

Berichte aus den Arbeitsgruppen

AG „Praxis der Mathematischen Optimierung“

Die 77. Sitzung der AG *Praxis der Mathematischen Optimierung* fand am 02. und 03. November 2006 im Physikzentrum Bad Honnef in Form eines Symposium in gemeinsamer Veranstaltung mit dem Arbeitskreis *Mathematik in Forschung und Anwendung* (<http://www.uni-due.de/mathematik/agtoerner/tagungen.shtml>) statt und thematisierte Mathematische Methoden und speziell Optimierungsverfahren in der Stahlindustrie. Die 76 Teilnehmer dieser AG-Sitzung, davon 45 aus der Praxis, konnten sich anhand von 14 Vorträgen aus Sicht von Industrieunternehmen und Hochschulinstituten ein Bild über die wichtigsten technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen der Metallindustrie, besonders der Stahlwirtschaft, machen, wobei diese Fragestellungen in ihren fachlichen Kontext eingeordnet wurden und aufgezeigt wurde, welche mathematischen Verfahren dafür zur Anwendung kommen.

Der Arbeitskreis *Mathematik in Forschung und Anwendung* bildet ein Forum, in dem Spezialisten aus verschiedenen wissenschaftlichen und beruflichen Disziplinen zusammenwirken. Das interdisziplinäre Gespräch im Arbeitskreis dient dazu, Informationen zu einer anwendungsorientierten bzw. anwendungsoffenen Mathematik auszutauschen, vielfältige Entwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten aufzuzeigen und dabei insbesondere forschungsbezogene Ansätze in den Hochschulen zu fördern, Kooperationen zwischen Industrie (womit Handel, Banken und Versicherungen eingeschlossen sind) und Hochschulen zu initiieren und den aktuellen Wandel der Mathematik als Wissenschaft mitzugestalten. Darüber hinaus ist es ein Anliegen des Arbeitskreises, auch gesellschaftlich den Bewusstseinswandel in den mathematischen Wissenschaften voranzutragen. Bereits im Jahre 2002 gab es eine Gemeinschaftsveranstaltung des Arbeitskreises und der GOR AG *Praxis der Mathematischen Optimierung*; bei passenden Gelegenheiten sind weitere geplant.

Die Metallindustrie, insbesondere die Stahlindustrie, ist als sehr technisch geprägtes Betätigungsfeld schon immer Anwendungsbereich für mathematische Methoden gewesen. Die Produktion von Stahlgütern und die zugehörige Logistik erfordern zunächst die mathematische Unterstützung, die für industrielle Großanlagen typisch sind (z.B. Statistik, Optimierungsverfahren); darüber hinaus sind es die spezifischen Anforderungen der Metallurgie, sowie Verschnittprobleme und Fragestellungen der Logistik, die auf interessante Problemstellungen führen. Die Nutzung von Optimierungsverfahren führt zu einer weiteren Verbesserung der Logistik und Produktion in Schmelz- und Walzwerken und damit zu erheblichem Wettbewerbsvorteil.

Im folgenden werden basierend auf den publizierten Zusammenfassungen der einzelnen Vorträge diese kurz in ihrer alphabetischen Reihenfolge wiedergegeben.

Mischungsrechnungen für Schmelzwerke: Erfolge, Fehlschläge, Möglichkeiten

Dr. Bert Beisiegel (B² Software-Technik GmbH, Mühlheim an der Ruhr)

Mischungsrechnungen bestimmen die (nachvollziehbar) beste Zusammenstellung von Rohstoffen für eine Charge derart, dass das Metall nach dem Einschmelzen und vor dem Gießen die geforderte chemische Zusammensetzung aufweist. Hierzu gehören Einsatzrechnungen für Lichtbogenöfen, Einzelcharge oder Sequenzen, Rohstoffoptimierung für die Einplanung der Rohstoffe für einen Monat und länger, sowie Legierungsrechnungen

für die Sekundärmetallurgie, gelegentlich mit mehr Vorgaben als nur der chemischen Zusammensetzung (DI-Werte, Temperatur, Schlackenvorgaben). Der Vortrag berichtete von Erfahrungen mit Mischungsrechnungen und darüber, wie sich im Laufe der Zeit die Bedeutung von Funktionalität, mathematische Rechenverfahren und DV-Technik geändert haben.

Temperaturführung von Schmelzen im Stahlwerk Huckingen

Dr. **Jörn Bongers**, Hüttenwerke Krupp Mannesmann

Die Temperaturführung der Schmelzen im Stahlwerk vom Abstich bis zum Vergießen auf den Stranggießanlagen ist von großer wirtschaftlicher und verfahrenstechnischer Bedeutung. Jedes überflüssige Grad Abstichtemperatur kostet unnötigen Brennstoff, Feuerfestmaterial und nachträglichen Kühltropfen in der sekundärmetallurgischen Behandlung. Der quasi kontinuierliche Gießprozess dagegen erfordert eine exakte Temperatureinstellung der Schmelzen am Ende der Behandlung, um optimale Gießleistungen und hervorragende Qualität des vergossenen Stahls zu gewährleisten.

