

## Tesselierung und Triangulation als Techniken zur Bestimmung archäologischer Funddichten

Andreas Zimmermann

Ein allgemeines Problem in der Archäologie ist die Auswertung von Verbreitungskarten, in denen Punkte Fundstücke, Siedlungen oder archäologische Informationen auf anderen Niveaus darstellen. Tesselierung ist in der Geographie und Archäologie als Bildung von "Thiessen-Polygonen" bekannt, in der mathematischen Literatur sind außerdem die Begriffe "Voronoi-Diagramm" bzw. "Dirichlet-Zellen" üblich. Die Triangulation, die Verbindung von Punkten zu Dreieckskonfigurationen, ist mit der Tesselierung verwandt. Die Knotenpunkte der Thiessen-Polygone werden nämlich durch die Schnittpunkte der Mittelsenkrechten der Triangulation bestimmt. Anwendungen der Tesselierung wie bei HODDER und ORTON (1976, 59f.), in denen Territoriengröße oder Einflußbereiche dargestellt werden sollen, setzen im Grunde ein vollständiges Muster voraus; im genannten Beispiel das Muster der römischen Städte mit Stadtmauer. Vollständigkeit ist bei archäologischen Daten die große Ausnahme. In diesem Aufsatz wird versucht zu zeigen, daß Tesselierung und Triangulation auch bei unvollständigen Daten helfen können, archäologisch relevante Informationen von Verbreitungskarten sichtbar zu machen. Beide Techniken gemeinsam können vermutlich sogar in gewissen Fällen zur Vorhersage bisher fehlender Beobachtungen herangezogen werden.

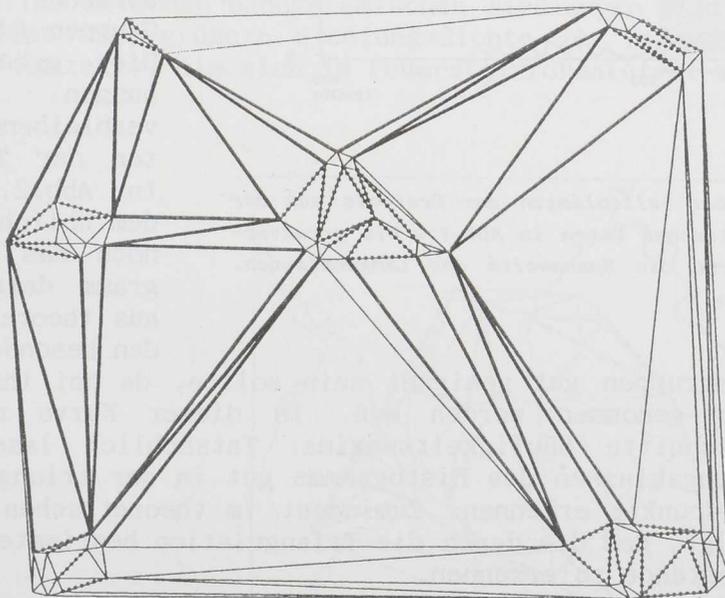
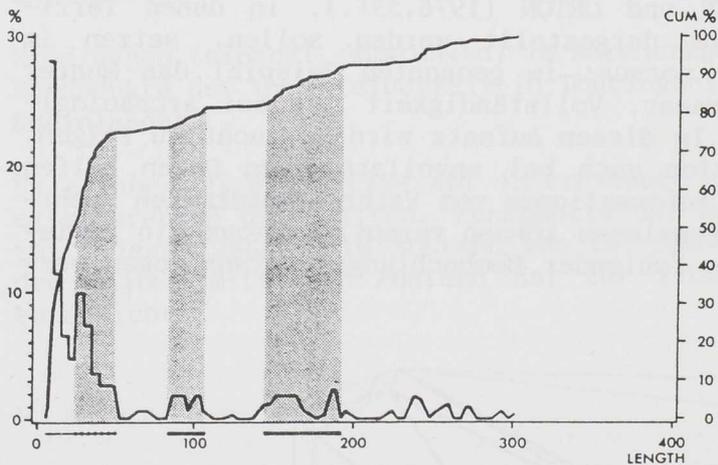


Abb. 1. Theoretisches Beispiel zur Triangulation. Punktierte Linien: Abstände innerhalb der größeren Gruppen, aber zwischen den einzelnen Substrukturen; dicke Linien: Abstände zwischen den größeren Gruppen (vgl. Abb. 2.).

