

# IKone - Computergestützte Auswertung von Konversionsflächen mithilfe von Voronoi Diagrammen

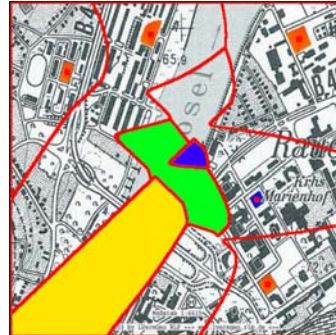
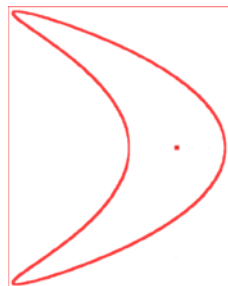
H. HAGEN, G. STEINEBACH, I. SCHELER, M. RUBY

(Prof. Dr. H. Hagen, TU Kaiserslautern, AG Computergraphik und Computergeometrie, Postfach 3049, Kaiserslautern, [hagen@informatik.uni-kl.de](mailto:hagen@informatik.uni-kl.de))

(Prof. Dr.-Ing. G. Steinebach, TU Kaiserslautern, Lehrstuhl Stadtplanung, Postfach 3049, Kaiserslautern, [steineb@rhrk.uni-kl.de](mailto:steineb@rhrk.uni-kl.de))

(Dipl.-Ing. I. Scheler, TU Kaiserslautern, AG Computergraphik und Computergeometrie, Postfach 3049, Kaiserslautern, [scheler@rhrk.uni-kl.de](mailto:scheler@rhrk.uni-kl.de))

(Dipl.-Inform. M. Ruby, TU Kaiserslautern, AG Computergraphik und Computergeometrie, Postfach 3049, Kaiserslautern, [ruby@rhrk.uni-kl.de](mailto:ruby@rhrk.uni-kl.de))



## 1 ABSTRACT

In this paper we present our computer based tool **IKone** tailor-made to support the process of redevelopment of military conversion areas. The need of re-planning conversion areas for different utilizations is expected. The main actors in this special planning process are the county, the investor and the vendor. Our work is focused on the profiles of different sites and their analysis based on the need of the decision makers. We identify and describe all the determining indicators. Afterwards we arrange the multiple parameters according to the different views fixed by the actors. We define the different views by an individual weighting of hard and soft location factors. Our great conclusion is the absolutely required independence of the defining parameters. Combining a clustering-process with a selective visualization technique provides a powerful tool for interpretation. Our goal is to superpose the clustering and visualization process with the geographic position of the conversion area. The tool is part of the data management and visualization system DaMaViS which we presented at last years CORP.

## 2 EINFÜHRUNG

Die Konversion freiwerdender militärischer Flächen wird in den nächsten Jahren in Europa weiterhin eine wichtige Rolle im Rahmen der Stadt-, Raum- und Umweltplanung einnehmen. Diese Situation ist bedingt durch zahlreiche Umstrukturierungen der in Europa stationierten Streitkräfte zur Anpassung an die veränderten Sicherheitsbedürfnisse europa- und weltweit. Im deutschen Bundesland Rheinland-Pfalz stellt die Konversion ein großes Problem dar. Der Abzug der französischen Truppen sowie der Teilabzug der amerikanischen Streitkräfte bedingte ein Freiwerden zum Teil großer Flächen sowohl in guter Innenstadtlage als auch in Randlagen. Es wird vermehrt notwendig sein, freiwerdende Liegenschaften auch im Bereich der zivilen Konversion (freiwerdende Bahn- und Postflächen) zu überplanen und in die städtebaulichen und raumplanerischen Rahmenbedingungen einzupassen. Die Lösung der damit verbundenen Probleme erfolgt zurzeit noch fast vollständig ohne Computerunterstützung und geeignete Programme. Grundlage für die Bearbeitung dieser Konversionsflächen sind bisher statistische Erhebungen und weiterführende Bestandsaufnahmen.



Abbildung 1: Konversion in Kaiserslautern [17]

Mit der hier vorgestellten computergestützten Entscheidungshilfe schaffen wir eine Möglichkeit, die im Umnutzungsprozess der Konversionsflächen Involvierten schneller und zielorientiert zu einer Entscheidungsfindung zu führen. Das entwickelte Tool sammelt die im Laufe der Bestandsaufnahme anfallenden Informationen und wertet diese sichtweisenbezogen für die einzelnen Akteure aus. Sie erhalten somit eine direkte Rückkopplung, welche Gebietseinteilungen für sie von besonderem Vorteil sind.

Im folgenden Abschnitt 3 wird die wissenschaftliche Einbettung der computergestützten Entscheidungshilfe dargestellt. Kernstück unserer Arbeit ist der Prozess des Information Clustering, mit dem sich Abschnitt 4 beschäftigt. Ausgangspunkt des Information Clustering ist eine Bestandsaufnahme der Konversionsdaten sowie die Definition der Konversionsfläche durch Parameter. Mit Hilfe der Parameter wird eine Zielfunktion aufgebaut, die den Clusterprozess charakterisiert. Die Konversionsdaten fließen in die Zielfunktion ein und werden durch sie in n-dimensionale Objekte gruppiert. Das Clustering liefert somit eine Neuordnung der

Parameter und bildet die Basis für die Interpretation der Konversionsdaten. Als Methode für das Clusteringverfahren verwenden wir verallgemeinerte Voronoi Diagramme. Durch die Wahl dieses Verfahrens ist es uns möglich, die zahlreichen Parameter der Zielfunktion zuzuführen. Eine weitere nützliche Option der verallgemeinerten Voronoi Diagramme bietet die Integration von Gewichten in das Clusteringverfahren. Mit Hilfe der Gewichte ist es uns möglich die verschiedenen Sichten der Akteure auf die Konversionsfläche zu verwalten. Wir erweitern den Ansatz der Voronoi Diagramme mit Metriken durch die Verwendung von topologieerhaltenden Distanzfunktionen. Im Anschluss an das Clustering erfolgt eine Visualisierung der Objekte mittels Techniken aus dem Gebiet der Informationsvisualisierung. Unser Tool zur computergestützten Auswertung von Konversionsflächen ist in das Datenmanagementsystem DaMaViS (**D**aten**M**anagement**V**isualisierung**S**ystem) [1] integriert. In Abschnitt 5 werden die Resultate unserer Arbeit vorgestellt, Abschnitt 6 fasst diese Arbeit zusammen und in Abschnitt 7 schließlich wird ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten gegeben.

