkten, die benötigt werden, um bei der festgelegten maximalen prozentualen Punktüberlappung ein Einheitsquadrat zu füllen. [KIMERLING 2009, S. 171]

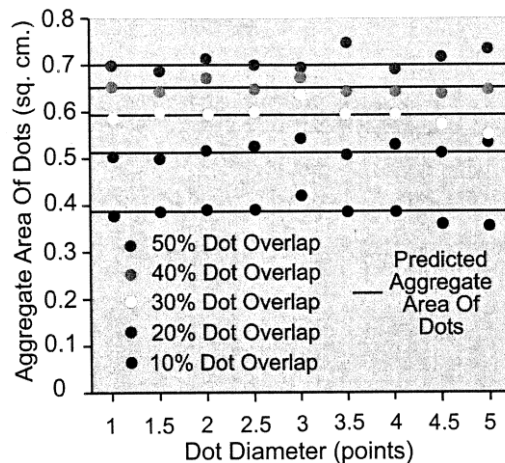


Abbildung 4.28: Gemessene und berechnete Gesamtpunktfläche für 45 Kombinationen aus Punktgröße und prozentualer Punktüberlappung (siehe Abbildung 4.27) [KIMERLING 2009, S. 172]

Das Ergebnis des Vergleichs zwischen gemessenen (Punkte in Abbildung 4.28) und berechneten (Geraden in Abbildung 4.28) Werten beschreibt KIMERLING folgendermaßen: Bei kleinen Punktdurchmessern, die zu vielen Punkten im Einheitsquadrat führen, ist die Vorhersage durch die verkürzte Einheitsgleichung ziemlich genau. Bei steigendem Punktdurchmesser und damit verbunden weniger Punkten im Einheitsquadrat weichen Vorhersage und Messung bis zu 5% voneinander ab.

Um die Abweichungen zwischen berechneter und gemessener Gesamtpunktfläche im Bereich der größeren Punktdurchmesser genauer zu untersuchen, führt KIMERLING einen weiteren Test durch. Dabei werden 25 Einzelversuche durchgeführt, jeweils 55

zufällig platzierte Punkte in ein Einheitsquadrat zu setzen. Die Punkte haben dabei einen Durchmesser von 3 *pt*. Die Arbeitsschritte sind dieselben wie in Abbildung 4.26. Der einzige Unterschied zum vorherigen Test besteht darin, dass angeschnittene Punkte nicht kopiert und auf der gegenüberliegenden Seite wieder eingefügt werden. KIMERLING begründet diese Entscheidung mit dem hohen Aufwand und dem sehr geringen Effekt dieser Punkte. Er beziffert ihn auf einige wenige Zehntelprozent der letztendlich zu bestimmenden Gesamtpunktfläche. Das Ergebnis des zweiten Tests zeigt Abbildung 4.29.



Abbildung 4.29: Gesamtpunktfläche für 25 Versuche mit jeweils 55 zufällig platzierten Punkten (Durchmesser 3 *pt*) in einem Einheitsquadrat bei 10% Punktüberlappung [KIMERLING 2009, S. 173]

Die in den 25 Versuchen bestimmten Gesamtpunktflächen variieren zwischen 0,363 und 0,406. Der Mittelwert ist 0,389. Damit ist der Mittelwert sehr nah an dem mittels der verkürzten Einheitsgleichung bestimmten Wert von 0,385. KIMERLING schlussfolgert daraus, dass die Vorhersage der verkürzten Einheitsgleichung genauer ist, je mehr Versuche mit dem Einheitsquadrat in die Mittelwertbildung einfließen.

Er weist darauf hin, dass bei der manuellen Konstruktion von Punktkarten die Punkte keinesfalls rein zufällig gesetzt wurden, sondern darauf geachtet wurde, dass sich die Punkte nicht überlappen. Daher betrachtet er diese Arbeitsweise als pseudo-zufällige

Punktplatzierung mit maximaler Beschränkung der Punktüberlappung. Das MACKAY-Nomogramm wurde für diese Art der Punktplatzierung entworfen und ist demnach auch nur für diese, im Sinne der Wahrscheinlichkeit ‚sich gegenseitig ausschließende‘, Punktplatzierung einsetzbar. Pseudo-zufällige Punktplatzierungen können demnach einen festgelegten maximalen Grad an Punktüberlappung aufweisen, wobei von sich gegenseitig ausschließender Platzierung bis völlig zufälliger Punktplatzierung (maximal 100% Punktüberlappung sind zulässig) alle Abstufungen auftreten können. Eine maximale Punktüberlappung von 10% würde demnach bedeuten, dass bis zu 10% der Fläche eines Punktes durch einen zweiten Punkt verdeckt sein kann. Wenn die maximale Punktüberlappung steigt, bilden sich zunehmend Häufungen von Punkten (siehe dazu Abbildung 4.30).

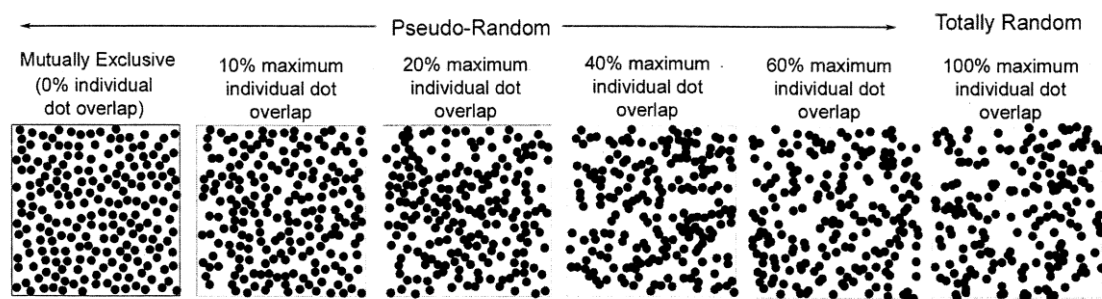


Abbildung 4.30: Überlappungsgrade bei zufälligen Punktplatzierungen [KIMERLING 2009, S. 174]

Laut KIMERLING ist die Berechnung einer maximal zulässigen Punktüberlappung möglich, wenn die Beziehung zwischen der Linsenfläche (Fläche eines Punktes, die von einem anderen Punkt verdeckt wird) und dem Radius beider Punkte (R) sowie der Entfernung beider Punktmitten voneinander (d) bekannt ist. KIMERLING verweist hier auf LAVIN [1986] und WEISSTEIN [2008] und nennt die Formel:

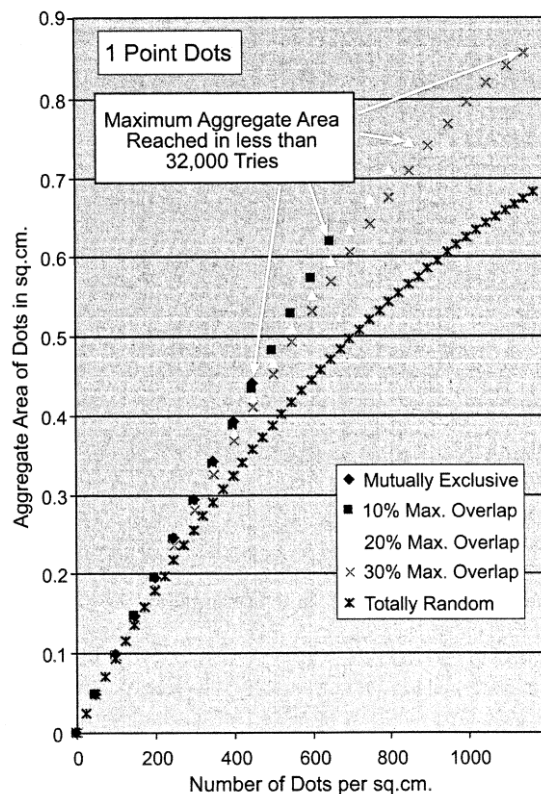
$$Area_{Lens} = 2R^2 \cos^{-1}\left(\frac{d}{2R}\right) - \frac{1}{2}d\sqrt{4R^2 - d^2}$$

Als Arbeitsschritte eines Algorithmus zur Berechnung pseudo-zufälliger Punktkoordinaten mit einer Beschränkung der maximalen Punktüberlappung nennt KIMERLING folgende Punkte:

- Festlegung der Anzahl benötigter Punkte und des minimalen Abstands d zwischen den Punktmitten
- Anlegen zweier zunächst leerer Speicherfelder für die Speicherung der x - und y -Koordinaten

- Erzeugen der x - und y -Koordinaten der ersten Punktmitte mit Hilfe eines Zufallsgenerators und Speichern der Werte im zuvor angelegten Speicherfeld
- Erzeugen eines zweiten x - y -Koordinatenpaars und Bestimmen der euklidischen Distanz zum bereits vorhandenen Punkt
- Ist die berechnete Distanz größer als die zuvor festgelegte (d) wird das neue Koordinatenpaar ebenfalls gespeichert. Ist die berechnete Distanz kleiner als d werden die Koordinaten gelöscht und ein neues Koordinatenpaar zufällig erzeugt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis entweder ein passendes Koordinatenpaar gefunden oder eine maximale Anzahl von Versuchen erreicht ist.
- Für alle weiteren Koordinatenpaare wird der vorherige Schritt durchgeführt. Bei der Bestimmung der Distanz werden alle bereits vorhandenen Koordinatenpaare berücksichtigt.

Auf Grundlage dieser Anforderungen stellt KIMERLING ein Verfahren vor, welches pseudo-zufällige Punktverteilungen für Punktgrößen von 1 bis 2,5 pt und maximalen Punktüberlappungen von 0%, 10%, 20% und 30% berechnet. Die Anzahl der Punkte, die insgesamt gesetzt wird, wurde für eine maximale Punktüberlappung von bis zu 30% jeweils um 50 erhöht. Für völlig zufällige Punktverteilungen wurde die Punktzahl jeweils um 25 erhöht. Die Anzahl der Versuche, bis ein neuer Punkt gefunden sein muss, legt KIMERLING auf 32000 fest. Diese Zahl vermittelt einen Eindruck vom Rechenaufwand dieses Verfahrens. Sobald das angelegte Speicherfeld mit der gewünschten Anzahl an Punkten gefüllt ist, wird der Abstand aller Punkte untereinander bestimmt. Ist der Abstand kleiner als d wird die Linsenfläche und der prozentuale Anteil der Punktüberlappung berechnet. Durch Aufsummieren wird die Gesamtfläche der Überlappung bestimmt. KIMERLING beschränkt die Betrachtungen auf Punktpaarüberlappungen, unter der Annahme, dass dreifache, vierfache oder höhere Überlappungen vernachlässigbar sind. Die Ergebnisse für Punkte mit einem Durchmesser von 1 pt zeigt Abbildung 4.31.



mutually exclusive
= sich gegenseitig ausschließend

max. overlap
= maximale Punktüberlappung

totally random
= vollkommen zufällig

steigende Gesamtpunktzahl für pseudo-zufällig platzierte Punkte: 50er Schritte

steigende Gesamtpunktzahl für vollkommen zufällig platzierte Punkte: 25er Schritte
→ für Vergleichszwecke eingetragen

Abbildung 4.31: Gemessene Gesamt-punktfläche für pseudo-zufällig platzierte Punkte (Durchmesser 1 pt) mit unterschiedlicher maximaler Punktüberlappung [KIMERLING 2009, S. 175]

Nach KIMERLING bilden die Punkte der sich gegenseitig ausschließenden Punkte (0% Überlappung) eine Gerade. Mit wachsender maximaler Punktüberlappung entstehen immer stärker gekrümmte geglättete Kurven. KIMERLING nimmt an, dass die Krümmung der Kurve für höhere Punktüberlappungsgrade weiter anwachsen wird, bis die Kurve der vollkommen zufälligen Punktplatzierung erreicht ist. Der Versuch wurde jedoch nur bis maximal 30% Überlappung durchgeführt. Sich gegenseitig ausschließende Punkte, wie sie in klassischen Punktstreuungskarten auftreten, untersucht KIMERLING genauer. Er stellt fest, dass mehr Versuche benötigt werden, die Punkte zu platzieren, je mehr Punkte insgesamt gesetzt werden sollen. Für Punkte mit einem Durchmesser von 1 pt erweist sich die Anzahl von 500 Punkten je cm^2 als Grenzwert. Die Anzahl der Versuche steigt exponentiell mit der Anzahl der Punkte, wie Abbildung 4.32 zeigt.

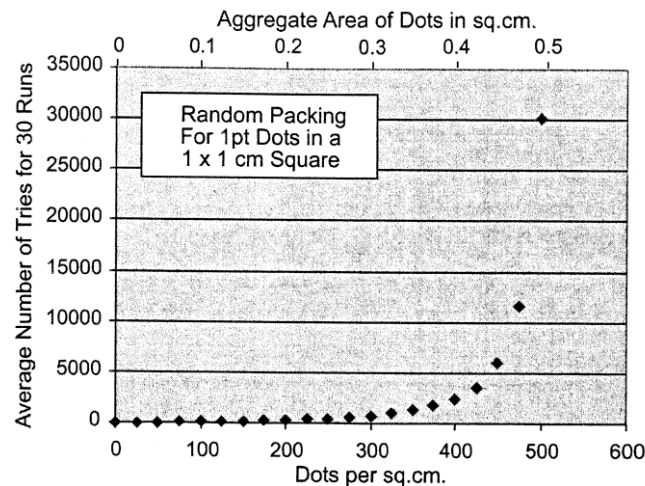


Abbildung 4.32: Anzahl der Versuche zur Platzierung sich gegenseitig ausschließender Punkte (Durchmesser 1 pt) bei steigender Punktdichte im Einheitsquadrat; Mittelwerte aus jeweils 30 Testdurchläufen [KIMERLING 2009, S. 176]

In diesem Grenzwert erkennt KIMERLING MACKAYS Kriterium zur Festlegung der Grenze der verschmelzenden Punkte. Diese Erkenntnis verwundert KIMERLING vor dem Hintergrund, dass MACKAY sein Nomogramm für sich gegenseitig ausschließende Punktverteilungen entwickelt hat, nicht. Allerdings zeigt er sich überrascht, dass der gefundene Grenzwert sich nur für Punkte mit einem Punktdurchmesser von 2 pt und größer im Nomogramm wiederfinden lässt. Für kleinere Punkte sinkt der Wert der Gesamtfläche auf etwa 0,25 im Nomogramm. Das verwundert, da der Wert von 0,5 für kleine Punkte mit einem Durchmesser von 1 pt gefunden wurde.

KIMERLING führt den oben beschriebenen Test (vgl. auch Abbildung 4.31) ebenfalls für die Punktgrößen von 1,5 pt, 2 pt und 2,5 pt durch. Die Gegenüberstellung der Graphen zeigt bei entsprechender relativer Skalierung (für bessere Vergleichbarkeit), dass ähnliche Kurven entstehen (siehe Abbildung 4.33). KIMERLING schließt daraus, dass es eine allgemeine Gleichung geben muss, welche die Punktgröße, die Punktdichte (Anzahl der Punkte je cm^2) und die maximale individuelle Punktüberlappung miteinander verknüpft. Er bezeichnet die Fähigkeit, die Gesamtpunktfläche mit einer einzigen Gleichung vorherzubestimmen, als entscheidend für die Entwicklung einer Software, die Punktkarten mittels pseudo-zufälliger Punktverteilung erzeugt.

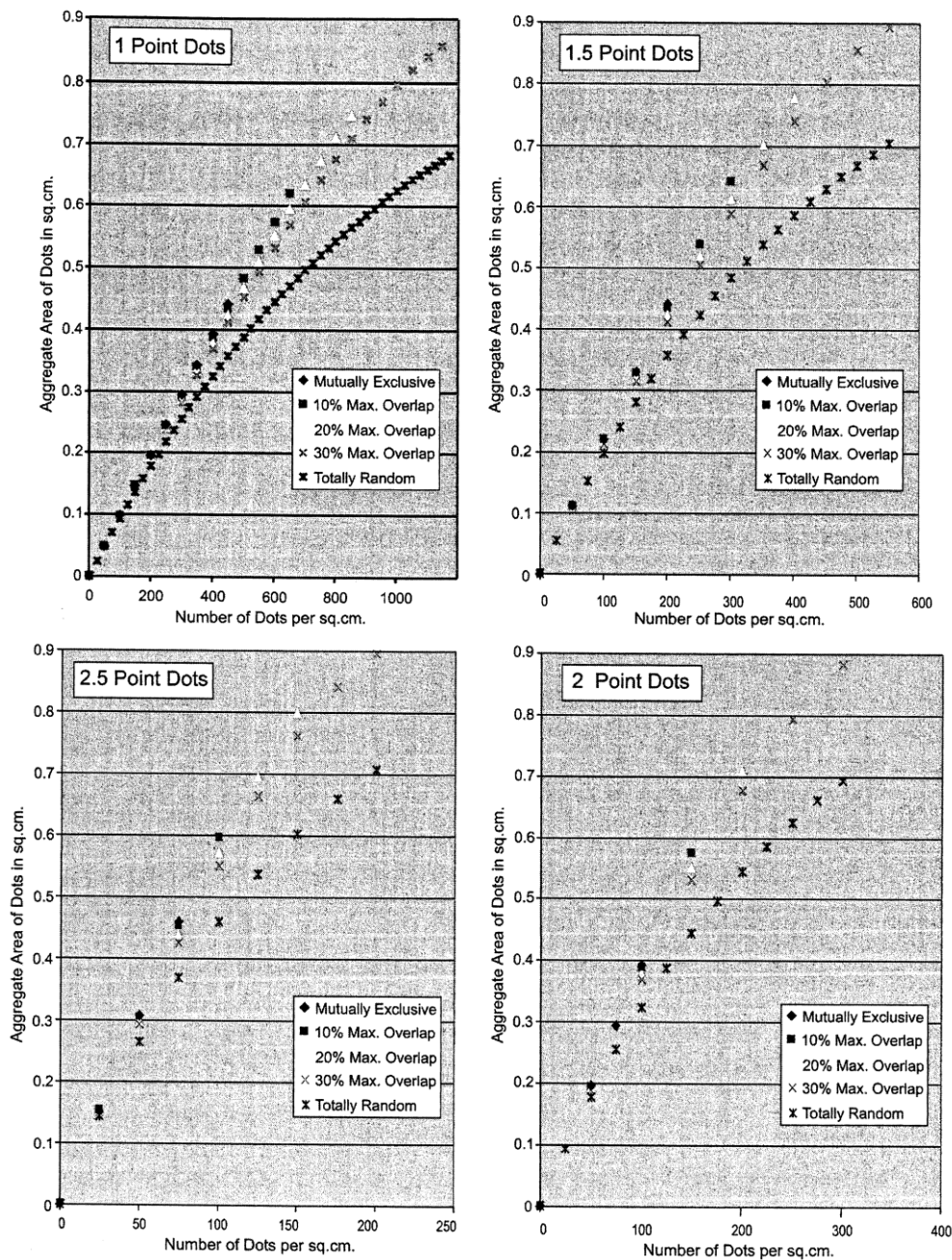


Abbildung 4.33: Gesamt-punktfläche und Anzahl der Punkte je cm^2 für verschiedene prozentuale Überlappungsgrade und die Punktgrößen 1 pt, 1,5 pt, 2 pt und 2,5 pt [KIMERLING 2009, S. 177]

Für die Bestimmung der Gesamt-punktfläche schlägt KIMERLING eine gewichtete Kombination der Berechnungsformel für die Gesamt-punktfläche bei sich gegenseitig ausschließenden Punkten und der Formel für völlig zufällige Punktverteilungen vor. Dabei ist allerdings nicht klar, zu welchem Wert der Gewichtungsfaktor proportional ist. KIMERLING nennt verschiedene Möglichkeiten, z.B. das der Gewichtungsfaktor direkt proportional zur maximal zulässigen Punktüberlappung ist oder proportional zum minimalen Abstand d zwischen Punktmitten für die maximal zulässige Punktüberlappung. Er stellt fest, dass keine der Möglichkeiten über eine solide Basis in der

Wahrscheinlichkeitstheorie verfügt. Daher entscheidet er sich nach empirischem Befund für die letztgenannte Möglichkeit – die Proportionalität zum Abstand der Punktmitten. Nach KIMERLING liefert sie eine doppelt so gute Übereinstimmung wie die erste Variante. Abbildung 4.34 zeigt die Ergebnisse aus Abbildung 4.33 mit zusätzlicher Angabe der per Gleichung vorher bestimmten Gesamtpunktflächen.

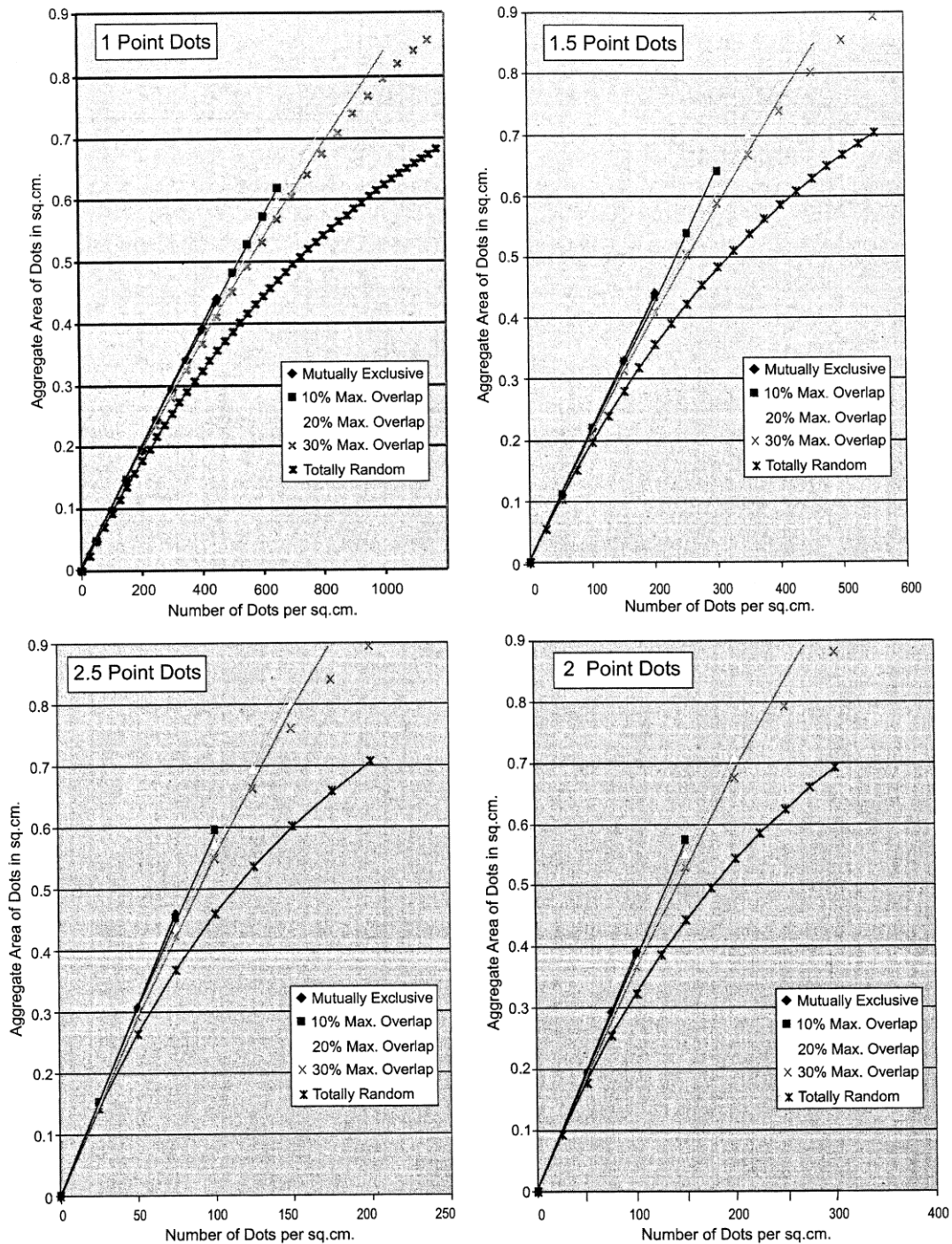


Abbildung 4.34: Vergleich zwischen gemessener (Punkte) und vorher bestimmter (Linien) Gesamtpunktfläche für verschiedene prozentuale Überlappungsgrade und die Punktgrößen 1 pt, 1,5 pt, 2 pt und 2,5 pt [KIMERLING 2009, S. 178]

Laut KIMERLING ist die genaue Übereinstimmung bei den sich gegenseitig ausschließenden Punkten (Rauten in Abbildung 4.34) erwartungsgemäß. Für die Berechnung kommt hier die vereinfachte Gleichung zum Einsatz. Alle anderen Überlappungsgrade zeigen ebenfalls sehr gute Übereinstimmungen bis zu einer Gesamtpunktfläche von $0,6 \text{ cm}^2$, d.h. einer Punktbedeckung von 60%. Für Punktüberlappungen von maximal 10% bzw. 20% ist die Abweichung auch darüber sehr gering. Lediglich die Werte für eine maximale Überlappung von 30% zeigen deutliche Abweichungen zwischen Messung und Berechnung.

KIMERLING ermittelt daraus die maximal erreichbaren Gesamtpunktflächen in Abhängigkeit vom maximal zulässigen Überlappungsgrad. Dabei stellt er fest, dass bis zu 85% der Fläche mit Punkten bedeckt sein kann, die sich nur zu maximal 30% überlappen. Er schlägt vor, einen stufenweisen Ansatz zu entwickeln. Dabei sollen Spannweiten ermittelt werden für verschiedene maximale Überlappungsgrade, die es ermöglichen, eine größere Gesamtpunktfläche mit weniger Versuchen zu erzeugen. Dafür führt er Tests durch, die in Abhängigkeit vom maximalen Überlappungsgrad die Anzahl der Versuche ermitteln, die benötigt wird, um eine bestimmte Anzahl an Punkten zu setzen und damit eine entsprechende Gesamtpunktmenge zu erzeugen. An dieser Stelle bleibt KIMERLING die Erklärung schuldig, warum eine bestimmte Anzahl von Punkten genau einer Gesamtpunktfläche zugeordnet werden kann, wenn lediglich ein maximaler Überlappungsgrad bekannt ist. Das sollte nur bei sich gegenseitig ausschließenden Punkten möglich sein. Mithilfe dieser Versuche ermittelt KIMERLING für jeden Überlappungsgrad (von 0% bis 30% in 10er Schritten) die Anzahl von Punkten und die Gesamtpunktfläche, die mit 5000 Versuchen aus einem Mittel von 30 Testdurchläufen ermittelt werden. Dieser Wert markiert die Obergrenze einer Stufe. Die Untergrenze ist jeweils die Punktzahl, die mit 5000 Versuchen und dem nächst kleineren Überlappungsgrad erreicht wird. Daraus entwickelt KIMERLING eine ‚Auswahlhilfe‘, wie er sie nennt, zur Wahl einer passenden Punktgröße für verschiedene Punktdichten und Überlappungsgrade (siehe Abbildung 4.35).

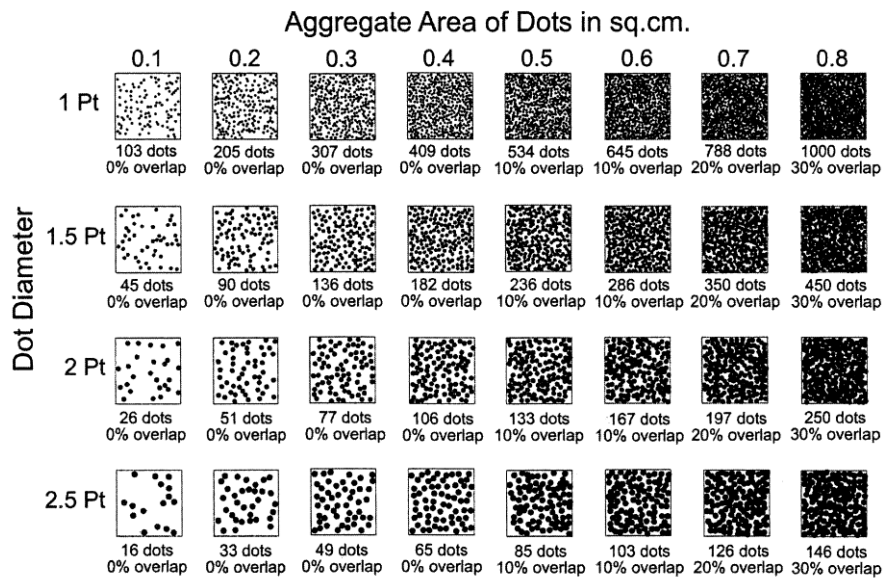


Abbildung 4.35: Auswahlhilfe für pseudo-zufällige Punktanordnungen für die Punktgrößen von 1 pt bis 2,5 pt und Gesamtpunktflächen in Schritten von 0,1 [KIMERLING 2009, S. 180]

Der stufenweise Ansatz soll dazu führen, die Punktplatzierung schneller durchführen zu können. Die Verringerung der maximal notwendigen Versuche von 32000 auf 5000 ist ein beachtlicher Fortschritt. Dennoch erscheinen 5000 Versuche als eine recht hohe Anzahl.

Auf Grundlage der ermittelten Stufen leitet KIMERLING eine Funktion ab, welche für Punkte mit einem Durchmesser von 1 pt die maximale Punktüberlappung und die Punktdichte miteinander verbindet. Dies erreicht er, indem er die Stufen und die zugehörigen Punktdichten auf Millimeterpapier zeichnet und eine stetige Kurve durch die Abschnitte zeichnet. Diese Kurve wird anschließend mit einer Software in ein Polynom umgewandelt, welches den Graphen am besten approximiert. Die gefundene Gleichung ist laut KIMERLING:

$$\text{Punktüberlappung} = 0.008 \times \text{Punktdichte} + 0.00002 \times \text{Punktdichte}^2$$

Nach KIMERLING ist es ohne Probleme möglich, eine entsprechende Gleichung für andere Punktgrößen zu finden. Mit Hilfe dieser Formel berechnet er die Gesamtpunktfläche und die maximale prozentuale Punktüberlappung für verschiedene Punktzahlen von 50 bis 1150 Punkten je cm^2 . Das Ergebnis ist eine weitere Auswahlhilfe (siehe Abbildung 4.36)

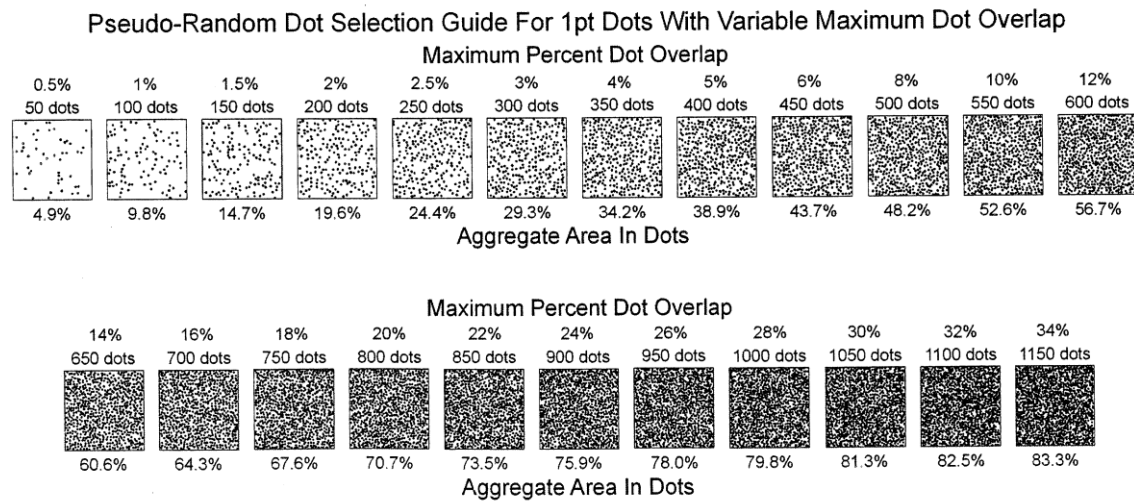


Abbildung 4.36: Auswahlhilfe für pseudo-zufällige Punktanordnungen für die Punktgröße 1 pt und 23 Punktzahlen und Punktdichten [KIMERLING 2009, S. 181]

KIMERLING hebt hervor, dass die neue Auswahlhilfe für eine kontinuierlich wachsende maximale Punktüberlappung graphische Beispiele liefert und so der Kartograph die gewünschte Punktballung aus einer Vielzahl von Beispielen wählen kann. Gleichzeitig ist auch das Punktverhalten in weniger dicht besetzten Bereichen sichtbar. Es erschließt sich nicht, warum diese zweite Auswahlhilfe eine Bereicherung für den Kartographen sein soll, da – wie KIMERLING mehrfach anmerkt – Kartographen Punkte zwar in pseudo-zufälliger Manier setzen, diese sich aber niemals überlappen. Insofern ist eine maximale prozentuale Punktüberlappung von mehr als 0% schon nicht mehr zulässig und damit überflüssig.