Elementare Grundprobleme der Siedlungsarchäologie sind Regelabstände. Damit sind nicht nur gleichmäßig verteilte Punktmuster gemeint, sondern auch Klumpenbildungen. Innerhalb von ihnen treten kleine Regelabstände auf, zwischen ihnen größere. Liegen Siedlungsplätze (auch innerhalb von Klumpen) zu dicht, führen Konkurrenz und Aggression zu vermeidbaren Spannungen. Sind Siedlungen zu weit voneinander entfernt, ist der Kontakt für Nachbarschaftshilfe und Gemeinschaftsarbeiten zu locker. Mit Hilfe der Delauney-Triangulation werden benachbarte Fundpunkte zu möglichst kompakten Dreiecken verbunden (hier nach LAWSON's Winkelregel), deren Linien sich nicht überschneiden dürfen (RIPLEY 1981, 38ff.). In einem Histogramm, das die Seitenlängen dieser Dreiecke abbildet, sollte man erkennen können, ob solche Regelabstände existieren. Dies wird mit einem kleinen theoretischen Beispiel überprüft, in dem größere Fundplatzgruppen kleinere Klumpen enthalten (Abb.1).



**Abb.2.** Histogramm der Seitenlängen der Dreiecke aus der Triangulation theoretischer Daten in Abb.1.. Die geraster-ten Streifen markieren die Spannweite der Längsklassen. Unten ihre Signaturen.

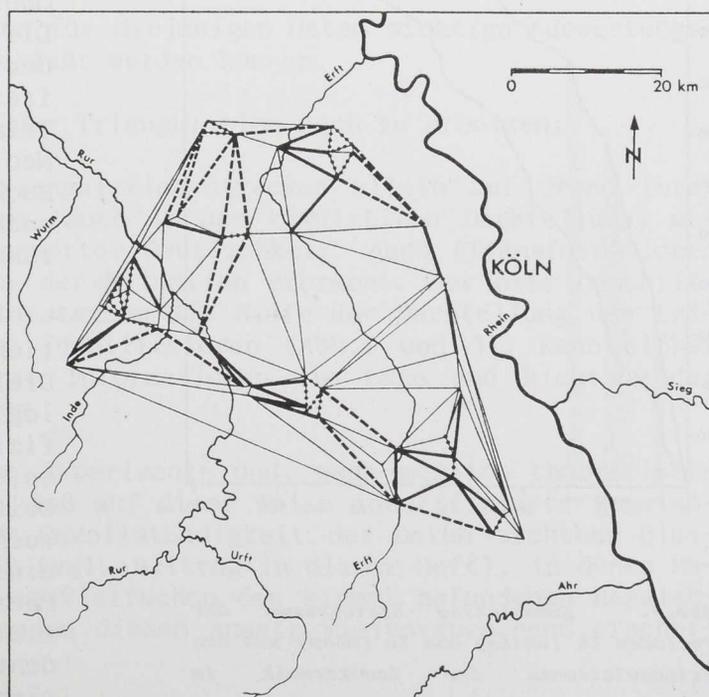
Am häufigsten sind kleine Abstände, die die Distanzen innerhalb der Substrukturen wiedergeben (Abb.2). Der zweite Gipfel repräsentiert die Abstände zwischen den Substrukturen innerhalb der größeren Gruppen (punktierte Linien). Der dritte und vierte Gipfel entspricht Entfernungen zwischen den größeren Gruppen (dicke Linien). Die größten Entfernungen sind die verbleibenden Außenseiten der Triangulation.

In Abb.2. wird außer dem üblichen Histogramm noch das Kumulativdiagramm dargestellt, das aus theoretischen Gründen besonders bei kleinen Untersuchungsgruppen gut geeignet sein sollte, da bei ihm keine Klasseneinteilung vorgenommen werden muß. In dieser Kurve repräsentieren steile Kurvenabschnitte Häufigkeitsmaxima. Tatsächlich lassen sich die einzelnen Entfernungsklassen des Histogramms gut in der triangulierten Darstellung der Fundpunkte erkennen. Zumindest im theoretischen Beispiel hat sich also bestätigt, daß die durch die Triangulation bestimmten Strecken es erlauben, Regelabstände zu erkennen.