Der Vortrag vermittelte einen Eindruck, wie die Modellierung der Temperaturführung im Stahlwerk Huckingen aus verfahrenstechnischer, informationstechnischer und mathematischer Sicht durchgeführt wurde, welche Erfolge erzielt wurden, aber auch welche Schwierigkeiten zu überwinden waren und welche ungelösten Probleme weiterhin bestehen.

Stochastische Optimierungsverfahren zur Planung der Walzreihenfolge im Grobblechwalzwerk

Dr. **Heike Busch**, AG der Dillinger Hütte

Zur Bewältigung der steigenden Anforderungen an die Fertigung im Grobblechwalzwerk ist die Optimierung der Arbeitsabläufe unverzichtbar geworden. Neben einer Flexibilisierung des Produktionsprozesses in Richtung komplexerer Fertigungsprogramme wird eine Erhöhung der Leistung bei gleichbleibend hoher Qualität angestrebt.

Einen wichtigen Bereich der Produktionsplanung im Grobblechwalzwerk stellt die Bearbeitungsreihenfolge der Walzerzeugnisse innerhalb der Warmzone – die sogenannte Walzfolge – dar. Hier ist eine große Anzahl verschiedener Produkte in eine, bezogen auf unterschiedliche Zielsetzungen und zahlreiche technische Restriktionen optimale Bearbeitungsreihenfolge zu bringen.

Das Erstellen optimaler Walzfolgen erweist sich aufgrund der großen Zahl unscharfer Nebenbedingungen und der komplexen Zusammenhänge der einzelnen Anlagen innerhalb der Warmzone als äußerst schwierig. Im Vortrag wurde berichtet, wie stochastische Algorithmen, die den Lösungsraum zufällig durchwandern, eingesetzt wurden, wenn die klassischen Verfahren aufgrund fehlender Voraussetzungen versagen. Eine spezielle Klasse dieser Optimierungsalgorithmen bilden die Stochastischen Hill-Climbing-Verfahren (Simulated Annealing, Threshold Accepting, Sintflut-Algorithmus, und selbststeuernde Verfahren wie Old Bachelor Acceptance, Feedback Temperature Schedule), die Zufall mit Strategie kombinieren, indem auf eine zufällige Suche eine zielgerichtete Auswahl erfolgt. Durch die Transformation einer Ausgangslösung wird ein neuer Lösungskandidat generiert, dessen Akzeptanz anhand bestimmter Regeln entschieden wird. Die Akzeptanzstrategien bilden dabei den Kern des jeweiligen Verfahrens.

Zur Anwendung der Stochastischen Hill-Climbing-Algorithmen auf die Optimierung der Walzreihenfolge mussten sowohl die Lösungstransformationen – d.h. die automatische

Generierung einer neuen Walzfolge aus einer vorhandenen – als auch die Lösungsbewertung innerhalb der Akzeptanzregeln speziell entwickelt werden. Die selbststeuernden Verfahren erwiesen sich bei Anwendung auf die Walzfolge i.a. als die erfolgreichsten.

Modellierung und kombinatorische Optimierung der Verladung von Coils auf Eisenbahnwagons

Tanja **Busch**, Universität Bremen

Von Arcelor Bremen GmbH werden kaltgewalzte, verzinkte Coils und Schwarzcoils zu den verschiedenen Kunden per Eisenbahn, LKW und Schiff versandt. Externer Versand wird mit der Bahn über den Nordbahnhof von Arcelor Bremen abgewickelt. Coils, die an die Endkunden versandt werden müssen, werden in den verschiedenen Betrieben auf die Waggons der Deutschen Bahn AG verladen, wobei diese von einer Ladestelle zu einer anderen umgestellt werden können, um dort noch Coils aufzunehmen, und zum Nordbahnhof transportiert, wo sie von der Deutschen Bahn AG übernommen werden. Es können Züge mit bis zu 50 Waggons (mit durchschnittlich 180 Coils) gebildet werden. Da der Bahnversand mit festen (zu bezahlende Mindestfracht) und variablen Kosten (je über Mindestfracht geladene Tonne) verbunden ist, wird immer angestrebt, die Waggons möglichst gut auszulasten und so wenig Waggons wie möglich zu verwenden.

Dieses Problem wurde auf ein gemischt-ganzzahliges lineares Programm abgebildet und mit LINGO modelliert.