### 3 GRUNDLAGEN

Im Bereich der Raum- und Umweltplanung werden zurzeit verstärkt den Planungsprozess unterstützende Systeme (planning support system) entwickelt. Diese Systeme haben zum Ziel, spezielle Sachverhalte im Planungsbereich leicht verständlich darzustellen. Der Planungsprozess ist so gegliedert, dass zunächst eine Analyse der Fragestellung basierend auf statistischen Informationen durchgeführt wird. Anschließend wird eine systematische Analyse der verschiedenen Möglichkeiten durchgeführt. Die bisher in der Planung zum Einsatz kommenden computergestützten Systeme kombinieren überwiegend statische Daten verschiedener Datenbanken miteinander und stellen diese visuell zwei- oder dreidimensional dar. Durch diese visuelle Hilfe sollen die in den Planungsprozess involvierten Personen schneller zu einer Entscheidungsfindung gelangen. Beispielsweise werden Statistiken und Karten zwei- oder dreidimensional dargestellt. Normalerweise erfolgt keine Interpretation der Daten, die Visualisierung wird lediglich eingesetzt, um einen rein optischen Überblick zu geben. Es liegen bereits einige Ansätze vor, die existierende GIS-Systeme mit zusätzlichen Informationen kombinieren. Hopkins [2] beschreibt beispielsweise die Struktur eines Systems, welches statische Elemente der Planung mit dynamischen Prozessen, bspw. das Wachstum von Pflanzen oder Luftzirkulationen, vereint. Andere Systeme verknüpfen die Darstellung von 3D Stadtmodellen mit weiteren Informationen, wie z.B. Lärm [3]. In dem Paper von K. Kanzler und N. de Lange [4] wird eine Übersicht über den Einsatz von GIS-Systemen in der Regionalplanung gegeben.

Ein interessanter Ansatz GIS-Systeme mit der Clusteranalyse zu verknüpfen, wurde im Anwendungsfeld Bodenkunde durch M. Fecht [6] erstellt. Eine kürzliche Arbeit von Keith Andrews [10] ist das InfoSky System. InfoSky ist ein Such- und Navigations-Visualisierungssystem, welches Anwendern die effiziente Erforschung großer, hierarchisch strukturierter Dokumentenablagensysteme ermöglicht. Hierbei wird die Geometrie der Voronoi Diagramme zum Clustern eingesetzt. Die hierarchische Struktur wird durch eine rekursive Voronoi-Unterteilung des zur Verfügung stehenden Raumes erreicht.

Die Interpretation der Ergebnisse der Clusteranalyse erfolgt am sinnvollsten unterstützt durch eine aussagekräftige Visualisierung. In den letzten Jahren wurden im Gebiet der multidimensionalen und multivariaten Informationsvisualisierung verschiedenste Techniken entwickelt [7], die sich für den Einsatz im Rahmen der Konversion eignen. Wir haben die Techniken untersucht und auf ihre Eignung für den Einsatz im Bereich der Konversion geprüft. Die sogenannten stick figures von Pickett und Grinstein [8] eignen sich sehr gut, räumliche Daten darzustellen und lassen sich effektiv mit einer Karte kombinieren. Der Nachteil ist, dass sie auf eine geringe Anzahl von Dimensionen beschränkt sind. Eine Erweiterung dieser Techniken stellt aber einen vielversprechenden Ansatz für die Konversion von Flächen dar. Der Ansatz von Kleiberg, van de Wetering und van Wijk [9] im Bereich der botanischen Informationsvisualisierung bildet eine gute Grundlage, eine optische Überlappung der Visualisierung mit der zweidimensionalen Karte zu vermeiden.

Das von uns entwickelte Datenmanagementsystem DaMaViS (DatenManagementVisualisierungssystem) [1] vereinigt verschiedene Insellösungen in einem System für die Anwendung in der Stadtplanung. DaMaViS benutzt generische Datenstrukturen, wodurch es in der Lage ist, Daten aus den unterschiedlichsten Anwendungsdomänen zu verarbeiten. Beispielsweise kann es eingesetzt werden, die Daten eines Geographischen Informationssystems zu verwalten und zu visualisieren [16]. Um mit dem System eine interpretierende Visualisierung vornehmen zu können, haben wir für DaMaViS die hier vorgestellte computergestützte Entscheidungshilfe **IKone** (Interpretation von **K**onversions**f**lächen) entwickelt.

Die Konversion ist ein komplexer Teilbereich des Planungsprozess, der sich mit der Umnutzung ehemals militärischer Liegenschaften befasst. Die in Frage kommenden Flächen sind durch die jahrelange einseitige Nutzung vollkommen von der Entwicklung der Umgebung abgekoppelt und müssen nun wiedereingegliedert werden. Die Studie vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

[5] vermittelt einen Überblick über die generelle Struktur des Planungsprozesses im Bereich der Konversion. Mit unserer Entscheidungshilfe schaffen wir die Möglichkeit, die im Umnutzungsprozess der Konversionsflächen Involvierten schneller und zielorientiert zu einer Entscheidungsfindung zu führen. Das vorgestellte Tool **IKone** sammelt die im Laufe der Bestandsaufnahme anfallenden Informationen und wertet diese mittels eines Information Clustering Verfahrens sichtenweisenbezogen für die Akteure aus. Dazu wird zunächst ein Clusteringprozess durchgeführt, der die vielfältigen Informationen gruppiert und in Abhängigkeit der Akteure gewichtet. An diesen Clusteringprozess schließt sich eine Visualisierung mit Verfahren aus dem Bereich der Informationsvisualisierung an, die schließlich die Interpretation der Konversionsdaten ermöglicht.

