STUDIEN

Effiziente Algorithmen

für Studenten der Mathematik und Informatik
an der Freien Universität Berlin

Semesterheft Sommer 2003

SCHWERPUNKT

Allgemeines

Das Gebiet *Effiziente Algorithmen* ist eines der Bindeglieder zwischen Informatik und Mathematik. Einerseits gehören Algorithmen und Datenstrukturen zum Kern der praktischen Informatik, andererseits bezieht die zugrundeliegende Theorie ihre Methoden im wesentlichen aus der diskreten Mathematik. Die Anwendungen reichen in zahlreiche Gebiete wie Computer–Grafik, Mustererkennung, Robotik, Computer Aided Design, Bioinformatik, Kartographie, Bildverarbeitung usw. Einige konkrete Beispiele werden anhand von Diplomarbeiten, Dissertationen und Projekten am Ende dieser Broschüre vorgestellt.

Das Gebiet ist in Berlin an allen drei Universitäten und am Konrad-Zuse-Zentrum stark vertreten. Diese Institutionen tragen gemeinsam das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Europäische Graduiertenkolleg *Combinatorics, Geometry, and Computation*, das in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich durchgeführt wird. (Siehe auch die WWW-Seite:
`http://www.inf.fu-berlin.de/gk-cgc`.)
Neben zahlreichen Lehrveranstaltungen werden auch andere Möglichkeiten zur Weiterbildung angeboten. So finden zum Beispiel der Berliner Algorithmen-Tag oder mehrtägige Spezialschulen regelmäßig statt.

Der Studienschwerpunkt ist ein Vorschlag zur Vertiefung in dieses Fachgebiet im Rahmen der Studiengänge Mathematik und Informatik an der Freien Universität. Zum Beispiel wird eine abgestimmte Folge von Lehrveranstaltungen von den Grundlagen bis zu den Anwendungen angeboten. Darüberhinaus sollen den Studenten die zahlreichen Angebote in dieser Richtung in Berlin besser zugänglich gemacht werden. Dazu wird diese Informationsbroschüre jedes Semester aktualisiert. Neben Vorschlägen zur Studienplanung werden hier allgemeinere Informationen zum Gebiet *Effiziente Algorithmen* zusammengefasst. Die Broschüre gibt einen Überblick über die Lehrveranstaltungen zum Gebiet – auch an den anderen Berliner Universitäten – und die Lehrveranstaltungsplanung für die folgenden Semester. Zusätzlich gibt sie Informationen zu Tagungen und ähnlichen Veranstaltungen, zu den in der Arbeitsgruppe *Effiziente Algorithmen* tätigen Mitarbeitern und ihren Arbeitsgebieten sowie zu aktuell im Fachbereich behandelten Forschungsthemen (Diplomarbeiten, Dissertationen etc.).

Interessenten können sich im Sekretariat der Arbeitsgruppe Theoretische Informatik (Takustr. 9, Raum 111) in den Studienschwerpunkt einschreiben. Sie erhalten dann regelmäßig das Semesterheft und werden laufend über Veranstaltungen wie etwa Vorträge, Spezialschulen und Tagungen informiert.

1 Vorschlag zur Studienplanung

Für die Teilnahme am Studienschwerpunkt sind gewisse Grundkenntnisse aus dem Grundstudium unerlässlich. Es wird empfohlen, Vorlesungen und Kurse zu Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitstheorie, Graphentheorie, Algorithmen und Datenstrukturen sowie Programmierung frühzeitig zu besuchen. Innerhalb des Hauptstudiums ist sowohl eine Orientierung in mathematisch-theoretischer Richtung als auch eine zu Anwendungsgebieten hin möglich. Im folgenden geben wir Empfehlungen zur Organisation des Studiums für beide Richtungen. Natürlich sind auch Mischformen und eine andere Organisation möglich.

Die Angebote des Hauptstudiums werden im Studienschwerpunkt mit einem Kürzel ([EA 1,2] Entwurf und Analyse von Algorithmen, [ADM] Angewandte Diskrete Mathematik, [ANW] Anwendungen, [PR] Praktikum) gekennzeichnet. Das Kürzel zeigt an, für welche Phase des Studiums die Veranstaltungen geeignet sind. Der Vorschlag sollte individuell durch begleitende Lehrveranstaltungen aus Mathematik und Informatik ergänzt werden.

Vertiefung in theoretischer Richtung.

- **[EA1]** (3V + 2 Ü) im 5. Semester
  Entwurf und Analyse von Algorithmen.
- **[EA2]** (3V + 2 Ü) im 6. Semester
  Themenbeispiele: *Algorithmische Geometrie* oder *Graphenalgorithmen* oder *Optimierung* oder *Parallele Algorithmen* oder ...
- **[ADM]** Zumindest eine Vorlesung und ein Seminar im 7. & 8. Semester.
  Themenbeispiele: *Polytope* oder *Pattern Matching* oder *Randomisierte Algorithmen* oder *Graphenalgorithmen* oder ...
- ⋆ anschließend *Diplomarbeit.*

Vertiefung in anwendungsbezogener Richtung.

[EA1] (3V + 2 Ü) im 5. Semester
Entwurf und Analyse von Algorithmen.

[EA2] (3V + 2 Ü) im 6. Semester
Themenbeispiele: *Algorithmische Geometrie* oder *Graphenalgorithmen* oder *Optimierung* oder *Parallele Algorithmen* oder ...

[ANW] Zumindest eine Vorlesung und ein Seminar im 7. & 8. Semester.
Themenbeispiele aus den Anwendungsgebieten: *Mustererkennung* oder *Computer–Grafik* oder *Computer Aided Design* oder *Robotik* oder *Bildverarbeitung* oder *Bioinformatik* oder ...

[PR] (4 PR) Praktikum im 8. Semester.

⋆ anschließend *Diplomarbeit.*

Entsprechend den vorgehenden Vorschlägen sollen Zyklen von einander ergänzenden Veranstaltungen angeboten werden. Am Beginn jedes Zyklus werden den behandelten Themen Kürzel zugewiesen und der Plan im Semesterheft angekündigt.
In diesem Sommersemester bieten sich als mögliche Fortsetzungen zur Vorlesung *"Entwurf und Analyse von Algorithmen"* die Vorlesung *"Algorithmische Geometrie"* an, eine Einführung in das Hauptarbeitsgebiet der Arbeitsgruppe "Theoretische Informatik", an die sich die Vergabe von Diplom- oder Studienarbeiten anschließem kann. Gleiches gilt für die anderen Veranstaltungen des Hauptstudiums. Die Vorlesung *Datenkompression* behandelt ein wichtiges Anwendungsgebiet.
Es wird auch ein Seminare über *Graphenzeichnen* angeboten, an das sich Studien und Diplomarbeiten anschließen kann, in dem es sowohl theoretische als auch anwendungsorientierte Themen gibt.
Im Praktikum über *Computergraphik* gibt es Gelegenheit zu praktischer Implementierungsarbeit.