KIMERLING weist darauf hin, dass eventuell Experten auf dem Gebiet der Wahrscheinlichkeitsrechnung den Zusammenhang zwischen der zufälligen Platzierung von Punkten und dem Eintreten von Ereignissen weiter untersuchen sollten. Dennoch ist er überzeugt, dass MACKAY die Auswahlhilfen als vertraut empfinden würde, insbesondere die, welche einen stufenweisen Ansatz verfolgen (Abbildung 4.35 und Abbildung 4.36). KIMERLING sieht seine Auswahlhilfen als geeignete Hilfsmittel bei der computergestützten Herstellung von Punktkarten in einem GIS. Es ist nicht nachvollziehbar, inwieweit die vorgestellten Methoden zu einer computergestützt hergestellten Punktkarte führen sollen, die einer klassischen Punktkarte hinsichtlich Lesbarkeit und damit Aussagekraft in nichts nachsteht. Jegliche Punktüberlappung ist für eine Punktstreuungskarte im klassischen Sinne abzulehnen. Handelt es sich jedoch um Punktdichtekarten, welche lediglich überblicksartig einen Eindruck unterschiedlicher Objektballungen im Raum wiedergeben sollen, so kann dieser Ansatz als Bereicherung angesehen werden. Große Nachteile zufallsbasierter Verfahren sind

jedoch die nicht vorhersagbare Platzausnutzung und die fehlende Reproduzierbarkeit. Durch die sich bei jedem neuen Erstellen verändernde Punktplatzierung (trotz gleicher Ausgangsdaten) kann unmöglich eine verlässliche Aussage über die Anzahl möglicher Punkte innerhalb einer vorgegebenen Fläche getroffen werden. Dadurch ist eine funktionale Verknüpfung von Fläche, Punktgröße und Punktwert, wie sie für die Automatisierung des Konstruktionsprozesses unerlässlich ist, unmöglich. Für den Entwurf von Punktstreuungskarten im Sinne dieser Arbeit kann der Ansatz aus den genannten Gründen keinen Eingang finden.

4.7 Stippling – Punktplatzierung in der Computergraphik

Stippling ist ein Verfahren zur Erzeugung von Halbtönen, das in der Computergraphik angewendet wird. Es wird u.a. in [STROTHOTTE/SCHLECHTWEG 2002, S. 60 - 71] beschrieben. Um eine Fläche mit einem vorgegebenen Halbton zu füllen, werden gleichmäßig kleine Punkte („stipples“) gesetzt (siehe Abbildung 4.37). Dabei ist der Bedeckungsgrad der Fläche durch den geforderten Halbton vorgegeben. Die Punkte sollen so gesetzt werden, dass keine Artefakte entstehen, daher wird eine zufallsbasierte Punktplatzierung genutzt. Für die Erzeugung eines Halbtons mittels Punkten gelten einige Voraussetzungen (vgl. [STROTHOTTE/SCHLECHTWEG 2002]). So sollen in weißen oder sehr hellen Gebieten keine Punkte gesetzt werden. Die Punkte sollen sich stets innerhalb des Objektes befinden, das schattiert werden soll. Die unterschiedlichen Halbtöne werden entweder durch Anpassung der Punktzahl oder der Punktgröße erzeugt.

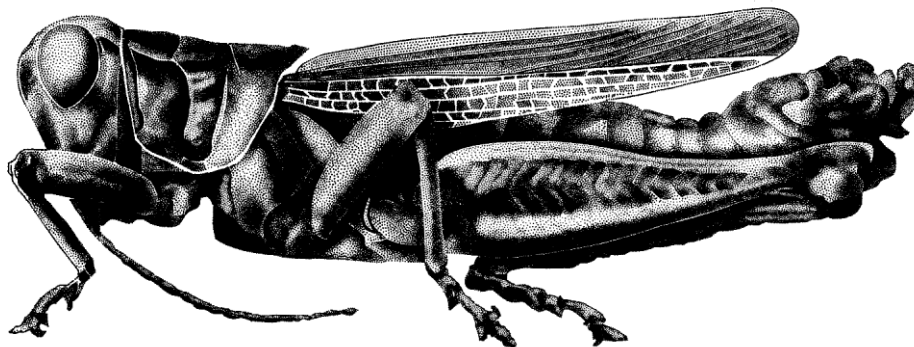


Abbildung 4.37: Durch Stippling erzeugtes Halbtonbild [STROTHOTTE/SCHLECHTWEG 2002, S. 17] Eine Methode, ein Bild durch Stippling zu erzeugen, ist die sogenannte ‚rejection method‘. Dabei wird die gewünschte Punktdichte (der gewünschte Halbton) als räumliche Oberfläche betrachtet, deren Höhe zwischen 0 und 1 variiert. Es wird

zunächst eine zufällige Punktverteilung erzeugt. Anschließend wird jeder Punkt getestet, ob er in der Verteilung verbleiben soll. Dafür wird eine Zufallszahl bestimmt, die ebenfalls zwischen 0 und 1 liegt. Falls diese Zufallszahl an der Position des Punktes kleiner ist als die Oberfläche der Punktdichte, bleibt der Punkt erhalten. Andernfalls wird er verworfen. Auf diese Art und Weise bleiben in Gebieten mit hoher Dichteanforderung (dunklerer Halbton, hohe Dichteoberfläche) mehr Punkte erhalten als in den Gebieten geringer Dichte. Die so ausgedünnte Punktverteilung wird anschließend häufig nochmals mit einer zufälligen Punktverschiebung (z.B. über einen ‚Jitter-Brush‘) bearbeitet.

Ausgangspunkt für Stippling ist stets eine vorgegebene Punktdichte. Daran wird die Punktanzahl und –größe angepasst. In der Punktmethode geht es jedoch hauptsächlich um die Darstellung von Absolutwerten. Dichteinformationen werden nur indirekt wiedergegeben und stehen am Anfang des Kartenentwurfs noch nicht fest. Da die genaue Anzahl der Punkte im Stippling nicht explizit genutzt wird, ist das Verfahren für Punktstreuungskarten nicht geeignet.

4.8 Zusammenfassung

Die Betrachtungen zur Punktmethode, die DE GEER [1922] vorstellte, definieren bis heute die kartographischen Ansprüche, die an Punktstreuungskarten gestellt werden. Dazu zählt neben der Platzierung der Punkte auch die Abstimmung von Punktwert und Punktgröße auf den gewählten Maßstab und Zweck der Karte.

Die vorgestellten Automationsansätze beschäftigen sich hauptsächlich mit der Platzierung der Punkte. Lediglich die Arbeiten von HOFMANN [1972] und KLAMT [1972] behandeln auch die Bestimmung des Punktwertes. Die vorgestellten Methoden zur Punktwertbestimmung führen jedoch nicht in jedem Fall zu einem für das gesamte Darstellungsgebiet günstigen Punktwert. Teilweise wird außerdem die Erfahrung des Kartenbearbeiters vorausgesetzt. Da diese nicht als gegeben angesehen werden kann, wird sich die vorliegende Arbeit darauf konzentrieren, den Punktwert anhand der darzustellenden Datenwerte und den zugehörigen Platzierungsflächen automatisch zu berechnen.

Die vorgestellten Verfahren zur Bestimmung der Punktpositionen verfolgen unterschiedliche Ziele. Während KLAMT und HOFMANN auf regelmäßige, möglichst flächendeckende Punktmuster fokussieren, nutzt ASCHENBRENNER [1989] diese, um

daraus nach verschiedenen Auswahlmethoden nur einige Punktpositionen auszuwählen und so eine Art Punktstreuungskarte herzustellen. ASCHENBRENNERS Vorschlag ist jedoch zu sehr auf die damals vorhandenen technischen Möglichkeiten ausgerichtet und erscheint daher heute als sehr umständlich. Das Ergebnis kann dadurch modernen Anforderungen visuell nicht mehr genügen. ASCHENBRENNER arbeitet im Gegensatz zu allen anderen vorgestellten Methoden überwiegend rasterorientiert. DITZ [2000] skizziert eine zufällige Punktverteilung innerhalb verschiedener Platzierungsflächen. Allerdings sind die Angaben zur genauen Bestimmung der Punktpositionen und zur Abgrenzung der Platzierungsflächen zu vage, als das sie in diese Arbeit einfließen können. LAVIN [1986] beschreibt eine zufallsbasierte Punktplatzierung ohne Überlappung. Er konzentriert sich auf die Darstellung von stetigen Daten mittels Punktdichten. Obwohl der Ansatz zur Vermeidung der Punktüberlappung trotz zufälliger Platzierung sehr interessant ist, kann er aufgrund unterschiedlicher Anforderungen an eine Darstellung von diskreten im Gegensatz zu stetigen Daten nicht für Punktstreuungskarten im Sinne dieser Arbeit eingesetzt werden. Auch KIMERLING [2009] beschäftigt sich mit zufallsbasierten Punktverteilungen. Allerdings beschränkt er die gegenseitige Überlappung der Punkte auf feste Werte und überführt die völlig zufällige Punktplatzierung in eine pseudo-zufällige. Die Idee, die Punktüberlappung zu steuern, ist begrüßenswert. Allein der Weg, wie KIMERLING seine Formel dafür herleitet, ist zweifelhaft. Manche Erkenntnisse scheinen lediglich auf visuellen Vergleichen und handgezeichneten Approximationen zu beruhen. Trotz der nicht mehr völligen Zufälligkeit der Punktplatzierung vermag auch KIMERLING keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Punktzahl und Platzierungsfläche herzustellen. Ohne diesen Zusammenhang ist eine Bestimmung von Punktwert und Punktgröße jedoch nicht automatisiert möglich. Das Stippling-Verfahren widmet sich vorrangig der Platzierung von Punkten, die jedoch nur als graphische Elemente zur Erzeugung einer festgelegten Flächendeckung betrachtet werden. Selbst wenn der Punkt als einzeln wirksames Element betrachtet werden sollte, so sind die Voraussetzungen im Vergleich zu Punktstreuungskarten doch gänzlich verschieden. In Punktstreuungskarten ist die genaue Anzahl der Punkte innerhalb der Platzierungsfläche von besonderem Interesse. Beim Stippling ist diese jedoch völlig unbedeutend, solange die gewünschte Flächendeckung damit erreicht werden kann. Aus diesem Grund ist das Stippling-Verfahren nicht ohne großen Aufwand auf den Entwurf einer Punktstreuungskarte anzuwenden.

Es wird daher ein eigener Platzierungsalgorithmus entworfen. Dieser kombiniert den Vorteil der guten visuellen Ergebnisse der zufälligen Punktverteilungen mit der eindeutigen Verknüpfung von Punktzahl und Platzierungsfläche, die nur eine regelbasierte Punktanordnung bieten kann. Für die Bestimmung der Platzierungsfläche werden die Ideen von KLAMT und DITZ zur Verhinderung der Überlappung benachbarter Punktwolken aufgegriffen und die Platzierungsfläche um einen Mindestabstand verkleinert. Für die Bestimmung des Punktwertes wird ein Verfahren entwickelt, welches anhand der maximal möglichen Punktzahl je Platzierungsfläche den bestmöglichen Punktwert berechnet. Insgesamt ist diese Arbeit bestrebt, ein Verfahren zu präsentieren, das ohne kartographische Expertise – möglichst allein aus der Analyse der darzustellenden Daten heraus – zu guten Ergebnissen führen kann.

Kapitel 5

Methode zur automatisierten Konstruktion einer

Punktstreuungskarte

Im Rahmen der vorherigen Kapitel wurden die manuelle Konstruktionsarbeit für eine Punktstreuungskarte analysiert und bereits vorhandene Automatisierungsansätze für die Kartenkonstruktion vorgestellt. Daraus werden Rahmenbedingungen für den eigenen Automatisierungsalgorithmus abgeleitet. Es ist ersichtlich, dass eine 1:1-Übernahme der Konstruktionsschritte aus der manuellen Entwurfsarbeit nicht zum Ziel führen wird, da die Erfahrung des Kartenbearbeiters eine sehr große Rolle spielt. Die Bestrebungen gehen also dahin, die Entscheidungsprozesse des Kartographen zu formalisieren und daraus eine Abfolge von Arbeitsschritten zu entwickeln, an deren Anfang lediglich die Eingangsdaten stehen, aus denen sich alles weitere zwingend ergibt, sodass am Ende die fertige thematische Ebene (Punktstreuungsdarstellung) der Karte steht. Im Folgenden sollen die verschiedenen Teilaspekte der Entwurfsarbeit betrachtet und eine automatische Lösung entwickelt werden. Die Reihenfolge entspricht dabei der Abfolge im Algorithmus.

5.1 Bestimmung der Platzierungsfläche

Um die Anzahl der möglichen Punkte (bei einer vorgegebenen Punktgröße) bestimmen zu können, ist es notwendig, zunächst den zur Verfügung stehenden Platz (die Platzierungsflächen) zu bestimmen. Für eine angemessene Kartenbelastung ist es wichtig, die Karte nicht vollständig mit Punkten zu füllen, sondern die Platzierung der Punkte auf Flächen zu beschränken, die zum Einen den tatsächlichen Verbreitungsgebieten entsprechen (z.B. bei Bevölkerungsdaten die Siedlungsflächen) und die zum Anderen eine einfache Zuordnung zu den Bezugspunkten (z.B. bei Bevölkerungsdaten die Schwerpunkte der Siedlungsflächen) erlauben. Die ursprüngliche Idee, das Kartenfeld in Thiessenpolygone⁶ zu zerlegen und diese für die Punktplatzierung zu

⁶ Ein Thiessenpolygon um einen Punkt P wird aus den Mittelsenkrechten aller Verbindungslinien von P zu den ihm benachbarten Punkte gebildet. Als benachbart gelten dabei Punkte, die in einer Delaunay-Triangulation miteinander verbunden sind. Eine Delaunay-Triangulation ist eine Dreiecksvermaschung einer Punktmenge, wobei der Umkreis um eines der Dreiecke keine weiteren Punkte der Menge enthält. (vgl. [BILL 2010, S.468ff.])

nutzen, wurde verworfen, da dies zu einer nahezu kompletten Bedeckung der Kartenfläche mit Punkten führen würde.

Für die punktzentrierte Anordnung der Streuungspunkte werden zunächst die Bezugspunkte der darzustellenden Mengen bestimmt. Dies sind entweder bekannte Bezugspunkte (z.B. die Lagekoordinaten einer Stadt) oder die Schwerpunkte der Bezugseinheiten (z.B. bei Einwohnerzahlen, die bezogen auf ein Gemeindegebiet oder einen Landkreis vorliegen). Dieser Bezugspunkt stellt im Folgenden jeweils den Ursprung des lokalen Koordinatensystems einer Punktwolke dar. Die Punktwolke umfasst dabei alle Punkte, die für die Darstellung der zum Bezugspunkt gehörenden Menge benötigt werden. Da sich die Punkte der Punktwolke um einen Bezugspunkt gruppieren sollen, werden Kreise zur Bestimmung der Platzierungsfläche genutzt. Je nachdem, ob Verbreitungsgebiete für die Daten vorliegen, existieren zwei Szenarien für die Festlegung der Kreisgröße.

Wenn keine Verbreitungsgebiete gegeben sind (Szenario 1), werden die Bezugspunkte trianguliert. Jedes Dreieck der Vermaschung bildet dabei ein Set von drei direkt benachbarten Bezugspunkten. Diese werden paarweise betrachtet. Die Hälfte der Entfernung zwischen beiden Punkten wird als möglicher maximaler Radius des Kreises (der Platzierungsfläche) angesehen. Um eine Überlappung benachbarter Kreise auszuschließen, wird nur der jeweils kleinste Radius je Bezugspunkt ausgewählt (siehe Abbildung 5.1).

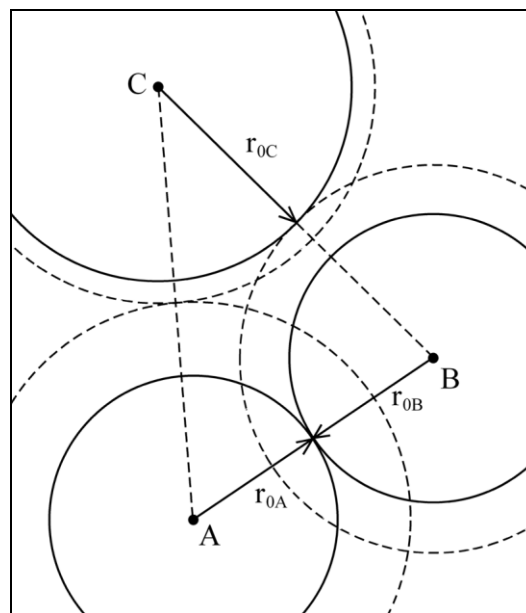


Abbildung 5.1: Bestimmung der Platzierungsflächen ohne Einbeziehung von Verbreitungsflächen

Sind Verbreitungsgebiete gegeben (Szenario 2), wird die Platzierungsfläche so gewählt, dass die Punktwolke das Verbreitungsgebiet möglichst gut ausnutzt. Je größer die mögliche Anzahl an Punkten, desto kleiner (und damit detaillierter) kann der Punktwert sein. Dafür wird zu jedem Verbreitungsgebiet das minimal einschließende Rechteck (MER) bestimmt. Anschließend wird die Entfernung des Bezugspunktes zu allen vier Eckpunkten des entsprechenden MER berechnet. Die maximale Entfernung ist der Radius des Platzierungsflächenkreises (siehe Abbildung 5.2).

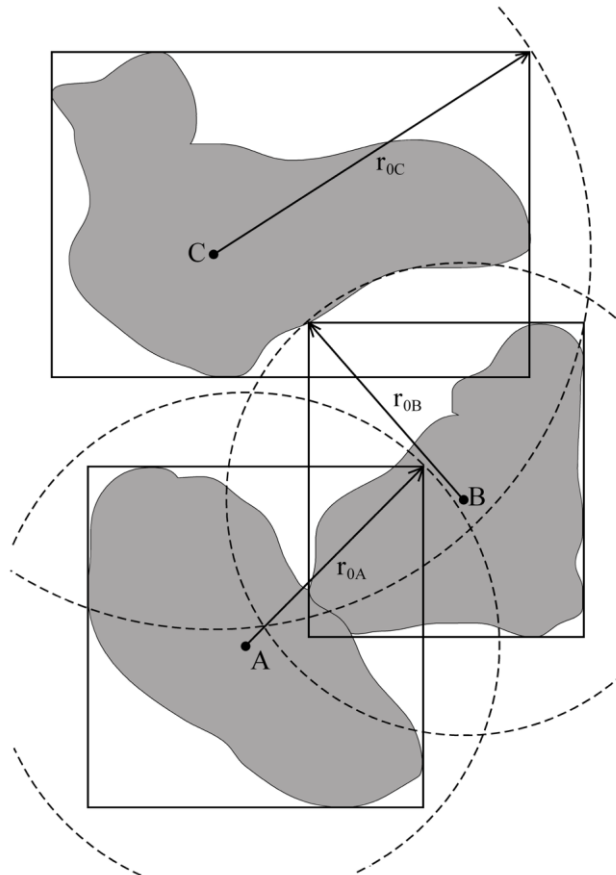


Abbildung 5.2: Bestimmung der Platzierungsflächen unter Einbeziehung von Verbreitungsflächen
Die Platzierungsflächen benachbarter Punktwolken überschneiden sich zwar, doch durch die Beschränkung der Punktplatzierung auf das jeweilige Verbreitungsgebiet (durch Punkt-in-Polygon-Test, siehe *Kapitel 4.4*) tritt eine Überlagerung der Punktwolken nicht auf. Die Voraussetzung für die Einbeziehung der Verbreitungsgebiete bei der Bestimmung der Platzierungsflächen ist allerdings, dass zu jedem Bezugspunkt ein eigenes Verbreitungsgebiet existiert und der Bezugspunkt in diesem Gebiet liegt. Die Verbreitungsgebiete dürfen sich nicht überlappen.

Ist eine eindeutige Zuordnung der Bezugspunkte zu den vorhandenen Verbreitungsgebieten nicht möglich, kann eine Kombination der Schritte aus Szenario 1 und 2

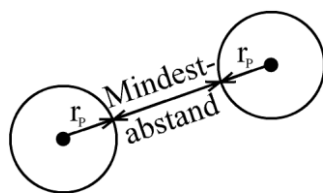
angewendet werden (Szenario 3). Es wird dann mittels Triangulation, wie in Szenario 1, die Platzierungsfläche bestimmt und anschließend, wie in Szenario 2, die berechneten Punktpositionen auf die Lage in den Verbreitungsgebieten mittels Punkt-in-Polygon-Test geprüft.

5.1.1 Ausschlussflächen

Für die Platzierung der Punkte können auch Ausschlussflächen berücksichtigt werden. Ausschlussflächen sind Bereiche, in denen keine Punkte der Punktwolke gesetzt werden sollten, da sie inhaltlich nicht zum Verbreitungsgebiet der dargestellten Mengen gehören. So sind z.B. Gewässerflächen von der Platzierung der Punkte bei der Darstellung der Bevölkerungsverteilung auf jeden Fall auszunehmen. Auch für die Gestaltung des topographischen Hintergrundes können Ausschlussflächen eingesetzt werden. So ist es zum Beispiel möglich, die Bereiche, die für die Platzierung topographischer Elemente (z.B. Straßen) oder Erläuterungen (z.B. Ortsnamen) benötigt werden, ebenfalls als Ausschlussflächen zu definieren. Die Festlegung der Ausschlussflächen erfolgt jedoch außerhalb des hier beschriebenen Algorithmus. Punkte, die sich innerhalb von Ausschlussflächen befinden, werden gelöscht.

5.1.2 Mindestabstände

Um die Trennung benachbarter Punktwolken zu gewährleisten, wird bei dem Verfahren ohne Verbreitungsgebiete (Szenario 1) der Radius der Platzierungsfläche um einen Betrag R verringert. Dieser ist als halber Minimalabstand zwischen benachbarten Punkten zu verstehen. Er setzt sich zusammen aus dem Radius eines Punktes r_p und dem halben Mindestabstand zwischen zwei Punkten (siehe Abbildung 5.3). Als Mindestabstand wird von KOCH [2002b] ein Wert von 0,15 bis 0,25 mm angegeben. Für die weiteren Betrachtungen wurde der Mittelwert – also 0,2 mm – gewählt. Damit ergibt sich R als Summe aus dem Punktradius und 0,1 mm. Es sind auch andere Werte für R möglich (siehe Kapitel 6).



$$\overline{P_i P_{i+1}} \geq 2 \cdot R$$

$$R = r_p + \frac{\text{Mindestabst.}}{2} = r_p + 0,1 \text{ mm}$$

Abbildung 5.3: Parameter R = halber Minimalabstand

Nach KOCH/STAMS [2002] werden für die Punktmethode Punkte mit einem Durchmesser von $0,3\text{ mm} - 1\text{ mm}$ verwendet. Damit ergibt sich für den Parameter R der Wertebereich:

$$R_{\min} = 0,15\text{mm} + 0,1\text{mm} = 0,25\text{mm} \quad R_{\max} = 0,5\text{mm} + 0,1\text{mm} = 0,6\text{mm}$$

Bei der Festlegung der Platzierungsfläche bzw. der Berücksichtigung der Ausschlussflächen ist es wichtig, den Unterschied zwischen dem Signaturenmittelpunkt des Streuungspunktes und der tatsächlichen Punktausdehnung zu beachten. Die genannten Flächen sind entsprechend um R zu vergrößern (Ausschlussflächen) bzw. zu verkleinern (benachbarte Verbreitungsgebiete bzw. benachbarte Kreise in Szenario 1). Daraus ergibt sich für den Radius des zur Platzierung der Punkte genutzten Kreises in Szenario 1:

$$r = r_0 - R = r_0 - r_p - 0,1\text{mm}$$

Die Vergrößerung und Verringerung der Flächen wird über eine Pufferung⁷ realisiert. Als Pufferbetrag wird der Parameter R verwendet. Mit der verringerten Platzierungsfläche ist garantiert, dass alle Punktmittelpunkte, die innerhalb des Kreises liegen, zu Streuungspunkten führen, welche die Mindestabstände zur benachbarten Punktwolke einhalten. Eine deutliche Trennung der Punktwolken wird so jedoch noch nicht erreicht. Dafür sollte ein größerer Mindestabstand in R verwendet werden. Da in der Praxis jedoch selten zwei benachbarte Punktwolken die Platzierungsfläche vollständig ausfüllen, führt auch der halbe Mindestabstand zu guten Ergebnissen.

Nach der Berechnung aller Punktpositionen und der Auswahl geeigneter Punktpositionen (innerhalb der Platzierungsfläche bzw. der Verbreitungsgebiete und außerhalb von Ausschlussflächen) wird mit den verbleibenden Punkten anhand der tatsächlich möglichen Punktzahl der Punktwert festgelegt. Für die Berechnung der Punktpositionen wird die Punktgröße innerhalb des oben genannten Rahmens festgelegt.

5.2 Platzierung der Punkte

Die Platzierung der Punkte soll in Form von Punktwolken erfolgen, die sich um den Bezugspunkt der darzustellenden Menge gruppieren. Die Punkte sollen dabei regelbasiert platziert werden, jedoch nicht regelmäßig. Wie KIMERLING [2009] herausfand, wurden die Punkte bei der manuellen Kartenkonstruktion pseudo-zufällig

⁷ Die Pufferbildung oder auch Zonengenerierung ist eine geometrische Methode, die – auf Flächen angewendet – dazu genutzt werden kann, die Fläche um eine Gürtelzone konstanter Breite zu vergrößern (äußerer Puffer) oder zu verkleinern (innerer Puffer). (vgl. [BILL 2010, S. 455 ff.]

gesetzt. Da das Ziel dieser Arbeit ein Algorithmus zur Konstruktion von Punktstreuungskarten ist, die sich in ihrer Erscheinung stark an den manuell konstruierten Karten orientieren sollen, wird ein zufälliges Element in die Berechnung der Punktpositionen integriert, welches jedoch reproduzierbare Ergebnisse liefert. Im Folgenden wird der Punktplatzierungsalgorithmus entwickelt. Die Ausführungen beziehen sich auf Streuungspunkte in Form von Kreisscheiben. Die Form der Streuungspunkte ist jedoch nicht darauf beschränkt. Ebenso können andere einfache Figuren gewählt werden, wie z.B. Dreieck und Quadrat. Um die Größe der Figuren richtig bemessen zu können werden sie in einen umschließenden Kreis gesetzt und dessen Maße für die gesamte Berechnung verwendet (siehe Abbildung 5.4). Erst wenn die Mittelpunktskoordinaten der Signaturen feststehen, wird die eigentliche Ausdehnung des Kartenzeichens für die graphische Ausgabe berücksichtigt.



Abbildung 5.4: Größenfestlegung für andere Punktformen

5.2.1 Allgemeiner Spiralwirbel-Ansatz

Ausgehend von den in *Kapitel 4* analysierten Arbeiten wurde eine neue Form der Punktanordnung entwickelt. Die Überlegungen führten zu Spiralmustern. Als Inspiration dienten Spiralgalaxien, die eine Anordnung in sich verschlungener Spiralen darstellen, entlang derer sich die einzelnen Sterne aufreihen wie an einer Perlenschnur (siehe Abbildung 5.5).

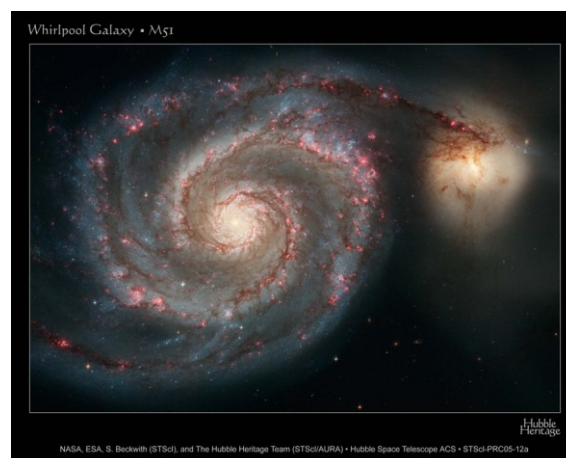


Abbildung 5.5: Inspiration für die Punktanordnung: Spiralgalaxie M51 [Hubble Space Telescope]

Wenn es gelingt, die Krümmung der Spiralarme und die Position der einzelnen Punkte entlang eines Arms an die Größe der Punkte anzupassen und zu optimieren, dann eignet sich dieses Muster gut, um Punktwolken in Punktstreuungskarten zu erzeugen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die in der Karte zur Verfügung stehende Fläche in Verbindung mit den jeweils darzustellenden Werten so mit der Anzahl der Punkte und der Punktgröße korreliert ist, dass die Eingabe der Ausgangswerte (Schwerpunkt/ Bezugspunkt der Punktwolken und darzustellende Mengen) alle weiteren Parameter bestimmt.

Die geometrische Umsetzung der Spiralen erfolgt durch mehrere, um den Bezugspunkt gedrehte Spiralen, die im Folgenden als „Spiralarme“ bezeichnet werden. Als Grundform eines Spiralarms kommen drei Spiralenformen in Frage (vgl. [MERZIGER et al. 1999]): die Archimedische Spirale, die Logarithmische Spirale und die Hyperbolische Spirale (siehe Abbildung 5.6).



Abbildung 5.6: Spiralformen

Die hyperbolische Spirale verläuft von außen nach innen. Sie nähert sich mit wachsendem Richtungswinkel der Polarkoordinaten immer mehr dem Koordinatenursprung, ohne ihn jemals zu erreichen. Dadurch ist sie für die Berechnung von Punkten auf der Spirale, die sich um einen zentralen Mittelpunkt gruppieren sollen, ungeeignet und fällt für weitere Betrachtungen heraus.

Die Archimedische Spirale zeichnet sich durch einen konstanten Windungsabstand aus, d.h. ein Spiralarm ist bei einer Drehung um 360° immer wieder gleich weit entfernt von der Windung der vorangegangenen Runde. Da die Punktverteilung nach außen hin weniger dicht erscheinen soll (die räumlichen Verteilungen sollen nicht als scharf abgegrenzte Sachverhalte präsentiert werden), ist die Archimedische Spirale nicht geeignet für die Anordnung der Punkte in einer Punktstreuungskarte. Es verbleibt die Logarithmische Spirale, die mit ihrem zunehmenden Windungsabstand das ‚Auslaufen‘ der Punktwolke zum Rand hin zulässt.

Die mathematische Beschreibung der logarithmischen Spirale basiert auf der Eulerschen Zahl e . Die Spiralenkurve kann neben kartesischen Koordinaten auch durch Polarkoordinaten beschrieben werden. Diese stellen eine Koordinate in Abhängigkeit vom Richtungswinkel φ dar.

$$\text{Polarkoordinaten: } r = e^{a\varphi}$$

$$\text{kartesische Koordinaten: } x = e^{a\varphi} \cdot \cos \varphi \qquad y = e^{a\varphi} \cdot \sin \varphi$$

$$\text{wobei jeweils gilt: } a > 0$$

Jede Punktwolke wird für die Berechnung der Punktpositionen einzeln betrachtet. Den Berechnungen liegt jeweils ein lokales Koordinatensystem zugrunde, dessen Ursprung der Bezugspunkt der darzustellenden Werte (= Mittelpunkt der Punktwolke) ist. Dieser Bezugspunkt kann z.B. der Schwerpunkt einer statistischen Erhebungseinheit sein. Die so berechneten Koordinaten der Streuungspunkte werden anschließend durch Translation in das Koordinatensystem der Karte eingepasst. Alle Berechnungen basieren auf kartesischen Realweltkoordinaten. Geeignet sind Gauß-Krüger- und UTM-Koordinaten.

Die ersten Punkte der Punktwolke

Die logarithmische Spirale hat einen Nachteil, wenn es um die Gruppierung der Spiralepunkte um einen zentralen Punkt, hier den Koordinatenursprung, geht – sie beginnt für $\varphi_0 = 0$ bei $P_0(1,0)$. Dadurch liegt keiner der Spiralepunkte im Koordinatenursprung. Für eine Punktwolke aus diesen Spiralepunkten ergibt sich damit eine Lücke im Zentrum der Wolke, die nicht gewünscht ist. Diese Lücke wird zum einen durch den Mittelpunkt der Punktwolke (=Koordinatenursprung des lokalen Koordinatensystems) gefüllt, zum anderen kann ein weiterer Punkt eingefügt werden, wenn der Abstand vom Spiralenstartpunkt zum Mittelpunkt für die gewählte Punktgröße zu groß ist.

Für die Einhaltung der Mindestabstände der Punkte untereinander wurde der Parameter R eingeführt (siehe *Kapitel 5.1.2*). In Abhängigkeit von der Punktgröße und damit dem Parameter R ergeben sich die in *Abbildung 5.7* dargestellten Szenarien für die Anordnung der ersten Punkte.