### 4 INFORMATION CLUSTERING

Der Prozess des Information Clustering gliedert sich in zwei Hauptschritte, das Clustering und die Visualisierung. Voraussetzung für das Clustering ist eine Bestandsaufnahme der Konversionsfläche sowie deren Definition durch die bestimmenden Parameter. Bei der Auswahl der bestimmenden Parameter ist vor allem die Unabhängigkeit der Parameter untereinander von Bedeutung. Nach der Bestandsaufnahme der Konversionsfläche fließen diese in die Zielfunktion ein. Die Zielfunktion ist der zentrale Punkt des Information Clustering. Für dessen Aufbau orientieren wir uns an der bewährten Methode der Voronoi Diagramme und untersuchen dieses auf die topologischen Eigenschaften. Durch das Clustering werden die Daten neu geordnet und somit mehrdimensionale Objekte identifiziert. Den zweiten Schritt des Information Clustering stellt die Visualisierung der Ergebnisse dar. Der Grundgedanke hierfür ist die Zuordnung der Objekte mittels deren geographischer Position zu den Flächen. Die Visualisierung erfolgt mit Techniken aus dem Bereich der Informationsvisualisierung, die sich für eine Interpretation der abstrakten Objekte besonders eignet.

Im folgenden Abschnitt 4.1 werden zunächst die Parameter bestimmt, die die Fläche definieren. In Abschnitt 4.2 wird das Clusterverfahren beschrieben, mittels dem die n-dimensionalen Objekte berechnet werden. Der anschließende Visualisierungsprozess wird in Abschnitt 4.3 vorgestellt. Abschnitt 4.4 beschreibt die Einbettung von **IKone** in das System DaMaViS.

#### 4.1 Parameterauswahl

Der Planungsprozess für die Umnutzung einer freigewordenen Fläche gliedert sich in verschiedene Schritte. Unsere Arbeit konzentriert sich hierbei auf die Profilerstellung der Konversionsflächen gefolgt von einer Analyse basierend auf den Ansprüchen der Entscheidungsträger. Der Hauptaugenmerk liegt bei der Profilerstellung auf der Auswahl und Kombination der einflussnehmenden Parameter. Die Entscheidungsträger, die den Umnutzungsprozess in Rheinland-Pfalz charakterisieren, sind die drei Akteure Investor, Kommune und Eigentümer.

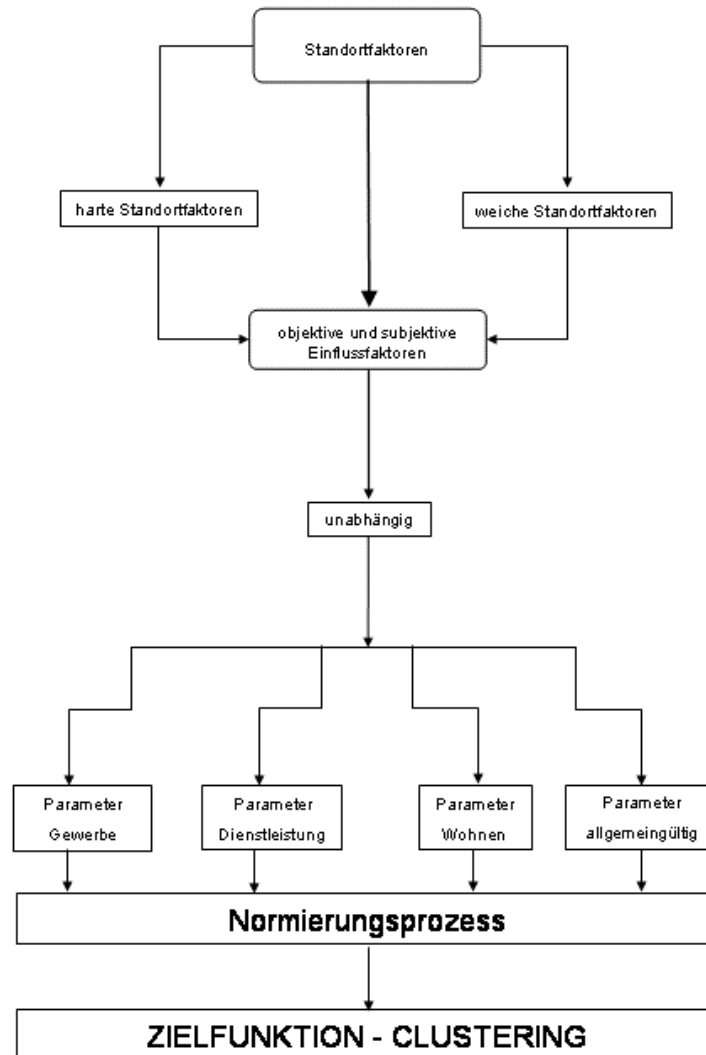


Abbildung 2: Prozess zur Parameteridentifikation

Die Grundlage für das von uns gewählte Clusteringverfahren bildet eine Analyse des Konversionsgebietes. Die Analyse beginnt mit der Bestimmung der Standortfaktoren gefolgt von der Datenerhebung. Abbildung 2 beschreibt den Prozess der Analyse der Standortfaktoren hin zur Parameteridentifikation. Aus den ermittelten Standortfaktoren ergeben sich eine Vielzahl objektiver und subjektiver Einflussfaktoren, die die weitere Nutzung der Fläche bestimmen. Die Standortfaktoren werden von uns gegliedert nach Faktoren, die für alle Nutzungsarten von Interesse sind und solche, die lediglich in den drei Nutzungsarten Wohnen, Dienstleistung und Gewerbe benötigt werden.