Realisierung im Studienplan.

Die Realisierung innerhalb der bestehenden Studiengänge wird für Mathematik und Informatik getrennt behandelt.

Diplomstudiengang Mathematik.

Bei Teilnahme am Studienschwerpunkt wird Studenten der Mathematik die Belegung des Nebenfachs Informatik empfohlen.

- Grundstudium.

  Auf jeden Fall sollte die *Elementare Wahrscheinlichkeitstheorie* besucht werden. Ein *Programmierkurs* ist Pflicht im Grundstudium. Die Vorlesungen *Informatik A* und *B* sind Teil der Nebenfachausbildung. Grundkenntnisse in diskreter Mathematik können durch einen möglichst frühen Besuch von *Kombinatorik* und/oder *Graphentheorie* erworben werden.

- Hauptstudium.

  [EA1] Anrechnung in A (Angew. Mathematik).

  [EA2] & [ADM] Anrechnung in B (Einarbeitung in Spezialgebiet).

  [ANW] & [PR] Anrechnung im Nebenfach Informatik.

  Seminare: Anrechnung im Rahmen der mindestens 2 Seminare.

Bei der Diplomprüfung aus Angew. Mathematik wird neben Algorithmentheorie auch ein weiteres Gebiet (Wahrscheinlichkeitstheorie oder Numerik) geprüft.

Diplomstudiengang Informatik.

- Grundstudium.

  Die Grundkenntnisse werden durch die Lehrveranstaltungen *Algorithmen und Programmierung III* und *Mathematik für Informatiker* abgedeckt.

- Hauptstudium.

  [EA1] & [EA2] Anrechnung in Theoretische Informatik.

  [ADM] & [ANW] & [PR] Anrechnung im Rahmen der 14 SWS im Studienschwerpunkt.

  Seminare: Anrechnung im Rahmen der mindestens 2 Seminare.

2 Lehrveranstaltungen im Sommer 2002

Vorlesungen

Algorithmen und Programmierung II [Grundstudium]

Dozent: Alt; Vorlesungszeit: Mo, Do 12–14 Uhr, 4-stündig,
Veranstaltungsort: Takustraße 9, HS.
Übungen Alt, 2-stündig .
Beginn: 14.04.2003

Inhalt: Die Veranstaltung setzt den Grundstudiumszyklus zu Algorithmen und Programmierung mit einer Einführung in die imperative Programmierung fort. Stichworte: Zustände, Effekte von Anweisungen, Iteration, Typsystem, Parameterübergabe, graphische Programmdarstellungen; formale Verfahren zu Spezifikation, Verifikation imperativer Programme, schrittweise korrekte Programmentwicklung; Testverfahren; Programmiermethodik; Imperative Programmierung und Berechenbarkeit; Analyse von Laufzeit und Speicherbedarf; Sortieralgorithmen; Interaktion; Dateien. Programmiert wird in Java.

Algorithmische Geometrie [EA2]

Dozent: Knauer, Christian; Vorlesungszeit: Di, Do 10–12 Uhr, 4-stündig,
Veranstaltungsort: Takustraße 9, Di Seminarraum - 049, Do Seminarraum - 055.
Übungen Knauer, Broser, 2-stündig .
Beginn: 15.04.2003

Inhalt: Effiziente Algorithmen für geometrische Probleme, z.B. Finden der konvexen Hülle einer Punktmenge, Voronoi-Diagramme, geometrische Datenstrukturen, etwa zum Finden eines Punktes in einer ebenen Unterteilung. Anwendungen in Computer-Graphik, Muster- und Formerkennung, geographische Informationssysteme, CAD usw.

Literatur: J.-D. Boissonnat, M. Yvinec. Algorithmic Geometry. Cambridge University Press, 1998.
R. Klein. Algorithmische Geometrie. Addison-Wesley, 1997.
M. de Berg, M. van Kreveld, M. Overmars, O. Schwarzkopf. Computational Geometry: Algorithms and Applications. Springer-Verlag Berlin, 1997.

F.P. Preparata, M.I. Shamos. Computational Geometry: An Introduction. Springer-Verlag New York, 1985.

Datenkompression [ANW]

Dozent: Rote, Günter; Vorlesungszeit: Di 16–18 Uhr, Do 14–16 Uhr 3-stündig, Veranstaltungsort: Takustraße 9, Di Seminarraum - 049, Do Seminarraum - 055.
Auf mehrfachen Wunsch wird der Dienstagstermin voraussichtlich verlegt. Mögliche Termine Di 10–12 Uhr oder Di 13–14 Uhr. Übungen Rote, 2-stündig.
Beginn: 15.04.2003

INHALT: Die wachsende Kapazität von Massenspeichern und Übertragungskapazitäten läuft um die Wette mit steigenden Datenmengen; daher ist Datenkompression nach wie vor ein interessantes Gebiet. Inhalt: Theoretische Grundlagen: Informationstheorie, Kolmogoroff-Komplexität. Verschiedene Arten der Kompression: lustlose und lustbehaftetete, adaptive und progressive Kompression. Vektorquantisierung. Kompression für verschiedenartige Daten: “reine” Binärdaten, Text, Bilder, Klänge, Geometrie. Verschiedene Verfahren: unter anderem effiziente Codes, Wavelets, iterierte Funktionssysteme (IFS), gewichtete Automaten.

Literatur: einige Bücher über Kompression: Ian H. Witten, Alistair Moffat, and Timothy C. Bell: Managing Gigabytes: Compressing and Indexing Documents and Images.
Darrel Hankerson, Greg A. Harris, and Peter D. Johnson Jr.: Introduction to Information Theory and Data Compression.
Khalid Sayood: Introduction to Data Compression.

Seminare, Praktika und sonstige Veranstaltungen

Seminar Graphenzeichnen [ADM,ANW]

Dozent: Rote, Klau; Vorlesungszeit: Di 14–16. , 2-stündig.
Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 053.
Beginn: 22.04.2003

INHALT: Das Zeichnen von Graphen dient dem Ziel, die in der Struktur eines Graphen enthaltene Information möglichst effizient visuell darzustellen. Dieses Gebiet hat sich in den letzten Jahren zu einer eigenen Spezialdisziplin entwickelt. Die Teilnehmerinnen halten auf der Grundlage der vorgegebenen Literatur einen Vortrag und fertigen eine kurze schriftliche Ausarbeitung an.

