



FRICO 2002

---

6. Workshop on  
Future Research in Combinatorial Optimization  
27./28. September 2002, Köln



# Vorwort

1997 fand die erste FRICO in Köln statt. Damals trafen sich einige wenige Personen, um sich darüber zu unterhalten, wie ihre aktuelle Forschung gerade so steht. Sieben Personen trugen damals vor. Heute, fünf Jahre später, findet erneut eine FRICO in Köln statt. Die Teilnehmerzahl wuchs jedes Jahr an, so dass wir dieses Jahr 24 Teilnehmer erwarten.

Trotz alledem haben wir versucht, den Gedanken der FRICO zu erhalten. Auch weiterhin soll ein ungezwungener Austausch von Ideen zwischen „Jung“-Wissenschaftlern statt finden. Explizit erwünscht sind Vorträge über noch nicht ganz fertige („work in progress“) Ergebnisse. Da der soziale Kontakt zwischen den Teilnehmern genauso wichtig ist wie die wissenschaftlichen Vorträge, dehnte sich auch das Rahmenprogramm immer weiter aus. Wir sind glücklich, dass wir in *Siemens* einen Sponsor für das *Conference Dinner* gefunden haben.

Seit der FRICO 2000 in Aachen gibt es den *Best Student Paper Award*, um besonders schöne Vorträge und Ergebnisse zu würdigen. Besonders stolz macht *uns* natürlich, dass bisher alle (naja, zwei) Preisträger aus Köln kommen.

*das Team der FRICO 2002*



# Vortragsprogramm

Alle Vorträge finden im Seminarraum S2 (Erdgeschoss, links) des *Mathematischen Instituts* der Universität zu Köln statt. Die Anschrift lautet:

Weyertal 86-90  
50931 Köln

## Freitag, 27. September

**9:00-9:20 Uhr** Registrierung

**9:20-9:30 Uhr** Begrüßung

**9:30-10:05 Uhr** Britta Wienand: „Etwas über Verbände, Durchschnittsgewichte und submodulare Funktionen ...“

**10:05-10:40 Uhr** Angelika Wiegele: „Verschnittminimierung in der Verpackungsindustrie - eine Lösung des ein-dimensionalen Cutting Stock Problems durch delayed column generation“

**10:40-10:55 Uhr** — Pause —

**10:55-11:30 Uhr** Stefan Irnich: „Beschleunigung von Branch-and-Price-Algorithmen durch Nutzung reduzierter Kosten von Routen zum Fixieren von Bögen“

**11:30-12:05 Uhr** Ivana Ljubic: „A Memetic Algorithm for Prize-Collecting Steiner Tree Problem“

**12:05-13:30 Uhr** — Mittagspause —

**13:30-14:05 Uhr** Michael Armbruster: „Planung von Zügen im Netz und Fahrplan der Bahn mittels linearer gemischt ganzzahliger Optimierung“

**14:05-14:40 Uhr** Gereon Frahling: „Ein kombinatorischer Algorithmus zur Bestimmung von stabilen Mengen maximalen Gewichts in bipartiten Graphen oder Die Organisation eines Urlaubs ohne Beziehungsprobleme“

**14:40-14:55 Uhr** — Pause —

**14:55-15:30 Uhr** Jens Buchholz: „Ein Modell zum Job-shop-scheduling mit Rüstzeiten“

**15:30-16:05 Uhr** Oliver Klein: „Enumeration nicht notwendig unformer orientierter Matroide“

**16:05-16:20 Uhr** — Pause —

**16:20-16:55 Uhr** Thomas Epping: „MaxFlow-MinCut-Dualität für ein Färbungsproblem“

**16:55-17:30 Uhr** Tore Grünert: „Generische Algorithmen für Touren- und Routenplanungsprobleme in der Praxis“

## **Samstag, 28. September**

**10:00-10:35 Uhr** Peter Schoner: „Ein Modell zur Auftragsreihenfolgeplanung in der Prozessindustrie“

**10:35-11:10 Uhr** Andreas Reinholz: „Entwicklung und Leistungsbewertung einer Vorgehenssystematik für den Entwurf 'Hybrider Evolutionärer Algorithmen' für logistische Optimierungsaufgaben anhand mehrerer 'Vehicle Routing Problems' (CVRP, PTSP, PVRP, MDVRP)“

**11:10-11:25 Uhr** — Pause —

**11:25-12:00 Uhr** Riko Jacob: „Lower bounds for nearest neighbor queries: An attempt to survey“

**12:00-12:35 Uhr** Ulrich Pfersch: „'Wenn die Fichte zum Radiologen geht': Wertoptimierung in der Schnittholzproduktion“

# Rahmenprogramm

## Donnerstag, 26. September

### 19.30 Uhr *Malzmühle*

Um den Einstieg zur FRICO zu erleichtern, haben wir schon für den Vorabend einen Tisch im Brauhaus *Zur Malzmühle* reserviert. Teilnehmer, die schon am Donnerstag anreisen, können sich also schon bei einem Kölsch kennenlernen und natürlich auch einen Happen essen.

Falls man am Dom/Hauptbahnhof ankommt, bietet es sich an, 10 Minuten zu Fuß zum Heumarkt zu gehen und gleichzeitig schon ein Stück Altstadt kennenzulernen.