Objektive Einflussfaktoren sind alle harten Standortfaktoren. Sie umfassen hauptsächlich natürlich-technische und von Menschen geschaffene Faktoren. Hierzu zählen beispielsweise die Verfügbarkeit von Naherholungs- und Freizeiteinrichtungen, Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen, Aufbau des Bodens, das Arbeitskräftepotential, das Bildungsangebot und die Nähe zu einem Flughafen. Bei diesen quantifizierbaren Daten der Flächen handelt es sich sowohl um statistische Daten wie auch um Messdaten, die gezielt an bestimmten Punkten vor Ort oder durch statistische Umfragen erhoben werden.

Darüber hinaus untersuchen wir die subjektiven Einflussfaktoren. Hierzu zählen die weichen Standortfaktoren, die als qualitative Faktoren in die weitere Bewertung eingehen. Als Beispiel für subjektive Einflussfaktoren können die Lebensqualität, das Stadt- und Regionsimage, das Image des Betriebsstandortes etc. gesehen werden. Diese Parameter sind nicht direkt quantifizierbar, sondern werden im Zuge unserer Bestandsaufnahme ermittelt.

Die Gesamtheit der Einflussfaktoren ergibt eine Fülle voneinander abhängiger und unabhängiger Parameter. Für die Klassifizierung der Flächen ergibt sich die unbedingte Forderung nach der Unabhängigkeit der Parameter. Unabhängigkeit wird in diesem Kontext so

definiert, dass ein Parameter nicht durch einen anderen beschrieben werden kann. Alle abhängigen Parameter werden durch einen übergeordneten unabhängigen Parameter ausgedrückt.

Da die Parameter in verschiedenen Einheiten und Dimensionen vorliegen, fügen wir einen Normierungsprozess an. Hierdurch garantieren wir die Vergleichbarkeit der Parameter als Eingangsgrößen der Zielfunktion. Die unabhängigen Parameter werden der Zielfunktion zugeführt.

## 4.2 Clusteringprozess

Zentraler Punkt des Clusterverfahrens ist die Konstruktion der Zielfunktion. Eingangsparameter der Zielfunktion sind die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Parameter der Konversionsfläche. Für die Berechnung verwenden wir verallgemeinerte Voronoi Diagramme [11]. Voronoi Diagramme sind ein bewährtes Verfahren, das in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen mit Erfolg eingesetzt wird. Der Vorteil der Nutzung dieser generellen Struktur ist zum einen deren natürliche Nähe zu Abstandsbeschreibungen und zum anderen die Möglichkeit eine große Menge Parameter berücksichtigen zu können. Um die Sichten der einzelnen Akteure in die Zielfunktion integrieren zu können, erweitern wir den einfachen Ansatz der Voronoi Diagramme durch die Hinzunahme von Gewichten [12]. Hierbei müssen die topologischen Eigenschaften der Zielfunktion berücksichtigt werden, da beispielsweise der Zusammenhang der Unterteilung eine besondere Anforderung bei der Konversion darstellt. Löcher in der Struktur sind spezielle Artefakte, die entweder unterdrückt werden müssen, oder aber toleriert werden können. Auf Grund dessen verwenden wir eine topologieerhaltende Distanzfunktion, mit der wir die Gewichte additiv und multiplikativ verknüpfen.

Zunächst führen wir kurz in die Notation der Voronoi Diagramme ein und beschreiben dann deren topologischen Eigenschaften bei der Verwendung der unterschiedlichen Gewichtungen. Anschließend erläutern wir den Vorteil einer generellen Distanzfunktion gegenüber dem Einsatz von Metriken.

### 4.2.1 Voronoi Tesselation

Wir betrachten eine Menge  $P$  von unterschiedlichen Punkten in  $R^2$ ,  $P = \{p_1, \dots, p_n\} \subset R^2$  mit  $2 \leq n < \infty$  und  $p_i \neq p_j$ . Die Voronoi Region  $V(p_i)$  ist der Ort derjenigen Punkte, deren Abstand zum korrespondierenden Referenzpunkt  $p_i$  näher ist, als zu jedem anderen Punkt  $p_j, p_j \in P \setminus \{p_i\}$  in der Ebene. Jede Voronoi Region wird somit durch einen Referenzpunkt erzeugt und erfüllt folgenden Ausdruck:

$$V(p_i) = \bigcap_{p_j \in P, \{p_i\}} H(p_i, p_j) \tag{1}$$

$H(p_i, p_j)$  ist die Halbebene, die alle Punkte im  $R^2$  enthält, die näher zu  $p_i$  als zu jedem anderen Punkt  $p_j$  liegen. Basis dieser Betrachtung ist eine Distanzfunktion, so dass die Voronoi Region mit einer gegebenen Distanzfunktion  $d$  alternativ auch folgendermaßen definiert werden kann:

$$V(p_i) = \{p \mid d(p, p_i) < d(p, p_j), j \neq i\} \tag{2}$$

### 4.2.2 Gewichtete Distanzfunktionen

Bei den einfachen Voronoi Diagrammen, wie sie in Abschnitt 4.2.1 eingeführt wurden, besitzen die Referenzpunkte keine Attribute. Demnach sind alle diese Punkte gleichwertig beziehungsweise haben alle das gleiche Gewicht. Um Attribute an den Referenzpunkten berücksichtigen zu können, benutzen wir gewichtete Voronoi Diagramme. Dabei dienen die Attribute als Gewichte  $w_i$  der Distanzfunktion. Die Sichten der einzelnen Akteure auf die Konversionsfläche können somit durch die Gewichte  $w_i$  ausgedrückt werden.