Literatur: Giuseppe Di Battista, Peter Eades, Roberto Tamassia, Ioannis G. Tollis: Graph Drawing - Algorithms for the Visualization of Graphs, 1999.
"Drawing Graphs: Methods and Models", M. Kaufmann and D. Wagner (Hrsg.), Lecture Notes in Computer Science, Band 2025 (Tutorial), Springer-Verlag, Berlin, 2001,
sowie Originalarbeiten

Diplomanden- und Doktorandenseminar
Theoretische Informatik **[ADM]**

Dozent: Alt, Rote, Felsner; Vorlesungszeit: Di, Do, Fr 12-13 Uhr; Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 055;

INHALT: Vorträge über eigene Forschung und Originalarbeiten aus der Theoretischen Informatik, insbesondere Algorithmen. Die Ankündigungen werden jeweils gesondert gegenüber Raum 111 in der Takustraße 9 ausgehängt.

Vorlesung des Europäischen Graduiertenkollegs
Combinatorics, Geometry and Computation [ADM]

Dozent: Alt u. Doz. des Kollegs, Vorlesungszeit: Mo 14-16 Uhr, 2-stündig;
Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 005, zum Teil auch an der TU und HU. Genauere Angaben über den Veranstaltungsort sind dem wöchentlichen Aushang und der Internetseite des Graduiertenkollegs zu entnehmen.
(`http://www.inf.fu-berlin.de/graduate-programs/cgc/index_bln.html`)

INHALT: Die Dozenten und Gäste des Kollegs halten einführende Vorlesungen (in Blöcken von etwa 2–4 Stunden) zu speziellen Themen des Kollegs. Dazu gehören insbesondere algorithmische und diskrete Geometrie, algorithmische Kombinatorik, Codierungstheorie, Graphentheorie und Graphenalgorithmen, Gruppentheorie, kombinatorische Optimierung, konstruktive Approximation, Mustererkennung und zufällige diskrete Strukturen. Die Themen der Vorlesungen werden auch neben Raum 111 in der Takustraße 9 ausgehängt. (Interessenten können sich bei der Koordinatorin des Kollegs, Frau A. Hoffkamp, auf einen Verteiler für das Verschicken der Ankündigungen setzen lassen.)

Kolloquium des Europäischen Graduiertenkollegs
Combinatorics, Geometry, and Computation [ADM]

Dozent: Alt u. Doz. des Kollegs; Vorlesungszeit: Mo 16-18 Uhr, 2stündig; Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 005, zum Teil auch an der TU, HU und ZIB. Genauere Angaben über den Veranstaltungsort sind dem wöchentlichen Aushang und der Internetseite des Graduiertenkollegs zu entnehmen. (`http://www.inf.fu-berlin.de/graduate-programs/cgc/index_bln.html`)

INHALT: Mitglieder und Dozenten des Kollegs sowie Gäste halten Vorträge zum Thema des Kollegs. Die einzelnen Vorträge im Kolloquium werden gesondert angekündigt. (Interessenten können sich bei der Koordinatorin des Kollegs, Frau A. Hoffkamp, auf einen Verteiler für das Verschicken der Ankündigungen setzen lassen.) Die Ankündigungen werden auch neben Raum 111 in der Takustraße 9 ausgehängt.

Die Vorlesungen des Graduiertenkollegs im Sommer 2003

- 14. April 2003
GIL KALAI, HEBREW UNIVERSITY, JERUSALEM:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 28. April 2003
BERND STURMFELS, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY:
Computing the Integer Programming Gap.

- 5. Mai 2003
MARTIN GRÖTSCHEL, KONRAD-ZUSE-ZENTRUM FÜR INFORMATIONSTECHNIK:
Cardinality homogeneous set systems.

- 12. Mai 2003
ANDERS BJÖRNER, KTH STOCKHOLM:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 19. Mai 2003
JIRI MATOUSEK, CHARLES UNIVERSITY PRAGUE:
Crossing number, pair-crossing number, and expansion.

- 26. Mai 2003
GERD FISCHER, HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 2. Juni 2003
MARC NOY, POLYTECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 16. Juni 2003
ALEXANDER BOBENKO, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 23. Juni 2003
GORDON ROYLE, UNIVERSITY OF WESTERN AUSTRALIA:
Zeros of reliability polynomials.

- 30. Juni 2003
JEAN-DANIEL BOISSONNAT, INRIA SOPHIA ANTIPOLIS:
Voronoi diagrams restricted to surfaces. Applications to sampling, meshing and reconstructing surfaces.

- 7. Juli 2003
VIJAY V. VAZIRANI, GEORGIA TECH:
How Intractable is the Ïnvisible Hand": Polynomial Time Algorithms for Market Equilibria.

- 14. Juli 2003
ILEANA STREINU, SMITH COLLEGE, NORTHAMPTON, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN:
Titel wird noch bekannt gegeben.

Die Kolloquiumsvorträge des Graduiertenkollegs im Sommer 2003

- 14. April 2003
THOMAS VOIGT, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN:
Edge Expansion of Cubical Complexes.

- 28. April 2003
THOMAS ERLEBACH, ETH ZÜRICH,:
Algorithmic Problems in Internet Graphs.

- 5. Mai 2003
Katharina Langkau, Technische Universität Berlin:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 12. Mai 2003
Heiko Schilling, Technische Universität Berlin:
Algorithms for Accelerated Shortest Path and Max Flow Computation.

- 19. Mai 2003
Günter M. Ziegler, Technische Universität Berlin:
News from THE BOOK.

- 26. Mai 2003
Christian Haase, Duke University:
Reflexive polytopes in dimension 2 and 3: the numbers 12, 24, and onion skins.

- 2. Juni 2003
Sergio Cabello, University of Utrecht:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 16. Juni 2003
Pawel Zylinski, University of Gdansk:
Titel wird noch bekannt gegeben.

- 23. juni 2003
Thorsten Theobald, Technische Universität München:
Algebraic methods in computational geometry.

- 30. Juni 2003
Adrian Dumitrescu, University of Wisconsin:
On a coloring problem for the integer grid.

- 7. Juli 2003
Manuel Bodirsky, Humboldt-Universität zu Berlin:
Homogeneous relational structures, clones from universal algebra, and combinatorial constraint satisfaction.

- 14. Juli 2003
Volker Kaibel, Technische Universität Berlin:
Titel wird noch bekannt gegeben.

Weitere Veranstaltungen an der Freien Universität

• Graphentheorie (VL); Dozent: de Longueville.
• Fortgeschrittene Aspekte zur Sequenzanalyse (VL); Dozent: Reinert.
• Sequenzvergleich (S); Dozent: Vingron, Rahmann.
• Sommerschule über Algorthmische Geometrie; Organisaton: Helmut Alt und Günter Rote.
Im Rahmen des Graduiertenkollegs findet vom 29. September bis ???01.Oktober 2003 in der Gegend von Neustrelitz (etwa 100km nördlich von Berlin) eine Sommerschule statt. Drei oder vier eingeladene Vortragende werden jeweils zwei 2stündige Vorlesungen zu einem ausgewählten Thema mit ausgiebigen Übungen abhalten. Das Programm wird auf der Netzseite des Graduiertenkollegs bekannt gegeben.