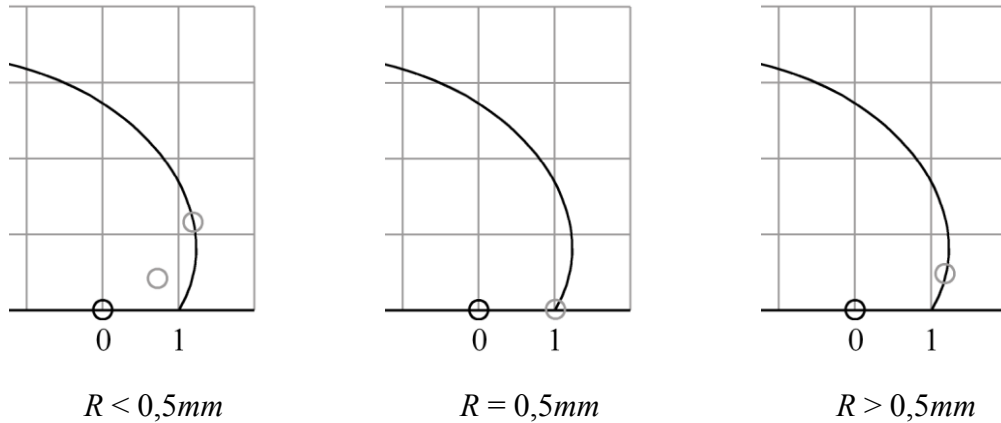


Abbildung 5.7: Konstellation der ersten Punkte in Abhängigkeit von R

Der erste Punkt der Punktwolke ist immer der Koordinatenursprung. Ist der halbe Minimalabstand R kleiner als $0,5\text{ mm}$, liegt zwischen dem Koordinatenursprung und dem ersten Spiralpunkt noch ein Zwischenpunkt. Ist R genau $0,5\text{ mm}$, ist der erste Spiralpunkt der Startpunkt der Spirale und ist R größer als $0,5\text{ mm}$, liegt der erste Spiralpunkt entsprechend weiter vom Startpunkt entfernt auf der Spirale.

Durch Ineinanderschachtelung mehrerer gleichartiger Spiralen (identischer Parameter a), die jeweils um den Koordinatenursprung gedreht werden, ergibt sich ein Spiralwirbel. Die Platzierung der Punkte erfolgt nun jeweils entlang eines Spiralarms. Durch den Spiralwirbel entsteht eine geschlossene Punktwolke. Der Winkel, um den die gleichartigen Spiralarms gedreht werden, ist abhängig von der Anzahl z der Spiralarms.

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \pi}{z}$$

Für die Punkte benachbarter Spiralarms, $P_{1,1}$ und $P_{2,1}$, gilt die Bedingung, dass der Minimalabstand $2R$ eingehalten werden muss. Dadurch ergibt sich für die jeweils ersten Punkte mit dem Koordinatenursprung im Allgemeinen ein gleichschenkliges Dreieck. Sind die ersten Punkte auf benachbarten Spiralarms exakt $2R$ voneinander entfernt, entsteht ein gleichseitiges Dreieck (siehe Abbildung 5.8).

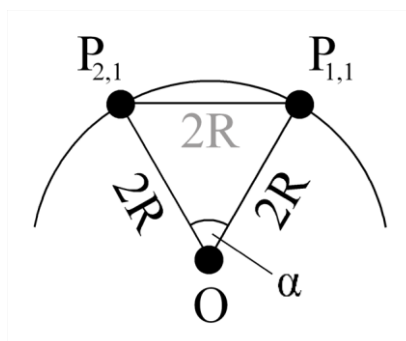


Abbildung 5.8: Konstellation der ersten Punkte benachbarter Spiralarms

Der Winkel α wird damit auf minimal 60° ($\pi / 3$) begrenzt. Sind die jeweils ersten Punkte benachbarter Spiralarms weiter als $2R$ voneinander entfernt, so ist $\alpha > \pi / 3$. Durch die Begrenzung des Winkels zwischen benachbarten Spiralarms sind maximal sechs Arme möglich. Eine Anzahl von weniger als vier Armen wird als nicht sinnvoll ausgeschlossen. Diese von Anfang an verfügbaren Spiralarms werden im Weiteren als Hauptarme bezeichnet. Die folgenden Betrachtungen werden jeweils nur für einen Spiralarms durchgeführt. Sie gelten aber ebenso für alle anderen Spiralarms der Punktwolke.

Auch bei der Berechnung der Punktpositionen auf dem Spiralarms ist die Einhaltung des Minimalabstandes zu beachten. Es wurden verschiedene Verfahren getestet, wie dies effektiv zu erreichen ist. Für die Positionsberechnungen werden hauptsächlich Polarkoordinaten genutzt.

Der Startwinkel φ_1

Für die Bestimmung der Punkte ist es erforderlich, einen Startwinkel für den ersten Spiralarms festzulegen. Liegt der erste Spiralarms irgendwo auf der Spirale, d.h. der Parameter R ist größer als $0,5 \text{ mm}$, so gilt für die Polarkoordinaten des ersten Punktes:

$$r = e^{a\varphi_1} = 2R$$

Durch Umformung erhält man: $\varphi_1 = \frac{1}{a} \cdot \ln(2R)$

Für den Sonderfall, dass $R = 0,5 \text{ mm}$ ist, d.h. der erste Spiralarms ist gleichzeitig der Startpunkt der Spirale, gilt für den Startwinkel $\varphi_1 = 0$. Der bei $R < 0,5 \text{ mm}$ erforderliche Zwischenpunkt wird so platziert, dass $x_1 = y_1$ ist. Damit ergibt sich:

$$x_1 = e^{a\varphi_1} \cdot \cos \varphi_1 = y_1 = e^{a\varphi_1} \cdot \sin \varphi_1$$

Durch Umformung erhält man: $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$

Damit sind die kartesischen Koordinaten des Zwischenpunktes P_1 :

$$x_1 = 2R \cdot \cos \frac{\pi}{4} \qquad y_1 = 2R \cdot \sin \frac{\pi}{4}$$

Festlegung des Parameters a – Methode 1: Punktabstand auf der Spirale

Die Gleichungen der logarithmischen Spirale enthalten einen Parameter a , der die Krümmung der Spirale bestimmt. Ist a kleiner als 1, wird die Spirale gestaucht. Ist a größer als 1 wird die Spirale gestreckt (siehe Abbildung 5.9).

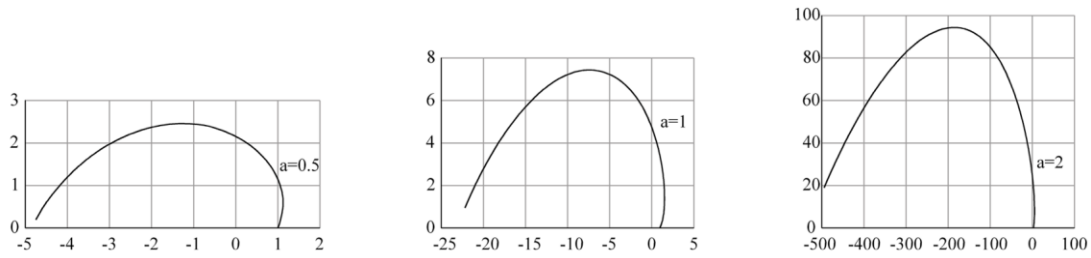


Abbildung 5.9: Bedeutung des Parameters a

Die Bestimmung des Parameters a erfolgt über die Festlegung, dass der zweite Punkt eines Spiralarms – bezogen auf seinen Richtungswinkel φ – genau mittig zwischen dem ersten Punkt auf demselben Spiralarm und dem ersten Punkt auf dem benachbarten Spiralarm liegen soll (siehe Abbildung 5.10).

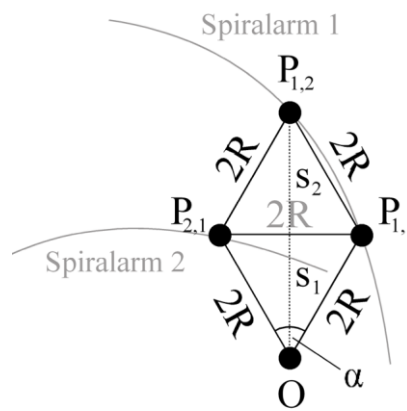


Abbildung 5.10: Konstellation der Punkte zur Bestimmung von a

Die Bestimmung der Position der Punkte auf einem Spiralarm bestimmt nun die Möglichkeiten, wie der Parameter a zu berechnen ist. Da im Rahmen dieser Arbeit eine Automatisierung entwickelt werden soll, deren Ergebnis visuell einer manuell hergestellten Punktstreuungskarte ähnelt, wird Wert darauf gelegt, dass die Punktwolken nicht zu gleichmäßig aussehen bzw. zumindest ihr geometrisches Grundgerüst nicht sofort erkennbar ist. In diesem ersten getesteten Verfahren sind die Punkte entlang eines Spiralarms so verteilt, dass die Distanz zwischen zwei Punkten stets dem Minimalabstand $2R$ entspricht. Der Richtungswinkel φ aufeinanderfolgender Punkte wird dabei um einen Parameter k verändert, der nicht konstant ist. Es soll gelten:

$$\overline{P_i P_{i+1}} = 2R \quad \text{und} \quad \varphi_{i+1} = \varphi_i + k .$$

Die Berechnung von k sollte über die euklidische Distanz möglich sein.

$$2R = \sqrt{\left(e^{a\varphi_i} \cdot \cos \varphi_i - e^{a(\varphi_i+k)} \cdot \cos(\varphi_i + k)\right)^2 + \left(e^{a\varphi_i} \cdot \sin \varphi_i - e^{a(\varphi_i+k)} \cdot \sin(\varphi_i + k)\right)^2}$$

Durch Vereinfachung erhält man:

$$4R^2 = e^{2a\varphi_i} \cdot (e^{2ak} - 2 \cdot e^{ak} \cdot \cos k + 1)$$

Die so erhaltene Gleichung kann jedoch nicht nach k aufgelöst werden. Eine andere Berechnungsmöglichkeit ist daher die Bogenlänge zwischen zwei Punkten auf dem Spiralarms. Da die Bogenlänge immer länger ist als die euklidische Distanz, muss sie bei der Berechnung von k überschätzt werden, d.h. es gilt die Forderung, dass die Bogenlänge zwischen aufeinander folgenden Punkten $b \cdot R$ ist, wobei $b > 2$.

$$L = b \cdot R = \frac{\sqrt{1+a^2}}{a} \cdot (e^{a(\varphi_i+k)} - e^{a\varphi_i}) = e^{a\varphi_i} \cdot \frac{\sqrt{1+a^2}}{a} \cdot (e^{ak} - 1)$$

$$k = \frac{1}{a} \cdot \ln \left(\frac{b \cdot R \cdot a}{\sqrt{1+a^2} \cdot e^{a\varphi_i}} + 1 \right)$$

Auch über diese Gleichung ist k nicht direkt berechenbar. Eine Lösung ist nur iterativ möglich. Als Startwert für b sollte 2,5 gewählt werden. Mit diesem Wert wird zunächst k und anschließend zur Kontrolle die euklidische Distanz berechnet.

$$eukl.Dist. = \sqrt{(e^{a\varphi_i} \cdot \cos \varphi_i - e^{a(\varphi_i+k)} \cdot \cos(\varphi_i + k))^2 + (e^{a\varphi_i} \cdot \sin \varphi_i - e^{a(\varphi_i+k)} \cdot \sin(\varphi_i + k))^2}$$

Ist diese $\geq 2R$, ist die Bogenlänge ausreichend überschätzt und das berechnete k führt zum korrekten nächsten Punkt. Ist die Distanz jedoch kleiner als $2R$, so muss k mit verändertem b neu berechnet werden. Es empfiehlt sich b dann in 0,5er-Schritten zu erhöhen. Der Parameter k wird für jeden neuen Punkt neu berechnet. Die damit berechneten Winkel der neuen Punkte sind, ebenso wie der Parameter k selbst, für alle entsprechenden Punkte auf den anderen Spiralarms identisch. Dadurch ist der Rechenaufwand zumindest unabhängig von der Anzahl der Spiralarms.

Dieser Ansatz führt jedoch zu Problemen bei der Einhaltung der Mindestabstände zwischen Punkten benachbarter Spiralarms. Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass die Anordnung der ersten Punkte auf benachbarten Spiralarms bei dem Ansatz mit flexiblem k keinesfalls symmetrisch ist, wie in Abbildung 5.10 dargestellt. Aufgrund der iterativen Berechnung von k ist die euklidische Distanz zwischen erstem und zweitem Punkt eines Spiralarms nicht genau $2R$ sondern xR , wobei gilt: $x > 2$. Die Punktkonstellation zeigt Abbildung 5.11.

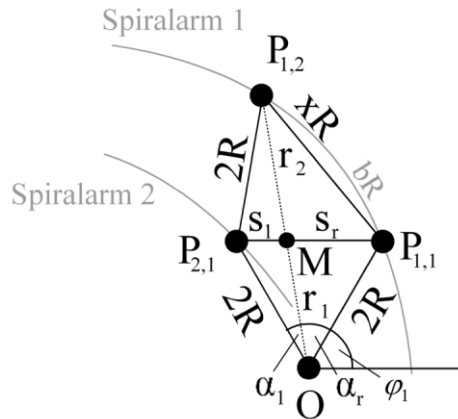


Abbildung 5.11: Allgemeine Konstellation der ersten Punkte auf benachbarten Spiralarmlen bei flexiblen k

Der Winkel α_1 kann jeden Wert zwischen 0 und $\alpha / 2$ annehmen. Aus Abbildung 5.12 kann die Berechnung der Distanz zwischen Ursprung und zweitem Punkt auf dem ersten Spiralarm abgeleitet werden.

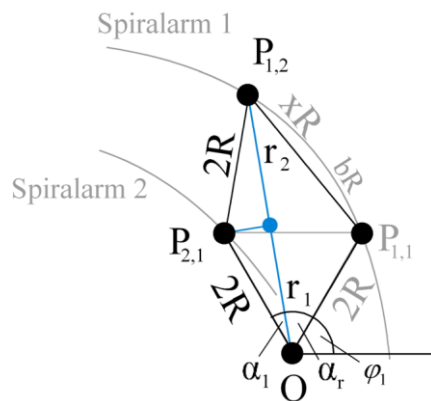


Abbildung 5.12: Berechnung der Strecke $\overline{OP_{1,2}}$ bei flexiblen k

Es gilt: $\cos \alpha_1 = \frac{\overline{OP_{1,2}}}{2R} = \frac{e^{a(\varphi_1 + \alpha - \alpha_1)}}{4R}$; $\alpha = \frac{2\pi}{z}$; z : Anzahl der Spiralarmlen

Durch Umformung erhält man:

$$a = \frac{1}{\varphi_1 + \frac{2\pi}{z} - \alpha_1} \cdot \ln(4R \cdot \cos \alpha_1)$$

Nimmt α_1 den Wert $\alpha / 2 = \pi / z$ an, ergibt sich ein Sonderfall - eine symmetrische Punktanzordnung (siehe Abbildung 5.13).

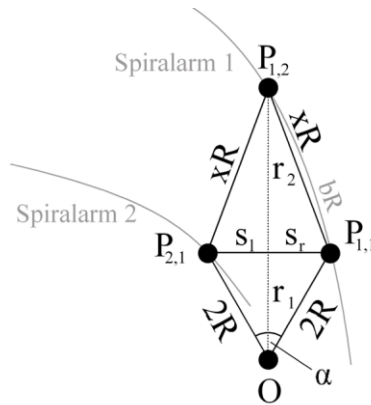


Abbildung 5.13: Symmetrische Punktconstellation bei flexiblem k

Selbst die Festlegung dieser Punktconstellation für die Berechnung des Parameters a bei flexiblem k ist nicht ausreichend, eine Einhaltung der Mindestabstände für alle weiteren Punkte zu gewährleisten. Es kommt immer wieder vor, dass sich Punkte auf benachbarten Spiralarms zu nah kommen. Die Unterschreitung des Mindestabstands tritt dabei nicht zwischen Punkten mit gleichem Basis-Richtungswinkel auf, sondern zwischen Punkten verschiedener Positionen bezogen auf die Reihenfolge entlang eines Spiralarms (z.B. zwischen dem dritten Punkt auf Spiralarm 1 und dem zweiten Punkt auf Spiralarm 2). Da diese Probleme nicht behoben werden konnten, wurde der Ansatz mit flexiblem k zugunsten des Ansatzes der konzentrischen Kreise aufgegeben.

Festlegung des Parameters a – Methode 2: Konzentrische Kreise

Bei diesem zweiten getesteten Verfahren markieren die Schnittpunkte konzentrischer Kreise mit einem Radius von $n \times 2R$ ($n \in \mathbb{N}$, $n \geq 1$) mit den Spiralarms die Position der Punkte. Die Einhaltung der Mindestabstände zwischen jeweils zwei Punkten wird dadurch stets gewährleistet. Der kürzeste Abstand zwischen zwei Kreisen und damit zwei Punkten ist die Differenz der Radien $- 2R$ (siehe Abbildung 5.14).

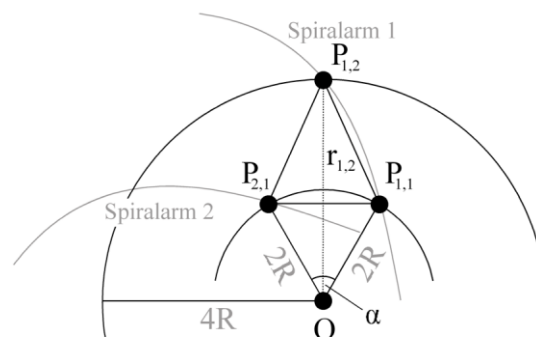


Abbildung 5.14: Konstellation der Punkte zur Bestimmung von a mit konzentrischen Kreisen

Es soll gelten: $\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\alpha}{2}$. Mit $\alpha = \frac{2 \cdot \pi}{z}$ ergibt sich: $\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\pi}{z}$, wobei z der Anzahl der Spiralarms entspricht, $z \in \mathbb{N}$, $z \in [3;6]$. Für den Punkt $P_{1,2}$ gilt:

$$r_{1,2} = e^{a \cdot \varphi_2} = 4 \cdot R = e^{a \cdot \left(\varphi_1 + \frac{\pi}{z}\right)}$$

$$a = \frac{1}{\varphi_1 + \frac{\pi}{z}} \cdot \ln(4R)$$

Für die unterschiedlichen Punktgrößen ergeben sich folgende Werte:

$$R < 0,5 \text{ mm}, \varphi_1 = \frac{\pi}{4}: \quad a = \frac{1}{\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{z}} \cdot \ln(4R)$$

$$R = 0,5 \text{ mm}, \varphi_1 = 0: \quad a = \frac{z}{\pi} \cdot \ln(2)$$

$$R > 0,5 \text{ mm}, \varphi_1 = \frac{1}{a} \cdot \ln(2R): \quad a = \frac{z}{\pi} \cdot \ln(2)$$

Für $R < 0,5 \text{ mm}$ fließt die Punktgröße über den Parameter R in die Berechnung von a ein.

Laut Definition der logarithmischen Spirale ist $a > 0$. Damit ergibt sich für R :

$$a = \frac{1}{\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{z}} \cdot \ln(4R) > 0$$

$$\rightarrow R > 0,25$$

Die minimal mögliche Punktgröße für die Punktmethode von $r = 0,15 \text{ mm}$ ($\rightarrow R = 0,25 \text{ mm}$) ist bei dieser Berechnungsmethode nicht möglich. Für R wurde daher eine Untergrenze von $R \geq 0,26 \text{ mm}$ festgelegt. Die minimale Punktgröße ist dann $r = 0,16 \text{ mm}$. Mit diesen Werten führen die Spiralarms allerdings sehr viele „Leerumdrehungen“ durch, bevor sie einen der für die Punktplatzierung relevanten konzentrischen Kreise schneiden. Die Berechnung der Punkte wird dadurch nicht negativ beeinflusst.

Berechnung der Punktkoordinaten

Der erste Punkt der Punktswolke ist der Koordinatenursprung. Die Position der folgenden Punkte richtet sich – wie bereits ausgeführt – nach der Größe der Punkte und dem damit verbundenen Minimalabstand $2R$. Die Berechnung der Punktkoordinaten

erfolgt in sogenannten Besetzungsrunden. Jeder konzentrische Kreis, der für die Platzierung der Punkte mit den Spiralarmlen zum Schnitt gebracht wird, markiert eine solche Besetzungsrunde. Um die Anzahl der Punkte in der Punktwolke auf ein erfassbares Maß zu reduzieren, werden maximal 50 Besetzungsrunden zugelassen.

Der Richtungswinkel φ der Punkte auf dem Spiralarmlen ergibt sich aus der Bedingung, dass die Punkte jeweils die Schnittpunkte konzentrischer Kreise (Radius $r = i \cdot 2R$) mit dem Spiralarmlen markieren. Es gilt für $R \geq 0,5 \text{ mm}$:

$$\varphi_i = \frac{1}{a} \cdot \ln(i \cdot 2R) \text{ mit } i \in \mathbb{N}, i \geq 1$$

Die Berechnung der Punktkoordinaten erfolgt für alle Spiralarmlen nach den Formeln:

$$x_i = i \cdot 2R \cdot \cos \varphi_i \quad y_i = i \cdot 2R \cdot \sin \varphi_i$$

Für $R < 0,5 \text{ mm}$ ist der Richtungswinkel des Zwischenpunktes P_1 (zwischen Koordinatenursprung und erstem Spiralarmlen) mit $\varphi_1 = \pi / 4$ festgelegt. Die Berechnung der Punktkoordinaten ab dem zweiten Punkt (erster Punkt auf der Spirale) erfolgt dann ebenso wie für $R \geq 0,5 \text{ mm}$.

$$\varphi_i = \frac{1}{a} \cdot \ln(i \cdot 2R) \text{ mit } i \in \mathbb{N}, i \geq 2$$

$$\text{Koordinaten von } P_1: \quad x_1 = 2R \cdot \cos \frac{\pi}{4} \quad y_1 = 2R \cdot \sin \frac{\pi}{4}$$

Alle weiteren Punkte berechnen sich dann nach den Formeln:

$$x_i = i \cdot 2R \cdot \cos \varphi_i \quad y_i = i \cdot 2R \cdot \sin \varphi_i$$

Die grundsätzlichen Berechnungen sind für alle Spiralarmlen identisch mit jenen für den ersten. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Punkte auf den weiteren Spiralarmlen um einen bestimmten Winkelbetrag gedreht werden. Für Punkte auf den Hauptarmen gilt:

$$z: \text{Anzahl der Spiralarmlen, } z \in \mathbb{N}, z \in [4;6]$$

$$n: \text{Nummer des Spiralarmlen, } n \in \mathbb{N}, n \in [1; z]$$

$$x_i = i \cdot 2R \cdot \cos \left(\varphi_i + (n-1) \cdot \frac{2\pi}{z} \right)$$

$$y_i = i \cdot 2R \cdot \sin \left(\varphi_i + (n-1) \cdot \frac{2\pi}{z} \right)$$

Abbildung 5.15 zeigt die Platzierung der Punkte für eine Punktwolke von fünf Hauptarmen. Die Reduzierung der Anzahl der Spiralarms auf fünf resultiert aus dem Anliegen, die Symmetrie der Punktwolke so gut es geht zu verwischen. Jeder Spiralarms ist mit sieben Punkten besetzt. Zusammen mit dem Mittelpunkt der Wolke (Ursprung des lokalen Koordinatensystems) ergibt sich eine Gesamtpunktzahl von 36.

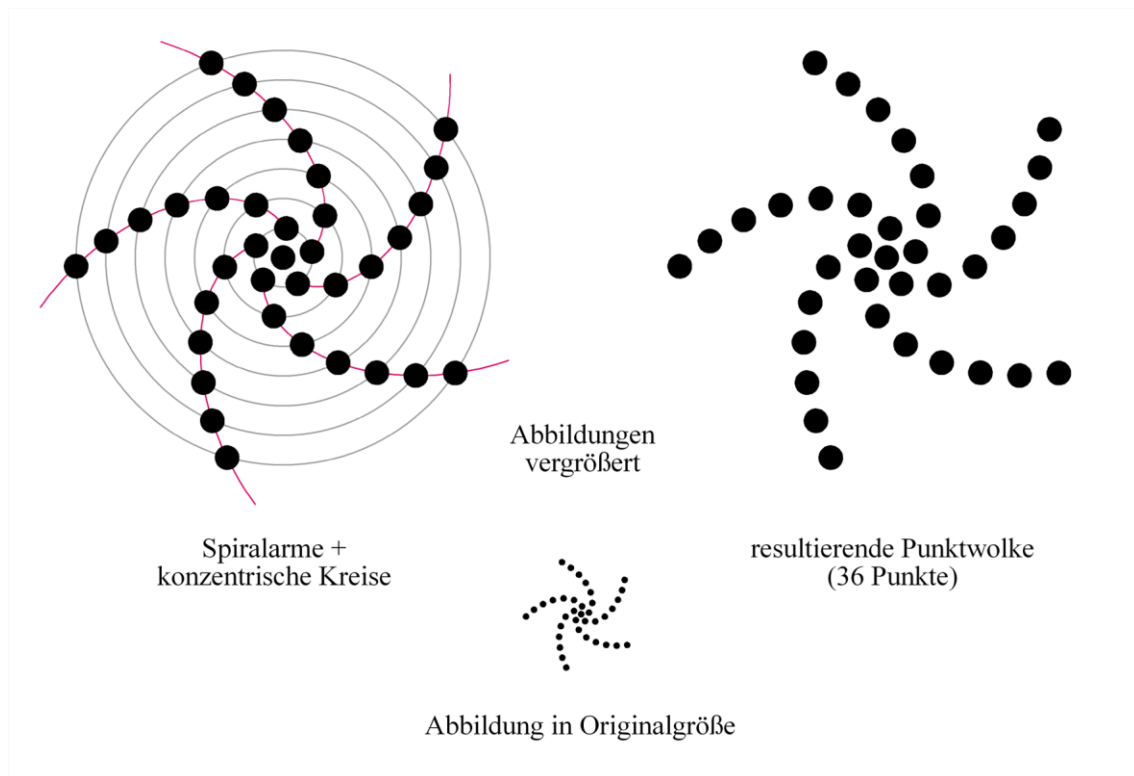


Abbildung 5.15: Punktanordnung für fünf Hauptarme mit Punktdurchmesser $d_p = 1 \text{ mm}$

5.2.2 Ansatz des stufenweise verdichteten Spiralwirbels

Sobald die Hauptarme mit mehreren Punkten besetzt werden, sind die einzelnen Spiralarms durch den zunehmenden Abstand der Arme untereinander deutlich sichtbar. Um dem entgegenzuwirken, werden Nebenarme eingesetzt. Diese sind mit dem gleichen Krümmungsparameter a versehen wie die Hauptarme, jedoch werden sie jeweils zwischen zwei schon besetzten Spiralarms platziert. Je nach geforderter Punktzahl können mehrmals Nebenarme eingefügt werden. Die Nebenarme werden in verschiedene Ausbaustufen eingeteilt. Mit jeder neuen Ausbaustufe verdoppelt sich die Anzahl der neu hinzugefügten Spiralarms und der Spiralarms (siehe Tabelle 5.1). Den Aufbau des Spiralwirbels für fünf Hauptarme zeigt Abbildung 5.16.

Tabelle 5.1: Anzahl der Spiralarms in Abhängigkeit von den Ausbaustufen und der Anzahl der Hauptarme

Anzahl der Hauptarme	Ausbaustufen			
	I	II	III	IV
4	8	16	32	64
5	10	20	40	80
6	12	24	48	96

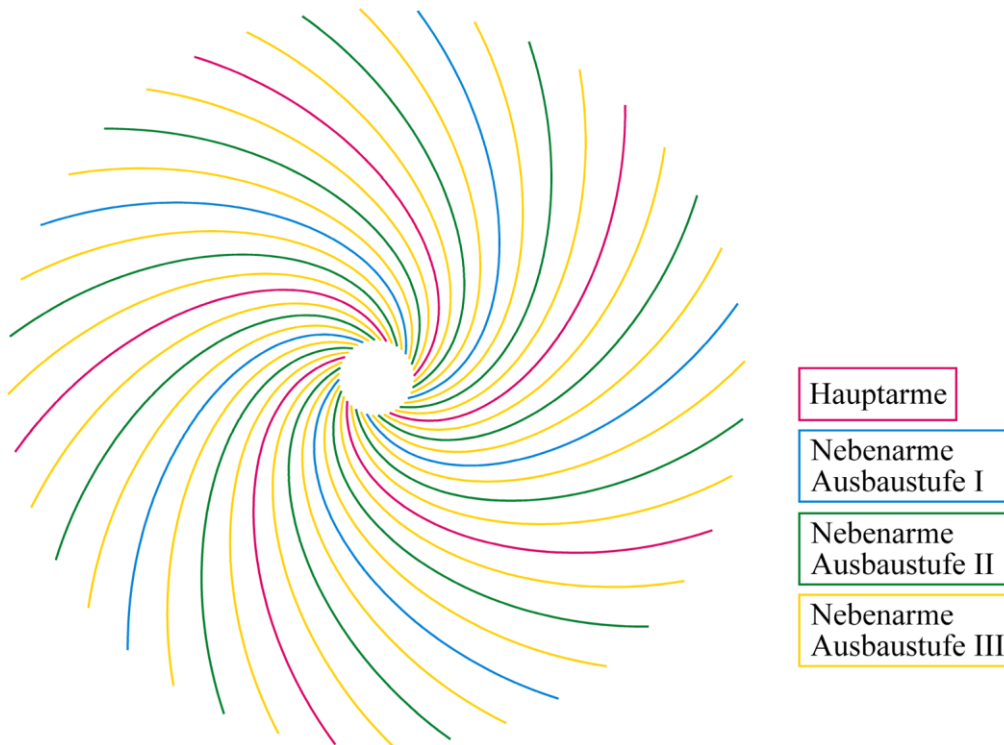


Abbildung 5.16: Hauptarme und Nebendarms der Ausbaustufen I-III für fünf Hauptarme

Ein Nebendarms kann erst dann mit Punkten besetzt werden, wenn der Abstand zu den beiden benachbarten, bereits besetzten, Spiralarms groß genug ist ($\geq 2R$). Es ergibt sich die in Abbildung 5.17 dargestellte Punktanordnung.

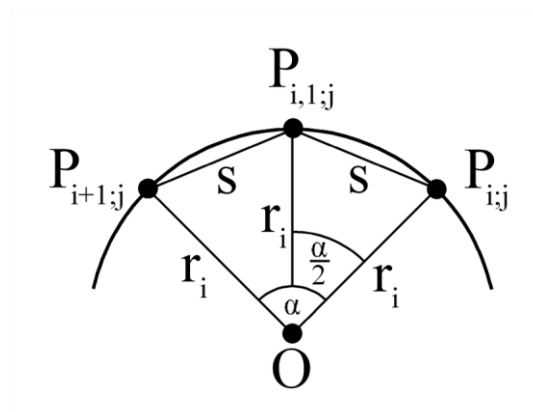


Abbildung 5.17: Punktanordnung beim Einfügen eines Nebendarms (i,1) zwischen zwei bereits besetzten Spiralarms (i; i+1)

Die Strecke s ist die Sehne im Kreis mit dem Radius r_i über dem Winkel $\alpha / 2$. Sie bestimmt den Abstand zwischen Punkten benachbarter Spiralarme. Die Strecke s berechnet sich wie folgt:

$$s = 2r_i \cdot \sin \frac{\alpha}{4} \quad \text{mit } r_i = j \cdot 2R; i, j \in \mathbb{N}$$

Die Anzahl der Hauptarme und die jeweilige Ausbaustufe bestimmen i . Die Anzahl der Punkte je Spiralarm bestimmen j . Der Winkel α wird durch die Gesamtanzahl der Spiralarme (bereits vorhandene Spiralarme + neu hinzuzufügende Nebenarme) festgelegt. Der Parameter t steht für die Ausbaustufe der neu hinzuzufügenden Nebenarme. Es ergibt sich:

$$\alpha = \frac{2\pi}{2^{(t-1)} \cdot z} = \frac{\pi}{2^{(t-2)} \cdot z} \quad \text{mit } z : \text{Anzahl der Hauptarme, } z \in \mathbb{N}, z \in [4;6].$$

Damit ergibt sich für s :

$$s = j \cdot 4R \cdot \sin \frac{\alpha}{4} = j \cdot 4R \cdot \sin \frac{\pi}{2^t \cdot z}$$

Ein neuer Punkt kann dann gesetzt werden, wenn $s \geq 2R$ erfüllt ist.

$$s = j \cdot 4R \cdot \sin \frac{\pi}{2^t \cdot z} \geq 2R$$

$$j \geq \frac{1}{2 \cdot \sin \frac{\pi}{2^t \cdot z}}$$

Damit ergeben sich je nach Anzahl der Hauptarme die Besetzungsrunden, ab denen ein weiterer Zwischenarm besetzt werden kann (siehe Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2: Besetzungsrunden, ab denen eine weitere Ausbaustufe eingefügt werden kann

Anzahl der Hauptarme	Ausbaustufen			
	I	II	III	IV
4	1,31 → 2	2,56 → 3	5,10 → 6	10,19 → 11
5	1,62 → 2	3,20 → 4	6,37 → 7	12,74 → 13
6	1,93 → 2	3,83 → 4	7,64 → 8	15,28 → 16

Für die Berechnung von Punkten auf den Nebenarmen gilt:

$$z : \text{Anzahl der Hauptarme, } z \in \mathbb{N}, z \in [4;6]$$

$$t : \text{Ausbaustufe des Nebenarms, } t \in \mathbb{N}, t > 0$$

$$n : \text{Nummer des Spiralarms, } n \in \mathbb{N}, n \in [1; 2^{(t-1)} \cdot z]$$

Der Punkt auf dem ersten Nebenarm einer Ausbaustufe ist gegenüber dem ersten Hauptarm um den Winkel $\lambda = \alpha / 2^t$ gedreht. Mit $\alpha = 2\pi / z$ führt das zu:

$$\lambda = \frac{\pi}{(2^{(t-1)} \cdot z)}$$

Dieser „Basisdrehwinkel“ ist für alle Punkte der Nebenarme einer Ausbaustufe gleich. Der Drehwinkel δ zu den anderen Nebenarmen derselben Ausbaustufe ist jeweils ein Vielfaches des doppelten Basisdrehwinkels.