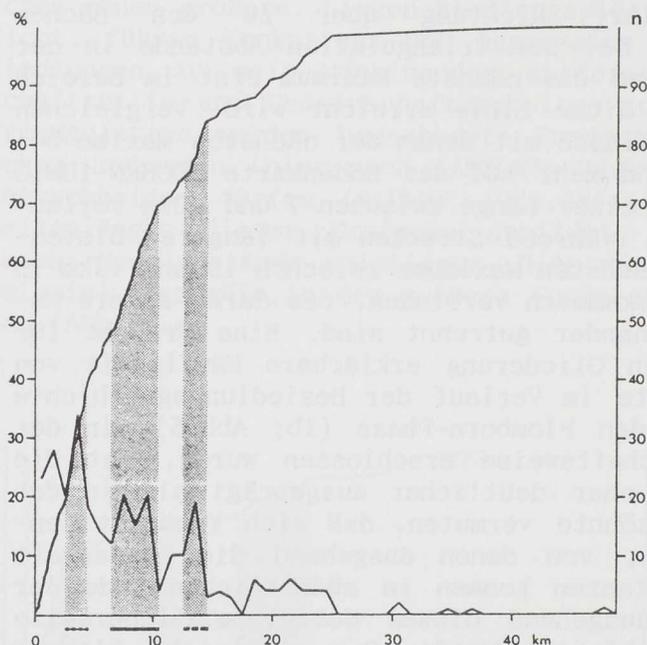
Überprüfen wir die Leistungsfähigkeit der Triangulation am Beispiel der Bandkeramik im Rheinland (DOHRN-IHMIG 1979). Bei der Triangulation der Fundpunkte aus Phase Ic (Abb.3) ergibt sich das erste Maximum bei 1,8km (Abb.4). Dies könnte kleinräumigen Siedlungskonzentrationen entsprechen, wie sie auf der Aldenhovener Platte ergraben wurden, wobei es sich um, den Abstand von zwei Fundpunkten innerhalb einer solchen Konzentration oder in zwei benachbarten Konzentrationen handeln kann. Diese Möglichkeiten sind nicht unterscheidbar, weil wir uns der Unvollständigkeit des behandelten Siedlungsmusters bewußt sein müssen. Das nächste Maximum bei 3,5km

(punktierte Linien) dürfte dem für das Begehungsgebiet der Aldenhovener Platte (dort mit 3km) postulierten Regelabstand zwischen den nächstmöglich besiedelbaren Bachtälern entsprechen (KUPER et al. 1974,499). Diese Dreiecksseiten könnte man durch ihre Richtung quer zu den Bächen identifizieren. Auffällig ist, daß bei der Triangulation Abstände in der Größenordnung von ca. 5km fehlen und das nächste Maximum erst im Bereich zwischen 7 und 10km (durchgezogene dicke Linie erreicht wird. Vergleichen wir die Strecken dieser Entfernungsklasse mit denen der nächsten Maxima bei 14km (unterbrochene dicke Linie) und mehr auf der Bodenkarte (DOHRN-IHMIG 1979,Abb.2). Viele der Strecken mit einer Länge zwischen 7 und 10km verlaufen innerhalb homogener Lößgebiete, während Strecken mit längeren Distanzen, hier sind das diejenigen des nächsten Maximums zwischen 13 und 15km in der Regel unterschiedliche Siedlungskammern verbinden, die durch andere Naturräume, z.B. Auenbereiche, voneinander getrennt sind. Eine Ursache für die nicht durch die naturräumlichen Gliederung erklärbare Häufigkeit von Abständen zwischen 7 und 10km könnte im Verlauf der Besiedlungsgeschichte vermutet werden. In der vorangehenden Flomborn-Phase (Ib; Abb.5), in der das Rheinland neolithischer Wirtschaftsweise erschlossen wurde, ist die Häufigkeit von Distanzen von 10km eher deutlicher ausgeprägt als in der bisher betrachteten Phase Ic. Man könnte vermuten, daß sich zunächst Zentren in diesen Abständen bildeten, von denen ausgehend die Landschaft aufgesiedelt wurden. Geringere Distanzen kommen im südöstlichen Ende der Rheinischen Bucht vor, von dem ausgehend dieses Gebiet möglicherweise neolithischer Wirtschaftsweise erschlossen wurde. Das vielleicht älteste Inventar der Niederrheinischen Bucht stammt von dort (DOHRN-IHMIG 1979,269).