Stellenangebot Forschungstutor/in

Am Institut für Informatik der Freien Universität Berlin, Arbeitsgruppe Theoretische Informatik, ist ab sofort eine Stelle einer studentischen Hilfskraft (Forschungstutor/in) (60 Stunden/Monat)zu besetzen.
Aufgabengebiet:
Programmieraufgaben für die Forschung im Bereich des von der DFG geförderten Forschungsprojektes Pseudotriangulierungen und Bewegungen von Gelenkssystemen (siehe Projektbeschreibung Seite 20). Einstellungsvoraussetzungen: Abgeschlossenes Grundstudium (Vordiplom) der Informatik, der Mathematik oder eines verwandten Gebietes. Erwünscht: Kenntnisse auf dem Gebiet der Algorithmen, der Geometrie, der diskreten Mathematik oder der Optimierung. Kurze Bewerbungen per Post, per e-mail oder persönlich an Prof. Günter Rote, Freie Universität Berlin, Institut für Informatik, Takustraße 9, D-14195 Berlin, Zimmer 110, rote@inf.fu-berlin.de.

3 Diplomarbeiten, Dissertationen, Projekte

Die von der Arbeitsgruppe Theoretische Informatik behandelten Forschungsthemen werden an Diplomarbeiten, Dissertationen und Projekten beispielhaft vorgestellt.

Diplomarbeit: Hausdorff-Abstand und Fréchet-Abstand von Spline-Kurven

Diplomandin: *Ludmila Scharf*, Betreuer: *Helmut Alt*

In der Arbeit geht es um Berechnen von Ähnlichkeiten zwischen durch Kurven modellierte Figuren in der Ebene. Als Ähnlichkeitsmaße werden der sogenannte Hausdorff-Abstandund der Fréchet-Abstandbetrachtet.
Zunächst sollen die Algorithmen für algebraische Kurven $(t \rightarrow (p_1(t), p_2(t)))$ erarbeitet und implementiert werden. Als zweiter Schritt soll die Verallgemeinerung auf stückweise algebraische Kurven, insbesondere Splines erfolgen.
Die Abstandsfunktionen finden ihre Anwendung als Qualitätsfunktion in Matching-Algorithmen, die meisten basieren auf dem Hausdorff-Abstand. Viele Arbeiten beschäftigen sich mit dem Hausdorff-Abstand für Polygone und er hat sich gut in der Praxis bewährt. Es gibt jedoch Fälle wo der Fréchet-Abstand ein besseres Kriterium dafür ist, wie ähnlich sich zwei Muster oder zwei Kurven sind.
Mögliche Anwendungsgebiete: Computergraphik, Mustererkennung, Kartographie.

Diplomarbeit: Implementieren von parametrisierten Kurven für CGAL

Diplomandin: *Ekaterina Langer*, Betreuer: *Helmut Alt*

CGAL ist eine C++ Bibliothek für Objekte und Datenstrukturen der algorithmischen Geometrie, deren Entwurf und Implementierung die Konzepte der generischen Programmierung zu Grunde liegen. Ziel der Diplomarbeit ist die Implementierung von parametrischen Kurven für die CGAL-Bibliothek.
Die parametrische Kurve ist eine Funktion $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}^2$, die zu einem gegebenen Parameter t den entsprechenden Punkt in der 2D Ebene liefert. Um die Kurve allgemein zu halten und dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, eigene Typen von Kurven zu definieren, werden dem Datentyp parametrische Kurve die benutzerdefinierte Funktionen $x(t)$ und $y(t)$ übergeben, die die Koordinaten eines Punktes auf der Kurve berechnen. Z.B. ensteht durch die Parametrisierung mit $x(t) = O_x + (R - r)\cos(t) + a\cos(\frac{R-r}{r}t)$ und $y(t) = O_y + (R - r)\sin(t) - a\sin(\frac{R-r}{r}t)$ eine Astroide (Abb.1).
Neben der Funktion zum Berechnen eines Punktes auf der Kurve zu gegebenem

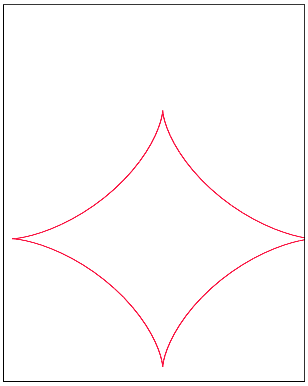


Abbildung 1: Astroide

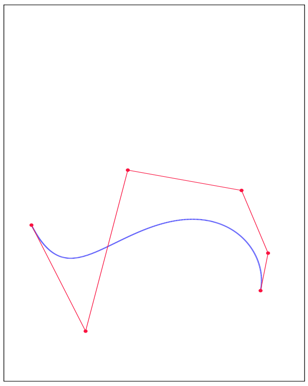


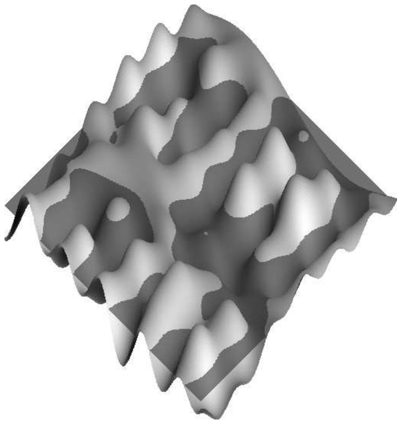
Abbildung 2: Bézier-Kurve

Parameter, verfügt die Kurve auf Methoden zum Zeichnen, Bestimmen der Schnittpunkte zweier Kurven, ob ein Punkt auf der Kurve liegt, Berechnen der n. Ableitung und des stückweise linearen Approximants. Als Untertypen der parametrischen Kurve sind die Bézier-Kurven (Abb.2) und die B-Splines implementiert.