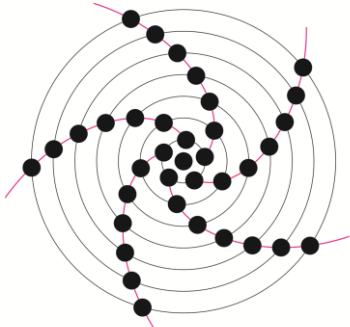
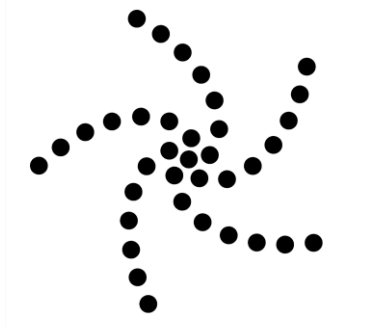
$$\delta = 2\lambda = \frac{\pi}{2^{(t-2)} \cdot z}$$

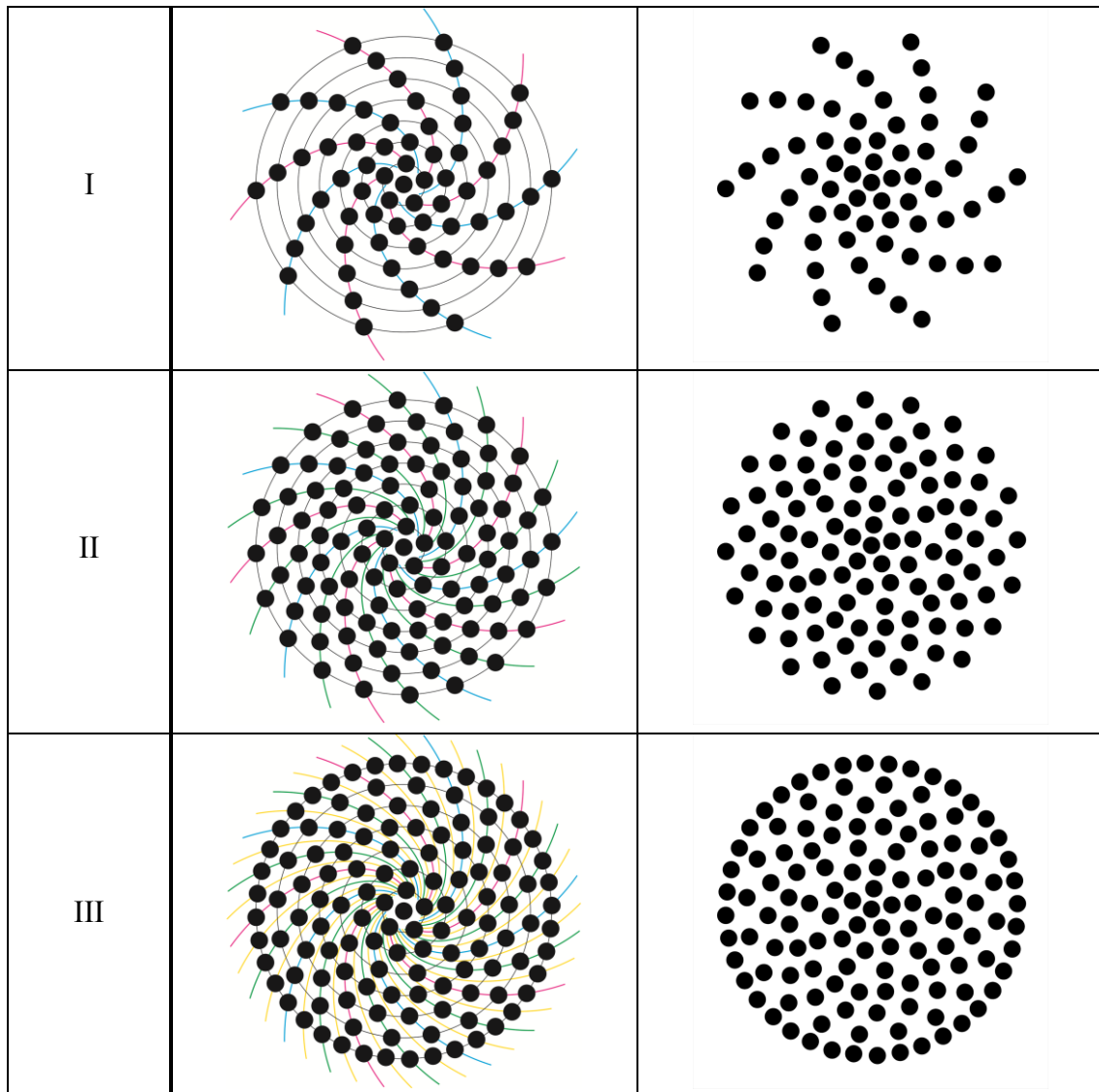
$$x_i = i \cdot 2R \cdot \cos\left(\varphi_i + \lambda + (n-1) \cdot \delta\right) = i \cdot 2R \cdot \cos\left(\varphi_i + \frac{\pi}{2^{(t-1)} \cdot z} + (n-1) \cdot \frac{\pi}{2^{(t-2)} \cdot z}\right)$$

$$y_i = i \cdot 2R \cdot \sin\left(\varphi_i + \lambda + (n-1) \cdot \delta\right) = i \cdot 2R \cdot \sin\left(\varphi_i + \frac{\pi}{2^{(t-1)} \cdot z} + (n-1) \cdot \frac{\pi}{2^{(t-2)} \cdot z}\right)$$

Wie Tabelle 5.3 zeigt, muss bei der Besetzung der Zwischenarme auf den Gesamteindruck der Punktwolke geachtet werden. Die theoretisch mögliche Ausbaustufe III führt zu einer sehr kreisförmig anmutenden Punktwolke. Derartig geschlossen wirkende Anordnungen sind zu vermeiden. Sie widersprechen der angestrebten Darstellung räumlich nicht scharf abgegrenzter Sachverhalte.

Tabelle 5.3: Übersicht über die Ausbaustufen und resultierenden Punktwolken bei fünf Hauptarmen (Abbildungen vergrößert)

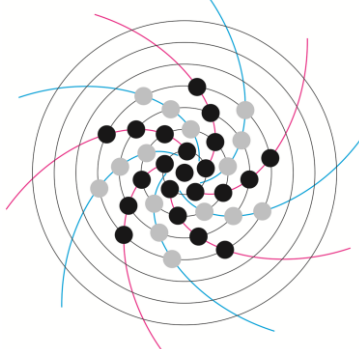

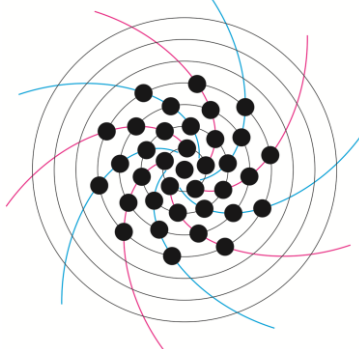

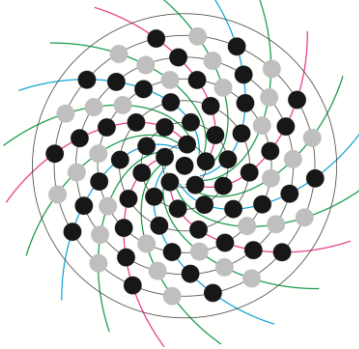
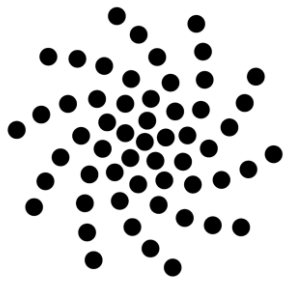
Ausbaustufe	Spiralarme + konzentrische Kreise zur Platzierung der Punkte	resultierende Punktwolke mit maximaler Punktbesetzung
Original (nur Hauptarme)		



Eine Möglichkeit, diese Problematik zu umgehen, ist die Veränderung der Platzierungsreihenfolge der Punkte. Dabei werden neue Ausbaustufen erst dann mit Punkten besetzt, wenn eine bestimmte Anzahl an Punkten darauf Platz findet. Solange werden ausschließlich die ursprünglich besetzten Spiralarms weiter mit Punkten besetzt. Sobald auf den Nebenarmen der neuen Ausbaustufe Platz für genügend weitere Punkte zur Verfügung steht, werden diese besetzt und die ‚Lücken‘ zwischen den ursprünglich besetzten Spiralarms aufgefüllt. Sind die Lücken aufgefüllt, werden alle Spiralarms wieder gleichmäßig belegt bis eine neue Ausbaustufe eingefügt werden kann. Dann wiederholt sich die selektive Besetzung. Die ‚Kreis-Problematik‘ kann darauf zurückgeführt werden, dass ab einer gewissen Nähe der Punkte zueinander auf einem konzentrischen Kreis die Punktverteilung als Kreis wahrgenommen wird. Mit zunehmendem Richtungswinkel (zunehmender Punktzahl auf einem Spiralarms) entfernen sich die Punkte voneinander. Durch das Einfügen von Nebenarmen wird

dieser Abstand sprungartig verkleinert. Dadurch wirkt die Außenkontur der Punktwolke wieder wie ein Kreis. Durch das ‚Überstehen‘ der äußeren Punkte einzelner Spiralarme wird diese Wirkung abgemildert. Das nachträgliche Füllen der Lücken ist dann ohne Probleme möglich, da immer Punkte überstehen bzw. ab einer bestimmten Punktzahl die Punkte wieder weit genug voneinander entfernt sind.

Tabelle 5.4: Schrittweise Besetzung der Spiralarme in verschiedenen Ausbaustufen (max. Punktzahl je Spiralarm: 7, Abbildungen vergrößert)

Besetzungs- schritte	Spiralarme + konzentrische Kreise zur Platzierung der Punkte	resultierende Punktwolke
Hauptarme, bis Ausbaustufe I mit drei Punkten besetzt werden kann		
Auffüllen der Ausbaustufe I, bis gleicher konzentrischer Kreis wie vorher erreicht ist		
Besetzung der Hauptarme und der Nebenarme der Ausbaustufe I, bis Ausbaustufe II mit drei Punkten besetzt werden kann		

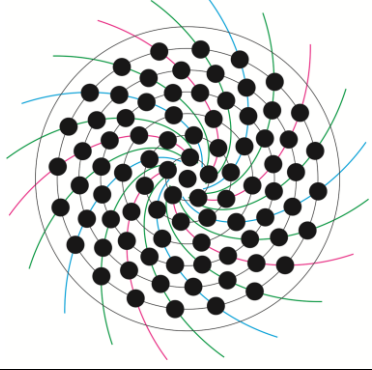
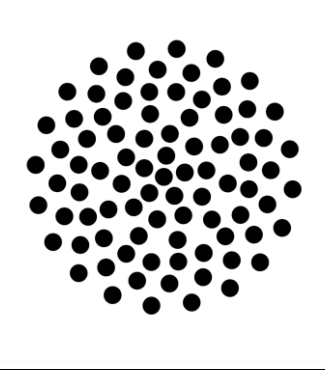
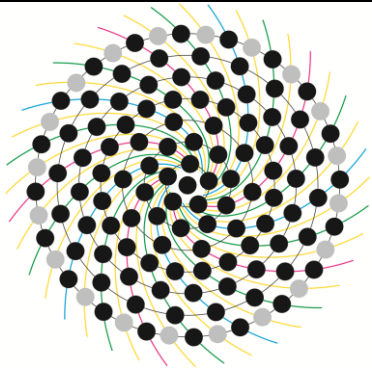
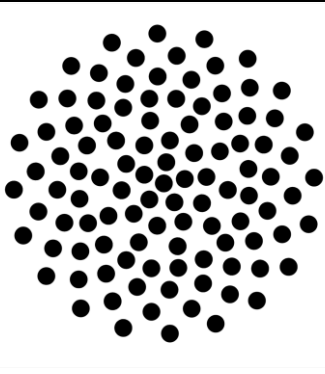
<p>Auffüllen der Ausbaustufe II, bis gleicher konzentrischer Kreis wie vorher erreicht ist</p>		
<p>Besetzung der Hauptarme und der Nebenarme der Ausbaustufen I+II, bis Ausbaustufe III mit drei Punkten besetzt werden kann</p>		

Tabelle 5.4 zeigt die schrittweise Belegung der Spiralarme mit Punkten. Der letzte Schritt wird aufgrund der im Beispiel auf sieben begrenzten Punktzahl je Spiralarm nicht bis zum Ende durchgeführt. Die Zahl drei hat sich am günstigsten erwiesen für die Mindestanzahl von möglichen Punkten auf einem neu einzufügenden Nebenarm.

Zeichenreihenfolge innerhalb der Punktwolke

Wenn die Punktwolken ohne Bezug zur Topographie gesetzt werden (keine Beachtung von Verbreitungs- oder Ausschlussflächen), sollte darauf geachtet werden, dass die Punktwolken ausgewogen aufgebaut werden. Dafür ist folgendes Schema denkbar:

Die Reihenfolge, in der die Punkte eines konzentrischen Kreises gesetzt werden, sollte so gestaltet sein, dass die Punktwolke möglichst ausgewogen zunimmt. Dies wird erreicht, indem jeweils sich gegenüberliegende Arme nacheinander besetzt werden. Als Start dient dabei jeweils der Spiralarm, dessen Punktkoordinaten ohne den Drehwinkel $\delta = 2\lambda = \pi / (2^{(t-2)} \cdot z)$ berechnet werden. Die Bestimmung der Reihenfolge, in der die Spiralarme besetzt werden, ist abhängig davon, ob es sich um eine gerade oder eine ungerade Anzahl von Armen handelt.

Für eine ungerade Anzahl von Spiralarmen wird die Reihenfolge folgendermaßen bestimmt:

- z : Anzahl der Hauptarme, $z \in \mathbb{N}$, $z \in \{5\}$
 - t : Ausbaustufe des Nebenarms, $t \in \mathbb{N}$, $t > 0$ Wenn nur die Hauptarme vorhanden sind, dann gilt auch $t = 1$.
 - p : Anzahl der zu besetzenden Spiralarme, $p \in \mathbb{N}$, $p = 2^{(t-1)} \cdot z$
 - m : Position in der Besetzungsreihenfolge, $m \in \mathbb{N}$, $m \geq 1$
 - n_m : Nummer des Spiralarms mit Index der Position innerhalb der Besetzungsreihenfolge, $n_m \in \mathbb{N}$, $n_m \in [1; 2^{(t-1)} \cdot z]$
- $$n_m = 2^{(t-1)} \cdot z - 0,5 + n_{m-1}$$

Der gegenüberliegende Spiralarm wird bei einer ungeraden Anzahl von Spiralarmen dadurch berechnet, dass die Anzahl zunächst halbiert und anschließend abgerundet wird. Die Schrittweite zum nächsten Spiralarm ist dann für alle folgenden Spiralarme gleich. Abbildung 5.18 zeigt die Reihenfolge der Besetzung für fünf Hauptarme.

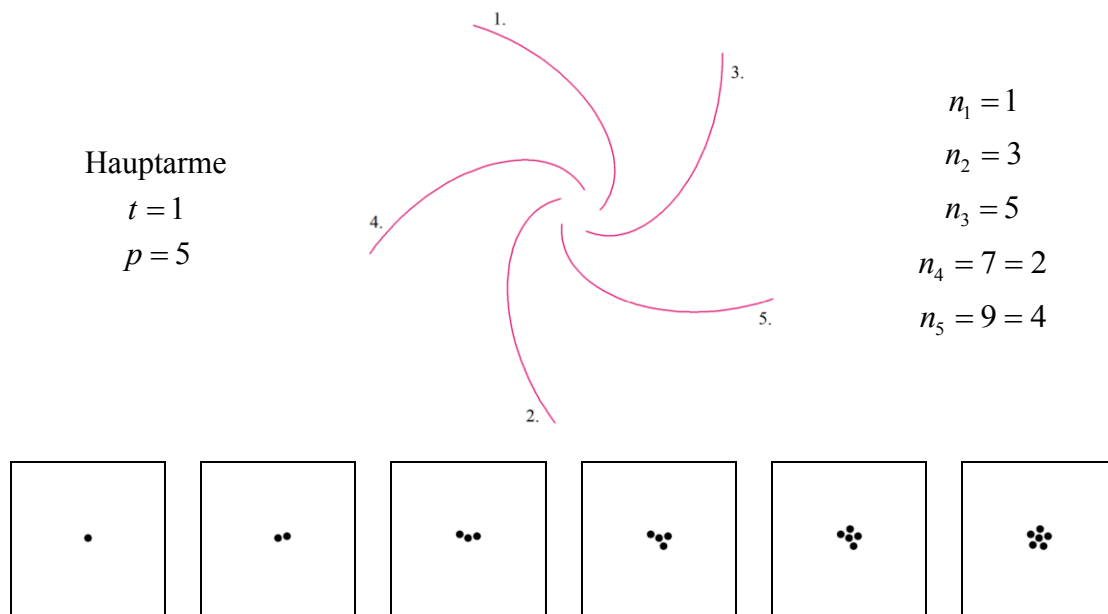


Abbildung 5.18: Reihenfolge der Punktplatzierung für die Punkte 1 bis 6 (Hauptarme)

Die berechneten Werte für n_4 und n_5 verursachen bei der Berechnung der Punktkoordinaten keine Probleme. Eine Reduzierung auf den entsprechenden Wert innerhalb des vorgesehenen Wertebereichs ist nicht notwendig. Da die resultierenden Punktwolken in Abbildung 5.18 größtmäßig nicht an den nummerierten Spiralwirbel angepasst sind, scheint die Reihenfolge der gesetzten Punkte von der Nummerierung abzuweichen. Dies ist jedoch nur auf die Verkleinerung der Punktwolkendarstellung zurückzuführen.

Für die erste Ausbaustufe der Nebenarme wird ebenso verfahren, wie für die Hauptarme (siehe Abbildung 5.19).

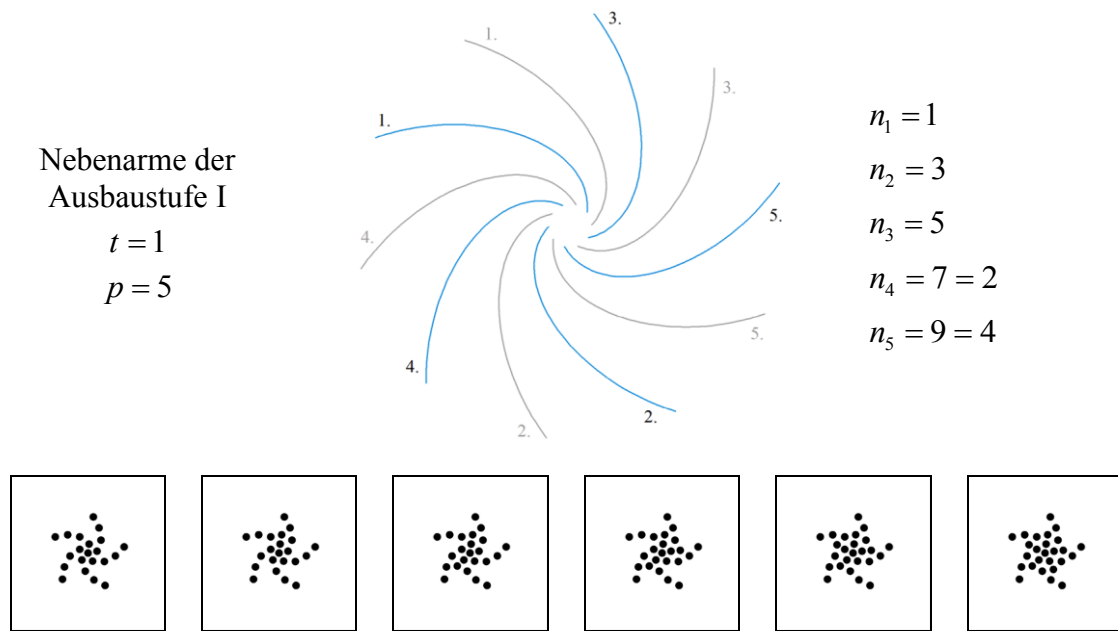


Abbildung 5.19: Reihenfolge der Punktplatzierung für die Punkte 21 bis 26 (Nebenarme der Ausbaustufe I)

Sobald Nebenarme der Ausbaustufe II besetzt werden, bestehen alle zu besetzenden Spiralwirbel aus einer geraden Anzahl von Spiralarmen. Bilden vier oder sechs Hauptarme die Basis des Spiralwirbels, ist die Anzahl der zu besetzenden Spiralarme von Anfang an gerade. Die Besetzungsreihenfolge für zu besetzende Spiralwirbel aus einer geraden Anzahl von Spiralarmen wird folgendermaßen bestimmt:

z : Anzahl der Hauptarme, $z \in \mathbb{N}$, $z \in [4;6]$

t : Ausbaustufe des Nebenarms, $t \in \mathbb{N}$, $t > 0$ Wenn nur die Hauptarme vorhanden sind, dann gilt auch $t = 1$.

p : Anzahl der zu besetzenden Spiralarme, $p \in \mathbb{N}$, $p = 2^{(t-1)} \cdot z$

m : Position in der Besetzungsreihenfolge, $m \in \mathbb{N}$, $m \geq 1$

n_m : Nummer des Spiralarms mit Index der Position innerhalb der Besetzungsreihenfolge, $n_m \in \mathbb{N}$, $n_m \in [1; 2^{(t-1)} \cdot z]$

$$n_m = 2^{(t-1)} \cdot z + n_{m-1} - (m \bmod 2)$$

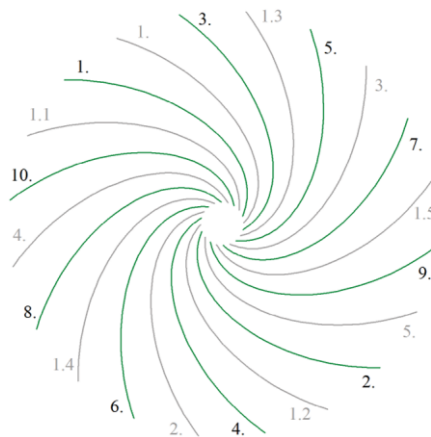
Bei einer geraden Anzahl von Spiralarmen lässt sich der jeweils gegenüberliegende Arm sehr einfach durch $p/2 = 2^{(t-2)} \cdot z$ bestimmen. Allerdings ist bei jedem zweiten Spiralarm zu beachten, dass die Schrittweite zum nächsten Spiralarm in der

Besetzungsreihenfolge um 1 verringert werden muss, da sonst ein bereits besetzter Spiralarms ausgewählt wird. Um zu gewährleisten, dass jede ungerade Position der Besetzungsreihenfolge (ausgenommen die erste) mit einer verringerten Schrittweite gefunden wird, kommt der Modulo-Operator zum Einsatz. Mit ihm wird der Rest einer Division bestimmt. Wird eine gerade Zahl durch 2 geteilt, ist dieser Rest 0. Bei einer ungeraden Zahl beträgt der Rest 1.

Nebenarme der Ausbaustufe II

$$t = 2$$

$$p = 10$$



$$n_1 = 1, n_2 = 6$$

$$n_3 = 10, n_4 = 15 = 5$$

$$n_5 = 19 = 9,$$

$$n_6 = 24 = 4$$

$$n_7 = 28 = 8,$$

$$n_8 = 33 = 3$$

$$n_9 = 37 = 7,$$

$$n_{10} = 42 = 2$$

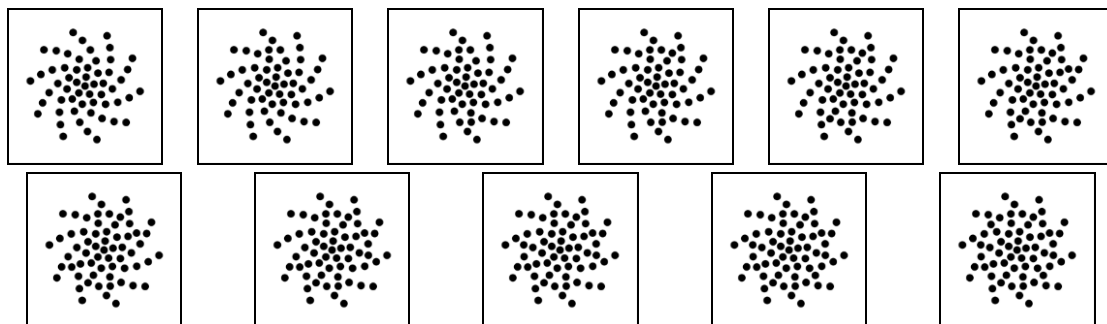


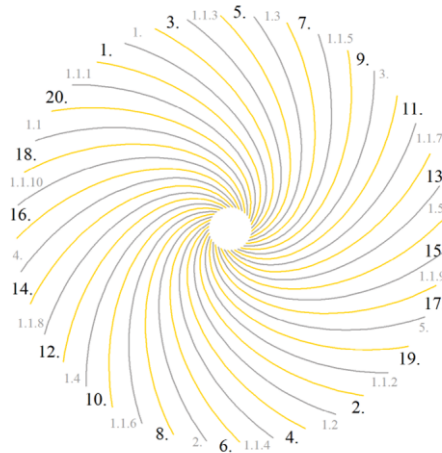
Abbildung 5.20: Reihenfolge der Punktplatzierung für die Punkte 56 bis 66 (Nebenarme der Ausbaustufe II)

Abbildung 5.18 bis Abbildung 5.20 zeigen die Reihenfolge, in der die Punkte einer Punktswolke bei fünf Hauptarmen platziert werden. Abbildung 5.21 gibt die schematische Weiterführung der Besetzungsreihenfolge für Nebenarme der Ausbaustufe III an. In den Besetzungsrounden, in denen alle vorhandenen Spiralarms mit Punkten versehen werden, erfolgt die Platzierung der einzelnen Hierarchiestufen separat mit der jeweils gezeigten Reihenfolge. Dabei werden zunächst die Hauptarme besetzt. Es folgen die Nebenarme der Ausbaustufe I usw.

Nebenarme der Ausbaustufe III

$$t = 3$$

$$p = 20$$



$n_1 = 1$	$n_5 = 39 = 19$	$n_9 = 77 = 17$	$n_{13} = 115 = 15$	$n_{17} = 153 = 13$
$n_2 = 11$	$n_6 = 49 = 9$	$n_{10} = 87 = 7$	$n_{14} = 125 = 5$	$n_{18} = 163 = 3$
$n_3 = 20$	$n_7 = 58 = 18$	$n_{11} = 96 = 16$	$n_{15} = 134 = 14$	$n_{19} = 172 = 12$
$n_4 = 30 = 10$	$n_8 = 68 = 8$	$n_{12} = 106 = 6$	$n_{16} = 144 = 4$	$n_{20} = 182 = 2$

Abbildung 5.21: Reihenfolge der Punktplatzierung für Nebenarme der Ausbaustufe III

Pseudo-zufällige Punktverschiebung

Unabhängig davon, ob eine spezielle Platzierungsreihenfolge eingehalten wird oder nicht, entstehen Punktwolken, die ihren regelbasierten Ursprung nicht verbergen können. Wie bereits erwähnt, soll sich das Automatisierungsverfahren visuell an manuell konstruierten Punktstreuungskarten und deren pseudo-zufälliger Punktanordnung orientieren. Daher wird ein zufälliges Element in die Struktur eingebracht, ohne den Vorteil der Regelbasiertheit (festgelegter Platzbedarf) aufzugeben. Die Berechnung der Punktkoordinaten erfolgt dabei so wie bereits beschrieben. Allerdings wird für die Berechnung ein größerer Punktdurchmesser angenommen, als die Punkte in der Karte letztendlich haben werden. Die vergrößerten Punkte definieren den Platz, in dem die kleineren Punkte, die dann tatsächlich in der Karte erscheinen, verschoben werden können. Abbildung 5.22 zeigt das theoretische Modell. Der Größenunterschied ist überhöht, um das Prinzip zu verdeutlichen. Die gestrichelten Punktumrisse in Abbildung 5.23 zeigen mögliche Punktpositionen der tatsächlichen Punkte innerhalb des vergrößerten Punktes.

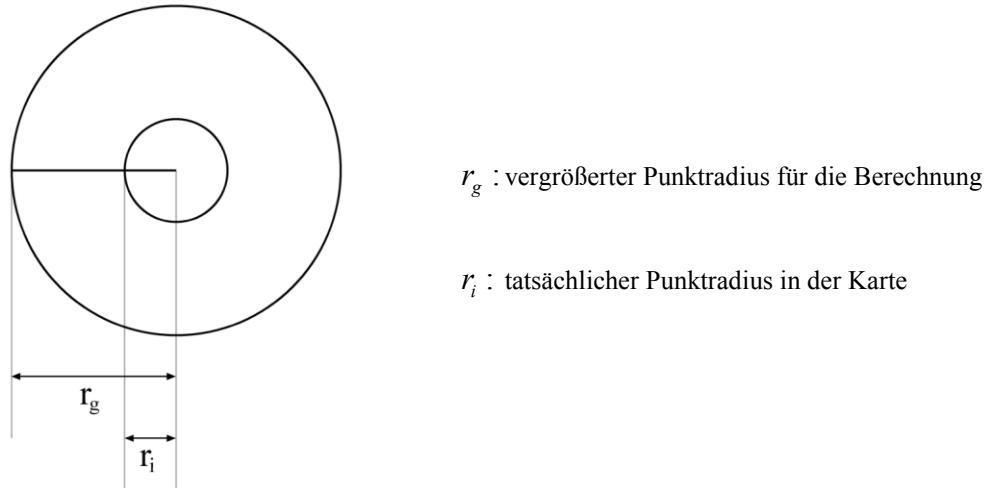


Abbildung 5.22: Veränderter Punktradius für eine pseudo-zufällige Punktplatzierung

Die Verschiebung wird auf Basis der Polarkoordinaten berechnet. Der Richtungswinkel wird mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators erzeugt. Der Startwert für die Initialisierung des (Pseudo-)Zufallszahlengenerators⁸ ist die ursprüngliche Punktposition. So wird garantiert, dass für jeden Punkt individuelle Zufallszahlen entstehen. Außerdem wird sichergestellt, dass bei jeder neuen Initialisierung der gleiche Zufallswert generiert wird. Um den größtmöglichen Verwischungseffekt zu erzielen, wird als Verschiebungsbetrag der maximal mögliche Abstand genutzt. Dieser berechnet sich aus $dist_{\max} = r_g - r_i$.

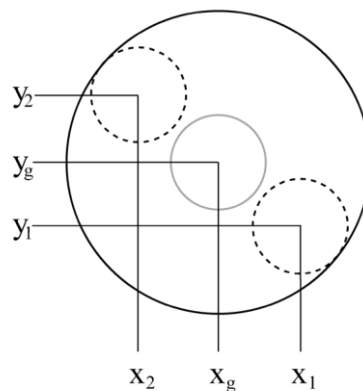


Abbildung 5.23: Mögliche Positionen des Streuungspunktes innerhalb des ‚Pseudopunktes‘

Abbildung 5.24 zeigt die Schritte von der Berechnung der Punktpositionen bis hin zur pseudo-zufälligen Verschiebung der Punktpositionen. Der Mittelpunkt einer Punktwolke wird nicht verschoben. Er dient zur Verortung des dargestellten Wertes.