Für den Ansatz in der Konversion unterscheiden wir zwei allgemeine Gewichtsfunktionen:

#### (i) Additiv gewichtete Distanzfunktion

Das additiv gewichtete Voronoi Diagramm wird definiert als:

$$d_{av}(p, p_i) = \|p - p_i\| - w_i \tag{3}$$

Die additive Gewichtung einzelner Parameter kann durch den Vergleich mit Gewichtskreisen veranschaulicht werden. Diese sind um die Referenzpunkte orientiert und haben einen Radius, der genau den Gewichten  $w_i$  entspricht. In Abbildung 3 wird das zugehörige Voronoi Diagramm dargestellt.

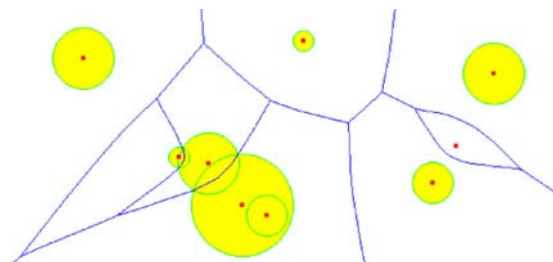


Abbildung 3: Additiv gewichtetes Voronoi Diagramm mit gewichteten Kreisen [14]

Das additiv gewichtete Voronoi Diagramm hat im wesentlichen drei Eigenschaften, die für den Einsatz im Bereich der Konversion von Bedeutung sind:

1. Die additiv gewichtete Voronoi Zelle mit dem Gewichtskreis  $\sigma$  neben  $n$  anderen Gewichtskreisen  $\{\sigma_i, 0 \leq i < n\}$  ist leer, genau dann, wenn ein  $i$  existiert mit  $0 \leq i < n$ , so dass der Gewichtskreis um  $\sigma$  vollständig im Inneren einer anderen Voronoi Zelle  $V_i$  liegt.

Mit anderen Worten bedeutet dies, sobald die Gewichtung umliegender Referenzpunkte einen Schwellwert übersteigt, trägt die verhältnismäßig schwache Gewichtung im Inneren nichts mehr zum Voronoi Diagramm bei und die Zelle bleibt leer.

2. Die additiv gewichtete Voronoi Zelle ist nicht zwingend konvex, aber sternförmig. Wenn die Konturlinie der zugehörigen Distanzfunktion konvex ist, resultieren daraus immer topologisch zusammenhängende Voronoi Gebiete.
3. Der Bisektor zweier Referenzpunkte ist
  - (a) leer, falls Eigenschaft 1 erfüllt ist,
  - (b) eine Halblinie, falls der kleinere Gewichtskreis im Inneren des größeren liegt und die Kreislinien sich berühren,
  - (c) eine Gerade bei gleichen Punktgewichten,
  - (d) in allen anderen Fällen ein Teilstück einer Hyperbel, gekrümmt um den kleineren Gewichtskreis.

Durch diese Eigenschaften wird deutlich, dass additive Gewichtung als solches immer topologieerhaltend ist. Lediglich die Wahl einer nicht konvexen Distanzfunktion kann diesen Zusammenhang zerstören. Bleibt man also –zunächst– bei der euklidischen Metrik und integriert die Parameter mittels einer additiven Gewichtung in die Zielfunktion, so liefert der Clusteringprozess eine zusammenhängende Tesselierung.

Die Beweise zu den genannten Eigenschaften können bei Møller [13] nachgelesen werden.

#### (ii) Multiplikativ gewichtete Distanzfunktion

Naturwissenschaftliche Wachstumsprozesse, beispielsweise das Kolonienwachstum von Bakterienkulturen oder Kristallisierungsprozesse in Mineralien, zeichnen sich oft durch unterschiedlich schnelles Wachstum in den einzelnen Keimpunkten aus. Eine Simulation dieser Phänomene bietet das Apollonius-Model [11]. Dabei wachsen die Gebiete, ausgehend von den Referenzpunkten, radial, aber mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Dies entspricht einem Voronoi Diagramm, basierend auf einer Distanzfunktion, welche zusätzlich zum Abstandsmaß noch das Gewicht des Referenzpunktes multiplikativ verknüpft.

Die multiplikativ gewichtete Distanzfunktion wird also definiert durch:

$$d_{mw}(p, p_i) = \frac{1}{w_i} \|p - p_i\|, \quad w_i > 0 \quad (4)$$

Das multiplikativ gewichtete Voronoi Diagramm hat fünf wichtige Eigenschaften:

1. Eine multiplikativ gewichtete Voronoi Region ist nicht leer und nicht notwendigerweise konvex oder zusammenhängend. Dadurch können Löcher im Voronoi Diagramm entstehen, das heißt Teilregionen, die von ihrer Referenzregion topologisch getrennt sind.
2. Eine Voronoi Region ist genau dann konvex, wenn alle Gewichte der umliegenden Regionen größer oder gleich dem aktuellen Gewicht sind.
3. Eine Voronoi Region ist unbegrenzt, wenn ihr Gewicht gleich dem Maximalgewicht aller Referenzpunkte ist.
4. Zwei Voronoi Regionen können sich unverbundene Kanten teilen.
5. Der Bisektor beschreibt
  - (a) einen Kreisbogen genau dann, wenn unterschiedliche Gewichte an den entsprechenden Referenzpunkten vorliegen und
  - (b) eine Halbgerade, wenn die beiden Gewichte gleich sind.

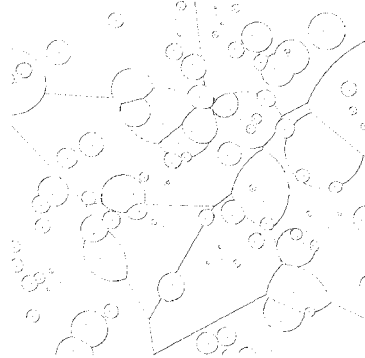


Abbildung 4: Multiplikativ gewichtetes Voronoi Diagramm [15]

Durch die Eigenschaften dieser Gewichtung wird deutlich, dass die multiplikative Gewichtung nicht immer topologieerhaltend ist. Dennoch stellt diese Gewichtung eine fundamentale Form dar, welche verschiedenste Prozesse sehr gut simuliert. Für den Einsatz in der Konversion muss sie als kritisch angesehen werden, kann jedoch durchaus ihren Sinn haben.