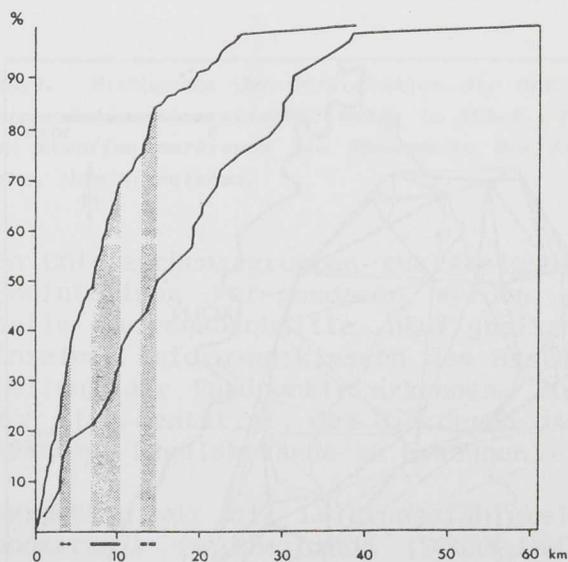
Die auch bei der Erschließung neuer Landschaften nötige Nachbarschaftshilfe zwischen bandkeramischen Siedlungen erforderte in einem solchen Kerngebiet eine größere Siedlungsdichte als in später besiedelten Bereichen. Enge Kontakte, die sich im Feuersteinrohmaterial von Rhein-Main-



**Abb.3.** Triangulation der bandkeramischen Fundplätze des Rheinlandes der Periode Ic (DOHRN-IHMIG 1979). Unterschiedliche Längenklassen der Dreiecksseiten sind durch ihre Signaturen zu erkennen (vgl. Abb.4.).



**Abb.4.** Histogramm der Seitenlängen der Dreiecke aus der Triangulation der bandkeramischen Fundplätze des Rheinlands der Periode Ic. Die gerasterten Streifen markieren die Spannweite der Längensklassen. Unten ihre Signaturen.



**Abb.5.** Kummulative Histogramme der Perioden Ib (unten) und Ic (oben) aus den Triangulationen der Bandkeramik im Rheinland.

Gebiet und Niederrheinischer Bucht belegen lassen, beweisen auch in der späteren Bandkeramik engere Kontakte zwischen diesen Gebieten als z.B. nach Westfalen. Die geringe Anzahl von Siedlungen der Phase Ib ( $n=15$ ) würde freilich allein auf Grund der Triangulation dieses Modell, die Neolithisierung der Rheinischen Bucht vom Rhein-Main-Gebiet aus, noch nicht glaubhaft erscheinen lassen.

Ein Geographisches Informationssystem könnte helfen, die Dreiecksstrecken mit Hilfe ökologischer Daten zu klassifizieren. Eine Möglichkeit wäre es, ein geeignetes Umfeld der Seitenhalbierenden zu untersuchen, eine andere Möglichkeit, einen Streifen von vielleicht 10m Breite entlang der Dreiecksseiten z.B. im Hinblick auf Relief, Bodentyp oder -substrat zu analysieren. In gut erforschten Bereichen werden sich diejenigen

Seitenhalbierenden, deren Umweltbedingungen denen der Siedlungen gleichen, in der Nähe ehemaliger Territoriegrenzen zwischen gleichzeitigen Siedlungen befinden. Die Schnittpunkte dieser Seitenhalbierenden, die Knotenpunkte der Thiessen-

Polygone, in einer Entfernung vom zwei- oder dreifachen der minimalen Regelabstände werden Bereiche kennzeichnen, in denen sich bisher nicht aufgefundene Siedlungen befinden, sofern die Umfeldanalyse dieser Bereiche eine ähnliche Ausstattung ergibt wie bei den Siedlungen selbst. Sollten auch bei gezielten Begehungen Siedlungen hier fehlen, wären auf besonders stark gekappte Bodenprofile oder Kolluvien als Ursachen zu achten. Abermals größere Abstände innerhalb der Siedlungskammern könnten die politisch-soziale Innengliederung widerspiegeln. Die größten Strecken, deren Seitenhalbierende in ganz anderen Ökotopeu liegen als die Siedlungen selbst, ergeben die für die damaligen Menschen wirksame naturräumliche Gliederung der Siedlungslandschaft.