⁸ Ein Pseudozufallszahlengenerator erzeugt aus einem Startwert auf Grundlage eines feststehenden Algorithmus eine Reihe von Zufallszahlen. Bei gleichem Startwert werden dieselben Zufallszahlen generiert. (vgl. [CHEVALIER et al. 1974])

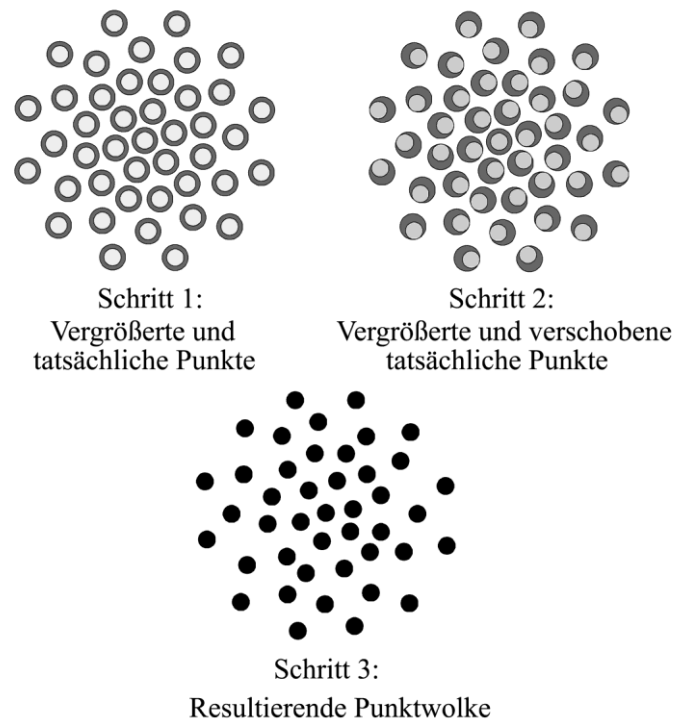


Abbildung 5.24: Schritte der pseudo-zufälligen Punktverschiebung

Wie bereits erwähnt, ist die Reproduzierbarkeit der erzeugten Punktanordnung von großer Bedeutung. Zwei Karten, deren einziger Unterschied der Herstellungszeitpunkt ist, müssen identisch sein. Unterschiede trotz identischer dargestellter Daten und verwendeter Darstellungsmethode würden zu Fehlinterpretationen führen, da sie Unterschiede in den Daten implizieren würden, die nicht vorhanden sind. Das vorgestellte Verfahren führt daher zu identischen Ergebnissen, wenn die Daten unverändert bleiben. Allerdings sollten zwei Punktwolken derselben Größe nicht identisch sein. Dies wird erreicht, indem die ursprünglichen Punktkoordinaten als Basis für die Bestimmung der zufälligen Verschiebung genutzt werden. Abbildung 5.25 stellt zwei solche Punktwolken gegenüber und zeigt, dass die pseudo-zufällige Punktverschiebung trotz ihrer Reproduzierbarkeit individuelle Punktmuster erzeugt.

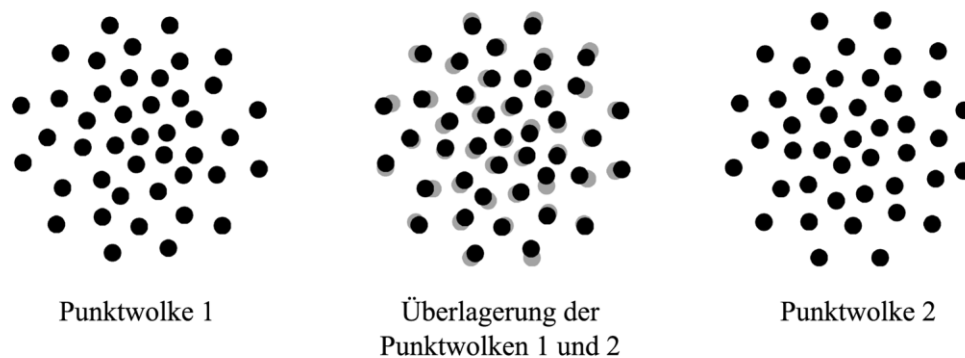


Abbildung 5.25: Pseudo-zufällige Punktverschiebung bei Punktwolken gleicher Größe

Durch das Einfügen der Nebenarme entstehen Dichtesprünge in der Punktwolke. Die Grundstruktur der Punktwolke, die konzentrischen Kreise, wird dabei unvorteilhaft betont (siehe Abbildung 5.26). Die Dichtesprünge werden vor allem in größeren Punktwolken sichtbar.

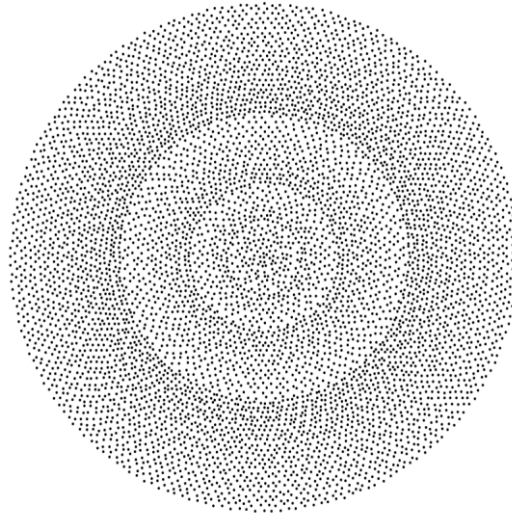


Abbildung 5.26: Dichtesprünge bei Punktplatzierung mit festen Abständen

Um die Dichtesprünge quantitativ zu erfassen, wurde der Bedeckungsgrad für jeden konzentrischen Kreis bestimmt. Dabei wird zunächst die Kreisringfläche berechnet, die für die Platzierung der Punkte zur Verfügung steht. Dann wird geprüft, wie viele Punkte bei verschiedenen Besetzungsrundenzahlen tatsächlich platziert werden. Bei der Berechnung muss berücksichtigt werden, dass Lücken zwischen bereits besetzten Spiralarmen erst mit einer Verzögerung von zwei Runden aufgefüllt werden. Das bedeutet z.B., wenn ab der zweiten Besetzungsrunde Nebenarme eingefügt werden können, so werden diese Arme erst ab der vierten Besetzungsrunde besetzt. In der vierten Runde werden also zunächst die noch fehlenden Punkte aus der zweiten Runde nachgetragen, dann die der dritten Runde und erst danach werden die Punkte der vierten Runde gesetzt. Abbildung 5.27 zeigt das Prinzip der Kreisringflächen.

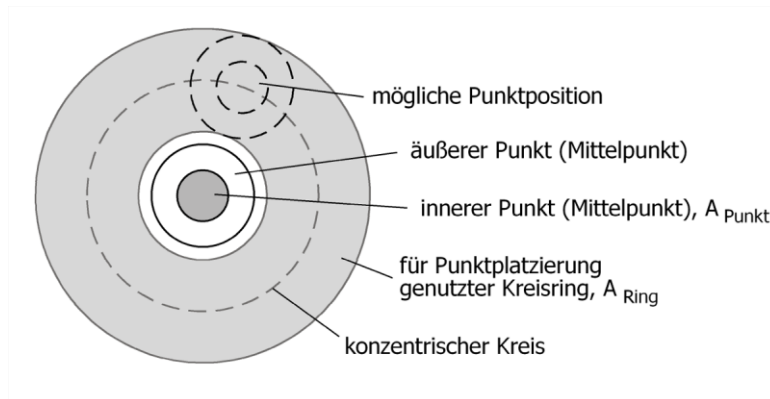


Abbildung 5.27: Aufbau einer Kreisringfläche in der Punktstreuungskarte

Der Bedeckungsgrad B berechnet sich als Quotient aus den Flächen der gesetzten Punkte und der Fläche des entsprechenden Kreisrings.

$$B = \frac{n \cdot A_{\text{Punkt}}}{A_{\text{Ring}}}, \text{ wobei } n \text{ für die Anzahl der gesetzten Punkte steht.}$$

Diese berechnet sich aus der Anzahl der Hauptarme z und der aktuellen Ausbaustufe t .

$$n = z \cdot (1 + t)$$

$$A_{\text{Punkt}} = \pi \cdot r_i^2, \text{ wobei } r_i \text{ der Radius des tatsächlichen Punktes ist.}$$

Der Kreisring besteht aus dem Bereich um den konzentrischen Kreis, der für die Punktplatzierung in Anspruch genommen werden kann. Die Radien der konzentrischen Kreise sind ein Vielfaches von $2R$. Der Faktor bestimmt sich aus der Besetzungsrunde. In der ersten Besetzungsrunde hat der Kreis einen Radius von $2R$; in der zweiten von $2 \cdot 2R$, usw. Die Punktposition wird durch den Schnitt des konzentrischen Kreises mit dem Spiralarm bestimmt und dann nochmals zufallsbasiert verschoben. Für die Berechnung der Punktposition wird, wie bereits beschrieben, zunächst ein vergrößerter Punkt (r_g) genutzt. Innerhalb dieses Punktes wird dann der kleinere tatsächliche Punkt pseudo-zufällig verschoben. Die Fläche des Kreisrings ist die Differenz zwischen den Kreisen, deren Radien jeweils um r_g von dem Radius des konzentrischen Kreises abweichen.

$$A_{\text{Ring}} = \pi(k \cdot 2R + r_g)^2 - \pi(k \cdot 2R - r_g)^2; \quad B = \frac{n \cdot r_i^2}{8 \cdot k \cdot R \cdot r_g}$$

Mit $R = r_g + 0,1 \text{ mm}$ folgt:

$$B = \frac{n \cdot r_i^2}{8 \cdot k(r_g^2 + r_g \cdot 0,1 \text{ mm})}$$

Für die drei Szenarien der Anzahl der Hauptarme (vier, fünf oder sechs) ergeben sich die in den Diagrammen in Abbildung 5.28 dargestellten Bedeckungsgrade.

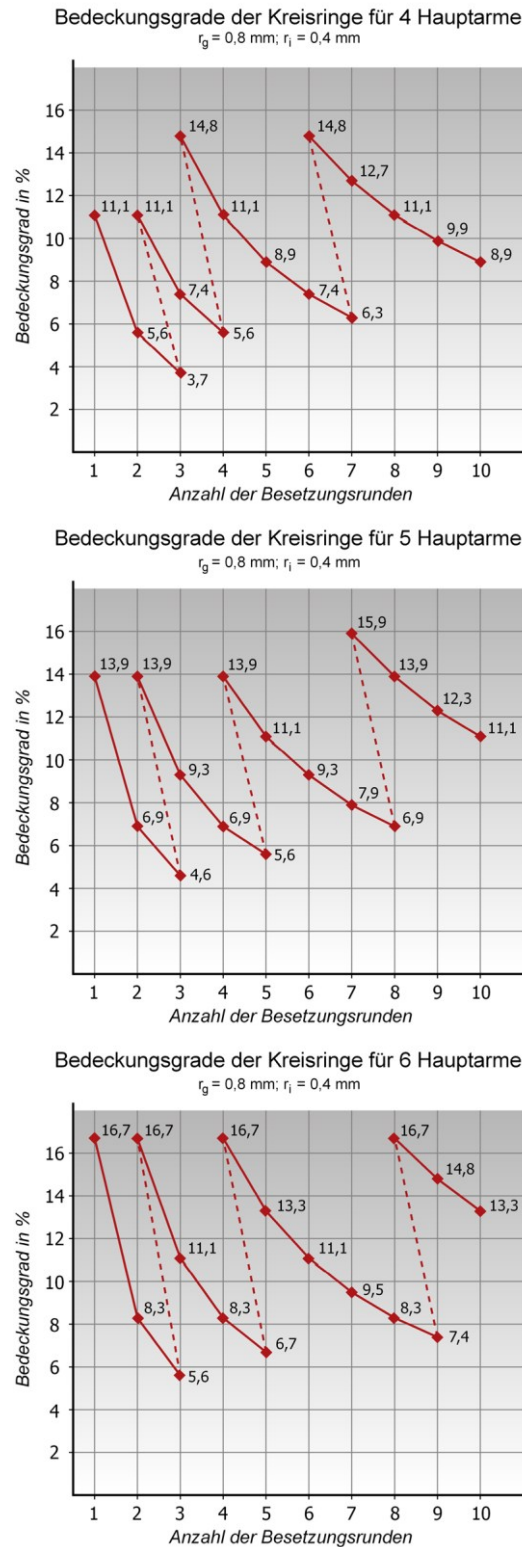


Abbildung 5.28: Bedeckungsgrade der Kreisringflächen für verschiedene Hauptarmkonfigurationen

Die durchgezogenen Liniensegmente repräsentieren jeweils die Anzahl der Punkte auf einem konzentrischen Kreis. Das Liniensegment links steht für die Basisanzahl an Punkten, die der Anzahl der Hauptarme entspricht. Mit jedem Liniensegment weiter rechts verdoppelt sich die Anzahl der Punkte durch das Einfügen von Nebenarmen. So

stehen beispielsweise die durchgezogenen Liniensegmente im unteren Diagramm für die Punktzahlen: sechs, zwölf, 24 und 48. Das stetige Fallen der einzelnen Liniensegmente zeigt die Aufhellung durch einen wachsenden Punktabstand auf den konzentrischen Kreisen bei gleichbleibender Punktzahl. Die gestrichelten Liniensegmente zeigen das nachträgliche Auffüllen der Lücken.

5.2.3 Ansatz der dynamischen Abstände

Das Problem der Helligkeitssprünge lässt sich mit dem entwickelten Modell des Spiralwirbels mit festen Mindestabständen nicht lösen. Daher wird dieser Ansatz weiterentwickelt zur Methode der dynamischen Abstände. Die Position des ersten Punktes auf einem konzentrischen Kreis wird weiterhin durch die Spirale bestimmt. Alle weiteren Punkte werden dann jedoch an die Größe des Kreises angepasst. Es werden so viele Punkte pro Kreis gesetzt, dass die Mindestabstände eingehalten werden, jedoch keine größeren Lücken entstehen. Um die Punktwolke nach außen weniger dicht zu gestalten, wird der Mindestabstand zwischen den einzelnen Punkten und zwischen aufeinanderfolgenden konzentrischen Kreisen sukzessive erhöht. Als Abstand der Punkte auf dem Kreis wird die Sehne betrachtet, die beide Punktpositionen verbindet.

Für die Bestimmung der Punktpositionen unter Verwendung dynamischer Abstände wird zunächst aus dem bekannten maximalen Kreisradius (siehe *Kapitel 5.1*) die Anzahl der möglichen konzentrischen Kreise (= Besetzungsrunden) berechnet. Dabei wird der Mindestabstand $2R$ um einen von der Punktgröße abhängigen Wert vergrößert. Der Einfluss der Vergrößerung wächst mit zunehmender Anzahl an Kreisen (siehe *Abbildung 5.29*). Die Stärke des Einflusses kann über die Variable *faktor* reguliert werden. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Wert von 0,1 verwendet.

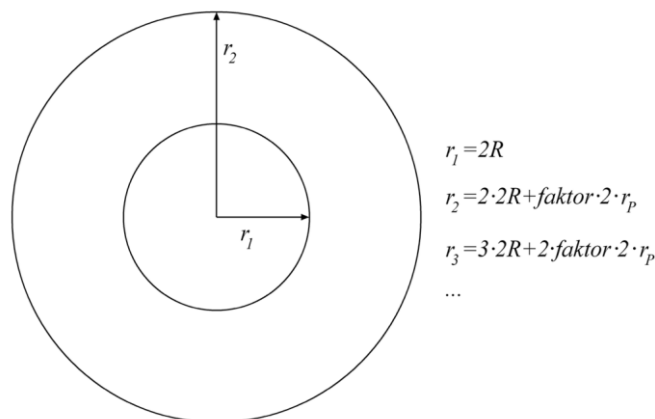


Abbildung 5.29: Prinzip der dynamischen Kreisabstände

Die Berechnung der Anzahl der Besetzungsrunden erfolgt mit der Formel:

$$r_{\max} = k \cdot 2R + (k - 1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g$$

wobei:

r_{\max} : Radius des maximal möglichen Kreises

k : Anzahl der Besetzungsrunden

$2R$: Mindestabstand

faktor : Gewichtungsfaktor für den Einfluss der Punktgrößenabhängigkeit

r_g : Radius des äußeren Punktes

Da die gesamte Punktgröße in den gewichteten Abstandszuwachs einfließen soll (Punktdurchmesser) wird der Faktor 2 vor dem Punktradius eingefügt. Nach Umstellen der Gleichung erhält man:

$$k = \frac{r_{\max} + faktor \cdot 2 \cdot r_g}{2R + faktor \cdot 2 \cdot r_g}$$

Die Anzahl der Punkte wird dann bestimmt, indem zunächst der Mindestabstand $2R$ für den Punktabstand auf dem Kreis angenommen wird. Der erste Punkt auf dem Kreis wird festgelegt durch den Schnittpunkt der Spirale mit dem Kreis. Ausgehend von diesem Startpunkt P_l wird der Punktabstand als Sehne über dem Winkel α so oft abgetragen, bis der Mindestabstand zum ersten Punkt nicht mehr eingehalten werden kann. Dieser letzte Punkt kann demzufolge nicht gesetzt werden (siehe Abbildung 5.30). Wenn die Anzahl der Punkte feststeht, werden diese gleichmäßig auf dem Kreis verteilt. Dafür wird der Vollwinkel in die entsprechende Anzahl von Winkeln zerlegt und dann werden die Punktpositionen festgelegt. Die so bestimmten Winkel dienen als Richtungswinkel in den Polarkoordinaten der Punkte. Die Anzahl der Punkte in Abbildung 5.30 ist auf fünf reduziert, um sie übersichtlicher zu gestalten.

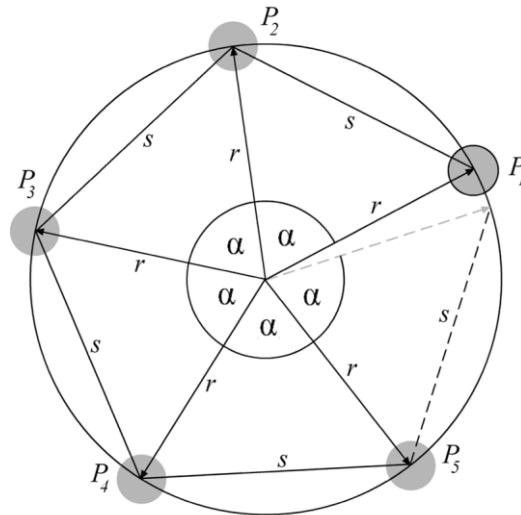


Abbildung 5.30: Bestimmung der möglichen Punktzahl mit dynamischen Abständen

Die Rechnung beginnt mit der Festlegung des Winkels α . Dieser wird durch den dynamischen Mindestabstand (Länge der Sehne s über dem Winkel) bestimmt.

$$s = 2r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \rightarrow \alpha = 2 \cdot \arcsin \frac{s}{2r}, \text{ wobei gilt:}$$

$$r = i \cdot 2R + (i - 1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g; \quad s = 2R + (i - 1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g$$

r : Kreisradius

i : Nummer der aktuellen Besetzungsrunde

$2R$: Mindestabstand

faktor: Gewichtungsfaktor für den Einfluss der Punktgrößenabhängigkeit

r_g : Radius des äußeren Punktes

Anschließend wird die Anzahl der möglichen Punkte berechnet.

$$Anzahl = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

Der ganzzahlige Teil dieses Ergebnisses ($Anzahl'$) ist die Punktzahl. Diese wird wiederum genutzt, um die tatsächlichen Richtungswinkel der Punkte zu bestimmen.

$$\alpha_{real} = \frac{360^\circ}{Anzahl'}$$

Die Punktkoordinaten berechnen sich dann wie folgt:

$$x_{i,j} = r_i \cdot \cos(\varphi_i + (j - 1) \cdot \alpha_{real}), \quad y_{i,j} = r_i \cdot \sin(\varphi_i + (j - 1) \cdot \alpha_{real})$$

$j \in \mathbb{N}; j \in [1; Anzahl']$; j : Punktnummer in aktueller Besetzungsrunde

Abbildung 5.31 zeigt die so berechneten Punktpositionen, die dann wie beschrieben mit einer zufälligen Verschiebung versehen werden.

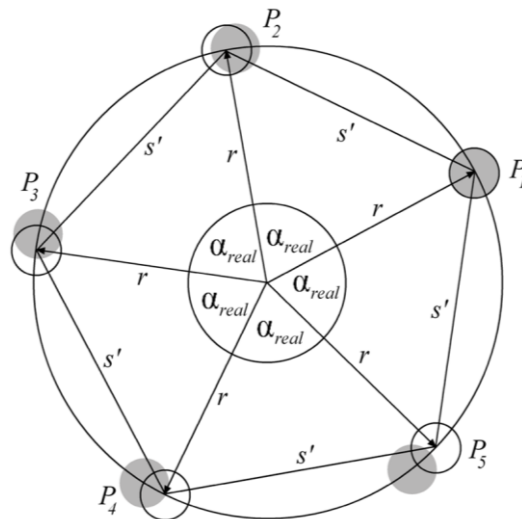


Abbildung 5.31: Punktpositionen mit angepassten Richtungswinkeln für eine gleichmäßige Verteilung mit dynamischen Abständen

Durch den weniger kompakten Aufbau der Punktvolke bei der Verwendung dynamischer Abstände (siehe Abbildung 5.32) werden im Vergleich zur Methode der festen Abstände (Abbildung 5.26) weniger Punkte auf gleicher Fläche platziert. Dadurch ist der erreichbare Punktwert unter Umständen größer und die Punktstreuungsdarstellung damit ungenauer.

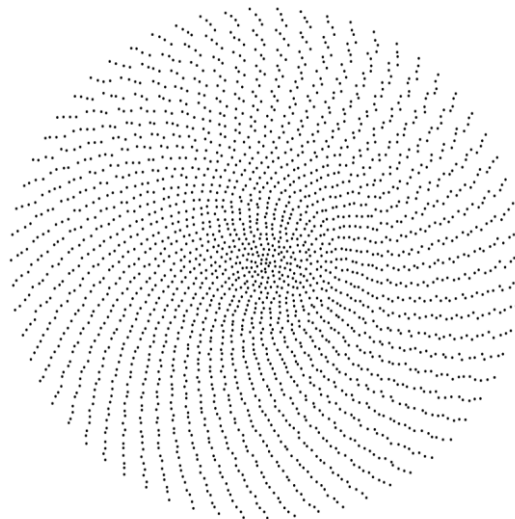


Abbildung 5.32: Punktplatzierung mit dynamischen Abständen

Der Bedeckungsgrad B für die Methode der dynamischen Abstände berechnet sich ähnlich wie für die festen Abstände.

$$B = \frac{n \cdot A_{Punkt}}{A_{Ring}}, \text{ wobei } n : \text{Anzahl gesetzter Punkte}$$

Die Anzahl der gesetzten Punkte berechnet sich aus der Größe des Kreises. Aus den oben aufgeführten Gleichungen ergibt sich für die Anzahl der Punkte auf einem Kreis:

$$n = \frac{360^\circ}{2 \cdot \arcsin\left(\frac{2R + (i-1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g}{4R \cdot i + (i-1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g}\right)}, \text{ mit } R = r_g + 0,1mm \text{ folgt:}$$

$$n = \frac{360^\circ}{2 \cdot \arcsin\left(\frac{2 \cdot (r_g + 0,1mm) + (i-1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g}{4 \cdot (r_g + 0,1mm) \cdot i + (i-1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g}\right)}$$

Das berechnete n wird abgerundet.

$$A_{Punkt} = \pi \cdot r_i^2, \text{ wobei } r_i \text{ der Radius des tatsächlichen Punktes ist.}$$

Die Fläche des für die Punktplatzierung genutzten Kreisrings wird berechnet mit der Formel:

$$A_{Ring} = \pi(i \cdot 2R + (i-1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g + r_g)^2 - \pi(i \cdot 2R + (i-1) \cdot faktor \cdot 2 \cdot r_g - r_g)^2$$

Mit $R = r_g + 0,1mm$ folgt:

$$A_{Ring} = 8 \cdot \pi((i + (i-1) \cdot faktor) \cdot r_g^2 + i \cdot r_g \cdot 0,1mm)$$

Bedeckungsgrade der Kreisringe für dynamische Abstände
 $r_g = 0,8 \text{ mm}; r_i = 0,4 \text{ mm}$

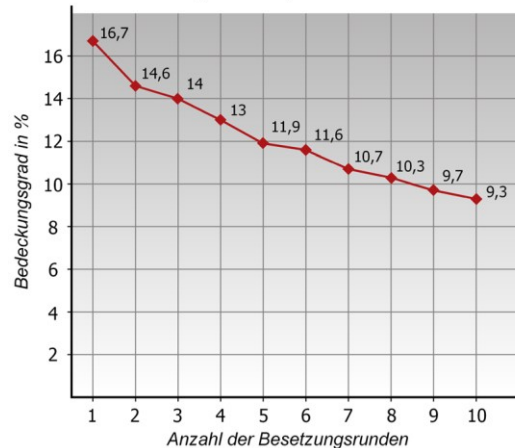


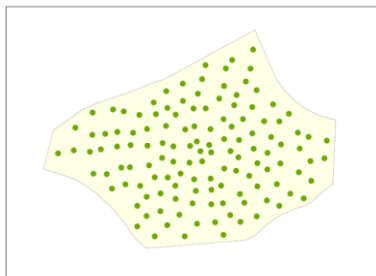
Abbildung 5.33: Bedeckungsgrade der Kreisringflächen für dynamische Abstände

Wie Abbildung 5.33 zeigt, nimmt der Bedeckungsgrad mit dynamischen Abständen stetig ab. Da auch hier nur die Kreisringflächen betrachtet wurden, in denen tatsächlich Punkte auftreten können, ist die Wirkung im Kartenbild noch deutlicher. Zwischen den betrachteten Kreisringflächen befinden sich immer Flächen, die für die Einhaltung der

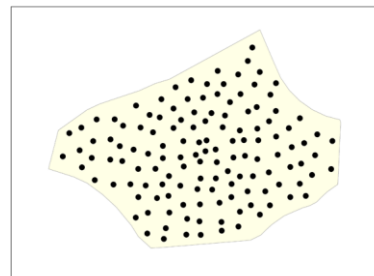
Mindestabstände erforderlich sind. Diese Flächen sind stets frei von Punkten. Bei der Methode der festen Abstände ist die Breite dieser Kreisringflächen jeweils $0,2\text{mm}$. Bei der Methode der dynamischen Abstände wächst die Breite dieser Kreisringflächen mit zunehmendem Abstand zum Mittelpunkt der Punktwolke in Abhängigkeit von der Punktgröße.

5.2.4 Maximierung der Punktzahl

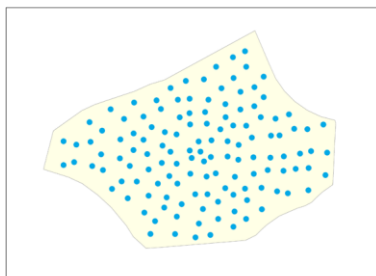
Nachdem alle möglichen Punktpositionen inklusive der pseudo-zufälligen Punktverschiebung innerhalb der Platzierungsflächen berechnet sind, werden sie mittels Punkt-in-Polygon-Test auf ihre Lage bezüglich Verbreitungsgebieten und Ausschlussflächen geprüft. Um die Anzahl der tatsächlich platzierbaren Punkte zu maximieren, wird die berechnete Punktverteilung schrittweise um die Mitte der Punktwolke gedreht, um die Position (Rotationsstufe) zu finden, in der die meisten Punkte gesetzt werden können. Abbildung 5.34 zeigt die Drehung im mathematisch positiven Sinn um jeweils 90° für einen Beispieldatensatz, der sich auf ein Verbreitungsgebiet bezieht. Für jede Rotationsstufe wird die maximal mögliche Punktzahl bestimmt und dann diejenige mit der größten Anzahl ausgewählt. Die günstigste Rotationsstufe wird für jede Punktwolke individuell bestimmt und variiert daher im Kartiergebiet.



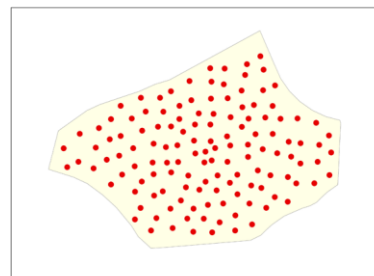
Stufe 1, Originalposition, 130 Punkte



Stufe 2, um 90° gedreht, 133 Punkte (ausgewählt)



Stufe 3, um 180° gedreht, 131 Punkte



Stufe 4, um 270° gedreht, 133 Punkte

Abbildung 5.34: Mögliche Punktpositionen für verschiedene Rotationsstufen

Für die automatisierte Konstruktion der Punktstreuungsdarstellung wird die Positionsbestimmung mit dynamischen Abständen verwendet, da sie visuell ansprechendere

Ergebnisse liefert als das Verfahren mit festen Abständen. Nach Auswahl der günstigsten Rotationsstufe steht die maximal mögliche Anzahl an Streuungspunkten je Bezugspunkt fest. Um nun die tatsächlich benötigte Punktzahl zu bestimmen, wird daraus der Punktwert ermittelt.

5.3 Festlegung des Punktwertes

Die Auswahl sinnvoller Punktwerte richtet sich nicht nur nach dem Platz in der Karte (und damit der Anzahl möglicher Punkte), sondern auch nach der Eignung des Wertes für Vergleiche und zum Schätzen der dargestellten Mengen. Daher ist die simple Berechnung Mengenswert / Punktzahl nicht ausreichend. Nach der Bestimmung der Anzahl der Punkte, die tatsächlich gesetzt werden können, wird der eben genannte Koeffizient für alle Punktwolken bzw. Bezugspunkte berechnet. Für die weiteren Betrachtungen wird der Wert ausgewählt, der am höchsten ist, d.h. die Punktwolke mit dem ungünstigsten Verhältnis von darzustellender Menge und zur Verfügung stehenden Streuungspunkten. Der so bestimmte grobe Richtwert dient nun zur Auswahl eines sinnvollen Punktwertes. Als sinnvolle Punktwerte werden hierbei Werte betrachtet, die z.B. ein Vielfaches von 5 sind. Wobei nicht alle diese Werte als sinnvoll angesehen werden. So ist ein Punktwert von 35 zwar ein Vielfaches von 5, aber zum Rechnen und Vergleichen meist nicht so gut geeignet wie beispielsweise 25 oder 50. Als Schema zur Bestimmung der sinnvollen Punkte wurde folgendes entwickelt:

Der Wert 1 scheidet von vornherein aus, da es sich bei diesem Punktwert um eine Standortkarte handeln würde. Der Wert 1 dient jedoch als Basis für das entwickelte Schema. Als niedrigster Punktwert wird 2 festgelegt. Auch ein Punktwert von 5 wird als günstig betrachtet. Um diese Werte aus der Basis 1 zu erhalten, ist eine Multiplikation mit 2 bzw. 5 notwendig. Die unterste Stufe des Schemas besteht also aus Basis $\times 2$ und Basis $\times 5$. Der Wert 5 dient nun als Ausgangsbasis für die Stufe 1 des Schemas. Wird das eben entwickelte Multiplikationsschema nun auf diese Basis angewendet, so ergeben sich die Werte 10 und 25. Beides sind gut geeignete Punktwerte. Die Stufe 1 des Schemas besteht also wieder aus Basis $\times 2$ und Basis $\times 5$. Für die nächste Stufe dient 25 als Basis. Nun muss das Multiplikationsschema leicht verändert werden. 25×2 ergibt 50, einen sinnvollen Punktwert. Jedoch ergibt $25 \times 5 = 125$. Dieser Wert ist vor allem für das schnelle Zusammenaddieren weniger geeignet. Daher wird der Faktor zu 4 geändert. 25×4 ergibt 100. Das Schema der Stufe 2 lautet wie folgt: Basis $\times 2$ und Basis $\times 4$. 100 wird die Basis für Stufe 3. Auch in dieser Stufe sind die Multiplikatoren

zu verändern. Basis $\times 2,5$ und Basis $\times 5$ führen zu den Punktwerten 250 und 500. Ab der nächsten Stufe findet erneut das Schema der Stufe 1 Anwendung. Diesmal mit der Basis 500. Es ergeben sich damit die Punktwerte 1000 und 2500. Für Stufe 5 wird das Schema von Stufe 2 verwendet. Die Basis ist 2500. Das führt zu den Werten 5000 und 10000. Stufe 6 wird mit dem Schema der Stufe 3 bearbeitet. Für die Basis 10000 ergibt das die Werte 25000 und 50000. Für die weiteren Stufen wird wie beschrieben verfahren. Es werden immer die Multiplikatoren der Stufen 1 bis 3 auf die Basis angewendet, die sich als letzter Wert der vorangegangenen Stufe ergeben hat. Das Schema im Überblick zeigt Tabelle 5.5.

Tabelle 5.5: Multiplikatorenschema für die Bestimmung sinnvoller Punktwerte

Stufe	Basis	Multiplikator1	Punktwert	Multiplikator2	Punktwert
0	1	2	2	5	5
1	5	2	10	5	25
2	25	2	50	4	100
3	100	2,5	250	5	500
4	500	2	1000	5	2500
5	2500	2	5000	4	10000
6	10000	2,5	25000	5	50000
7	50000	2	100000	5	...

Für die vorliegende Arbeit wurde die automatische Punktwertbestimmung nach obigem Schema implementiert. Es sollten natürlich auch Nutzervorgaben für den Punktwert möglich sein, wenn z.B. der Vergleich mit einer vorhandenen Karte im Vordergrund steht. Um hier den unerfahrenen Kartenbearbeiter vor Fehlern zu schützen, sollte eine Warnung ausgegeben werden, wenn der gewählte Punktwert kleiner als der automatisch bestimmte ist.

Die Festlegung der notwendigen Punktanzahl erfolgt nach Bestimmung des Punktwertes durch mathematisches Runden des Quotienten Mengenswert/Punktwert. Es werden dann je Punktwolke so viele Punkte wie erforderlich gesetzt. Die Auswahl der Punktpositionen erfolgt dabei in Berechnungsreihenfolge. Die Berechnung der Punktpositionen startet mit dem Mittelpunkt der Punktwolke und wird dann rundenweise von

innen nach außen ausgeführt. So ist ein gleichmäßiges Wachstum der Punktwolke mit steigender Punktzahl gewährleistet. Für die Punktauswahl werden die Punktpositionen nicht erneut berechnet, sondern aus den bereits vorhandenen ausgewählt.