Die Beweise zu den genannten Eigenschaften können bei [11] nachgelesen werden.

#### 4.2.3 Generelle Distanzfunktionen

Für die Anwendung des Clusteringverfahrens ist zunächst eine geeignete Modellierung der Ähnlichkeit zwischen den Datenobjekten erforderlich. Dies erfolgt durch eine Distanzfunktion, die für Paare von Objekten definiert ist. Zur Definition der Distanz zwischen den Objekten werden direkte oder abgeleitete Eigenschaften der Objekte verwendet. Typische Beispiele für Distanzfunktionen mit numerischen Attributwerten sind die Minkowski-Metriken [11]. Ein Nachteil bei der Verwendung dieser Metriken ist, dass die Bisektoren Flächen aufspannen können und somit nicht mehr eindeutig zu definieren sind.

Durch die Verwendung von konvexen Distanzfunktionen verhindern wir diese Problematik. Hierfür betrachten wir eine kompakte, konvexe Menge  $C$  in der Ebene, die den Nullpunkt im Inneren enthält. Um den Abstand von  $p$  nach  $q$  bezüglich  $C$  zu definieren, wird  $C$  um den Vektor  $p$  verschoben. Der Strahl von  $p$  durch  $q$  schneidet den Rand von  $C$  in genau einem Punkt  $q'$ .

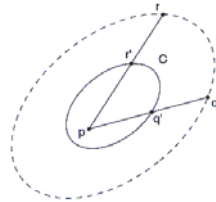


Abbildung 5: Konstruktion einer konvexen Distanzfunktion

Wir definieren die konvexe Distanzfunktion  $d_c$  folgendermaßen:

$$d_c(p, q) = \frac{|pq|}{|pq'|} \quad (5)$$

Sollte der ausgehende Strahl einen nicht-konvexen Teil von  $C$  schneiden, liefert die Distanzfunktion  $d_c$  das gleiche Resultat für unterschiedliche Punkte  $q_i$ . Beispielsweise ist in Abbildung 6

$$d_c(p, q_1) = d_c(p, q_2) = d_c(p, q_3) \quad (6)$$

Das bedeutet, dass die wichtige Eigenschaft der Dreieckungleichung der Metrik Definition nicht eingehalten wird. Für unseren Ansatz ist es jedoch nur von Bedeutung, dass  $d_c$  die positive Definitheit erfüllt. Dieses wird direkt durch die Definition von  $d_c$  garantiert.

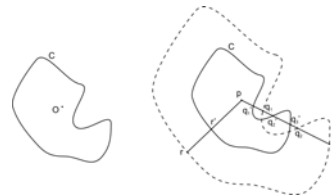


Abbildung 6: Konstruktion einer generellen Distanzfunktion

Die konvexe Distanzfunktion ist symmetrisch sofern  $C$  symmetrisch zum Ursprung ist. Zusätzlich erfüllt  $d_c$  folgende Eigenschaften:

$C$  ist der Einheitskreis von  $d_c$ , d.h.  $\{x \mid d_c(x, 0) = 1\}$

$d_c$  ist translation invariant

Mit diesem sehr allgemeinen Ansatz ist es möglich jede geschlossene Kurve als Konturlinie einer allgemeinen Distanzfunktion zu interpretieren.

### 4.3 Visualisierungsprozess

Nachdem der Clusterprozess abgeschlossen ist, liegen die neu geordneten Daten in Form von mehrdimensionalen Objekte vor. Eine Interpretation der Ergebnisse an dieser Stelle ist jedoch mühsam und verwirrend, da die Objekte zu viele Informationen enthalten. Auf Grund dessen schließen wir eine Visualisierung an, für die wir Techniken aus dem Bereich der Informationsvisualisierung verwenden, die sich für eine Interpretation der abstrakten Objekte besonders eignen. Die Grundidee hierbei ist, die zugrundeliegende Karte der Konversionsfläche mit der Visualisierung zu überlagern und somit einen direkten Bezug zwischen diesen Informationen herzustellen. Die einzelnen Parameter müssen hierbei durch die Visualisierung besonders repräsentiert werden.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben wir zunächst zwei Visualisierungsmethoden getestet, eine Icon-basierte und eine hierarchische Methode. Die Icon-basierte Methode hat den Vorteil, dass die Resultate graphisch auf den Flächen dargestellt werden können. Somit läßt sie sich sehr leicht mit den Karten kombinieren, indem einfach verschiedene Layer übereinander gelegt werden. Mit den beiden Standardtechniken stick-figure icon und velco-icon [8] ist es jedoch nicht möglich eine größere Zahl von Parametern darzustellen, so dass wir den Ansatz erweitert und das Picklock-Icon entwickelt haben.