Anschrift: Heumarkt 6	Bahnlinien 1, 7, 8, 9
Haltestelle Heumarkt	Buslinien 132, 133, 170, 260, 978

## Freitag, 27. September

### 19:30 Uhr *Conference Dinner in La Bodega*

Für den Freitagabend haben wir den gemütlichen Gewölbekeller in einer Tapas-Bar reserviert. Tapas sind kleine Häppchen, die man in Spanien bevorzugt in Kneipen für den Hunger zwischendurch bekommt.

Einer Legende nach war es König Alfonso X, der die Tapas populär machte, als er wegen einer Krankheit nur kleine Bissen und nur wenig Wein zu sich nehmen durfte. Als er gesundete, ordnete er an, dass man ab sofort nur noch Wein in den Lokalen ausschenken dürfe, wenn dabei auch etwas gegessen werde.

Mit öffentlichen Verkehrsmitteln bis Haltestelle Friesenplatz fahren und über die Magnusstraße in die Friesenstraße gehen.

Anschrift: Friesenstraße 51	Bahnlinien 3, 4, 5, 6, 15, 17, 19
Haltestelle Friesenplatz	Buslinien 142

## Samstag, 28. September

### Tipps für das Mittagessen

*Engelbät* in der Engelbertstraße 7. Von der Uni Richtung Mensa gehen, die Zülpicher Straße weitergehen bis links die Engelbätstraße kommt. Spezialität des Hauses: gefüllte Crepes in (fast) allen Geschmacksrichtungen.

*Café Stanton* auf der Schildergasse 57, direkt hinter der Antoniterkirche. Vom Seminarraum aus rechts zur Bachemer Straße, dort den Bus (Linien 136 oder 146) zum Neumarkt und in die Schildergasse (Kölner Einkaufsmeile). Vorteil: zentral gelegen, aber trotzdem ruhig und leckeres Essen.

*Was auf die Hand* bekommt man alle fünf Meter auf der Zülpicher Straße oder auch Kyffhäuser Straße. Hier hat man die Wahl zwischen Gyros, Döner, Baguette, Pommes und Falafel.

### 15:00 Uhr *Stadtführung durch Köln*

Am Samstag Nachmittag werden wir Euch ein wenig von Köln zeigen. Dabei gibt es die touristischen Highlights zu sehen, und die eine oder andere Geschichte zur Kölner Vergangenheit zu hören.

Treffpunkt: Kreuzblume / Domplatte	Bahnlinien 5, 12, 14, 16, 18
Haltestelle Dom/Hauptbahnhof	

### 19:30 Uhr *Treffen in der Agnesklause*

Für einen schönen Beinahe-Abschluss des Workshops haben wir einige Tische in der Agnesklause reserviert. Dort lassen sich wissenschaftliche Dispute bei einem Glas Bier versanden. Und dazu bieten sich ausreichend Möglichkeiten, denn hier gibt es acht Biere vom Fass (Guinness, Kilkenny, Pils, Jever, Doppelbock, Köstritzer, König Ludwig Dunkel und selbstredend auch Kölsch) sowie über 30 verschiedene Flaschenbiere. Die Küche ist bekannt für den Halven Hahn.

Mit öffentlichen Verkehrsmitteln bis Haltestelle Ebertplatz fahren, von dort aus die Neußer Straße entlang gehen und die dritte Straße auf der linken

Seite in die Weißenburgstraße einbiegen. Auf der nächsten Ecke (linke Seite) findet ihr die Kneipe.

Anschrift: Weißenburgstr. 8a	Bahnlinien 5, 6, 12, 15, 16, 17, 18, 19
Haltestelle Ebertplatz	Buslinien 134, 148

## Sonntag, 29. September

### 10:00 Uhr *Frühstück im Froschkönig*

Für diejenigen, die erst am Sonntag nach Hause aufbrechen, haben wir die Idee vom letzten Jahr in Berlin aufgegriffen und ein gemeinsames Frühstück organisiert. Von hier aus kommt man danach auch problemlos mit der U-Bahn zum Hauptbahnhof.

Von der Haltestelle Florastraße die Einheitsstraße bis zum Ende durchgehen. An der Ecke Einheitsstraße/Turmstraße ist das Café.

Anschrift: Turmstraße 14	Bahnlinien 6, 12, 18
Haltestelle Florastraße	Buslinien 147



# Vorträge

Planung von Zügen im Netz und Fahrplan der Bahn mittels linearer gemischt ganzzahliger Optimierung

**Michael Armbruster**, TU Chemnitz

Es soll ein Modell zur Neu- oder Umplanung von Zügen im Schienennetz der Bahn unter Beachtung des schon aufgestellten Fahrplanes dargestellt werden. Das Modell entstammt der linearen gemischt ganzzahligen Optimierung.

Die grundlegende Idee ist, die Entscheidung über die Fahrwege und –reihenfolge der Züge von der Entscheidung über die exakten Abfahrts- und Ankunftszeiten und speziell von der exakten Fahrdynamik der Züge zu separieren. Die Hoffnung ist, dass schon allein die im Modell betrachteten Zwänge, wie zum Beispiel zeitliche Relationen zwischen den Abfahrts- und Ankunftszeiten der Züge, einzulegende Zwischenstopps und einzuhaltende Rendezvousbedingungen, so scharfe Kriterien darstellen, dass sich die Lösung später unter Einbeziehung absoluter Zeiten und der Fahrdynamik bezüglich der vom linearen gemischt ganzzahligen Modell festgelegten Werte nicht mehr ändert. Die Fahrdynamik lässt sich dann jedoch für jeden Zug einzeln berechnen, wobei nur noch die Beziehungen zwischen Fahrten verschiedener Züge auf gemeinsamen Teilstrecken betrachtet werden müssen.