5.4 Fehlerbetrachtung

Jede Punktstreuungskarte erzeugt durch die quantitative Generalisierung bei der Festlegung des Punktwertes Fehler in der Darstellung der Absolutwerte. Um den Aussagewert der Karte beurteilen zu können, sollte dieser Fehler bestimmt und dem Kartenbearbeiter ausgegeben werden.

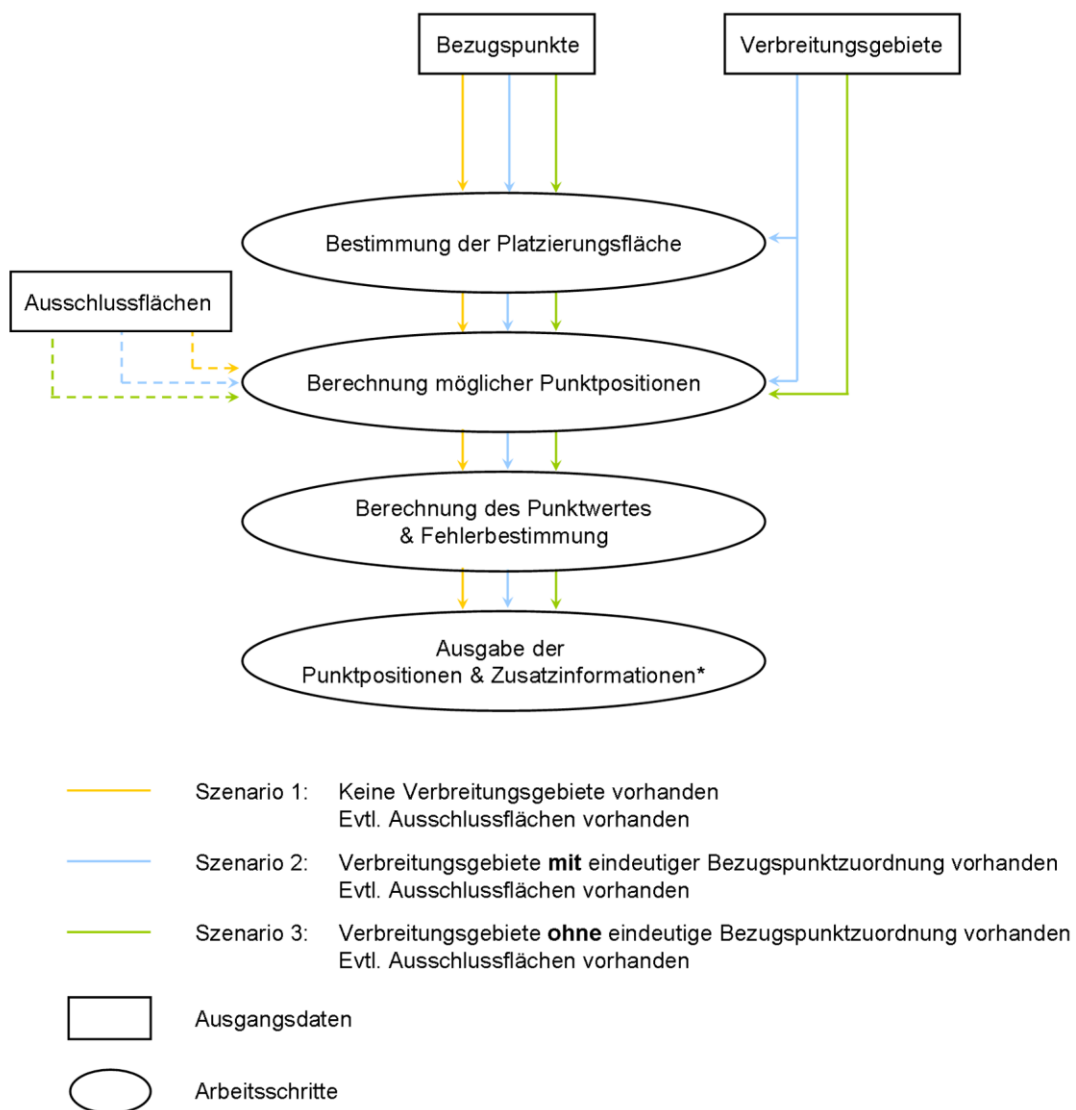
In der vorliegenden Arbeit wird die Abweichung der Darstellung vom ursprünglichen Datenwert für jede Punktwolke und das Kartiergebiet insgesamt berechnet und mit der Position der Streuungspunkte ausgegeben. Bei der Fehlerbetrachtung für die Punktwolken wird auch der maximale Fehlerbetrag unter allen Werten ermittelt. Dieser Wert dient hauptsächlich dazu, zu erkennen, ob die Dichteunterschiede der Karte unter den gegebenen Bedingungen adäquat wiedergegeben werden können. So kann es z.B. vorkommen, dass in Streusiedlungsgebieten aufgrund des durch die Ballungsgebiete als sehr groß festgelegten Punktwertes keine Punkte gesetzt werden dürfen, da die darzustellende Menge weniger als die Hälfte des Punktwertes beträgt. In diesem Fall wird dennoch ein Streuungspunkt gesetzt und die Punktwolke als ‚problematisch‘ markiert. So kann der Kartenbearbeiter entscheiden, ob er sie gegebenenfalls mit einer benachbarten Punktwolke zusammenfasst. Durch das Setzen von mindestens einem Streuungspunkt geht keiner der darzustellenden Werte verloren. Dies führt allerdings zu einem erhöhten Gesamtfehler der Karte. Treten im Kartiergebiet keine problematischen Punktwolken auf, darf der maximale Fehlerbetrag aller Punktwolken nicht größer als der Punktwert sein.

Die Fehlerbetrachtung für das gesamte Kartiergebiet liefert den Gesamtfehler der Karte. Dieser kann positiv oder negativ sein. Es ist ratsam, für die Qualitätsbeurteilung beide Fehlerbetrachtungen einzubeziehen, da der Gesamtfehler keine Aussagen über lokale Fehlerhäufungen trifft. Es obliegt dem Kartenbearbeiter, entsprechend der ausgegebenen Fehlerwerte Punkte hinzuzufügen oder auch zu entfernen.

Kapitel 6

Test des entwickelten Automatisierungsverfahrens

Um die Funktionsweise des in *Kapitel 5* beschriebenen Verfahrens zu testen, wurde es prototypisch implementiert und anhand verschiedener Bevölkerungsdatensätze getestet. Die Schritte des Verfahrens und die Beschreibung der Anwendungsszenarien zeigt Abbildung 6.1.



* Es werden zusätzlich zur Geometrie (Punktpositionen) u.a. auch der Punktwert, die Punktgrößen (äußerer und innerer Punkt) und die berechneten Fehler ausgegeben.

Abbildung 6.1: Arbeitsschritte des Automationsalgorithmus

6.1 Implementierung

Die Umsetzung des Algorithmus zur Erzeugung einer Punktstreuungsdarstellung erfolgt in Java. Diese objektorientierte Sprache ist weit verbreitet und bietet die Möglichkeit bereits bestehende Funktionen, vor allem im Bereich der GIS-Funktionen (GeoTools: www.geotools.org, JTS Topology Suite: www.vividsolutions.com), zu nutzen.

Der entwickelte Automatisierungsalgorithmus verfügt momentan noch nicht über eine graphische Oberfläche. Einige der Programmparameter werden per Eingabeaufforderung während des Programmablaufs vom Nutzer abgefragt, andere können nur im Quellcode geändert werden. Im Folgenden werden die veränderbaren Parameter, sowie deren Format und der Ort bzw. Zeitpunkt ihrer Definition näher erläutert.

6.1.1 Veränderbare Parameter

Die veränderlichen Visualisierungsparameter sind der Maßstab, der Mindestabstand, der Progressionsfaktor, sowie die innere und äußere Punktgröße. Neben den Visualisierungsparametern beinhaltet das Programm auch einige andere variable Größen. Dazu gehören die Dateipfade der Quell- und Ausgabedateien, sowie die Angabe des Anwendungsszenarios (Festlegung der zur Verfügung stehenden Daten). Es besteht außerdem die Möglichkeit einen angestrebten Punktwert (für Vergleiche) festzulegen. Kann dieser mit den gewählten Visualisierungsparametern nicht realisiert werden, wird dies dem Nutzer mitgeteilt.

Für manche Parameter, insbesondere die Punktgrößen und den Mindestabstand, werden Standardwerte vorgegeben, die im Allgemeinen zu guten Ergebnissen führen. Dies soll ungeübte Kartenbearbeiter unterstützen. Die Dateipfade der Quell- und Ausgabedateien können vom Nutzer mittels eines Dateiauswahldialogs festgelegt werden.

6.1.2 Programmablauf

Anhand der eingelesenen Bezugspunkte und dem gewählten Anwendungsszenario werden zunächst die Platzierungsflächen bestimmt. Anschließend werden mit der festgelegten äußeren Punktgröße alle möglichen Punktpositionen bestimmt. Diese werden dann durch den Übergang zur inneren Punktgröße und die Anbringung der pseudo-zufälligen Punktverschiebung in die tatsächlichen Punktpositionen umgewandelt. Sind Verbreitungs- und/oder Ausschlussflächen zu beachten werden anschließend die entsprechenden Punkt-in-Polygon-Tests durchgeführt. Um möglichst viele Punkte je Bezugspunkt setzen zu können (und damit einen möglichst kleinen

Punktwert zu ermöglichen) werden verschiedene Punktconstellationen getestet (Rotationsstufen). Die berechneten Punktpositionen einer Punktwolke werden dafür schrittweise um den Bezugspunkt gedreht. Mit der so bestimmten Punktzahl je Bezugspunkt wird der passende Punktwert berechnet. Nach der Festlegung des Punktwertes wird für jede Punktwolke die notwendige Anzahl an Punkten berechnet. Nachdem feststeht, wie viele Punkte eine Punktwolke enthalten wird, folgt die Bestimmung des Fehlers, der durch die Abweichung des dargestellten vom darzustellenden Datenwert entsteht. Die erzeugte Ausgabedatei im Shapefile-Format enthält die Streuungspunkte als geometrische Objekte sowie deren Sachdaten u.a. den darzustellenden Datenwert, den gewählten Punktwert und die bestimmten Fehlerwerte. Die Visualisierung der Punktstreuungsdarstellung erfolgt dann in einem GIS, z.B. ArcMap von ESRI. Dort kann die erzeugte thematische Ebene mit topographischen Elementen kombiniert werden und eine vollständige Punktstreuungskarte entstehen.

6.2 Bevölkerungsdatensatz „Rostock“ (1:25 000)

Für einen Test des Verfahrens im Bereich der Detailkarten wurde ein Ausschnitt des Rostocker Stadtgebietes betrachtet. Es wurden Bevölkerungszahlen der amtlichen Statistik verwendet (Stand: 31.12.2000, siehe [HEY 2006a]). In Szenario 1 wurden keine Verbreitungsgebiete genutzt. Für die Szenarien 2 und 3 wurden als Verbreitungsgebiete Siedlungsflächen verwendet, die aus CORINE-Landcover-Daten extrahiert wurden (siehe [HEY 2006a]). Als Ausschlussflächen wurden jene Flächen definiert, die für die Platzierung der – aus der amtlichen Topographischen Karte übernommenen – Beschriftung genutzt werden. Als Punktgrößen wurden für den äußeren Punkt $r_g = 0,8 \text{ mm}$ und für den inneren Punkt $r_i = 0,4 \text{ mm}$ festgelegt. Der Faktor für den dynamischen Zuwachs der Minimalabstände betrug 0,1. In die Berechnung der möglichen Punktpositionen wurden vier Rotationsstufen einbezogen, die jeweils eine Drehung um 90° im mathematisch positiven Sinn beinhalten. Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise des entwickelten Algorithmus werden im Folgenden die einzelnen Arbeitsschritte anhand von Abbildungen erläutert. Zur besseren Übersicht sind die Abbildungen verkleinert dargestellt. Das Ergebnis des letzten Arbeitsschrittes ist für alle drei Anwendungsszenarien im Anhang in Originalgröße beigelegt.

Der erste Schritt des Verfahrens ist die Bestimmung der Platzierungsflächen. Sind keine Verbreitungsgebiete vorhanden (Szenario 1) bzw. ist eine eindeutige Zuordnung der Bezugspunkte zu Verbreitungsgebieten nicht gegeben (Szenario 3), wird die

Platzierungsfläche durch Distanzberechnung zwischen benachbarten Punkten bestimmt (siehe Abbildung 6.2). Für die Festlegung, welche Punkte als benachbart gelten sollen, wird eine Triangulation vorgenommen.

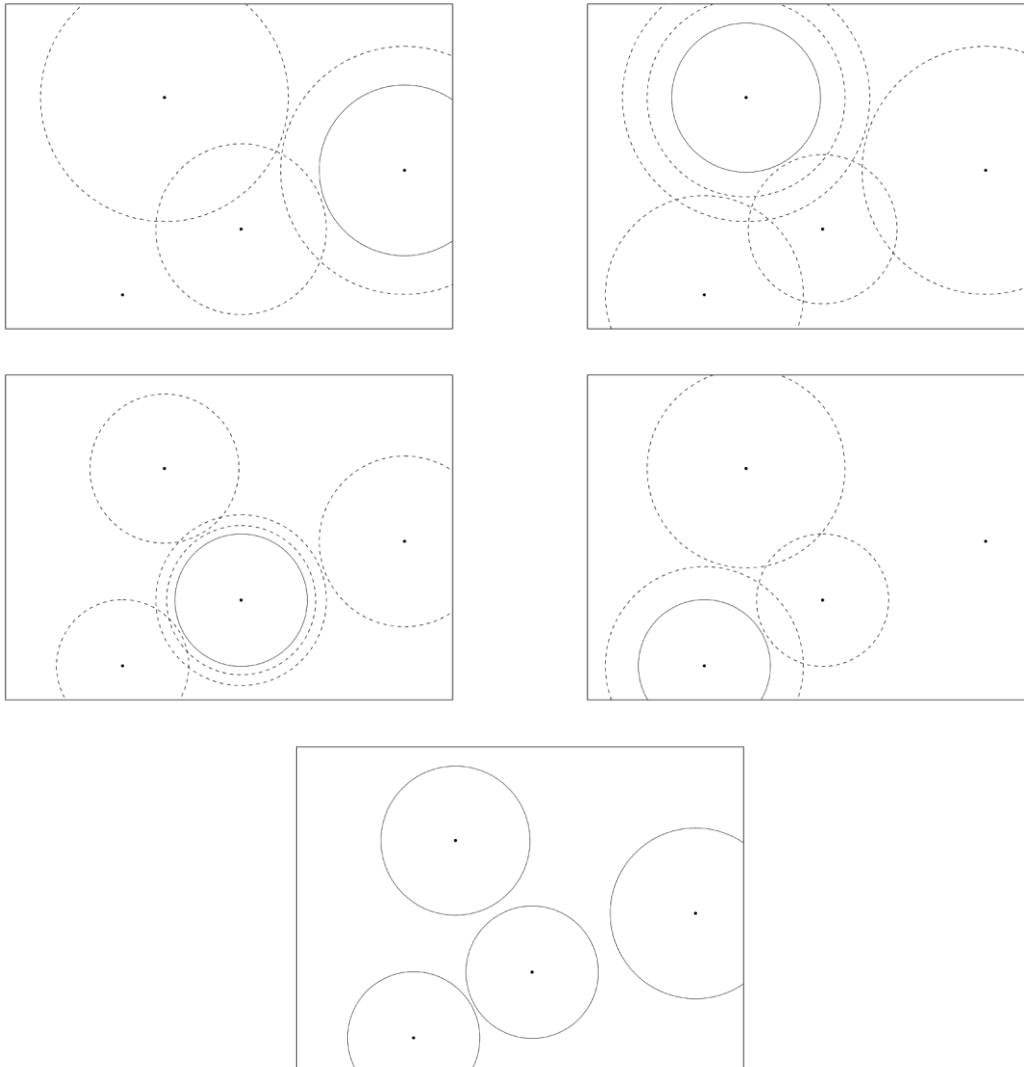


Abbildung 6.2: Bestimmung der Platzierungsfläche durch Betrachtung benachbarter Punkte (Szenarien 1 und 3)

Sind Verbreitungsgebiete vorhanden und eine eindeutige Zuordnung der Bezugspunkte zu diesen gewährleistet (Szenario 2), erfolgt die Bestimmung der Platzierungsflächen über die minimal einschließenden Rechtecke (siehe Abbildung 6.3). In Abbildung 6.3 oben links zeigt sich die Wirkung der Begrenzung der Besetzungsrundenanzahl. Der Kreis wird so beschränkt, dass statt der theoretisch möglichen 67 nur 50 Besetzungsrunden stattfinden können. Dies soll verhindern, dass unübersichtlich große Punktwolken entstehen. Obwohl das Auszählen der Punkte in einer Punktwolke nicht notwendig ist, um das dargestellte Verteilungsmuster zu erfassen, soll es dennoch ermöglicht werden.

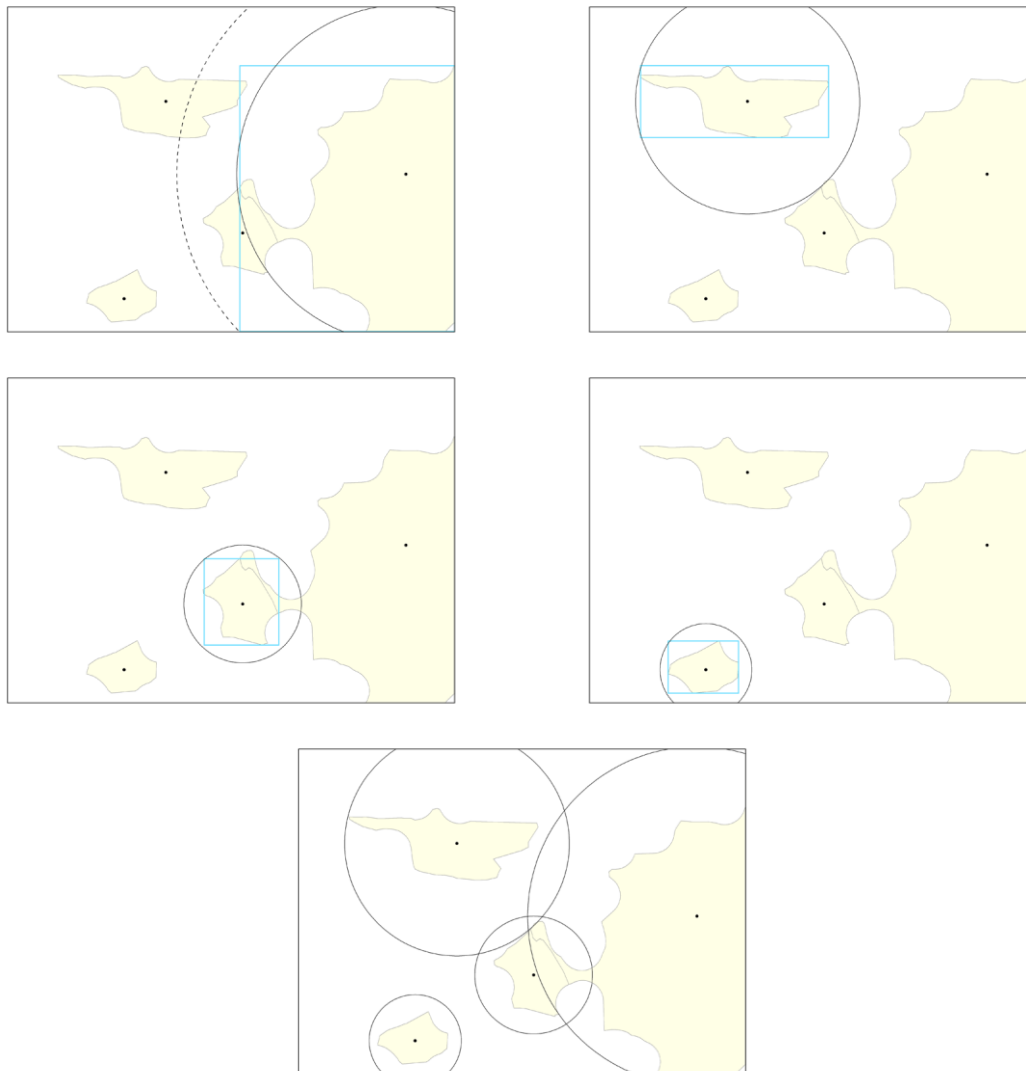


Abbildung 6.3: Bestimmung der Platzierungsfläche durch Betrachtung der minimal einschließenden Rechtecke (Szenario 2)

Innerhalb der Platzierungsflächen werden nun alle möglichen Punktpositionen inklusive der pseudo-zufälligen Punktverschiebung berechnet (siehe Abbildung 6.4). Der Übersicht halber ist in Abbildung 6.4 nur die Originalposition der Punkte dargestellt (ohne Rotation).

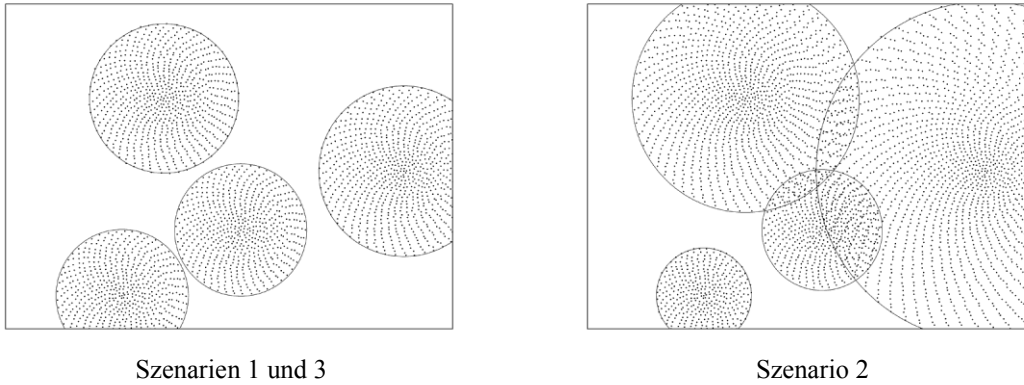


Abbildung 6.4: Berechnung aller möglichen Punktpositionen innerhalb der Platzierungsflächen

Je nach Datenlage werden anschließend Verbreitungsgebiete und die Ausschlussflächen für die Beschriftung berücksichtigt (siehe Abbildung 6.5). Die Abbildung zeigt die für jede Punktwolke jeweils günstigste (größte) mögliche Punktzahl. Die beste Rotationsstufe wird für jede Punktwolke individuell bestimmt und variiert daher im Kartiergebiet. Deutlich sichtbar ist die fehlende eindeutige Zuordnung der Verbreitungsgebiete zu den Punktwolken in Szenario 3. Die mittlere Punktwolke dehnt sich in das angrenzende Verbreitungsgebiet aus, allerdings wird die Punktwolke an der Grenze der Verbreitungsgebiete unterbrochen, da hier der Mindestabstand zum Rand des Gebiets unterschritten wird. Es ist daher ratsam, bei fehlender eindeutiger Zuordnung der Bezugspunkte mit Verbreitungsgebieten ohne Trennung benachbarter Flächen zu arbeiten. Im vorliegenden Fall ist die dadurch verringerte Punktzahl ohne Bedeutung, da die darzustellende Menge im Verhältnis zur Anzahl möglicher Punkte sehr klein ist.

Eine genauere Betrachtung der Punktwolke unten links in Abbildung 6.5 soll die Wirkungsweise der Auswahl der günstigsten Rotationsstufe zeigen. Für Szenario 1 ergaben sich folgende Punktzahlen:

Ausgangsposition:	507 Punkte	Rotation um 90°:	507 Punkte
Rotation um 180°:	501 Punkte	Rotation um 270°:	507 Punkte

Für die Berechnung des Punktwertes wurde die Rotationsstufe 1 (Ausgangsposition) gewählt. Die erzielten Punktzahlen für Szenario 2 und 3 waren identisch:

Ausgangsposition:	130 Punkte	Rotation um 90°:	133 Punkte
Rotation um 180°:	131 Punkte	Rotation um 270°:	133 Punkte

Hier wurde die Rotationsstufe 2 für die Punktwertberechnung herangezogen.

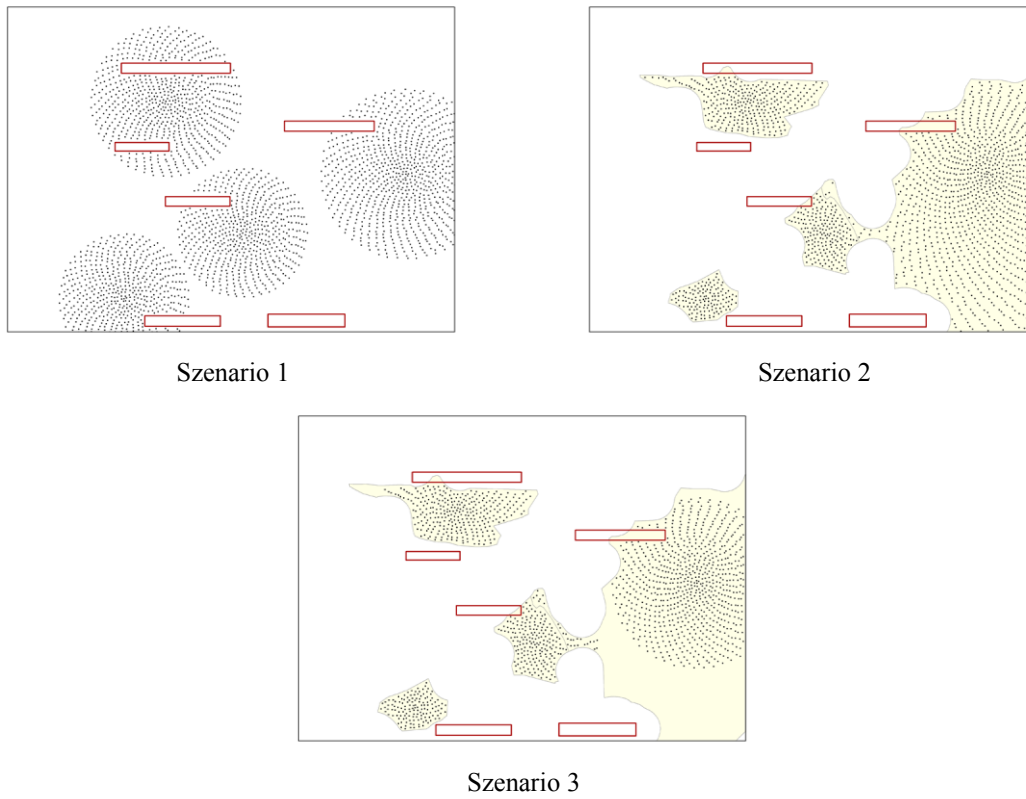


Abbildung 6.5: Berücksichtigung von Verbreitungs- und Ausschlussflächen

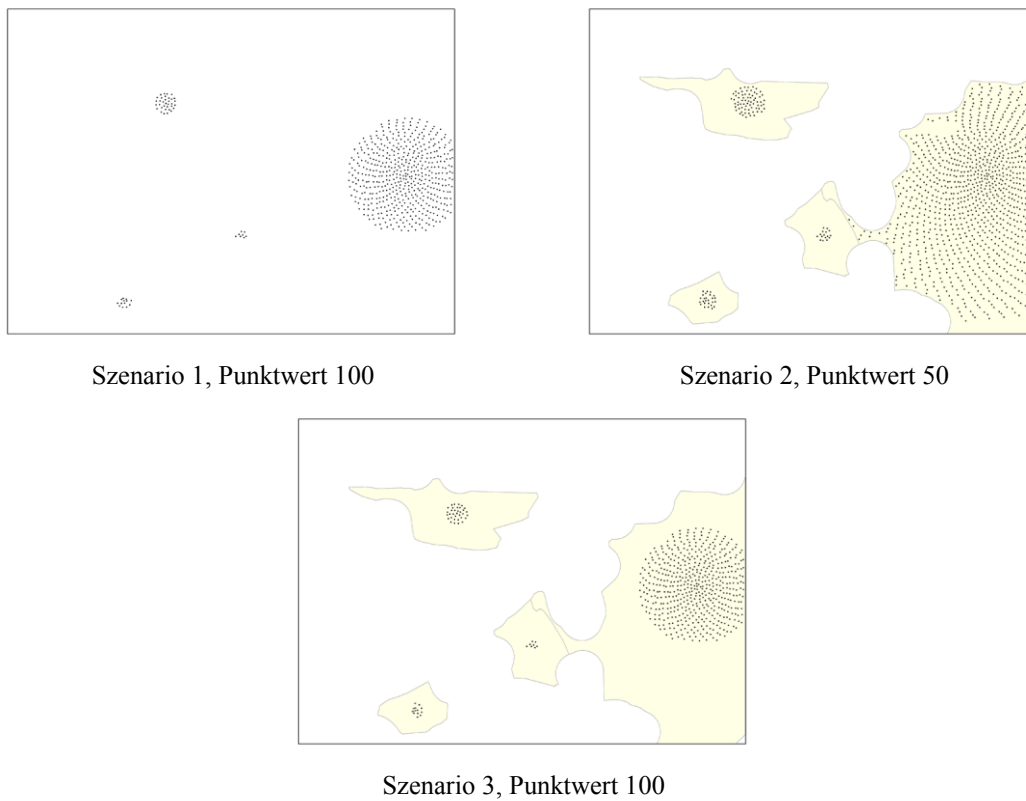


Abbildung 6.6: Darstellung der notwendigen Punktzahl nach Berechnung des Punktwertes

Anhand der so bestimmten tatsächlich möglichen Punktzahl und einer zuvor festgelegten Punktgröße (s.o.) wird der Punktwert bestimmt und die erforderliche Anzahl von Streuungspunkten je Punktwolke gesetzt (siehe Abbildung 6.6).

Zuletzt werden die Fehler berechnet und zusammen mit den Punktpositionen ausgegeben. Der Automatisierungsalgorithmus erzeugt lediglich die thematische Ebene der Punktstreuungsdarstellung. In Kombination mit topographischen Informationen kann dann eine vollständige Karte vom Kartenbearbeiter zusammengestellt werden. Für den Rostock-Datensatz könnten zum Beispiel die Ortsnamen eingetragen werden, für deren Platzierung Ausschlussflächen definiert wurden (siehe Abbildung 6.7).

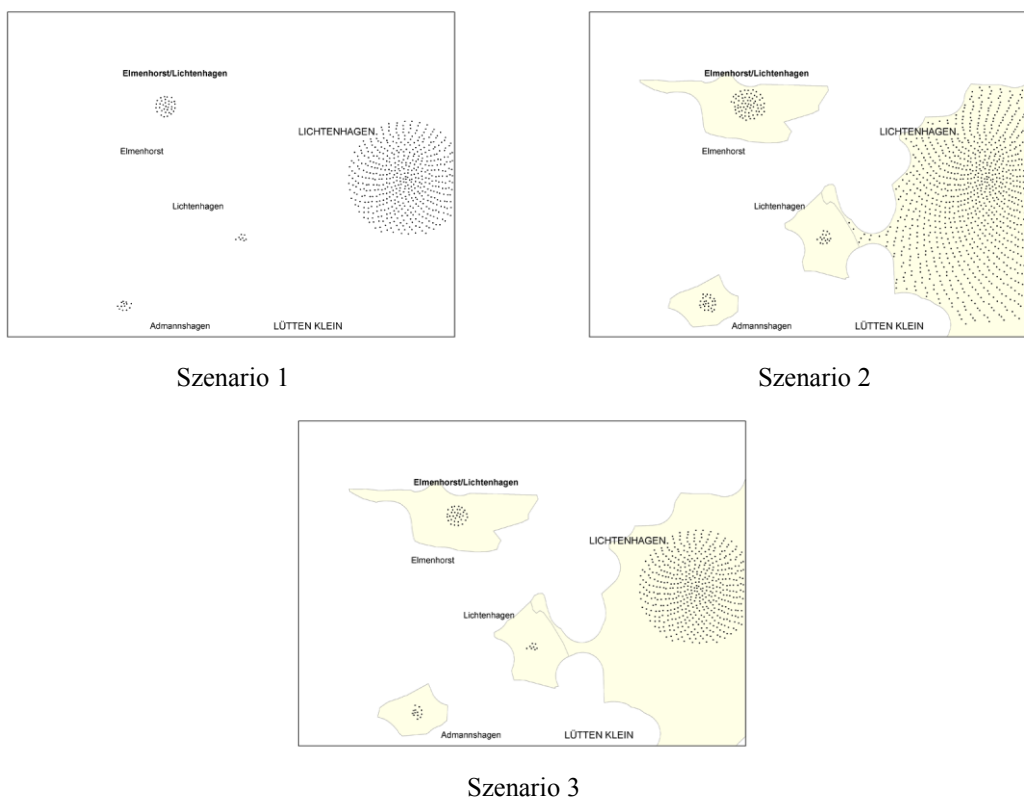


Abbildung 6.7: Ergänzung topographischer Informationen

Die automatisch erstellte Punktstreuungsdarstellung liefert kartographisch gute Ergebnisse, die sich leicht mit topographischen Informationen verbinden lassen. Das Streuungsbild stellt die unterschiedlichen Objektkonzentrationen treffend dar. Die Regelbasertheit der Punktplatzierung ist zwar erkennbar, allerdings wirken die Punktwolken nicht regelmäßig. Dadurch wird das Kartenbild dem Erscheinungsbild manuell konstruierter Punktstreuungskarten angenähert, ohne eine exakte Information über die tatsächliche Objektverteilung vorzutäuschen (wie es zufällig platzierte Punkte mitunter tun).