Im Methodenvergleich mit Zählungen pro Quadrat (z.B. HODDER & ORTON 1976,85 ff.) kann folgendes festgestellt werden:

1. Triangulation und Tesselierung führen zu optimal an die Daten angepaßten Konfigurationen, die unabhängig von der Quadratgröße sind.
2. Die Lösung ist eindeutig und hängt nicht von arbiträr gewählten Startpositionen bei der Orientierung des Koordinatensystems und des Quadratnetzes ab. Probleme gibt es nur bei pathologischen Datenkonstellationen, wozu z.B. Cozirkularität von mehr als drei Punkten gehört.
3. Auch für das Randproblem, das bei der statistischen Analyse von Verbreitungskarten stets ein Problem bildet, kann bei Tesselierung und Triangulation eine Lösung angeboten werden, indem man auf diejenigen Triangulationsstrecken verzichtet, die in Thiessen-Polygone verlaufen, die nach außen nicht begrenzt sind.

Trotzdem bleiben Quadratmethoden für diejenigen Daten wichtige Auswertungstechnik, die nicht punktgenau erfaßt werden können.

An folgenden Problemen ist bei der Triangulation noch zu arbeiten:

1. Die Klassifikation der Triangulationsstrecken allein auf Grund ihrer Länge mit Hilfe der Histogramme (auch in der kumulativen Darstellung) gelingt nicht immer mit wünschenswerter Deutlichkeit. Auch Transformationen haben bisher keine Verbesserung der Situation erbracht. Der hier beschrittene Weg, Intervalle von Regeldistanzen mit Hilfe der Darstellung des triangulierten Bildes intuitiv zu identifizieren (Abb.1 und 3), kann sicher noch durch Heranziehung anderer Informationen wie Lage und Richtung der Dreiecksseiten verbessert werden.
2. Es sind weitere empirische Experimente und, wenn möglich theoretische Arbeiten, nötig, um zu zeigen, daß auf diese Weise identifizierte Regelabstände auch bei einer gewissen Unvollständigkeit der Daten sichtbar bleiben. Beispiele wie von SIEGMUND (vgl. Beitrag in diesem Heft), in denen Maxima im Abstand des ganzzahligen Vielfachen des einmal gefundenen Regelabstandes zu beobachten sind, lassen diesen Ansatz vielversprechend erscheinen.

## Arbeitsgemeinschaften

Bei Tessellierung und Triangulation handelt es sich um Methoden, die einen weiten Anwendungsbereich in der Archäologie finden könnten und deren Möglichkeiten in meinem Beitrag nur gestreift wurden. Besonders in Lage und Richtung von Triangulationsstrecken oder von Kanten der Thiessen-Polygone könnten noch interessante Informationen zur Siedlungsstruktur enthalten sein, da z.B. Streifenfluren entlang von Bachtälern oder kreisförmige Strukturen um zentrale Orte durch diese Darstellungsformen (zumindest subjektiv) sichtbar zu werden scheinen (z.B. bei HODDER & ORTON 1976, Fig.4-4).

### A n m e r k u n g

Die Grundidee verdanke ich den Einwänden einiger Studenten gegen die Quadratmethoden in einem Seminar zu Auswertungsmethoden von archäologischen Verbreitungskarten im Wintersemester 1991/92.

### L i t e r a t u r

KUPER, R., LÖHR, H., LÜNING, J. & P. STEHLI (1974) Untersuchungen zur neolithischen Besiedlung der Aldenhovener Platte IV. Bonner Jahrb. 174, 1974, 424 ff.

DOHRN-IHMIG, M. (1979) Bandkeramik am Mittel- und Niederrhein. Rheinische Ausgr. 19, 1979, 191-362, Taf. 98-190.

HODDER, I. & C. ORTON (1976) Spatial analysis in archaeology. Cambridge 1976.

RIPLEY, B.D. (1981) Spatial statistics. New York 1981.

Priv. Doz. Dr. Andreas Zimmermann  
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität  
Seminar für Vor- und Frühgeschichte  
Arndtstr. 11  
6000 Frankfurt am Main 1