## Ein Modell zum Job-Shop-Scheduling mit Rüstzeiten

**Jens Buchholz**, Universität Duisburg

**Rüdiger Schultz**, Universität Duisburg

Das Problem des Job-Shop-Schedulings ist als ein im Allgemeinen schweres Problem bekannt. Da dieses Problem jedoch in vielen Bereich des Arbeitslebens auftritt, werden immer wieder Versuche unternommen, dieses Problem unter Ausnutzung von anwendungsspezifischen Eigenschaften zu lösen. Ziel dieses Vortrages ist es, ein Modell für das Job-Shop-Scheduling mit Rüstzeiten zu entwickeln, welches auf einer Anwendung in einer Großwerft beruht. Insbesondere wird erläutert, wie das Problem von teilweise identischen Maschinen mathematisch modelliert werden kann. Dabei werden zum einen die spezifischen Anforderungen, welche sich aus der Anwendung ergeben, berücksichtigt, als auch auf die Verbindungen zu anderen, verwandten, mathematischen Problemen eingegangen.

Neben der reinen Modellierung werden auch Ergebnisse zu verschiedenen Modellen vorgestellt, welche auf realitätsnahen Daten beruhen.

# MaxFlow-MinCut-Dualität für ein Färbungsproblem

**Thomas Epping**, BTU Cottbus

**Winfried Hochstättler**, BTU Cottbus

**Marco Lübbecke**, TU Braunschweig

Der Spezialfall eines Sequenzierungsproblems aus der Lackierstrasse eines Automobilwerks führt uns zu der folgenden Aufgabe: Gegeben ist ein Wort, in dem jeder Buchstabe des zugrunde liegenden Alphabets genau zweimal vorkommt. Wie können wir das Wort mit zwei Farben so färben, dass jeder Buchstabe in jeder Farbe genau einmal erscheint und gleichzeitig die Anzahl der Farbwechsel zwischen benachbarten Buchstaben minimiert wird?

Wir motivieren dieses Problem, indem wir zunächst das (in der Praxis existente) allgemeine Sequenzierungsproblem für Lackierstrassen beschreiben. Anschliessend stellen wir zwei äquivalente Formulierungen unseres speziellen Problems vor.

In der ersten betrachten wir es als ein Schnittproblem für Intervalle und leiten daraus einen polynomiellen Algorithmus zur Bestimmung einer unteren Schranke für die minimale Anzahl von Farbwechseln in einem Wort und eine Formulierung als ganzzahliges Programm ab. Zusätzlich beschreiben wir ein Paar von zueinander dualen linearen Programmen, das wir für weitere algorithmische Ansätze nutzen.

In der zweiten Formulierung interpretieren wir unser Problem als die Bestimmung eines kürzesten Kreises in einer 1-Element-Erweiterung eines regulären binären Matroids. Wir beschreiben ein polynomielles Lösungsverfahren für den Fall, dass diese Erweiterung selbst wieder regulär ist. Zusätzlich diskutieren wir die MaxFlow-MinCut-Dualität.

# Ein kombinatorischer Algorithmus zur Bestimmung von stabilen Mengen maximalen Gewichtes in bipartiten Graphen: Die Organisation eines Urlaubs ohne Beziehungsprobleme

**Gereon Frahling**, Universität Freiburg

Mit wem möchte ich in Urlaub fahren? Gabi und Klaus können sich nicht leiden, Sabine und Frank gehen sich aus dem Weg. Wieviele Leute kann ich unter diesen Umständen überhaupt mitnehmen? In manchen Alltagssituationen stellt sich das Problem, in bipartiten Graphen möglichst optimale stabile Mengen zu bestimmen.

In diesem Vortrag werde ich einen neuen Algorithmus vorstellen, der stabile Mengen maximalen Gewichtes in solchen Graphen effizient ermittelt. Bisherige Algorithmen basierten auf einer Umformulierung als Flussproblem. Dies hat den Nachteil, dass der kombinatorische Charakter der Ausgangsfragestellung weitgehend verloren geht, die Berechnung keinen direkten Bezug zum Ausgangsproblem mehr hat und die Algorithmen im Allgemeinen einen hohen Rechenaufwand zu bewältigen haben.

Der von mir vorgestellte Algorithmus betrachtet zunächst nur einen aufspannenden Baum in dem Graphen, das heißt eine Relaxierung des Problems. Mittels dynamischer Programmierung wird dieses relaxierte Problem effizient optimal gelöst und eine maximal gewichtete stabile Menge in dem aufspannenden Baum bestimmt. Der Algorithmus fügt nun eine bisher nicht betrachtete Kante zum Baum hinzu und löscht eine andere, so dass wieder ein neuer aufspannender Baum entsteht. Durch sukzessive Veränderung des aufspannenden Baumes und wiederholtes Lösen der Relaxierung wird schließlich eine Lösung bestimmt, die auch für das Ausgangsproblem zulässig und somit optimal ist.