Der Rostock-Datensatz wurde auch genutzt, um die Bedeutung der Reproduzierbarkeit der Punktplatzierung zu unterstreichen. Dafür wurde der Bevölkerungsdatensatz mit bereits vorhandenen Punktkartenherstellungsalgorithmen in GIS-Software visualisiert. Die GIS-Software ArcMap von ESRI bietet die Möglichkeit, automatisiert eine Punktdichtedarstellung zu erzeugen. Diese wurde mit einem Punktwert von 25 genutzt. Es wurden zwei Karten in einem zeitlichen Abstand von 15 Minuten hergestellt (siehe Abbildung 6.8). ArcMap nutzt eine zufallsbasierte Punktanordnung, die jedoch keine reproduzierbaren Ergebnisse liefert. Das Ergebnis sind zwei unterschiedliche Punktverteilungen aus ein und demselben Datensatz. Eine kartographische Darstellung, die ihr Erscheinungsbild ohne Änderung der Darstellungsmethode oder der dargestellten Daten verändert, ist nach Meinung der Verfasserin jedoch nicht vertretbar.

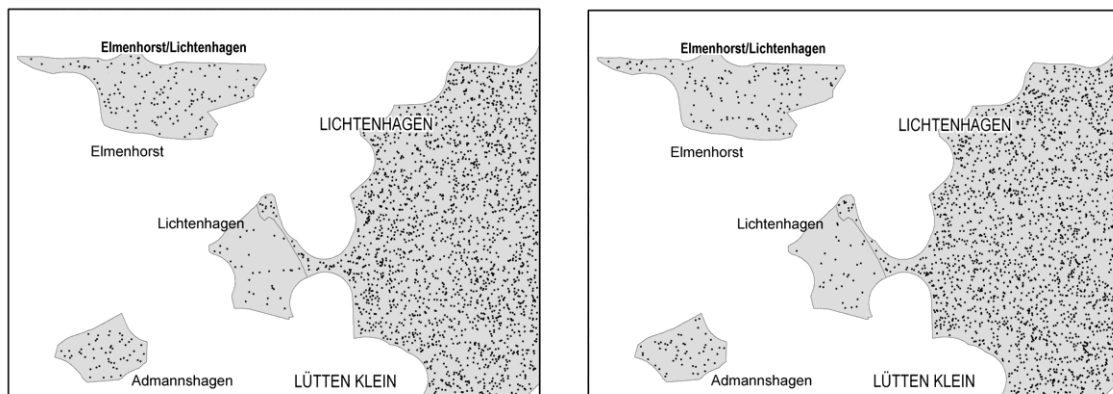


Abbildung 6.8: Punktdichtekarten mit zufälliger Punktplatzierung hergestellt in ArcMap (ESRI)

6.3 Bevölkerungsdatensatz „KELNHOFER“ (1:150 000)

Die vorgestellte Methode ist bestrebt, eine Punktstreuungsdarstellung zu erzeugen, die manuell konstruierten Punktstreuungskarten ähnelt. Um dies beurteilen zu können, wurde eine solche Punktstreuungsdarstellung von KELNHOFER [1971] für einen Vergleich herangezogen (siehe Abbildung 6.9).

Aus der Karte wurden Verbreitungsgebiete abdigitalisiert und Ausschlussflächen für die Beschriftung definiert. Als Verbreitungsfläche wurde die mit Punkten bedeckte Fläche inklusive der Einzelhausdarstellung angesehen. Einzelne Streuungspunkte, die ohne Häuser in der Nähe dargestellt waren, wurden ignoriert. Anschließend wurden die Punkte innerhalb der Verbreitungsgebiete ausgezählt. Für die Verbreitungsgebiete wurde jeweils der Schwerpunkt bestimmt und diesem die durch Auszählen der Punkte ermittelte Einwohnerzahl zugewiesen.



Abbildung 6.9: Vergleichsausschnitt aus „Bevölkerungsverteilung I“, Maßstab 1:150 000, Originalgröße [KELNHOFER 1971, Teil II]

Eine genauere Betrachtung der Punktanordnung von KELNHOFER offenbart, dass er die Punkte sehr dicht aneinanderfügt und sich linienförmige Muster erkennen lassen (siehe Abbildung 6.10).



Abbildung 6.10: Punktanordnung in der „Karte Bevölkerungverteilung I“, Detailvergrößerung aus Abbildung 6.9 [KELNHOFER 1971, Teil II]

KELNHOFER verwendet für diese Karte einen Punktwert von 25. Die Punkte haben einen Durchmesser von 0,5 mm und berühren sich teilweise. Damit verletzt KELNHOFER seine eigenen Forderungen (siehe Kapitel 3.3). Um KELNHOFERS Technik am nächsten zu kommen, wurden verschiedene Parameterkonfigurationen getestet. Zunächst wurde eine Punktgröße von $r_g = 0,25 \text{ mm}$ gewählt. Außerdem wurde die zufällige Punktverschiebung ausgesetzt, d.h. die innere und äußere Punktgröße waren identisch ($r_g = r_i = 0,25 \text{ mm}$). Das Berühren der Punkte untereinander wurde zugelassen ($R = r_g = r_i = 0,25 \text{ mm}$). Die Dynamik der Abstände wurde ebenfalls ausgesetzt. Da die Verbreitungsgebiete durch ihre Erfassungsart sehr knapp bemessen waren, wurde das Anwendungsszenario 2 gewählt. Durch die eindeutige Zuordnung der Bezugspunkte zu den Verbreitungsgebieten wird im Allgemeinen eine höhere Punktzahl erzielt als in

den Szenarien 1 und 3. Die mit diesen Parametern (Parameterset 1) automatisch erzeugte Punktdarstellung zeigt Abbildung 6.11.

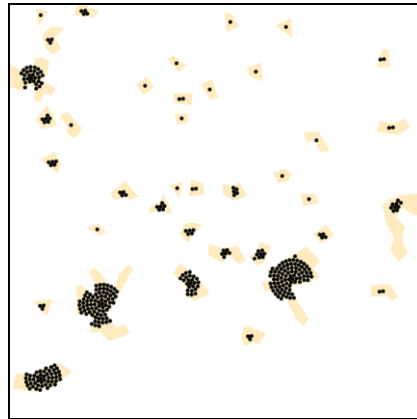


Abbildung 6.11: Automatisch erzeugte Punktdarstellung (Parameterset 1) mit Verbreitungsgebieten für Kartenausschnitt aus Abbildung 6.9, Maßstab 1:150 000, Originalgröße

Es ist erkennbar, dass sich die automatisch erzeugten Streuungspunkte um den Schwerpunkt der Verbreitungsgebiete gruppieren (Punktauswahl nach Berechnungsreihenfolge). Betrachtet man sämtliche Punktpositionen, die innerhalb der Verbreitungsgebiete bestimmt wurden, so wird deutlich, dass die Punktdarstellung bei entsprechender Punktauswahl die Fläche vollständiger nutzen würde (siehe Abbildung 6.12). Ein Kartenbearbeiter mit etwas Erfahrung kann diese angepasste Punktauswahl bei Bedarf vornehmen.

Aufgrund der fehlenden zufälligen Punktverschiebung und der festen Abstände sind die Streuungspunkte bei der zuerst gewählten Parameterkombination sehr regelmäßig angeordnet. Bei Zulassung einer geringfügigen Punktverschiebung durch Verkleinerung der inneren Punktgröße kann eine aufgelockerte Punktanordnung erreicht werden. Im Test wurde die innere Punktgröße auf $r_i = 0,2 \text{ mm}$ verringert. Damit sind die Punkte in der Karte geringfügig kleiner als bei KELNHOFER. Mit den so geänderten Parametern (Parameterset 2) wurde ebenfalls ein Punktwert von 25 erreicht. Bei der Einbindung dynamischer Abstände unter Beibehaltung der geringfügigen Punktverschiebung (Parameterset 3) konnte ein Punktwert von 50 realisiert werden. Allerdings ergaben sich durch den größeren Punktwert Fehler in der Karte (Gesamtfehler: 575, maximaler Fehlerbetrag: 25, darzustellender Wert insgesamt: 8975).

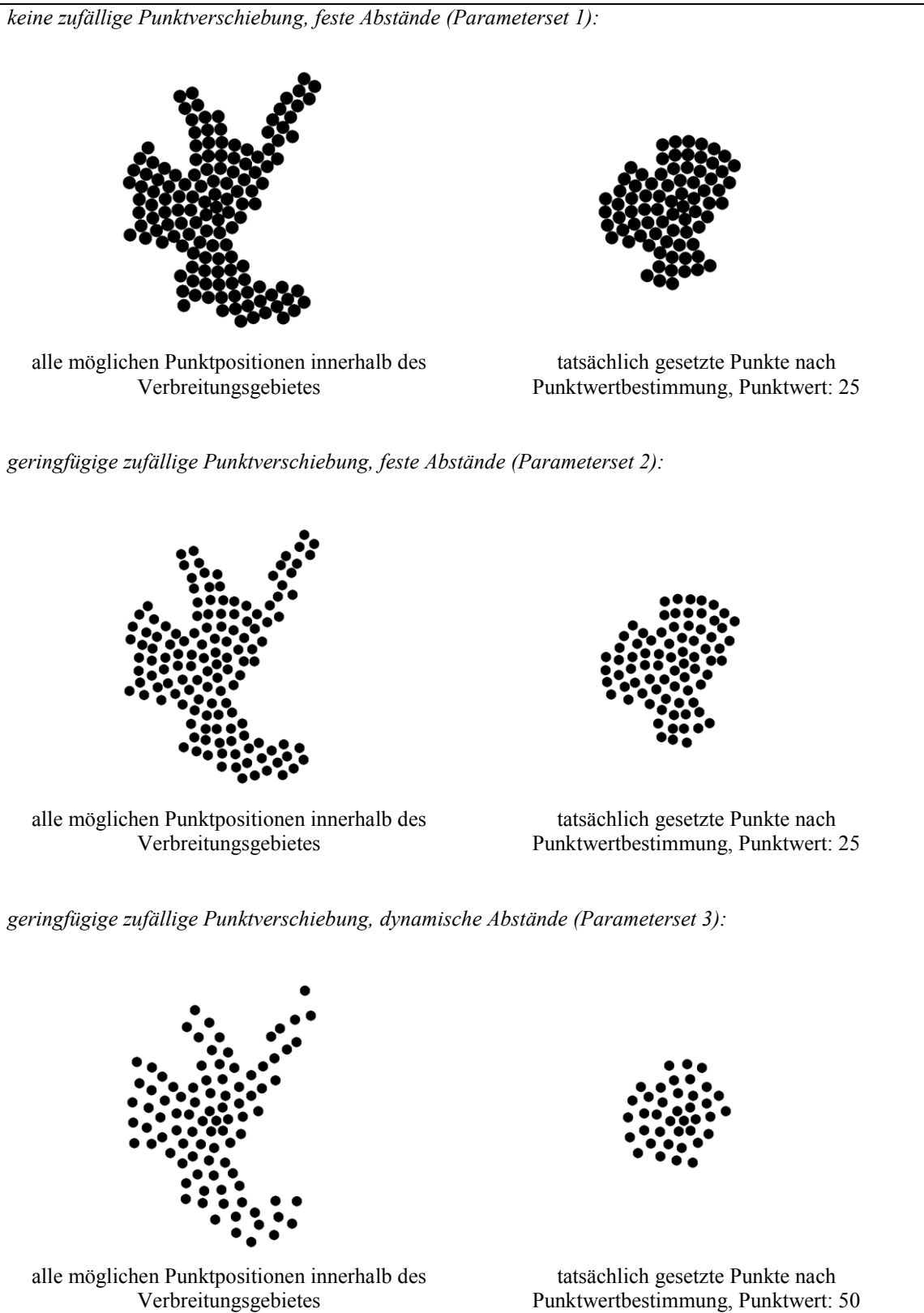


Abbildung 6.12: Automatisch generierte Punktdarstellungen für das Gebiet aus Abbildung 6.10, vergrößerte Darstellung

Durch das Hinzufügen der Beschriftung, sowie des Gewässer- und Straßennetzes zur automatisch erstellten Punktstreuungsdarstellung entsteht ein vollständiges Kartenbild (siehe Abbildung 6.13).

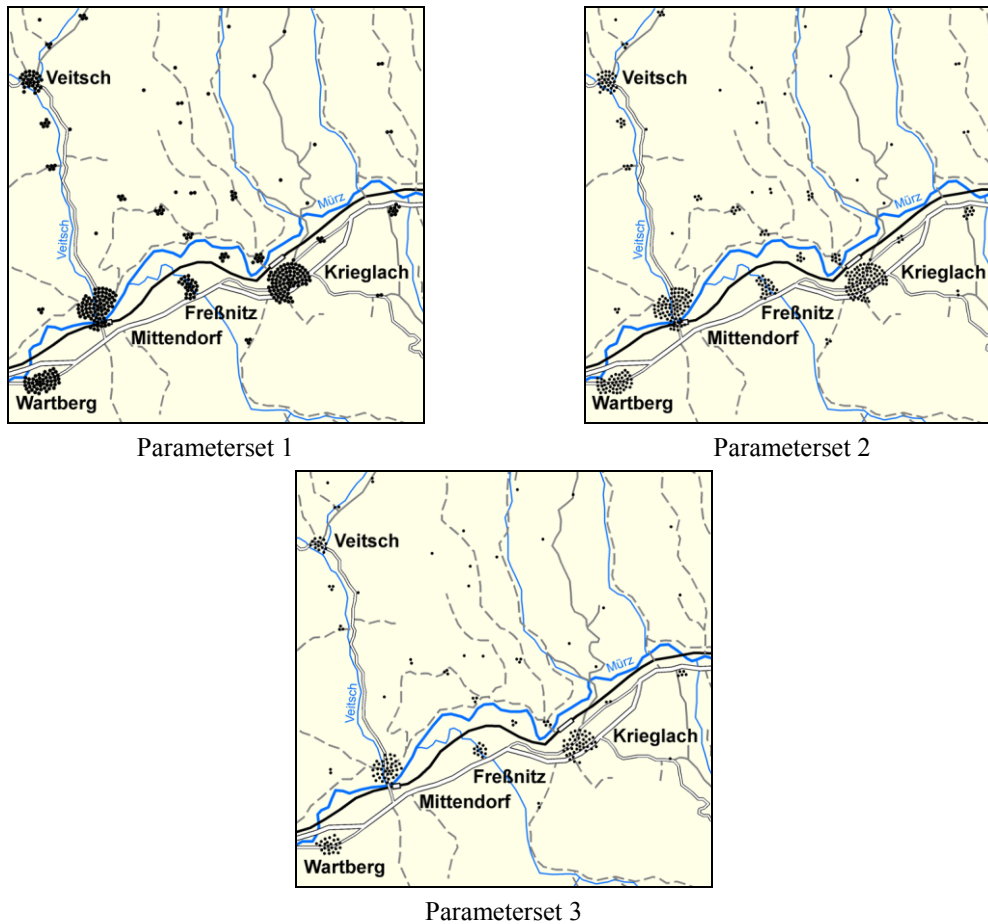


Abbildung 6.13: Automatisch erstellte Punktstreuungsdarstellung für Vergleichskartenausschnitt (Abbildung 6.9), Maßstab 1:150 000, Originalgröße

Aufgrund des günstigen Punktwertes und der aufgelockerten Punktanordnung erscheint die Kombination aus geringfügiger Punktverschiebung und festen Abständen (Parameterset 2) für diesen Kartenausschnitt am besten geeignet. Die hohe räumliche Auflösung der Bevölkerungsdaten und der verhältnismäßig kleine Maßstab erfordern im vorliegenden Beispiel eine recht kompakte Punktanordnung. Dennoch ist die Verwendung dynamischer Abstände bei der Konstruktion der Punktstreuungsdarstellung im Allgemeinen der Methode der festen Abstände vorzuziehen, da sie zu visuell ansprechenderen Punktanordnungen führen.

6.4 Zusammenfassung

Anhand der Tests konnte gezeigt werden, dass durch das entwickelte Verfahren zur automatisierten Abgrenzung der Platzierungsflächen, Berechnung der Punktpositionen, Bestimmung des Punktwertes und Auswahl der tatsächlich zu setzenden Punkte der Entwurfsprozess beschleunigt und die Kartenkonstruktion auch unerfahrenen Kartennutzern ermöglicht wird. Die erzeugten Punktstreuungsdarstellungen lassen sich leicht mit topographischen Informationen zu einem vollständigen Kartenbild kombinieren. Je nach Erfahrungsgrad des Kartenbearbeiters können Anpassungen der Punktplatzierung zur Verringerung der Fehler oder zur flächendeckenderen Nutzung der Platzierungsflächen vorgenommen werden.

Der Vergleichstest mit der manuell konstruierten Karte hat gezeigt, dass das Verfahren ohne großen Aufwand an die Erfordernisse der jeweiligen Ausgangssituation (Auflösung der Daten, Maßstab der Karte) angepasst werden kann.

Kapitel 7

Fazit

7.1 Zielerreichung

Das zu Beginn der Arbeit definierte Ziel der Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur Konstruktion von Punktstreuungskarten konnte erfüllt werden. Der entwickelte Algorithmus berechnet allein auf Grundlage der darzustellenden Absolutwerte, deren Lage im Raum und dem angestrebten Kartenmaßstab bei gegebener Punktgröße einen geeigneten Punktwert und die Positionen der Streuungspunkte in der Karte. Für die Punktgröße kann ein beliebiger Wert gewählt werden. Es wird empfohlen, sich bei der Festlegung der Punktgröße (Durchmesser) innerhalb des von KOCH/STAMS [2002] vorgeschlagenen Intervalls von 0,3 mm bis 1 mm zu bewegen. Die Beurteilung, ob die gewählte Punktgröße geeignet ist, sollte visuell anhand der durch den Algorithmus berechneten Punktstreuungsdarstellung erfolgen und gegebenenfalls den erreichten Punktwert einbeziehen.

Neben den genannten notwendigen Eingangsdaten können auch Zusatzinformationen, wie Verbreitungsgebiete oder Ausschlussflächen, in die Berechnung eingehen. Verbreitungsgebiete kennzeichnen dabei die Bereiche, in denen die dargestellte Objektverteilung auftritt. Ausschlussflächen können dazu genutzt werden, Flächen in der Karte von der Punktplatzierung auszunehmen, um sie dann zum Beispiel für die Platzierung topographischer Informationen zu verwenden.

Ungeübten Kartenbearbeitern wird die Konstruktion einer kartographisch guten Punktstreuungsdarstellung ermöglicht, da die fehlende Erfahrung durch die im Automatisierungsalgorithmus formalisierten kartographischen Gestaltungsregeln ausgeglichen wird. Für erfahrene Kartenbearbeiter wird die Kartenkonstruktion erleichtert, da mit wenig Aufwand verschiedene Parameterkombinationen (zum Beispiel eine veränderte Punktgröße) getestet werden können.

Um die Qualität der automatisiert erzeugten Punktstreuungsdarstellung unabhängig von ihrer visuellen Wirkung beurteilen zu können, wird auch der Fehler, der unvermeidlich durch das Runden entsteht, bestimmt und dem Nutzer ausgegeben. Je nach Erfahrungsgrad kann dieser dann Maßnahmen ergreifen (zum Beispiel manuell Punkte hinzufügen oder entfernen), um die Darstellung weiter zu verbessern.

7.2 Ausblick

Aufbauend auf die vorliegende Arbeit sind weitere Untersuchungen möglich. Als Themenbereiche bieten sich zum Beispiel die Festlegung der Punktgröße, die darstellbaren Wertespannen und die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf zur Punktmethode verwandte Darstellungsmethoden an.

Die Punktgrößen für die Durchführung der Tests wurden willkürlich innerhalb des vorgegebenen Wertebereichs festgelegt. Das Verhältnis von äußerer zu innerer Punktgröße lag dabei bei 2:1. Es sollten auch andere Punktgrößen und Punktgrößenverhältnisse getestet werden. Die graphische Wirkung der Streuungspunkt-darstellung wird sich dadurch vermutlich verändern. Es könnten günstige und ungünstige Punktgrößenverhältnisse ermittelt werden. Diese Erkenntnisse könnten gerade unerfahrenen Kartenbearbeitern als Leitfaden für eine ‚gute‘ Punktgrößenwahl dienen.

Des Weiteren könnte eine Untersuchung hinsichtlich darstellbarer Wertespannen (Verhältnis von größtem zu kleinstem Wert) durchgeführt werden. Dabei sollte auch der Einfluss des Maßstabs geprüft werden. In diesem Zusammenhang sollte auch das Verhältnis von darzustellendem Wert und zur Verfügung stehender Fläche analysiert werden. Mit den in diesen Untersuchungen gewonnenen Schwellwerten ließe sich die Kartenkonstruktion weiter verbessern. So könnte bei kritischen Wert-Fläche-Verhältnissen eine Warnung ausgegeben und eventuell Verbesserungsvorschläge gegeben werden. Dies würde vor allem ungeübte Kartenbearbeiter unterstützen.

Der Übergang von Werteinheitssignaturen (Punktmethode) zu Mengensignaturen in gestuftem Wertmaßstab (Kleingeldmethode) bietet vielseitige Forschungsmöglichkeiten. Die zur Punktmethode erarbeiteten Techniken können eventuell hilfreich sein bei der – im Gegensatz dazu weitaus komplexeren – Automatisierung der Kleingeldmethode.

Insgesamt wird die Automatisierung der kartographischen Darstellungsmethoden dazu führen, dass auch die komplexeren Methoden wieder häufiger angewendet werden. Die Erfahrung des Kartenbearbeiters tritt dabei immer stärker in den Hintergrund. Lediglich auf ein gewisses graphisches Empfinden kann nicht verzichtet werden, denn ‚Geschmack‘ ist einem Computer kaum beizubringen und letztendlich ist der visuelle Eindruck einer Karte immer entscheidend.

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2

Abbildung 2.1:	Kartenformen nach der Punktmethode	3
Abbildung 2.2:	Bevölkerungsverteilung – Streuungspunkte, Punktwerte: 25 (links) und 100 (rechts); Maßstab 1: 150 000; Abb. verkleinert [KELNHOFER 1971, Teil II, Ausschnitte aus „Bevölkerungsverteilung I“ (links) und „Bevölkerungsverteilung II“ (rechts)]	6
Abbildung 2.3:	Bevölkerungsverteilung – Mengendifferenzierte Streuungspunkte, Punktwerte: 10, 100, 500 [KELNHOFER 1971, Teil II, Ausschnitt aus „Bevölkerungsverteilung III“]	9

Kapitel 3

Abbildung 3.1:	Methoden der Mengenpunktdarstellung, aus [ARNBERGER 1966, S. 340], zitiert nach: [ASCHENBRENNER 1989, S. 5]	35
Abbildung 3.2:	Auswirkungen der administrativen Gliederung auf die Darstellung statistischer Daten	38
Abbildung 3.3:	Abgrenzung der Platzierungsflächen [nach DITZ 2000, S. 169]	39
Abbildung 3.4:	Punktdichtekarte (1) und Punktstreuungskarte (2) nach [MONKHOUSE/WILKINSON 1963, S. 234]	43
Abbildung 3.5:	Unterschiede zwischen den verschiedenen Möglichkeiten einer Platzierung von Streuungspunkten: a) zufällige Platzierung, b) regelmäßige Platzierung, c) zufällige Platzierung mit Berücksichtigung der Topographie [DITZ 2000, S. 168]	44
Abbildung 3.6:	Punktmethode [HAKE et al. 2002, S. 119]	45
Abbildung 3.7:	Auswirkung verschiedener Punktwerte [WITT 1970, S. 398]	49
Abbildung 3.8:	Nomogramme zur Darstellung der Relation von Punktgröße, Punktzahl und Punktfläche bzw. der Relation von Punktgröße, Punktabstand und Punktzahl [KELNHOFER 1971, Teil II]	55
Abbildung 3.9:	Nomogramme für die Umrechnung von Absolutwerten in Punktzahlen und für die Berechnung der Bevölkerungsdichte [KELNHOFER 1971, Teil II]	57

Kapitel 4

Abbildung 4.1:	Ausschnitt aus der Bevölkerungskarte von Schweden, Maßstab 1: 500 000, 1917 [DE GEER 1922, S. 77]	78
Abbildung 4.2:	Prinzip der Flächenaufteilung mit festgelegten Randpunkten [nach KLAMT 1972, S. 29]	82
Abbildung 4.3:	Prinzip der Flächenaufteilung über festgelegten Winkel [nach KLAMT 1972, S. 31]	82
Abbildung 4.4:	Alternative Methoden der Punktplatzierung durch Flächenaufteilung [nach KLAMT 1972, S. 34 f.]	83
Abbildung 4.5:	Strahlenprinzip [nach KLAMT 1972, S. 35]	83

Abbildung 4.6:	Gitternetzprinzip [nach KLAMT 1972, S. 36]	84
Abbildung 4.7:	Modelle der Punktplatzierung innerhalb eines Gitternetzes [nach HOFMANN 1972, S. 32 f.]	84
Abbildung 4.8:	Abstandsprinzip [nach KLAMT 1972, S. 37]	85
Abbildung 4.9:	Ergebnisse der automatisierten Punktplatzierung [nach KLAMT 1972, Anhang, S. 13f.]	87
Abbildung 4.10:	Beziehungen zwischen Punktzahl, prozentualer Bedeckung und der visuellen Erscheinung der Punktdichte-Muster [LAVIN 1986, S. 143]	88
Abbildung 4.11:	Abfolge der Schritte bei der Punktdichte-Schattierung: (a) erste Eingabe der gerasterten Datenmatrix, (b) Konstruktion der quadratischen Gitterzellen, (c) Einteilung der Gitterzellen in Zeichen-Subzellen, (d) zufällige Punktplatzierung innerhalb der Subzellen [LAVIN 1986, S. 145]	89
Abbildung 4.12:	Bestimmung der Koordinaten der Signaturenmittelpunkte mittels analytischer Schritte [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 9]	92
Abbildung 4.13:	Mehrfachdefinition von Schnittpunkten [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 11]	93
Abbildung 4.14:	Bestimmung der Endpunkte der Objektseiten auf dem Gitter [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 12]	94
Abbildung 4.15:	Ermittlung der Schrittweiten für die Aufrasterung der Objektseiten [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 12]	94
Abbildung 4.16:	Aufrasterung der Objektseite [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 13]	95
Abbildung 4.17:	Erkennen innenliegender Rasterzellen mittels analytischer Schritte [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 14]	95
Abbildung 4.18:	Erkennen innenliegender Rasterzellen mittels Scannen in beiden Achsenrichtungen [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 14]	96
Abbildung 4.19:	Rasterzellenbelegung nach dem Aufsuchen der möglichen Streuungspunktmittelpunkte [ASCHENBRENNER 1989, S. 15]	96
Abbildung 4.20:	Punktanordnung in Form eines Mengenbildes (a) und als Streuungspunktendarstellung (b) [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 16]	98
Abbildung 4.21:	Verfahren der Punktauswahl: (a) Lineares Aufsuchen, (b) spiralförmiger Suchlauf, (c) konzentrische Fangkreise und (d) Auswahl mittels Distanzmatrix [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 17]	99
Abbildung 4.22:	Streuungspunktanordnung durch Belegung von Nachbarn gesetzter Punkte [nach ASCHENBRENNER 1989, S. 20]	102
Abbildung 4.23:	Ergebnisse der automatisierten Punktanordnung [ASCHENBRENNER 1989, Anhang]	103
Abbildung 4.24:	Zufällige Punktplatzierung der Streuungspunkte [nach DITZ 2000, S. 169]	106
Abbildung 4.25:	MACKAY-Nomogramm mit Ergänzungen durch KIMERLING [KIMERLING 2009, S. 166]	108

<i>Abbildung 4.26:</i>	<i>Schritte zur Erzeugung einer zufälligen Verteilung gleichgroßer Punkte, deren Gesamtpunktfläche als Flächenanteil am Einheitsquadrat bestimmt werden kann [KIMERLING 2009, S. 170]</i>	111
<i>Abbildung 4.27:</i>	<i>Berechnete Anzahl von zufällig platzierten Punkten, die benötigt werden, um bei der festgelegten maximalen prozentualen Punktüberlappung ein Einheitsquadrat zu füllen. [KIMERLING 2009, S. 171]</i>	112
<i>Abbildung 4.28:</i>	<i>Gemessene und berechnete Gesamtpunktfläche für 45 Kombinationen aus Punktgröße und prozentualer Punktüberlappung (siehe Abbildung 4.27) [KIMERLING 2009, S. 172]</i>	112
<i>Abbildung 4.29:</i>	<i>Gesamtpunktfläche für 25 Versuche mit jeweils 55 zufällig platzierten Punkten (Durchmesser 3 pt) in einem Einheitsquadrat bei 10% Punktüberlappung [KIMERLING 2009, S. 173]</i>	113
<i>Abbildung 4.30:</i>	<i>Überlappungsgrade bei zufälligen Punktplatzierungen [KIMERLING 2009, S. 174]</i>	114
<i>Abbildung 4.31:</i>	<i>Gemessene Gesamtpunktfläche für pseudo-zufällig platzierte Punkte (Durchmesser 1 pt) mit unterschiedlicher maximaler Punktüberlappung [KIMERLING 2009, S. 175]</i>	116
<i>Abbildung 4.32:</i>	<i>Anzahl der Versuche zur Platzierung sich gegenseitig ausschließender Punkte (Durchmesser 1 pt) bei steigender Punktzahl im Einheitsquadrat; Mittelwerte aus jeweils 30 Testdurchläufen [KIMERLING 2009, S. 176]</i>	117
<i>Abbildung 4.33:</i>	<i>Gesamtpunktfläche und Anzahl der Punkte je cm² für verschiedene prozentuale Überlappungsgrade und die Punktgrößen 1 pt, 1,5 pt, 2 pt und 2,5 pt [KIMERLING 2009, S. 177]</i>	118
<i>Abbildung 4.34:</i>	<i>Vergleich zwischen gemessener (Punkte) und vorher bestimmter (Linien) Gesamtpunktfläche für verschiedene prozentuale Überlappungsgrade und die Punktgrößen 1 pt, 1,5 pt, 2 pt und 2,5 pt [KIMERLING 2009, S. 178]</i>	119
<i>Abbildung 4.35:</i>	<i>Auswahlhilfe für pseudo-zufällige Punktanordnungen für die Punktgrößen von 1 pt bis 2,5 pt und Gesamtpunktflächen in Schritten von 0,1 [KIMERLING 2009, S. 180]</i>	121
<i>Abbildung 4.36:</i>	<i>Auswahlhilfe für pseudo-zufällige Punktanordnungen für die Punktgröße 1 pt und 23 Punktzahlen und Punktdichten [KIMERLING 2009, S. 181]</i>	122
<i>Abbildung 4.37:</i>	<i>Durch Stippling erzeugtes Halbtonbild [STROTHOTTE/SCHLECHTWEG 2002, S. 17]</i>	123
 Kapitel 5		
<i>Abbildung 5.1:</i>	<i>Bestimmung der Platzierungsflächen ohne Einbeziehung von Verbreitungsflächen</i>	128