Diplomarbeit: Effiziente Konstruktion von Kontourbäumen in beliebigen Dimensionen

Diplomand: *Tobias Lenz*, Betreuer: *Günter Rote*

In vielen wissenschaftlichen Gebieten spielt die Visualisierung von Daten eine zunehmende Rolle. Dabei werden Werte an sehr vielen fixen Positionen gemessen, z.B. die Höhe über dem Meeresspiegel für einen bestimmten Landstrich, aus dem Körper austretende elektromagnetische Wellen in einem Kernspinresonanztomographen oder Hitze in einer Brennkammer. Die Daten liegen als Paare von Punkten in einer bestimmten Dimension und den dazugehörigen Messwerten vor und ihre Anzahl kann bei sehr detailierten Messungen durchaus Größenordnungen von $500^4 = 62,5$ Mrd. annehmen. Derartige Datenmengen können nicht in Echtzeit durchsucht werden, so dass man geeignete Datenstrukturen verwenden muss, um effizient bestimmte Teilmengen zu erhalten. Eine wichtige Teilmenge ist hierbei die Menge aller Punkte, die einen bestimmten Wert haben - sogenannte Isolinien bzw. Isoflächen oder auch Konturen. Die Abbildung zeigt einen zweidimensionalen Datensatz, als Gebirge dargestellt, und eine Isolinie als Wasserspiegel einer bestimmten Höhe.



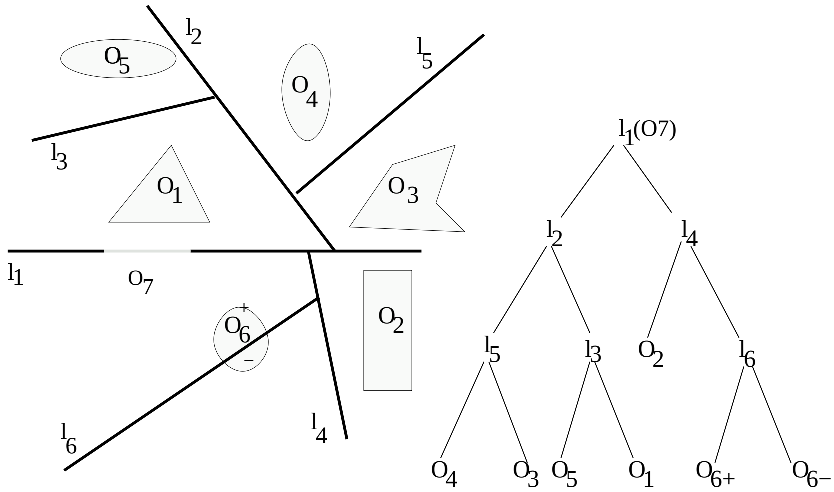
Bei der Erstellung einer Datenstruktur, die ein schnelles Zugreifen auf die Kontouren erlaubt, spielt der Kontourbaum eine wichtige Rolle. Er speichert alle relevanten "Ereignisse", die zu Änderungen der Kontouren führen und erlaubt das Erstellen minimaler sogenannter *seed sets*, aus denen dann eine Kontour effizient rekonstruiert wird.

Obwohl die Definition und die Eigenschaften des Baumes eine einfache Sweep-Technik zu dessen Erstellung implizieren, so kann doch unter bestimmten Annahmen über die gegebenen Daten ein Algorithmus, der monotone Wege läuft anstatt über alle Punkte zu streichen, in der Praxis eine beachtlich höhere Geschwindigkeit erzielen. Dieses Verfahren wird entwickelt und seine Laufzeit unter verschiedenen Bedingungen analysiert.

Diplomarbeit: Binäre Zerlegungen der Ebene

Diplomand: *Martin Mielich*, Betreuer: *Stefan Felsner*.

Es wird das Problem der Vergabe von Prioritäten betrachtet, das in Verbindung mit der Berechnung sichtbarer Objekte in der Computergrafik auftritt. Die darzustellenden Polygone werden so in Teilstücke zerlegt, dass es für beliebige Beobachterstandorte keinen überlappenden Zyklus gibt. Die resultierende Menge von Fragmenten sollte dabei so klein wie möglich sein und in einer Datenstruktur organisiert, die das Ziel der schnellen und korrekten Darstellung unterstützt.



Für eine Binary Space Partition (BSP) wird der Raum rekursiv entlang einer Hyperebene in je zwei Teilräume zerlegt, bis jeder Teilraum höchstens ein Objekt enthält. Im induzierten Binärbaum werden die Fragmente der Polygone verwaltet. Die Nutzung des Binärbaumes löst das angesprochene Problem der Prioritätenvergabe: Die Darstellung der Polygone entsprechend ihrer Anordnung im Baum führt zu einer korrekten Abbildung.

Jeder der Schnitte des Raumes zerteilt möglicherweise zahlreiche Polygone, die Größe des erzeugten Binärbaumes ist daher das wesentliche Maß für die Effizienz der verwendeten Methode. Der Strategie der Teilung muss also besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, um eine unkontrollierte expansive Fragmentierung der Polygone zu verhindern.

In der Arbeit werden verschiedene Strategien der Erzeugung von BSP's in der Ebene vorgestellt. Mit bestimmten Forderungen an die Eingabemenge wird die Erzeugung von BSP's linearer Größe möglich, beispielsweise für orthogonale Segmente oder für Segmentmengen bei denen jedes Segment in der konvexen Hülle der Menge verankert ist.

Die lange bestehende Vermutung, dass für jede Eingabe im $\mathbb{R}^2$ eine BSP linearer Größe existiert konnte vor kurzem von David Csaba Tóth mittels einer Konstruktion widerlegt werden. Diese Arbeit wird in einem Kapitel vorgestellt.

Diplomarbeit: Zufällige Euler-Touren

Diplomand: *Miguel Domingo-Vecchioni*, Betreuer: *Stefan Felsner*

Ein Eulerscher Graph $G = (V, E)$ kann eine Vielzahl von Euler-Touren enthalten. Es stellt sich die Frage, wie man eine *zufällige Euler-Tour* von G erzeugen kann. Ist G gerichtet, so kann dieses Problem auf dem der Erzeugung eines *zufälligen Spannbaums* von G zurückgeführt werden, wofür mehrere effiziente Algorithmen bekannt sind. Das von Aldous und Broder z.B. simuliert eine Irrfahrt auf G bis alle Knoten besucht wurden; all die Kanten, die beim ersten Besuch eines Knotens verwendet wurden, bilden zusammen einen zufälligen Spannbaum. Für ungerichtete Graphen ist aber noch kein effizienter Algorithmus für die Erzeugung von zufälligen Euler-Touren bekannt.

In enger Verbindung dazu steht das Problem der Erzeugung von *zufälligen Eulerschen Orientierungen*, d.h. Orientierungen der Kanten von G mit $d^+(v) = d^-(v)$ für alle $v \in V$. Im Fall eines ebenen Graphen G kann auf der Menge $\mathcal{E}$ der Eulerschen Orientierungen von G eine Halbordnung definiert werden, die $\mathcal{E}$ zu einem distributiven Verband macht. Die von Propp und Wilson eingeführte Technik (*coupling from the past*) für die gleichverteilte Erzeugung von kombinatorischen Objekten ist dann besonders effizient. Es wird eine monotone Markov-Kette auf $\mathcal{E}$ konstruiert, deren stationäre Verteilung die Gleichverteilung ist. Kritisch für die Laufzeit des Algorithmus ist die Kopplungszeit der Markov-Kette, d.h. die Zeit bis die Trajektorien des Maximum und des Minimum des Verbands kollabieren. Die gilt es zu analysieren.