Im Anschluss an die Vorstellung des Algorithmus werde ich den Algorithmus mit bisher bekannten Algorithmen in der Praxis vergleichen. Die Laufzeiten der verschiedenen Implementationen werden belegen, dass gerade im Falle von vielen Kanten der von mir vorgestellte Algorithmus deutlich schneller als die bisher bekannten Algorithmen arbeitet. Oft reicht die gesparte Zeit sogar für ein Veröhnungstreffen aller Freunde.

# Generische Algorithmen für Touren- und Routenplanungsprobleme in der Praxis

**Tore Grünert**, RWTH Aachen

Bei den Veröffentlichungen im Bereich der Touren- und Routenplanung unterscheidet man in der Regel zwischen Arbeiten zu wohldefinierten abstrakten Problemen, wie z.B. dem Vehicle Routing Problem (VRP) oder dem Pickup-and-Delivery-Problem (PDP) und anwendungsorientierten Artikeln. Letztere sind dadurch gekennzeichnet, dass sie von den abstrakten Problemen abweichen und die Gültigkeit der entwickelten Algorithmen zunächst auf das Anwendungsbeispiel beschränkt bleibt. In diesem Vortrag beschäftige ich mich mit der Frage, wie man generellere Ansätze entwickeln kann, die nicht von den Restriktionen der konkreten Anwendung abhängen. Hierzu muss man sich sowohl um die Repräsentation des Problems als auch um die Entwicklung der Algorithmen Gedanken machen. Ein erster Ansatz zusammen mit möglichen Weiterentwicklungen wird diskutiert. Die Nützlichkeit der Herangehensweise wird beispielhaft anhand eines großen Touren- und Routenplanungsproblems der Danzas Euronet GmbH erläutert.

# Beschleunigung von Branch-and-Price-Algorithmen durch Nutzung reduzierter Kosten von Routen zum Fixieren von Bögen

**Stefan Irnich**, RWTH Aachen

In vielen Column-Generation-Verfahren besteht das Pricing-Problem darin, eine zulässige Route in einem Netzwerk zu bestimmen, d.h. eine zulässige Bogenfolge von einer Quelle  $s$  zu einer Senke  $t$  zu berechnen. Beispiele stammen aus Routing- und Scheduling-Anwendungen in Transport, Produktion und Telekommunikation, wie bspw. Vehicle Routing, Pickup-and-Delivery, Vehicle Scheduling (Fahrzeugumlaufplanung) und Crew Scheduling (Dienstplanung) sowie dem Netzwerk-Design. Desaulniers et al. [1] geben einen allgemeinen Rahmen für Modelle und Methoden des deterministischen, zeitlich beschränkten Vehicle Routing und Crew Scheduling an. Dieser basiert auf Column-Generation-Techniken, wobei als Pricing-Probleme Kürzeste-Wege-Probleme mit beschränkten Ressourcen gelöst werden. Zur Berechnung ganzzahliger Lösungen wird das Column-Generation noch in einen Branch-and-Bound-Ansatz integriert (sog. Branch-and-Price), bei dem u.U. viele, modifizierte Master Programme zu lösen sind.

Der Beitrag dieses Vortrags ist es zu zeigen, wie reduzierte Kosten von Routen (wie sie während des Pricing durch einen Labeling-Algorithmus für das Kürzeste-Wege-Problem bestimmt werden) zum Fixieren von Bögen des unterliegenden Netzwerks benutzt werden können. Durch den Vergleich einer bekannten ganzzahligen Lösung mit entsprechenden unteren Schranken für jeden der Bögen können einzelne Bögen als nicht relevant erkannt und damit aus dem Netzwerk entfernt werden.

Die Methode ist für das VRPTW implementiert und kann mitunter die Zahl der Bögen deutlich reduzieren. Erste Rechenergebnisse bestätigen die Effizienz des Verfahrens für den Fall, dass innerhalb des Branch-and-Price-Verfahrens eine größere Zahl von Knoten (also modifizierte Master-Programme) abgearbeitet werden muss.

- [1 ] G. Desaulniers, J. Desrosiers, I. Ioachim, M.M. Solomon, F. Soumis, and D. Villeneuve. A unified framework for deterministic time constrained vehicle routing and crew scheduling problems. In T.G. Crainic and G. Laporte, Editors, *Fleet Management and Logistics*, chapter 3, pages 57–93. Kluwer Academic Publisher, Boston, Dordrecht, London, 1998.

## Lower bounds for nearest neighbor queries: An attempt to survey

**Riko Jacob**, Universität München

In recent years there has been considerable interest in data structures that store points from a high dimensional universe and can answer nearest neighbor queries. Unlike in the one-dimensional setting (where the problem is better known as predecessor queries), there are no worst-case efficient data structures known at this time, and also practical data-structures are known to have their limitations. We usually refer to this situation as the 'curse of dimensionality'.

In recent years there has been considerable research activity around this question. In this talk I will try to present an overview of some lower-bound results and the models of computation in which they hold. This includes the approximate nearest neighbor problem, the special case of one dimension and some algorithms (=upper bounds) that complement the lower bounds. The focus of this talk is what results are around, I will at most give an idea what kind of technique is used in the proofs.