Abbildung 5.2:	Bestimmung der Platzierungsflächen unter Einbeziehung von Verbreitungsflächen	129
Abbildung 5.3:	Parameter R = halber Minimalabstand	130
Abbildung 5.4:	Größenfestlegung für andere Punktformen	132
Abbildung 5.5:	Inspiration für die Punktanordnung: Spiralgalaxie M51 [Hubble Space Telescope]	132
Abbildung 5.6:	Spiralformen	133
Abbildung 5.7:	Konstellation der ersten Punkte in Abhängigkeit von R	135
Abbildung 5.8:	Konstellation der ersten Punkte benachbarter Spiralarme	135
Abbildung 5.9:	Bedeutung des Parameters a	137
Abbildung 5.10:	Konstellation der Punkte zur Bestimmung von a	137
Abbildung 5.11:	Allgemeine Konstellation der ersten Punkte auf benachbarten Spiralarmen bei flexiblem k	139
Abbildung 5.12:	Berechnung der Strecke $\overline{OP_{1,2}}$ bei flexiblem k	139
Abbildung 5.13:	Symmetrische Punktconstellation bei flexiblem k	140
Abbildung 5.14:	Konstellation der Punkte zur Bestimmung von a mit konzentrischen Kreisen	140
Abbildung 5.15:	Punktanordnung für fünf Hauptarme mit Punktdurchmesser $d_p = 1 \text{ mm}$	143
Abbildung 5.16:	Hauptarme und Nebenarme der Ausbaustufen I-III für fünf Hauptarme	144
Abbildung 5.17:	Punktconstellation beim Einfügen eines Nebenarms ($i, 1$) zwischen zwei bereits besetzten Spiralarmen ($i; i+1$)	144
Abbildung 5.18:	Reihenfolge der Punktplatzierung für die Punkte 1 bis 6 (Hauptarme)	150
Abbildung 5.19:	Reihenfolge der Punktplatzierung für die Punkte 21 bis 26 (Nebenarme der Ausbaustufe I)	151
Abbildung 5.20:	Reihenfolge der Punktplatzierung für die Punkte 56 bis 66 (Nebenarme der Ausbaustufe II)	152
Abbildung 5.21:	Reihenfolge der Punktplatzierung für Nebenarme der Ausbaustufe III	153
Abbildung 5.22:	Veränderter Punktradius für eine pseudo-zufällige Punktplatzierung	154
Abbildung 5.23:	Mögliche Positionen des Streuungspunktes innerhalb des ‚Pseudopunktes‘	154
Abbildung 5.24:	Schritte der pseudo-zufälligen Punktverschiebung	155
Abbildung 5.25:	Pseudo-zufällige Punktverschiebung bei Punktwolken gleicher Größe	155
Abbildung 5.26:	Dichtesprünge bei Punktplatzierung mit festen Abständen	156
Abbildung 5.27:	Aufbau einer Kreisringfläche in der Punktwolke	157
Abbildung 5.28:	Bedeckungsgrade der Kreisringflächen für verschiedene Hauptarmkonfigurationen	158
Abbildung 5.29:	Prinzip der dynamischen Kreisabstände	159

Abbildung 5.30:	<i>Bestimmung der möglichen Punktzahl mit dynamischen Abständen</i>	161
Abbildung 5.31:	<i>Punktpositionen mit angepassten Richtungswinkeln für eine gleichmäßige Verteilung mit dynamischen Abständen</i>	162
Abbildung 5.32:	<i>Punktplatzierung mit dynamischen Abständen</i>	162
Abbildung 5.33:	<i>Bedeckungsgrade der Kreisringflächen für dynamische Abstände</i>	163
Abbildung 5.34:	<i>Mögliche Punktpositionen für verschiedene Rotationsstufen</i>	164

Kapitel 6

Abbildung 6.1:	<i>Arbeitsschritte des Automationsalgorithmus</i>	169
Abbildung 6.2:	<i>Bestimmung der Platzierungsfläche durch Betrachtung benachbarter Punkte (Szenarien 1 und 3)</i>	172
Abbildung 6.3:	<i>Bestimmung der Platzierungsfläche durch Betrachtung der minimal einschließenden Rechtecke (Szenario 2)</i>	173
Abbildung 6.4:	<i>Berechnung aller möglichen Punktpositionen innerhalb der Platzierungsflächen</i>	174
Abbildung 6.5:	<i>Berücksichtigung von Verbreitungs- und Ausschlussflächen</i>	175
Abbildung 6.6:	<i>Darstellung der notwendigen Punktzahl nach Berechnung des Punktwertes</i>	175
Abbildung 6.7:	<i>Ergänzung topographischer Informationen</i>	176
Abbildung 6.8:	<i>Punktdichtekarten mit zufälliger Punktplatzierung hergestellt in ArcMap (ESRI)</i>	177
Abbildung 6.9:	<i>Vergleichsausschnitt aus „Bevölkerungsverteilung I“, Maßstab 1:150 000, Originalgröße [KELNHOFER 1971, Teil II]</i>	178
Abbildung 6.10:	<i>Punktanordnung in der „Karte Bevölkerungsverteilung I“, Detailvergrößerung aus Abbildung 6.9 [KELNHOFER 1971, Teil II]</i>	178
Abbildung 6.11:	<i>Automatisch erzeugte Punktstreuungsdarstellung (Parameterset 1) mit Verbreitungsgebieten für Kartenausschnitt aus Abbildung 6.9, Maßstab 1:150 000, Originalgröße</i>	179
Abbildung 6.12:	<i>Automatisch generierte Punktdarstellungen für das Gebiet aus Abbildung 6.10, vergrößerte Darstellung</i>	180
Abbildung 6.13:	<i>Automatisch erstellte Punktstreuungsdarstellung für Vergleichskartenausschnitt (Abbildung 6.9), Maßstab 1:150 000, Originalgröße</i>	181

Tabellenverzeichnis

Kapitel 5

<i>Tabelle 5.1:</i>	<i>Anzahl der Spiralarme in Abhängigkeit von den Ausbaustufen und der Anzahl der Hauptarme</i>	144
<i>Tabelle 5.2:</i>	<i>Besetzungsrunden, ab denen eine weitere Ausbaustufe eingefügt werden kann</i>	145
<i>Tabelle 5.3:</i>	<i>Übersicht über die Ausbaustufen und resultierenden Punktwolken bei fünf Hauptarmen (Abbildungen vergrößert)</i>	146f.
<i>Tabelle 5.4:</i>	<i>Schrittweise Besetzung der Spiralarme in verschiedenen Ausbaustufen (max. Punktzahl je Spiralarm: 7, Abbildungen vergrößert)</i>	148f.
<i>Tabelle 5.5:</i>	<i>Multiplikatorenschema für die Bestimmung sinnvoller Punktwerte</i>	166

Literatur- und Quellenverzeichnis

AdV. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. www.adv-online.de (Zugriff: 11.01.2012)

ARNBERGER 1964. Arnberger, E. *Das topographische, graphische, bildstatistische und bildhafte Prinzip in der Kartographie*. In: Internationales Jahrbuch für Kartographie 4, 1964, S. 30-52; zitiert nach: KELNHOFER 1971

ARNBERGER 1966. Arnberger, E. *Handbuch der thematischen Kartographie*. Wien, 1966; zitiert nach: WITT 1970, KELNHOFER 1971 und ASCHENBRENNER 1989

ARNBERGER 1977. Arnberger, E. *Thematische Kartographie*. Braunschweig, 1977; zitiert nach: ASCHENBRENNER 1989

ARNBERGER 1987. Arnberger, E. *Thematische Kartographie*. Braunschweig, 1987; zitiert nach: OLBRICH et. al 2002

ARNBERGER 1993. Arnberger, E. *Thematische Kartographie*. Braunschweig, 1993

ASCHENBRENNER 1989. Aschenbrenner, J. *Die EDV-unterstützte Herstellung von Punktstreuungskarten auf der Basis kleinster Bezugseinheiten*. Wien, 1989

BERTIN 1974. Bertin, J. *Graphische Semiologie; Diagramme, Netze, Karten*. Walter de Gruyter, 1974

BILL 2010. Bill, R. *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Wichmann, 2010

BOLLMANN/KOCH 2001/2002. Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.). *Lexikon der Kartographie und Geomatik*. Heidelberg, Berlin, 2001/2002

BURGDÖRFER 1958. Burgdörfer, F. *Eine Weltbevölkerungskarte*. In: Bull. de L'Institut International de Statistique, Tome 36, 2^e Livraison. Actes de la 30 Session en Stockholm 1957. Stockholm 1958, S. 230-240; zitiert nach: WITT 1970

CHEVALIER et al. 1974. Chevalier, P./Ménard, C./Dorval, B. *Random Number Generator*. United States Patent No. 3790768, 1974

DE GEER 1922. de Geer, S. *A Map of the Distribution of Population in Sweden: Method of Preparation and General Results*. In: The Geographical Review, Vol. XII, No. 1, 1922, S. 72-83

DENT 1996. Dent, B.D. *Cartography – Thematic Map Design*. Dubuque Iowa, 1996; zitiert nach: DITZ 2000

- DITZ 2000. Ditz, R. *Die Punktstreuungskarte am Bildschirm – Eine neue Herausforderung für die Kartographie*. In: ‚Per aspera ad astra‘ Festschrift für Fritz Kelnhofer zum 60. Geburtstag, Geowissenschaftliche Mitteilungen Nr. 52, 2000, S. 163-174
- DUTTON 1978. Dutton, G. *DOT MAP program summary and portfolio*. Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Cambridge Harvard University, 1978; zitiert nach: LAVIN 1986 und KIMERLING 2009
- FREITAG 1963. Freitag, U. *Bemerkungen zu kartographischen Grundbegriffen*. In: Kartographische Nachrichten, 13, 1963, 4, S. 93-97; zitiert nach: KELNHOFER 1971
- GROBER 2002. Großer, K. *Wertmaßstab*. In: Lexikon der Kartographie und Geomatik, Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.), Heidelberg, Berlin, 2002, S. 426ff.
- HAKE et al. 2002. Hake, G./Grünreich, D./Meng, L. *Kartographie*. Walter de Gruyter, 2002
- HAKE et al. 1994. Hake, G./Grünreich, D. *Kartographie*. Berlin, 1994; zitiert nach: OLBRICH et al. 2002
- HETTNER 1900. Hettner, A. *Über bevölkerungsstatistische Grundkarten*. In: Geographische Zeitschrift, 1900, S. 185-192; zitiert nach: DITZ 2000
- HEY 2006a. Hey, A. *Gestaltung und automatisierte Bearbeitung der Karte Bevölkerungverteilung für Band 12 des Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland* (Diplomarbeit). TU Dresden, 2006
- HEY 2006b. Hey, A. *Bevölkerungsverteilung 2000*. In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Bd. 12 Leben in Deutschland, Institut für Länderkunde (Hrsg.), Leipzig, 2006, S. 13
- HOFMANN 1972. Hofmann, B. *Entwicklung von Modellen zur Darstellung gitternetzbezogener Erscheinungen mit der Punktmethode* (Diplomarbeit). TU Dresden, 1972
- Hubble Space Telescope. <http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy> (Zugriff: 29.09.2009)
- IMHOF 1962. Imhof, E. *Thematische Kartographie. Beiträge zu ihrer Methode*. In: Die Erde 93, 1962, 2, S. 73-111; zitiert nach: KELNHOFER 1971
- IMHOF 1972. Imhof, E. *Thematische Kartographie*. 1972
- KELNHOFER 1971. Kelnhofer, F. *Beiträge zur Systematik und allgemeinen Strukturlehre der thematischen Kartographie*. Teil I+II, 1971
- KIMERLING 2009. Kimerling, A.J. *Dotting the Dot Map, Revisited*. Cartography and Geographic Information Science, Vol.36 No.2, 2009, S.165-182

KLAMT 1972. Klamt, I. *Untersuchungen zur Punktmethode* (Diplomarbeit). TU Dresden, 1972

KOCH 2002a. Koch, W.G. *kartographische Darstellungsmethoden*. In: Lexikon der Kartographie und Geomatik, Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.), Heidelberg, Berlin, 2002, S. 16ff.

KOCH 2002b. Koch, W.G. *Minimaldimensionen von Kartenzeichen*. In: Lexikon der Kartographie und Geomatik, Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.), Heidelberg, Berlin, 2002, S. 152ff.

KOCH/STAMS 2002. Koch, W.G./Stams, W. *Punktmethode*. In: Lexikon der Kartographie und Geomatik, Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.), Heidelberg, Berlin, 2002, S. 242f.

LAVIN 1986. Lavin, S. *Mapping continuous geographical distributions using dot-density shading*. In: American Cartographer 13(2), 1986, S. 140-150

LEYDEN 1930. Leyden, F. *Die Darstellung der Volksdichte auf Karten*. In: Geographischer Anzeiger 31, 1930; zitiert nach: KELNHOFER 1971

LOUIS 1957. Louis, H. *Über Grundformen des kartographischen Ausdruckes*. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft 264 = Haack –Festschrift, 1957, S. 14ff; zitiert nach: ASCHENBRENNER 1989

MACKAY 1949. Mackay, J.R. *Dotting the dot map: An analysis of dot size, number, and visual tone density*. In: Surveying and Mapping 9(1), 1949, S. 3-10; zitiert nach: KELNHOFER 1971 und KIMERLING 2009

MERZIGER et al. 1999. Merziger, G./Mühlbach, G./Wille, D./Wirth, T. *Formeln + Hilfen zur höheren Mathematik*. Hannover, 1999

MONKHOUSE/WILKINSON 1963. Monkhouse, F.J./Wilkinson, H.R. *Maps and Diagrams*. London, 1963; zitiert nach: ASCHENBRENNER 1989

OLBRICH et al. 2002. Olbrich, G./Quick, M./Schweikart, J. *Desktop Mapping, Grundlagen und Praxis in Kartographie und GIS*. Springer, 2002

PREOBRAŽENSKIJ 1956. Preobraženskij, A.I. *Ökonomische Kartographie*. Gotha, 1956; zitiert nach: WITT 1970 und ASCHENBRENNER 1989

RAISZ 1948. Raisz, E. *General Cartography*. New York, 1948; zitiert nach: KELNHOFER 1971

RASE 2001. Rase, W.-D. *Bevölkerung der Gemeinden 1998*. In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Bd. 4 Bevölkerung, Institut für Länderkunde (Hrsg.), Leipzig, 2001, S. 33

- ROBINSON et al. 1995. Robinson, A.H./Morrison, J.L./Muehrcke, P.C./Kimerling, A.J./Guptill, S.C. *Elements of Cartography*. New York, 1995
- SOLOMON 1967. Solomon, H. *Random packing density*. In: Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 3, Physical Sciences, Berkeley, 1967, S. 119-134; zitiert nach: KIMERLING 2009
- STAMS 2001. Stams, W. *Bildstatistik*. In: Lexikon der Kartographie und Geomatik, Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.), Heidelberg, Berlin, 2001, S. 91
- STAMS/GROßER 2002. Stams, W./Großer, K. *Nomogramm*. In: Lexikon der Kartographie und Geomatik, Bollmann, J./Koch, W.G. (Hrsg.), Heidelberg, Berlin, 2002, S. 180
- STONE et al. 1994. Stone, M.C./Fishkin, K./Bier, E.A. *The moveable filter as a user interface tool*. In: Proceedings of CHI'94, ACM, 1994, S. 306-312; zitiert nach: DITZ 2000
- STROTHOTTE/SCHLECHTWEG 2002. Strothotte, T./Schlechtweg, S. *Non-Photorealistic Computer Graphics – Modeling, Rendering, and Animation*. 2002
- SILWESTER 1998. Silvester, F. *Kartographische Interaktion im Internet* (unveröffentl. Diplomarbeit). TU Wien, 1998; zitiert nach: DITZ 2000
- TÖPFER 1967. Töpfer, F. *Gesetzmäßige Generalisierung und Kartengestaltung*. In: Vermessungstechnik, Heft 2, 1967, S. 65-71; zitiert nach: WITT 1970 und DITZ 2000
- WALTER 1957. Walter, F. *Zur kartographischen Auswertung regionaler Statistik*. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, 1957, 3, S. 224-225; zitiert nach: ASCHENBRENNER 1989
- WEISSTEIN 2008. Weisstein, E.W. *Circle-circle intersection*. <http://mathworld.wolfram.com/Circle-CircleIntersection.html>; zitiert nach KIMERLING 2009
- WILHELMY 1966. Wilhelmy, H. *Kartographie in Stichworten*. Kiel, 1966; zitiert nach: WITT 1970
- WITT 1967. Witt, W. *Thematische Kartographie*. Hannover, 1967; zitiert nach: KELNHOFER 1971 und ASCHENBRENNER 1989
- WITT 1970. Witt, W. *Thematische Kartographie – Methoden und Probleme, Tendenzen und Aufgaben*. Hannover, 1970
- WITT 1971. Witt, W. *Bevölkerungskartographie*. Hannover, 1971; zitiert nach: ARNBERGER 1993

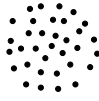
Anhang

Bevölkerungsverteilung im Nordwesten Rostocks

Maßstab 1: 25000



Elmenhorst/Lichtenhagen



Elmenhorst

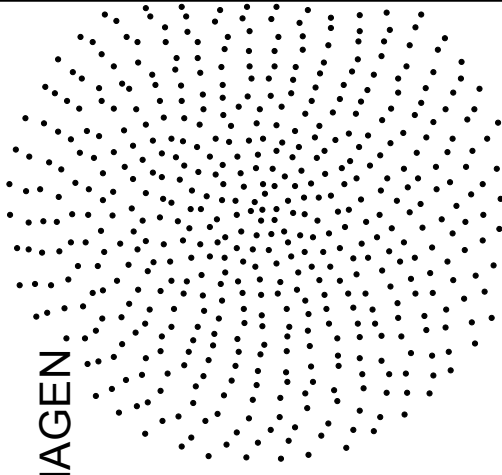
Legende

• 100 Einwohner

Lichtenhagen



LICHTENHAGEN



Admannshagen

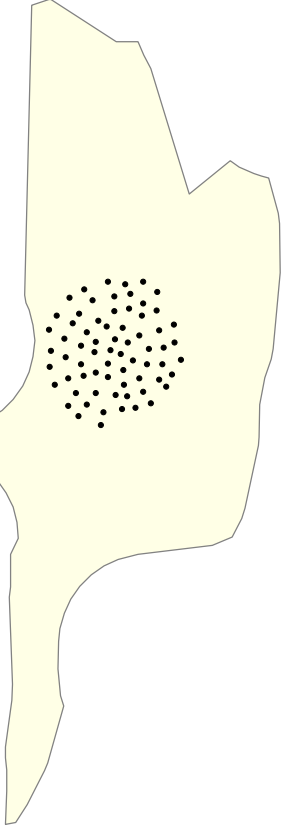
LÜTTEN KLEIN

Bevölkerungsverteilung im Nordwesten Rostocks

Maßstab 1: 25000

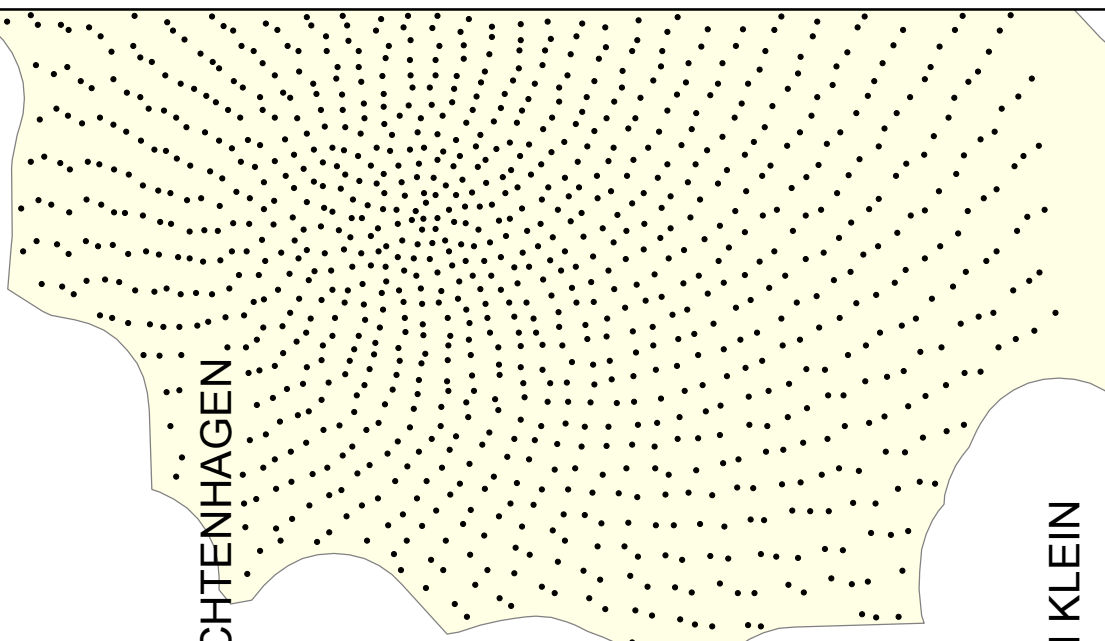


Elmenhorst/Lichtenhagen

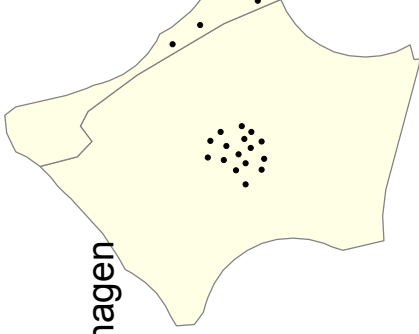


Elmenhorst

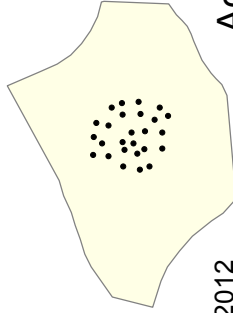
LICHTENHAGEN



Lichtenhagen



Admannshagen



LÜTTEN KLEIN

Legende

- 50 Einwohner
- Siedlungsfläche

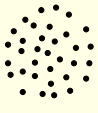
Kartenbearbeitung: A. Hey, 2012
Punktplatzierung nach Anwendungsszenario 2

Bevölkerungsverteilung im Nordwesten Rostocks

Maßstab 1: 25000

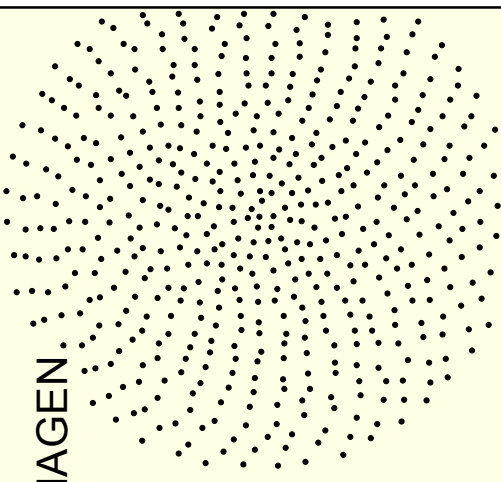


Elmenhorst/Lichtenhagen



Elmenhorst

LICHTENHAGEN



Lichtenhagen



Admannshagen



LÜTTEN KLEIN

Legende

- 100 Einwohner
- Siedlungsfläche

Erklärung

Ich erkläre, dass die vorliegende Publikation selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst wurde.

Thesen

1. Zielstellung der Arbeit

Die Anwendung kartographischer Darstellungsmethoden erfordert gerade bei komplexen Methoden viel kartographische Erfahrung und auch viel Zeit. Eine dieser komplexen Darstellungsmethoden ist die auf DE GEER [1922] zurückgehende Punktmethode, welche zur Darstellung von Objektverteilungen eingesetzt wird. Die Verteilung wird dabei als eine Ansammlung von Punkten (Punktswolke), die in Größe und repräsentiertem Wert identisch sind, dargestellt. Die Platzierung der Punkte, sowie die Auswahl von Punktgröße und geeignetem Punktwert sind die wichtigsten Entscheidungen, die bei der Konstruktion einer Punktkarte zu treffen sind. Für unerfahrene Kartenbearbeiter ist es sehr schwer, eine geeignete Parameterkombination zu finden, die zu einer kartographisch ansprechenden Punktkarte führt. Erfahrene Kartographen hingegen werden verschiedene Parameterkonfigurationen aus ihrer Erfahrung heraus wählen und wollen das Ergebnis dann nach verschiedenen Gesichtspunkten (z.B. visueller Eindruck, Darstellungsfehler) beurteilen. Für sie ist es wichtig, schnell ein Ergebnis aus den Eingangsdaten zu produzieren.

Punktkarten werden je nach Punktanordnung und angestrebter Aussage in Punktdichtekarten und Punktstreuungskarten unterschieden. Punktdichtekarten dienen dazu, einen Überblick über Verteilungsmuster zu geben, ohne diese detailliert darzustellen. Sie nutzen meist eine regelmäßige Punktanordnung. Punktstreuungskarten hingegen zeigen detailliertere, individuelle Verteilungsmuster. Diese Darstellungsform bietet zwar die meisten Informationen, allerdings ist sie auch besonders aufwändig im Entwurf.

Um diese Entwurfsarbeiten zu erleichtern, bieten sich rechnergestützte Methoden an. Diese wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit analysiert und hinsichtlich ihrer Eignung bei der Konstruktion von Punktstreuungskarten bewertet. Bisherige Automatisierungslösungen fokussieren vor allem auf die Platzierung der Punkte. Die Auswahl eines geeigneten Punktwertes betrachten nur wenige, wie z.B. HOFMANN [1971] und KLAMT [1971]. Für die Platzierung der Punkte werden bei der Automatisierung verschiedene Ansätze verfolgt. Während HOFMANN [1971], KLAMT [1971] und ASCHENBRENNER [1989] einer regelmäßigen Punktverteilung den Vorzug geben, arbeiten LAVIN [1986], DITZ [2000] und KIMERLING [2009] mit einer

zufallsbasierten Platzierung der Punkte. Durch die regelmäßigen Punktanordnungen können individuelle Verteilungsmuster, wie sie zum Beispiel durch den Einfluss der Topographie entstehen, nicht geeignet abgebildet werden. Zufallsbasierte Punktverteilungen implizieren jedoch zuweilen die Darstellung echter Verteilungsmuster, die sie nicht abbilden. Ein weiterer Nachteil der zufallsbasierten Punktplatzierung ist die (meist) fehlende Reproduzierbarkeit und die nicht optimale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes in der Karte.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung eines Verfahrens, welches automatisiert aus den darzustellenden Daten eine Punktstreuungsdarstellung erzeugt und dabei auf die Einhaltung kartographischer Gestaltungsregeln achtet. Nach der Analyse verschiedener vorhandener Lösungsansätze wurde ein eigenständiges Verfahren entwickelt, da keiner der existierenden Ansätze das Problem adäquat zu lösen vermochte.

2. Hauptaussagen der Arbeit

Durch die Formalisierung der Entscheidungen, die ein Kartograph bei der Konstruktion einer Punktstreuungsdarstellung aus seiner Erfahrung heraus trifft, ist es möglich, einen Algorithmus zu entwickeln, der selbständig aus den darzustellenden Daten und deren Lage im Raum, sowie des angestrebten Darstellungsmaßstabs eine solche Punktstreuungsdarstellung erzeugt.

Als Ausgangsdaten können neben den Bezugspunkten der darzustellenden Absolutwerte auch Verbreitungs- und Ausschlussflächen verwendet werden. Während Verbreitungsgebiete die Flächen bezeichnen, in denen die Objektverteilung auftritt, d.h. in denen die Punkte angeordnet werden, markieren Ausschlussgebiete jene Flächen, in denen keine Punkte gesetzt werden dürfen. So ist es zum Beispiel möglich, die Flächen für die Platzierung der Beschriftung als Ausschlussflächen zu definieren und damit von der Platzierung der Punkte auszunehmen. Die Punktgröße ist zu Beginn auf einen Standardwert festgelegt, kann aber jederzeit durch den Kartenbearbeiter geändert werden.

Im ersten Arbeitsschritt des automatisierten Verfahrens wird die Fläche in der Karte bestimmt, in der die Punkte platziert werden dürfen (Platzierungsfläche). Wenn keine Informationen über Verbreitungsgebiete vorliegen, wird die Platzierungsfläche anhand der Bezugspunkte so bestimmt, dass keine Überlappungen auftreten. Damit wird eine

deutliche Trennung benachbarter Punktwolken erreicht und eine eindeutige Zuordnung der Punkte zu ihrem Bezugspunkt gewährleistet. Danach werden alle möglichen Punktpositionen innerhalb der Platzierungsflächen bestimmt. Als Punktanordnungsmuster wird dabei eine auf der logarithmischen Spirale basierende Anordnung genutzt. Die Punktpositionen werden auf Basis der Schnittpunkte konzentrischer Kreise mit der Spirale berechnet. Dabei sind die Punkte so angeordnet, dass sie untereinander einen festgelegten Mindestabstand einhalten, der sich mit zunehmendem Abstand vom Bezugspunkt (Mittelpunkt der Punktwolke) in Abhängigkeit von der Punktgröße erhöht. Die so festgelegten Punktpositionen werden anschließend pseudo-zufällig verschoben, um die regelmäßige Struktur der Punktwolke abzuschwächen. Dadurch entsteht eine Punktwolke, die in ihrem Inneren dichter ist als in den Randbereichen. Die theoretisch möglichen Punktpositionen werden anschließend auf ihre Lage bezüglich Verbreitungs- und Ausschlussflächen mittels Punkt-in-Polygon-Test geprüft. Tatsächlich platzierbare Punkte (innerhalb von Verbreitungsgebieten und außerhalb von Ausschlussflächen) werden dann für die Berechnung des Punktwertes herangezogen. Je mehr Punkte auf diese Weise gesetzt werden können, desto kleiner kann der Punktwert gewählt werden. Ein kleiner Punktwert führt zu einer genaueren Darstellung der Verteilung als ein großer. Daher ist die Platzierung möglichst vieler Punkte anzustreben. Um eine optimale Punktanordnung zu finden, werden die möglichen Punktpositionen vor dem Punkt-in-Polygon-Test in gleichmäßigen Schritten (z.B. jeweils 90°) um den Bezugspunkt gedreht. Dadurch entstehen zu einem Bezugspunkt mehrere Punktwolken mit unterschiedlichen Punktzahlen. Es wird jeweils die Punktwolke mit den meisten Punkten für die Berechnung des Punktwertes und die Darstellung in der Karte ausgewählt.

Die Bestimmung des Punktwertes orientiert sich an der Punktwolke mit dem ungünstigsten Verhältnis von Punktzahl zu darzustellendem Wert (wenig Punkte, großer Wert). So wird verhindert, dass einige Mengen nicht darstellbar sind. Da durch das Festlegen eines einheitlichen Punktwertes jeder darzustellende Wert auf ein Vielfaches dessen gerundet werden muss, entstehen in einer Punktstreuungskarte immer Fehler. Neben dem visuellen Eindruck der Karte sind diese Fehler ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung der Qualität der Karte. Sie werden daher im Rahmen des entwickelten Automatisierungsverfahrens berechnet und mit den Punktpositionen ausgegeben.

Durch die Abstimmung auf die vorliegenden Daten ist das entwickelte Verfahren unabhängig von der Erfahrung des Kartenbearbeiters und liefert zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse. Der Test des Verfahrens mit Bevölkerungsdaten hat gezeigt, dass das Verfahren kartographisch ansprechende Punktstreuungsdarstellungen erzeugt. Diese können leicht mit topographischen Informationen zu einer thematischen Karte kombiniert werden.

3. Wissenschaftliche Bewertung der Ergebnisse

Das entwickelte Automatisierungsverfahren erzeugt aus wenigen Ausgangsdaten eine ansprechende Punktstreuungsdarstellung, ohne dass es weiterer Nutzereingaben bedarf. Bei entsprechender Erfahrung kann der Bearbeiter jedoch jederzeit die Gestaltungsparameter (z.B. Punktgröße, Mindestabstand) verändern. Das Verfahren berechnet nicht nur die Positionen der Punkte, sondern auch den passenden Punktwert und die in der Darstellung vorhandenen Rundungsfehler. Die erzeugte Punktstreuungsdarstellung ist reproduzierbar und optisch mit manuell konstruierten Punktkarten vergleichbar. Dies konnte keines der bisher vorhandenen Verfahren erreichen.

Eine wichtige Leistung des entwickelten Verfahrens ist die Zeitersparnis im Konstruktionsprozess. Durch dessen Automatisierung wurde die Basis für weitere Forschungen geschaffen. Es sind sowohl empirische Untersuchungen hinsichtlich zu bevorzugender Zeichengrößen als auch theoretische Analysen bezogen auf die Verbindungen zwischen Maßstab und geeigneter räumlicher Auflösung der Daten möglich. Außerdem können Betrachtungen über die Grenzen der Darstellbarkeit hinsichtlich der vorliegenden Wertespanne angestellt werden. Es eröffnen sich zudem Möglichkeiten, aufbauend auf dem entwickelten Automatisierungsverfahren, auch andere komplexe, der Punktmethode verwandte Darstellungsmethoden, wie zum Beispiel die Kleingeldmethode, automatisiert umzusetzen. Der Entwurf von Werkzeugen zur interaktiven Auswertung und Interpretation digitaler Punktstreuungskarten wird durch das vorgestellte Verfahren ebenfalls ermöglicht. Außerdem kann eine Behandlung von Spezialfällen, wie z.B. Ballungsgebieten, entwickelt und damit die automatisierte Konstruktion der Punktstreuungsdarstellung verbessert werden.

4. Allgemeine Bedeutung der Ergebnisse

Neben der bereits angesprochenen Nutzung in der kartographischen Forschung kann das Verfahren dazu beitragen, die Herstellung einer Punktstreungskarte auch Personen zu ermöglichen, die keine kartographische Erfahrung besitzen. Hier seien vor allem auch die Fachwissenschaftler genannt, die ihre Forschungsergebnisse auf diese Weise kartographisch ansprechend darstellen können.

Durch die Zeitersparnis für den geübten Kartenbearbeiter ist es möglich, dass in Zukunft die Punktstreungsdarstellung häufiger den Vorzug vor anderen, einfacheren – und für die Darstellung von Objektstreungen weniger geeigneten – Darstellungsmethoden erhält. Durch das entwickelte Verfahren wird die Konstruktion von Punktstreungskarten zeit- und damit kostensparender.