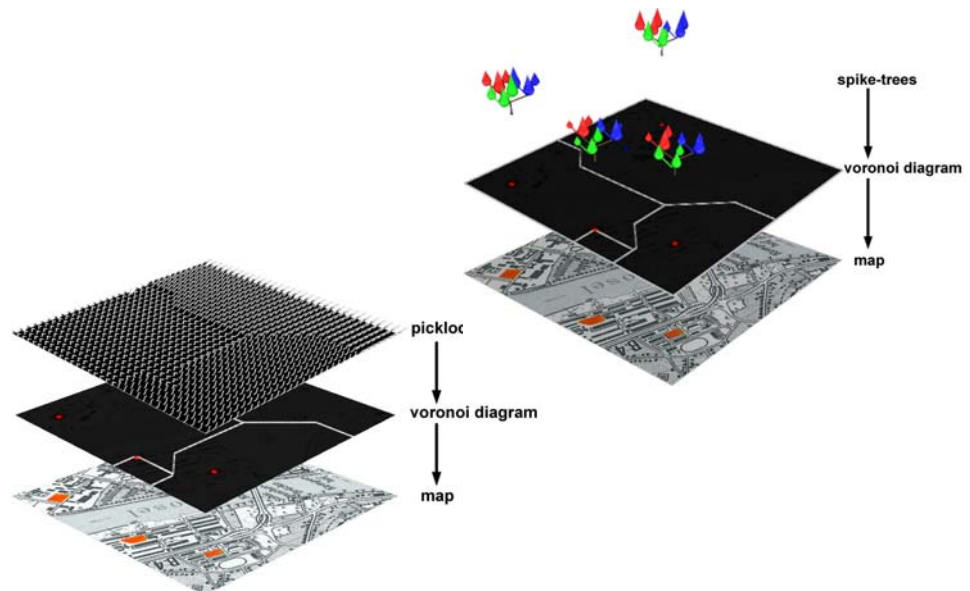


Abbildung 7: Picklock-Icon und Spike-Tree Visualisierung

Zusätzlich haben wir eine hierarchische Visualisierungstechnik entwickelt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Visualisierung nicht die Karte überdeckt. Der von uns entwickelte Spike-Tree gehört zur Botanischen Informationsvisualisierung und ist punktorientiert. Der Spike-Tree ist eine Weiterentwicklung der Ansätze von Kleiberg, van de Wetering und van Wijk [9]. Zwei Beispiele dieser Visualisierungstechniken sind in Abbildung 7 zu sehen. Basis ist die zugrunde liegende Karte, darüber wird das Clusterergebnis gelegt, auf das die Visualisierung aufgesetzt wird.

#### 4.4 System DaMaViS

In der heutigen Zeit produziert fast jede Anwendungsdomäne sehr große, heterogene Datenmengen. Für den Bereich der Stadtplanung eröffnet sich daraus ein immer breiteres Themenfeld, in dem zukünftig rechnerunterstützte Entscheidungshilfen Anwendung finden. Als Beispiel hierfür kann ein virtueller Rundgang genannt werden, der eingesetzt werden kann, Entscheidungen in der Stadtentwicklungspolitik zu einem Ziel zu führen, da die visuelle Aufbereitung der Plandaten die Vorstellungskraft der Entscheidungsträger stärkt. Viele Auswertungen in der Stadtplanung werden noch von Hand erledigt, da für Rechneranwendungen keine geeigneten Module auf dem Markt angeboten werden. Die auf dem Markt befindlichen Module sind vielfach Insellösungen, die in getrennten Arbeitsschritten, nacheinander ausgeführt, zu einer Problemlösung führen.

Mit Hilfe von Datenmanagementsystemen wird in den einzelnen Fachdisziplinen der Komplexität der Daten begegnet. Meistens sind die existierenden Systeme jedoch auf ausgewählte Anwendungsbereiche spezialisiert und relativ statisch konzipiert. Im Anwendungsfeld Raum- und Umweltplanung existieren diverse spezialisierte Informationssysteme wie beispielsweise Landinformationssysteme, Rauminformationssysteme, Umweltinformationssysteme. Diese Systeme bieten spezifische Auswertungen einzelner Anwendungsbereiche an.

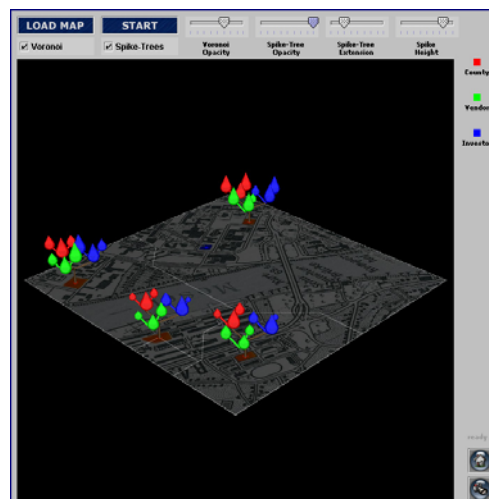


Abbildung 8: DaMaViS mit einer Spike-Tree-Visualisierung

Das von uns entwickelte Datenmanagementsystem DaMaViS vereinigt verschiedene Insellösungen in einem System für die Anwendung in der Stadtplanung. DaMaViS benutzt generische Datenstrukturen, wodurch es in der Lage ist, Daten aus den unterschiedlichsten Anwendungsdomänen zu verarbeiten. Beispielsweise kann es eingesetzt werden, die Daten eines Geographischen Informationssystems (GIS) zu verwalten und zu visualisieren. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die Erstellung eines virtuellen Walkthrough durch eine Stadt oder kleinere Teilräume. Das System verknüpft eine große Zahl heterogener Datenbanken miteinander und ermöglicht eine gezielte Auswertung der gesammelten Daten im Bereich der nachhaltigen Stadtteilentwicklung (z.B. Bahnhofsumgebung Kaiserslautern) und der Konversion im weiteren Sinne. Die Basis bilden verschiedenste Datenbanken mit Statistiken, Texten und Bildern sowie Graphiken. Insgesamt erfolgt eine Visualisierung der Ergebnisse mittels geeigneter Techniken

aus dem Bereich der Informationsvisualisierung. Neben den vorab genannten spezifischen Anwendungsmöglichkeiten bietet das System grundlegende Möglichkeiten Texte zu bearbeiten und einzelne Textpassagen in einen Report zu integrieren. Detaillierte Informationen zu unserem DaMaViS System sind in [1] zu finden.