# Enumeration nicht-notwendig uniformer orientierter Matroide

**Oliver Klein**, ZAIK, Köln

**Winfried Hochstättler**, BTU Cottbus

Orientierte Matroide (OM) im Rang  $d$  kann man sich als leicht deformierte Hyperebenen durch den Nullpunkt im  $d$ -dimensionalen euklidischen Raum vorstellen, die diesen in zwei disjunkte Bereiche unterteilen. Einer dieser Bereiche wird zusätzlich als die positive Seite ausgezeichnet. Für viele Anwendungen ist es von Interesse, alle orientierten Matroide mit einer gewissen Anzahl an Elementen zu kennen.

Bokowski und Guedes de Oliveira stellten 2000 einen Algorithmus zur Enumeration uniformer orientierter Matroide, das sind diejenigen, bei denen die Hyperebenen in allgemeiner Lage sind, vor. Als Datenstrukturen führten sie Hyperlinien-Arrangements ein.

Wir verallgemeinern die axiomatische Charakterisierung orientierter Matroide als Hyperlinien-Arrangements vom uniformen auf den allgemeinen Fall und stellen den Enumerationsalgorithmus und dann seine Erweiterung auf den nicht-uniformen Fall vor.

Wir zeigen im Anschluss an einem Beispiel, dass durch die oben beschriebene Enumeration verschiedene orientierte Matroide aufgezählt werden, die bezüglich des geometrischen Bildes gleich sind, d.h. ein OM entsteht aus einem anderen lediglich durch Umbenennung der Hyperebenen oder durch Vertauschen der positiven und negativen Seiten. Die Anzahl der in diesem Sinne doppelten OMs wird schon allein dadurch deutlich, wenn man die Anzahl der möglichen Umbenennungen der Hyperebenen betrachtet.

Für viele Anwendungen wird aber nur ein Vertreter aus solch einer Klasse benötigt. Zu diesem Zweck berechnet ein zweiter Algorithmus eine Normalform, anhand welcher es möglich ist, effektiv jeweils einen eindeutigen Vertreter einer geometrischen Klasse zu bestimmen.

# A Memetic Algorithm for the Prize-Collecting Steiner Tree Problem

**Ivana Ljubic, TU Wien**

**G. Klau**

**P. Mutzel**

**G. Raidl**

**R. Weiskircher**

In the design of local district heating networks, the task is to build a pipe network for providing heat to customers. The graph in this application corresponds to the local street map, with edges representing street segments and nodes representing street intersections or the location of potential customers. The prize associated with each node in this graph is an estimate of the potential revenue generated by that customer. Nodes corresponding to street intersections have prize set to zero. The cost associated with an edge is the cost of laying the pipe on the corresponding street segment. Our goal is to design a network that maximizes the profit.

We present an efficient memetic algorithm (MA) based on the node-set encoding and problem-dependent initialization and variation operators. The algorithm uses an exact linear-time algorithm for trees to locally improve each candidate solution.

In the future, we plan to incorporate LP-relaxations into standard MA operators. We also want to explore ways of partitioning the original problem into smaller subproblems that can be solved by exact methods. The solutions of these subproblems will then be merged to obtain a solution for the original problem.

## „Wenn die Fichte zum Radiologen geht“: Wertoptimierung in der Schnittholzproduktion

**Ulrich Pferschy**, Universität Graz

**Eranda Çela**, Graz University of Technology

**Adnand Dragoti**

**Alexander Petutschnigg**, FH Holztechnikum Kuchl

**Alfred Rinnhofer**, Institute for Digital Image Processing, Joanneum Research

In einem Sägewerk werden 4 Meter lange, entrindete Baumstämme in Bretter und Balken geschnitten. Eine neue Technologie verwendet Computertomographen (CT) um ins Innere der Stämme sehen zu können und Fehlerstellen wie z.B. Äste, Risse, Harzgallen und eingeschlossene Metallteile zu erkennen.

Aus einem Stamm können grundsätzlich die verschiedensten Produktklassen geschnitten werden, welche jeweils unterschiedliche Qualitätsanforderungen erfüllen müssen. Diese hängen in erster Linie von den im Schnittholz enthaltenen Fehlerstellen ab. Natürlich erzielen unterschiedliche Qualitätsklassen sehr unterschiedliche Preise.

Ein Schnittplan für einen Stamm legt fest, welche Produkte in welcher Größe an welchen Positionen des Stammes geschnitten werden sollen. Es stellt sich somit die Frage, wie die von der Computertomographie gelieferten Informationen über die Fehlerstellen ausgenutzt werden können, um einen Schnittplan zu bestimmen, der Bretter von möglichst hohem Gesamtwert liefert.

In unserem Projekt haben wir in einem steirischen Sägewerk eine konkrete Schnittholzoptimierung erarbeitet. Mit der verwendeten Bandsäge sind nur Guillotine-Schnitte möglich. Dabei wird zunächst eine Reihe von parallelen Schnitten in einer fixen Ausrichtung des Stammes, dem Anfangswinkel, durchgeführt. Danach erfolgt eine Drehung des Stammes um 90 Grad entlang der Längsachse und eine zweite Reihe von Schnitten orthogonal zur ersten Serie. Weitere Drehungen des Stammes und entsprechende orthogonale Schnitte sind möglich.