Algorithmen für die Erzeugung von zufälligen Euler-Touren können beim Test der statistischen Signifikanz von DNA-Matchings verwendet werden. Zufällige Eulersche Orientierungen finden Anwendung in der Berechnung von Partitionsfunktionen in der statistischen Physik.

Dissertation: Complex Tracing

Doktorandin: *Britta Broser*, Betreuer: *Helmut Alt, Ulrich Kortenkamp*

Hinter den Kulissen der Geometriesoftware *Cinderella* verbirgt sich eine elegante mathematische Theorie, die sich aus verschiedenen Bereichen zusammensetzt. Aus ihr ergeben sich Fragen zwischen Komplexitätstheorie und Geometrie, die zum Teil noch ungelöst sind.

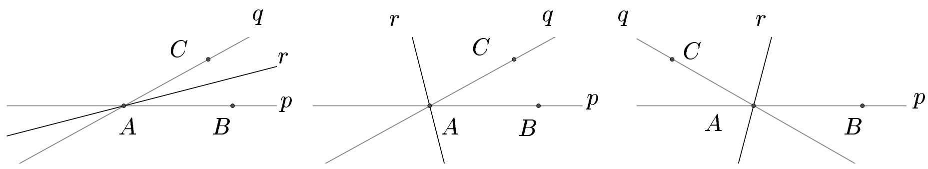


Abbildung 1: Drei verschiedene Instanzen des GSPs aus dem Beispiel

In *Cinderella* werden geometrische Konstruktionen durch geometrische Straight-Line Programme (GSP) repräsentiert. Diese setzen sich aus freien Punkten und abhängigen Elementen wie z. B.

- der Verbindungsgeraden zweier verschiedener Punkte,
- dem Schnittpunkt zweier verschiedener Geraden,
- einer der beiden Winkelhalbierenden zweier Geraden,
- einer der höchstens zwei Schnittpunkte einer Geraden mit einem Kreis

zusammen. Eine Instanz eines GSP ist eine Zuweisung von festen Werten zu allen freien Punkten und Wahlen. Ein GSP entspricht also einer formalen Konstruktionsbeschreibung und eine Instanz einer konkreten Zeichnung in der Ebene.

Beispiel für ein GSP:

$$\begin{array}{lcll} A & \leftarrow & FREE & \backslash\backslash\ A \text{ ist ein freier Punkt.} \\ B & \leftarrow & FREE & \backslash\backslash\ B \text{ ist ein freier Punkt.} \\ C & \leftarrow & FREE & \backslash\backslash\ C \text{ ist ein freier Punkt.} \\ p & \leftarrow & JOIN(A,B) & \backslash\backslash\ p \text{ ist die Gerade durch } A \text{ und } B. \\ q & \leftarrow & JOIN(A,c) & \backslash\backslash\ q \text{ ist die Gerade durch } A \text{ und } C. \\ r & \leftarrow & BISECT(p,q) & \backslash\backslash\ r \text{ ist Winkelhalbierende von } p \text{ und } q. \end{array}$$

Abbildung 1 zeigt drei Instanzen dieses GSPs. Man sieht leicht, daß die linke Instanz „stetig“ in die rechte überführt werden kann (s. Abb. 2). Im allgemeinen ist es jedoch nicht immer möglich, eine vorgegebene Instanz „stetig“ in eine weitere vorgegebene Instanz zu überführen. In [1] wird gezeigt, daß das sogenannte „Reachability Problem“ NP-schwer ist.

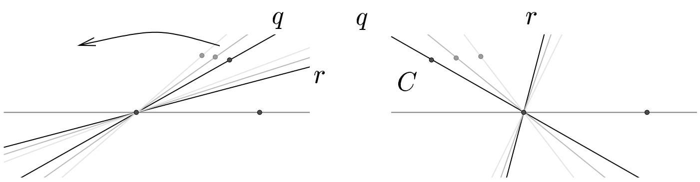


Abbildung 2: Die linke Instanz aus Abb. 1 kann „stetig“ in die rechte überführt werden.

Die Komplexität des selben Problems im Komplexen (d.h. die Koordinaten der freien Punkte und der abhängigen Elemente dürfen Werte aus $\mathbb{C}$ annehmen) ist hingegen noch unbekannt.
Ein weiteres Problem ist das „Tracing Problem“, das mit dem Reachability Problem verwandt ist. Hier liegt die gleiche Situation vor: In [1] wird gezeigt, daß es im Reellen NP-schwer ist, und die Komplexität im Komplexen ist unbekannt. Das sogenannte „Complex Tracing“ könnte z.B. für das automatische Beweisen oder das Umgehen von Singularitäten in *Cinderella* verwendet werden.
Literatur: J. Richter-Gebert, U. Kortenkamp, *Complexity Issues in Dynamic Geometry*, Proceedings of the Smale Fest 2000, 2001

Dissertation: Datenstrukturen zum Auffinden von Formen

Doktorand: *Lutz Meißner*, Betreuer: *Helmut Alt.*
Die Menge aller Polygonzüge in der Ebene wird, etwa durch den Hausdorff- oder den Fréchet-Abstand, zu einem metrischen Raum. Von besonderem Interesse sind die Räume, bei denen zur Abstandsmessung die einzelnen Polygonzüge “verschoben” werden können:

$$\delta(P, Q) = \min_{t \in \mathbf{R}^2} \tilde{\delta}(P, Q + t)$$

Es läßt sich nun, bei gegebenen Polygonzügen $P_1, P_2, \ldots, P_n$, die Frage stellen, welches dieser P_i einem weiteren Polygonzug P am“ähnlichsten” ist:

$$\mathrm{NN}(P) = \{P_i | \delta(P, P_i) \leq \delta(P, P_j) \text{ für } j = 1, \ldots, n\}$$