Wir haben die in Abschnitt 4 beschriebene Entscheidungshilfe **IKone** in DaMaViS integriert. Es besteht die Möglichkeit im Clusteringprozess das Verfahren der additiven oder multiplikativen Gewichtung auszuwählen und anschließend eine Visualisierung der Ergebnisse vorzunehmen.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Paper wurde das Tool **IKone** als Erweiterung des von uns entwickelten Datenmanagementsystems DaMaViS (DatenManagementVisualisierungssystem) vorgestellt. **IKone** wurde entwickelt, um mit dem System DaMaViS eine interpretierende Visualisierung vornehmen zu können. Mit dieser Entscheidungshilfe schaffen wir die Möglichkeit, die im Umnutzungsprozess der Konversionsflächen Involvierten schneller und zielorientiert zu einer Entscheidungsfindung zu führen. Das vorgestellte Tool **IKone** wertet hierbei die im Laufe des Planungsprozess anfallenden Daten mittels eines Information Clustering Verfahrens sichtenbezogen für die in den Umnutzungsprozess involvierten Akteure aus. Dazu wird zunächst ein Clusteringprozess durchgeführt. Dieser ist unterteilt in eine Bestandsaufnahme der Fläche, gefolgt von der Auswahl der Parameter und dem Erstellen der Zielfunktion. Diese bildet den zentralen Punkt des Information Clustering Prozesses. Die topologischen Eigenschaften der Zielfunktion müssen genau betrachtet werden, da beispielsweise der Zusammenhang der Unterteilung eine besondere Anforderung im Kontext der Konversion darstellt. Hierbei sind Löcher in der Struktur spezielle Artefakte. Durch das Clustering werden die Daten neu geordnet und somit mehrdimensionale Objekte identifiziert. An diesen Clusteringprozess schließt sich eine Visualisierung mit Verfahren aus dem Bereich der Informationsvisualisierung an, die schließlich die Interpretation der Konversionsdaten ermöglicht. Unser Grundgedanke hierfür ist die Zuordnung der Objekte mittels deren geographischer Position zu den Flächen. Die Visualisierung erfolgt mit Techniken aus dem Bereich der Informationsvisualisierung, da diese sich für eine Interpretation der abstrakten Objekte besonders eignen.

## 6 ZUKÜNFTIGE ARBEITEN

Als Ausblick auf die zukünftigen Arbeiten können folgende Punkte angesehen werden:

Evaluierung der Ergebnisse anhand realer Konversionsprojekte.

Evaluierung der Visualisierungstechniken durch die Akteure des Umnutzungsprozesses.

Weiterentwicklung der Visualisierungstechniken.

Erweiterung des Tools auf den Bereich der sogenannten „zivilen Konversion“. Hierfür muss die Parameterauswahl den spezifischen Bedürfnissen dieses Sachverhaltes angepasst werden.

## 7 REFERENZEN

- [1] Hagen, H., Steinebach, G., Münchhofen, M., Ruby, M., Scheler, I., Wadlé, M., Michel, F.: Datenmanagementsystem für die Stadtplanung; CORP2005, Wien 2005.
- [2] Hopkins, L.: Structure of a planning support system for urban development; In Planning Support Systems, Integrating geographic information systems, models and visualization tools, ESRI Press, Redlands, California, pp 81-98, 2001.
- [3] Pfäfflin, F., Diegmann, V.: IVU Umwelt GmbH, LimArc - Lärmmodellierung in ArcGIS; 17. AGIT-Symposium, AGIT-EXPO Forum, Salzburg 2005.
- [4] Kanzler, K., de Lange, N.: Entscheidungsunterstützung in der Regionalplanung; Bewertung von Ansiedlungsvorhaben des großflächigen Einzelhandels. 17. AGIT-Symposium, Salzburg 2005, pp 309-314.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Studie "Nachnutzung vormals militärisch genutzter Flächen"; Bonn, November 1997.
- [6] Fecht, M., Geitner, C., Heller, A., and Stötter, J.: Ermittlung der räumlichen Verteilung von Bodeneigenschaften – eine Kombination von GIS, Clusteranalyse und Geländearbeit; 17. AGIT-Symposium, Salzburg 2005, pp 155-164.
- [7] Keim, D.: Visual Techniques for Exploring Databases; Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, 1997.
- [8] Pickett, R. M., Grinstein, G. G.: Iconographic Displays for Visualization Multidimensional Data; IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp 514-519, 1988.
- [9] Kleiberg, E., van de Wetering, H., and van Wijk, J.J.: Botanical visualization of huge hierarchies; In Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis 2001), IEEE Computer Society Press, pages 87-94, 2001.
- [10] Kappe, F., Droschl, G., Kienreich, W., Sabol, V., Becker, J., Andrews, K., Granitzer, M., Tochtermann, K., and Auer, P.; InfoSky: Visual Exploration of Large Hierarchical Document Repositories; Proc. of HCI International 2003, Crete, Greece, Volume 3, pages 1268-1272. Lawrence Erlbaum Associates, June 2003.
- [11] Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K., Chiu, S.: Spatial Tesselations; Wiley, 2nd Edition, 2000.
- [12] Aurenhammer, F., Edelsbrunner, H.: Voronoi diagrams: A survey of a fundamental geometric data structure; ACM Computing Surveys, 23(3):345-405, September 1991.
- [13] Møller, J.: Random Johnson-Mehl tessellations; Advances in Applied Probability, 24:814-844, 1992.
- [14] Leißing, F. und Müller-Molinet, P.: Verallgemeinerte Voronoi Diagramme; Projektarbeit TU Kaiserslautern, 2003.
- [15] Schneider, M.: Toplogieerhaltende Voronoi-Algorithmen; Diplomarbeit TU Kaiserslautern, 2004.
- [16] Hagen, H., Ruby, M., Scheler, I.: Information Clustering in the context of Urban Planning; International Symposium on Generalization of Information, Berlin 2005.
- [17] [http://www.pre-park.de/redesign/web/htm/frameset/index\\_news.htm](http://www.pre-park.de/redesign/web/htm/frameset/index_news.htm).