Zur Lösung des Problems haben wir eine 2-Phasen Heuristik für die Bestimmung eines profitablen Schnittplans entwickelt. In der ersten Phase wird der Anfangswinkel durch Bewertung und Enumeration festgelegt. Dieser ist entscheidend für den Gesamtwert des gesamten Schnittplans. In der zweiten Phase werden die Positionen der einzelnen Schnitte bestimmt. Dafür wird ein entsprechendes Graphenmodell verwendet.

## Entwicklung und Leistungsbewertung einer Vorgehenssystematik für den Entwurf „Hybrider Evolutionärer Algorithmen“ für logistische Optimierungsaufgaben anhand mehrerer „Vehicle Routing Problems“ (CVRP, PTSP, PVRP, MDVRP)

**Andreas Reinholz**, Universität Dortmund

Bei dem Entwurf, dem Betrieb und der Weiterentwicklung logistischer Netzwerke entstehen vielfältige komplexe Optimierungsaufgaben, die von den Bearbeitern dieser Gestaltungsaufgaben identifiziert, beschrieben und gelöst werden müssen. Mit der zunehmend computerunterstützten Bearbeitung dieser Gestaltungsaufgaben sinkt der Aufwand und damit auch die Hemmschwelle der „Netzwerk-Gestalter“, geeignete (Teil-) Optimierungsaufgaben so zu spezifizieren, dass automatisch arbeitende oder interaktiv gesteuerte Optimierungsverfahren eingesetzt werden können.

Unter den dafür in Betracht kommenden Optimierungsverfahren zeichnen sich „Evolutionäre Algorithmen“ (EA) durch ihre prinzipiell universelle Anwendbarkeit, ihre einfachen Konzepte und einer damit verbundenen schnellen und leichten Implementierbarkeit aus. Sie verfügen über eine hohe Konvergenzsicherheit, eignen sich auch für die Optimierung offener oder gestörter Systeme und sind relativ einfach zu parallelisieren.

Standardisierte Vorgehensweisen zum Design Evolutionärer Algorithmen sind bereits für die „Reellwertige Parameteroptimierung“ und für die Klasse der „Binären Probleme“ entwickelt worden. Für solche Optimierungsaufgaben können direkt verschiedene Lösungsverfahren oder geeignete Literaturverweise angegeben werden. Die in der Logistik auftretenden Problemstellungen müssen jedoch mehrheitlich der Klasse der kombinatorischen bzw. der gemischt-ganzzahligen Optimierungsprobleme mit Restriktionen zugeordnet werden, für die noch keine allgemein anwendbaren und gleichzeitig effizienten Lösungsverfahren existieren.

Bei konkreten Problemstellungen aus diesen Klassen hat sich allerdings gezeigt, dass die allgemein verwendbaren „Standard-EA“ durch Integration von Problemspezifika und Hybridisierung mit „Neighborhood Search“ Verfahren in ihrer Leistungsfähigkeit erheblich verbessert werden.

In diesem Vortrag wird eine Vorgehenssystematik für den Entwurf „Hybrider Evolutionärer Algorithmen“ exemplarisch an Referenzproblemstellungen aus

der Verkehrslogistik vorgestellt. Bei dieser Vorgehenssystematik wird angestrebt, dass dem Anwender schon frühzeitig lauffähige Optimierungsverfahren zur Verfügung stehen, welche dann schrittweise, durch Ausprägung und Hinzunahme neuer Komponenten, in ihrer Leistungsfähigkeit verbessert werden können. Erklärtes Ziel hierbei ist es, sowohl leistungsfähige, als auch praxistaugliche Optimierungsverfahren zu entwickeln.

Für die Entwicklung der Vorgehenssystematik wurden mehrere häufig bearbeitete „Vehicle Routing Problems“ (CVRP, PTSP, PVRP, MDVRP) ausgesucht, so dass für einen Leistungsvergleich viele verschiedene Optimierungsverfahren und Benchmarks zur Verfügung stehen. Darüber hinaus besitzen diese Optimierungsaufgaben typische Merkmale komplexer logistischer Problemstellungen, wie z.B. hierarchischer Aufbau, heterogene Teilstrukturen, verschiedenartige Restriktionen und konkurrierende Zielgrößen.

Für jede dieser Optimierungsaufgaben wurden konkrete Evolutionäre Algorithmen und „Local Search Verfahren“ gemäß der Vorgehenssystematik implementiert und in ausführlichen empirischen Untersuchungen in ihrer Leistungsfähigkeit im Vergleich zu anderen Verfahren aus der einschlägigen Literatur bewertet. Bei allen der 169 bearbeiteten Benchmarkinstanzen konnte mindestens die Güte der besten bisher bekannten Lösungen erreicht und bei 92 Instanzen teilweise deutlich verbessert werden.

Die Praxistauglichkeit der Vorgehenssystematik für die Entwicklung „Hybrider Evolutionärer Algorithmen“ wurde anhand konkreter Optimierungsaufgaben der SFB559- Anwendungsprojekte A7 (Service-Netze) und A11 (Redistributionsnetze) nachgewiesen.