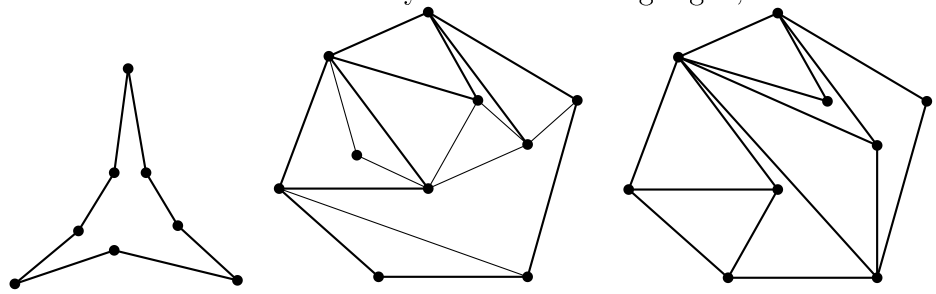
Gesucht ist also der nächste Nachbar (oder die nächsten Nachbarn) von P. Ist man nicht nur an der Bestimmung des nächsten Nachbarn eines, sondern vieler Polygonzüge interessiert, ist es sinnvoll, $P_1, P_2, \ldots, P_n$ in einer Datenstruktur zusammenzufassen, um eine effiziente Abfrage zu ermöglichen. Aber wie muß diese Datenstruktur aussehen?
Für die Nächste-Nachbar-Suche von Punkten im $\mathbf{R}^d$ sind effiziente Datenstrukturen bekannt. Diese nutzen jedoch Eigenschaften, etwa die endliche Dimensionalität oder die Vektorraum-Eigenschaften, aus, die bei den Polygonzügen nicht vorhanden sind.
Bei den bekannten Methoden in allgemeinen “großen metrischen Räumen” werden Voraussetzungen sowohl an die zugrundeliegende Metrik als auch an die Verteilung der Datenmenge gestellt, die hier nicht oder nur bedingt zutreffen. Weiter gibt es kaum Aussagen zu den erwarteten Laufzeiten.
Die Berechnung des Abstands zweier Polygonzüge ist zeitaufwendig. Es stellt sich die Frage, ob zur Bestimmung von $\mathrm{NN}(P)$ tatsächlich P mit einzelnen P_i verglichen werden muß, oder ob ein effizienteres Vorgehen möglich ist.
Obwohl zunächst die theoretischen Aspekte untersucht werden, wird auch an die Implementierung von entwickelten Ansätzen gedacht.

Projekt: Pseudotriangulierungen und Bewegungen von Gelenkssystemen

Günter Rote
Dieses Projekt ist soeben angelaufen; es ist noch eine Forschungsstelle einer studentischen Hilfskraft (60 Stunden/Monat) zu besetzen.

Eine *Pseudotriangulierung* ist eine Zerlegung eines ebenen Bereichs in Polygone mit jeweils genau drei konvexen Ecken und beliebig vielen einspringenden Ecken (*Pseudodreiecke*), siehe Abbildung 1. Von besonderer Bedeutung sind die *gespitzten* Pseudotriangulierungen (pointed pseudotriangulations), wo an jeder Ecke ein Winkel $> 180°$ anliegt. Diese haben genau $n - 2$ Pseudodreiecke und $2n - 3$ Kanten, und dies ist die kleinste mögliche Anzahl für eine Pseudotriangulierung.

In jüngster Zeit hat man erkannt, dass Pseudotriangulierungen viele wünschenswerte Eigenschaften haben und auch bei der Untersuchung der Bewegung von Gelenkssystemen, wie sie etwa bei der Bewegungsplanung von Robotern auftreten, eine wesentliche Rolle spielen. Sie werden auch als Datenstrukturen, insbesondere für die Simulation dynamischer Bewegungen, verwendet.



(a) (b) (c)

Abbildung 1: (a) ein Pseudodreieck (b) eine Pseudotriangulierung (c) eine gespitzte Pseudotriangulierung

Ein *Fachwerk* (Stabwerk, Gelenkssystem, framework, linkage) besteht aus Stäben fester Länge, die an den Ecken durch bewegliche Gelenke miteinander verbunden sind. Die Untersuchung der Starrheit oder Beweglichkeit solcher Systeme, sowohl in der Ebene als auch im Raum ist ein Grundproblemen der Statik, das in erster Näherung mit Methoden der linearen Algebra lösbar ist. Viele Aussagen über Starrheit lassen sich aber allein auf Grund der kombinatorischen Struktur, das heißt, auf Grund des darunterliegenden Graphen machen. Das Kriterium von Laman (1971) charakterisiert zum Beispiel minimal starre Graphen in der Ebene folgendermaßen:

> Ein *Laman-Graph* ist ein Graph mit n Knoten und $2n-3$ Kanten, wobei jeder Untergraph mit $k \geq 2$ Knoten höchstens $2k-3$ Kanten enthält.

Diese Graphen sind genau jene Graphen, die bei jeder Einbettung in genügend „allgemeiner“ Lage starr sind, die aber bei Entfernung einer beliebigen Kante beweglich werden (siehe Abbildung 2).
Das sogenannte *Zollstockproblem* (carpenter's rule problem) fragt nach einer Bewegung, die ein Gelenksystem in Form eines ebenen Streckenzugs *ohne Selbstüberschneidungen* gerade macht. Derartige Fragestellungen wurden

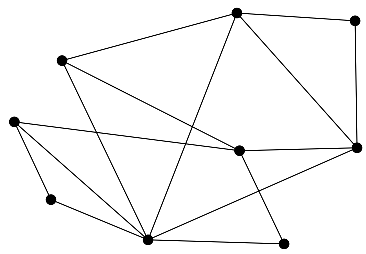


Abbildung 2: Ein minimal starrer Graph

seit einiger Zeit in der algorithmischen Geometrie, aber auch im Hinblick auf Anwendungen in der Knotentheorie, Robotik (Bewegung von Roboterarmen), Fertigungstechnik (Biegen von Drähten oder Rohrleitungen) der Polymerphysik und Biophysik untersucht (Molekülfaltung). Das Zollstockproblem ist dabei sicher nur ein grundlegendes Problem, das keine direkten Anwendungen hat. Es wurde jüngst von Connelly, Demaine, und Rote in der Richtung gelöst, dass es eine solche „öffnende" Bewegung immer gibt. In ähnlicher Weise kann ein geschlossener Streckenzug (ein Polygon) immer konvex gemacht werden.

Die Hauptidee beim Beweis dieser Aussage ist, *expansive* Bewegungen zu betrachten, bei denen die Abstände zwischen je zwei Punkten nicht abnehmen.

Man kann von der Anwendung, Polygone zu öffnen, abstrahieren und den durch die Expansionseigenschaft definierten *Expansionskegel* aller expansiven Bewegungen einer Punktmenge für sich betrachten. Seine extremen Strahlen stehen wieder in enger Beziehung zu den Pseudotriangulierungen.

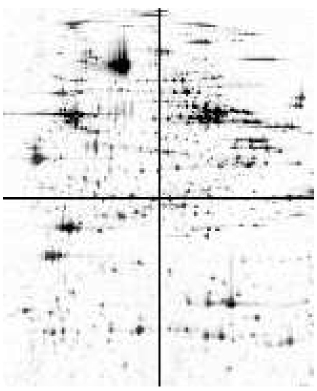
In diesem Projekt sollen neue Erkenntnisse über Pseudotriangulierungen, Starrheit und Beweglichkeit von Gelenkssystemen (Fachwerken), und Anwendungen von Pseudotriangulierungen als Datenstrukturen gewonnen werden.