# Ein Modell zur Auftragsreihenfolgeplanung in der Prozessindustrie

**Peter Schoner**, Universität Kassel

Produktionsplanungsprobleme (Scheduling Probleme) sind seit der Mitte des 20. Jahrhunderts Gegenstand der betriebswirtschaftlichen und mathematischen Forschung. Die Betrachtungen bezogen sich dabei allerdings im wesentlichen auf Fragestellungen der Fertigungsindustrie. Eine Übertragung der entwickelten Modelle und Verfahren auf die Prozessindustrie ist aus verschiedenen Gründen nur bedingt möglich. (Die Prozessindustrie umfasst u.a. die Branchen Nahrungsmittel-/ Getränkeindustrie, Chemische Industrie sowie Pharmaindustrie.) Dazu zählen u.a. zyklische Stoffflüsse, zeitintensive Reinigungsprozesse und die Berücksichtigung von Batchgrößen.

Produktionsplanungsprobleme in der Prozessindustrie werden verstärkt seit Beginn der 90er Jahre erforscht [1]. Die bisher betrachteten Fragestellungen bezogen sich dabei im wesentlichen auf Problemstellungen mit mehrstufigen Produktionsstufen und die Zielsetzung der Durchlaufzeitminimierung. Solche Verfahren lassen sich nur bedingt auf mittelständische Unternehmen übertragen. Hier bestehen i.d.R. höchstens dreistufige Produktionsverfahren. Dafür müssen aber aus betrieblicher Sicht andere Nebenbedingungen berücksichtigt werden.

In dem vorzustellendem Modell zur Reihenfolgeplanung soll die Auftragseinsplanung für einen Tag modelliert werden. Dazu müssen zunächst die zu produzierenden Aufträge unter der Berücksichtigung reihenfolgeabhängiger Reinigungszeiten ermittelt werden. Weiterhin müssen die Chargengrößen aus den vorliegenden Kundenaufträgen bestimmt werden.

[1 ]: H. Westenberger, H., Kallrath, J.; 1995; Formulation of a job shop problem in process industry, unveröffentlichtes Arbeitspapier siehe [2]; Bayer AG, Leverkusen, und BASF AG, Ludwigshafen

[2 ]: Kallrath, J.; 2002; Planning and scheduling in process industry OR Spektrum, 24 (2002), Nr. 3; S. 219 - 250

# Verschnittminimierung in der Verpackungsindustrie – eine Lösung des eindimensionalen Cutting Stock Problems durch Delayed Column Generation

Angelika Wiegele, Universität Klagenfurt

Lisopack B.V. ist eine Firma in Sittard (Niederlande), die Verpackungsmaterial aus Styropor herstellt, welches in weiterer Folge hauptsächlich in der Möbelindustrie Verwendung findet. Lisopack erzeugt sowohl quaderförmige Styroporblöcke in unterschiedlichen Größen, als auch Verpackungen in verschiedensten Formen und Gestalten. Produziert werden die Blöcke aus verschiedenen Qualitäten von Styropor. Die Erzeugung der Produkte erfolgt durch Schneiden größerer Rohblöcke (ca.  $3 \text{ m}^3$ ) in die gewünschten Endprodukte.

Der Zuschnitt der quaderförmigen Produkte geschieht in 3 Produktionsschritten, wobei man beim ersten Produktionsschritt folgende Situation gegeben hat: man hat eine Anzahl von Rohblöcken der Länge  $J$  und sollte aus diesen Rohblöcken Blöcke kleinerer Längen  $w_1, \dots, w_n$  schneiden (Breite und Höhe bleiben gleich). Dabei sollte der Verschnitt minimiert werden, d. h. eine möglichst geringe Anzahl an Rohblöcken sollte gebraucht werden. Der Schnittplan zu einem Auftrag wird von Arbeitern händisch erstellt, was jedoch viel Zeit in Anspruch nimmt. Außerdem hängt die Qualität des Schnittplanes stark von der Erfahrung der jeweiligen Person ab.

Obiges Problem entspricht dem sogenannten *Cutting Stock Problem* und kann wie folgt formuliert werden:

**Gegeben:** Längen  $w_1, \dots, w_n$  und  $J$

**Gesucht:** eine Partition  $\{I_1, \dots, I_k\}$  von  $\{1, \dots, n\}$  mit  $\sum_{i \in I_j} w_i \leq J, \forall j$ , mit  $k$  so klein wie möglich.

Zusätzlich kann man zu jeder Länge  $w_i$  einen Bedarf  $d_i$  angeben, außerdem können mit den Rohblöcken Kosten  $c_j$  in verschiedener Höhe assoziiert werden. Durch Auflisten aller Möglichkeiten einen Rohblock in Blöcke benötigter Längen zu schneiden, lässt sich das Cutting Stock Problem wie folgt modellieren:

$$\text{(CSM)} \quad \min c^T x \text{ subject to } Ax \geq d, x \geq 0, x \in \mathcal{Z},$$

wobei die Variable  $x_j$  angibt, wieviele Blöcke laut Schnittmuster  $j$  geschnitten werden sollen. Schnittmuster  $j$  lässt sich in Spalte  $j$  der  $n \times m$ -Matrix  $A$  ablesen,

wobei  $m$  die Anzahl der Schnittmuster und  $n$  die Anzahl der verschiedenen zu schneidenden Längen ist.