Ein weiteres Ziel ist es, analoge Strukturen im *Raum* zu finden. Dies wäre zum Beispiel wichtig als kinetische Datenstruktur für dynamische Bewegungssimulationen. Derzeit gibt es einige einfache Ansätze, aber noch keine zufriedenstellende Definition dafür, was eine höherdimensionale „Pseudotriangulierung" sein könnte.

Projekt: Point-Pattern-Matching zur Analyse von Gelbildern

Helmut Alt, Darko Dimitrov, Frank Hoffmann, Klaus Kriegel.
Das derzeitige Projekt geht aus einer Forschungskooperation des Instituts für Informatik der FU Berlin und des Deutschen Herzzentrums Berlin hervor. Dieses ursprüngliche Projekt wurde bis Juni 2001 von der DFG gefördert. Für Teile der dabei entwickelten Software wurde ein Lizensierungsvertrag mit der Firma Bio-Rad Laboratries abgeschlossen, der eine 2-jährige Weiterfinanzierung der Forschung und Softwareentwicklung sichert.

Gegenstand der Untersuchung sind 2-dimensionale Gelbilder, die durch Gelelektrophorese - Techniken erzeugt werden. Die 1975 von O'Farrell eingeführte Gelelektrophorese hat sich als eine zentrale molekularbiologische Methode zur hochauflösenden Trennung von Protein-Gemischen und zur Analyse der Protein-Zusammensetzung von Gewebeproben etabliert. Jeder Punkt ("Spot") in einem so erzeugten Gelbild repräsentiert ein in der Probe auftretendes Protein. Das Original des hier verkleinert abgebildeten Herz-Ventricle-Gels enthält ca. 2000 Spots. Ziel der Analyse der Bilder ist es insbesondere, krankheitsassoziierte Proteinausprägungen zu erkennen. Zwar ist es möglich, einzelne Proteine durch Sequenzierung zu bestimmen, dies ist aber sehr teuer und aufwendig und bei der Menge der Daten nicht realistisch. Deshalb basierte bis vor wenigen Jahren die Auswertung der Gelbilder zu großen Teilen auf der genauen (und zeitaufwendigen) Betrachtung durch erfahrene Spezialisten.



Inzwischen gibt es eine Reihe von Softwarepaketen zur Unterstützung dieser Arbeit, aber an einer hochzuverlässigen und vollautomatischen Lösung des Problems wird überall noch gearbeitet.

Im Projekt werden zwei der zentralen algorithmischen Probleme der Gelanalyse untersucht:
1) **Spotdetektion:** Im allgemeinen konzentrieren sich die Moleküle eines Proteins aus der Probe in einer achsenparllelen elliptischen Region des Gels - dem Spot des Proteins. Bei der Spotdetektion geht es um die Erkennung dieser Regionen. Das ist eine relativ ein-

fache Bildverarbeitungsaufgabe, so lange die Spots gut separiert sind. Wenn sich mehrere Spots zu einer komplexen und übersättigten Region überlappen, ergibt sich ein schwieriges algorithmisches Problem, das mit Approximationsalgorithmen bearbeitet wird.
2) **Gelmatching:** Hier setzt man voraus, dass zwei zu vergleichende Bilder durch die Spotdetektion schon in geometrische Punktmuster umgewandelt wurden und nun ein geometrisches Matching dieser Punktmuster gesucht wird. Die besondere Schwierigkeit ergibt sich durch die technologisch bedingten, geometrischen Verzerrungen in den Bildern. Durch die Komplexität der Gelelektrophorese an sich, sind schon von ein und derselben Probe in einem Labor keine zwei identischen Bilder zu erwarten. Die zu entwickelnden Verfahren müssen daher sehr robust sein, um auch den Vergleich von Bildern aus verschiedenen Datenbanken zu ermöglichen. Mit Ansätzen aus der algorithmischen Geometrie konnte ein neuartiger Lösungsweg für dieses Problem entwickelt und implementiert werden, der den Kern des Programmsystem CAROL bildet (`http://gelmatching.inf.fu-berlin.de`).

4 Die Arbeitsgruppe Theoretische Informatik

Leiter

- Prof. Dr. Helmut Alt

Entwurf und Analyse von Algorithmen, insbesondere Algorithmische Geometrie mit Schwerpunkt Formanalyse.

- Prof. Dr. Günter Rote

Algorithmische Geometrie, kombinatorische Optimierung.

Mitglieder der Arbeitsgruppe

- Hosam Abdo

Algorithmische Geometrie.

- Enno Brehm (bis 31.03.2004 an der TU Berlin)

Dynamische Geometrie.

- Britta Broser

Kombinatorik, Geometrie und Optimierung.

- Kevin Buchin (ab 01.05.2003)

Algorithmische Geometrie.

- Sergio Cabello (bis 1.07.2003, Marie-Curie-Gaststudent aus Utrecht)

Algorithmische Geometrie.

- Darko Dimitrov

Bildverarbeitung, Computersehen, Flächenrekonstruktion aus dreidimensionalen Punktdaten.

- Dr. Frank Hoffmann

Algorithmische Geometrie, geometrische Online-Probleme, angewandte Matching-Probleme.

- Oliver Klein

Geometrie, Kombinatorik

- Dr. Christian Knauer
Algorithmische Geometrie, Implementierung von geometrischen Algorithmen, Ähnlichkeitsbestimmung von polygonalen Figuren.

- Dr. Ulrich Kortenkamp (beurlaubt, bis 31.03.2004 an der TU Berlin)
Dynamische Geometrie, Orientierte Matroide, Nachbarschaftliche Polytope, Java.

- PD Dr. Klaus Kriegel
Graphalgorithmen und graphentheoretische Methoden für geometrische Probleme.

- Tobias Lenz
Algorithmische Geometrie.

- Ares Ribó Mor
Geometrie, Kombinatorik

- Astrid Sturm
Algorithmische Geometrie.

- Maike Walther (ab 01.05.2003)
Algorithmische Geometrie.

- Paweł Żyliński (bis 1.07.2003, Marie-Curie-Gaststudent aus Danzig)
Algorithmische Geometrie, Art Gallery Problems

Weitere Informationen

Prof. Dr. Helmut Alt	Prof. Dr. Günter Rote	PD Dr. Klaus Kriegel
Takustr. 9	Takustr. 9	Takustr. 9
Raum 112	Raum 110	Raum 115
Tel.: 838-75160	Tel.: 838-75150	Tel.: 838-75156
`alt@inf.fu-berlin-de`	`rote@inf.fu-berlin.de`	`kriegel@inf.fu-berlin.de`