Da jedoch die Anzahl der Spalten in  $A$  selbst bei kleineren Aufträgen in die Millionen gehen kann, ist das direkte Lösen von (CSM) unmöglich. In den 60-er Jahren wurde von P.C. Gilmore und R.E. Gomory die Methode des *Delayed Column Generation* entwickelt. Bei diesem Verfahren wird (CSM) in relaxierter Form als LP und nur mit einer Teilmenge an Schnittmustern gelöst. Mit Hilfe der resultierenden dualen Variablen können danach Aussagen getroffen werden, ob man bereits die optimale rationale Lösung gefunden hat, oder ob es Schnittmuster gibt, die die momentane Lösung verbessern würden. Das Suchen solcher Schnittmuster kann als Rucksackproblem formuliert werden.

Ein Programm wurde entwickelt, das zu einem gegebenen Auftrag einen Schnittplan erstellt, wodurch sich die Produktionszeit für einen gegebenen Auftrag beträchtlich verkürzt. Der so erzeugte Schnittplan benötigt höchstens so viele Rohblöcke, wie der durch den Arbeiter erstellte Fertigungsplan.

## Etwas über Verbände, Durchschnittsgewichte und submodulare Funktionen ...

**Britta Wienand**, ZAIK, Köln

Im letztjährigen Fricovortrag wurde u.a. ein Algorithmus von Nimrod Megiddo vorgestellt, der den Durchschnitt zweier *linearer* Funktionen über einer Menge  $\mathcal{M}$  maximieren kann, sofern ein Algorithmus  $A$  bekannt ist, der eine lineare Funktion über  $\mathcal{M}$  maximiert.

Im diesjährigen Vortrag wird nun eine allgemeine Methode beschrieben, mit der sich der Durchschnitt gewisser *nichtlinearer* Funktionen (d.h. der Durchschnitt einer supermodularen und einer submodularen Funktion) über einer Menge  $\mathcal{L}$  maximieren lässt, wenn vorausgesetzt wird, dass es einen Algorithmus  $A$  gibt, der eine supermodulare Funktion über  $\mathcal{L}$  maximiert, und dass  $\mathcal{L}$  ein Verband ist.

Dabei ist ein *Verband* eine geordnete Menge  $\mathcal{L}$  mit der Eigenschaft, dass je zwei Elemente  $x, y \in \mathcal{L}$  sowohl eine kleinste obere Schranke  $x \cup y$ , als auch eine größte untere Schranke  $x \cap y$  besitzen.

Eine auf  $\mathcal{L}$  definierte Funktion  $f$  wird *supermodular* [bzw. *submodular*] genannt, falls für alle  $x, y \in \mathcal{L}$  gilt  $f(x \cup y) + f(x \cap y) \geq$  [ bzw.  $\leq$ ]  $f(x) + f(y)$ .

Es wird gezeigt, dass die Laufzeit der Methode durch  $Höhe(\mathcal{L}) * T$  begrenzt ist, wobei  $T$  die Laufzeit des Algorithmus  $A$  und  $Höhe(\mathcal{L})$  die Länge einer längsten Kette in  $\mathcal{L}$  bezeichne.

# Teilnehmer

**Michael Armbruster** *michael.armbruster@mathematik.tu-chemnitz.de*  
TU Chemnitz

**Jens Buchholz** *buchholz@math.uni-duisburg.de*  
Universität Duisburg

**Elias Dahlhaus** *Elias.Dahlhaus@tlc.de*  
TLC, Frankfurt

**Michael Drexl** *drexl@gts-systems.de*  
RWTH Aachen

**Thomas Epping** *epping@math.tu-cottbus.de*  
BTU Cottbus

**Gereon Frahling** *gereon.frahling@gmx.de*  
Universität Freiburg

**Bernhard Fuchs** *bfuchs@zpr.uni-koeln.de*  
ZAIK, Köln

**Birger Funke** *birger@or.rwth-aachen.de*  
RWTH Aachen

**Natascha Gayeva** *ngayeva@zpr.uni-koeln.de*  
ZAIK, Köln

**Tore Grünert** *tore@or.rwth-aachen.de*  
RWTH Aachen

**Christian Hagemeyer** *hagemeyer@zaik.de*  
ZAIK, Köln

**Stefan Irnich** *sirnich@or.rwth-aachen.de*  
RWTH Aachen

**Riko Jacob** *rjacob@brics.dk*  
Universität München

**Oliver Klein** *oklein@zpr.uni-koeln.de*  
ZAIK, Köln

**Martin Lätsch** *martin.laetsch@hrz.tu-chemnitz.de*  
TU Chemnitz

**Ivana Ljubic** *ivana@ads.tuwien.ac.at*  
TU Wien

**Christopher Mues** *mues@zpr.uni-koeln.de*  
ZAIK, Köln

**Ulrich Pferschy** *pferschy@uni-graz.at*  
Universität Graz

**Dirk Rübiger** *raebiger@zaik.de*  
ZAIK, Köln

**Andreas Reinholz** *andreas.reinholz@gmx.de*  
Universität Dortmund

**Peter Schoner** *schoner@wirtschaft.uni-kassel.de*  
Universität Kassel

**Angelika Wiegele** *angelika.wiegele@uni-klu.ac.at*  
Universität Klagenfurt

**Britta Wienand** *bwienand@zpr.uni-koeln.de*  
ZAIK, Köln

**Katja Wolf** *katja.wolf@t-online.de*  
TLC, Frankfurt