Analyse von Einflussfaktoren auf Stahloberflächeneigenschaften bei der ThyssenKrupp Nirosta GmbH

Prof. Dr. **Peter Chamoni**, Universität Duisburg-Essen, Mercator School of Management

In diesem Beitrag wurde die Einsatzmöglichkeit von Verfahren des Data Mining in der Produktion untersucht. Im Mittelpunkt stand die Analyse von Einflussgrößen, die die Beschaffenheit der Oberfläche von Stahl nach unterschiedlichen Bearbeitungsschritten untersucht. Hierzu wurden Entscheidungsbaumverfahren und Assoziationsanalysen durchgeführt. Vor- und Nachteile der Verfahren wurden diskutiert, Handlungsempfehlungen abgeleitet und Ergebnisse hinsichtlich der Praxiserfahrung validiert.

A Wide Spectrum Approach of Scheduling Optimization for the Metals Industry

Dr. **Kris Dockx**, OM Partners n.v.

The mathematical challenge of solving real-live scheduling problems for the metal industry is truly a daunting one. Therefore, OM Partners uses a very wide spectrum of optimization techniques. In other words we are tackling the challenge by the hybrid use of many different optimization techniques coming from very different schools of thought:

Ranging from classical mathematical optimization techniques ...

...to heuristic solving techniques...

...to constraint satisfaction techniques...

...to local search techniques (e.g. Simulated Annealing, Tabu Search, etc)...

...including concepts from multi-agent approaches

Examples of the use of hybrid techniques on real-live metal cases are given:

Steel: Cutting reels and sheets, a cutting stock problem

Steel: Casting slabs, a campaign sequencing problem

Steel: Cold rolling coils, a (coffin) sequencing problem

Aluminum: Everything downstream of the Hot Mill, a WIP Solving problem

Aluminum: Furnaces + Hot Mill, a combined problem of furnace selection and coffin solving

Coilgrößenoptimierung

Dr. **Thomas Glaß**, PSI BT GmbH

An verschiedenen Stufen des Fertigungsprozesses von Flachstahl besteht Potential, die Größen der dort entstehenden Coils zu optimieren, z.B. an Contibeizen oder Beiz-Tandem-Straßen: dort liefern größere Coils geringere Anzahlen von logistischen Einheiten im Kaltwalzwerk, an Zerteilanlagen: zur Optimierung der vorhandenen Coils gemäß der Kundenvorgaben, an Inspektionsanlagen: zur Korrektur untergewichtiger Coils. Dabei sind komplexe Regeln zu beachten, die sich aus der jeweiligen Anlagenkonfiguration und den Auftragsvorgaben ergeben. In dem Vortrag wurde die Integration des verwendeten mathematischen Verfahrens in das Feinplanungswerkzeug PSImetals ALS der PSI BT GmbH dargestellt.

Simulationsgestützte Planung bei V&M Tubes

Dr. **Franz L. Klapp**, V&M Deutschland GmbH

Nach dem Zusammenschluss der beiden Nahtlosrohr-Hersteller Mannesmannröhren-Werke / Deutschland und Vallourec / Frankreich war es erforderlich, eine neue, durchgängige Planungssystematik von der Absatz- bis zur Ergebnisplanung zu entwickeln. Ohne das "Fernziel" SAP - SEM-BPS aus den Augen zu verlieren, wurde -ausgehend vom Bedarf in der Praxis- ein Modell entwickelt, das, vom Sales Demand ausgehend, einen Jahres-Produktionsplan aufstellt, auf die vorhandenen Kapazitäten verteilt und bewertet. Es ist keine "durchgängige" und vor allem keine automatische Optimierung, weil das bei der vorliegenden Produktvielfalt nicht möglich wäre. Vielmehr wurde Schritt für Schritt ein Modell aufgebaut, mit dem anschließend Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden können. Das Modell ist seit etwa einem halben Jahr im Einsatz.

Intelligentes Stapeln: Transportoptimierung in einem Brammenlager

Dipl.-Math. **Felix G. König**, Arbeitsgruppe kombinatorische Optimierung und Graphenalgorithmen am Institut für Mathematik der Technischen Universität Berlin

In der Stahlproduktion gegossene Brammen, Barren von bis zu zwölf Meter Länge und zwanzig Tonnen Gewicht, müssen innerhalb gegebener Zeitfenster an der Stranggussanlage entsorgt und meist vor der Weiterverarbeitung zwischengelagert werden. Um Lagerplatz effizient zu nutzen, werden sie auf Stapeln gelagert. Die Brammen sind nicht austauschbar,

und parallel zur Einlagerung müssen vorgegebene Stapel am Ausgang des Lagers zur Verfügung gestellt werden.

Um den Durchsatz des Lagers zu erhöhen, soll die Gesamtanzahl notwendiger Krantransporte innerhalb des Lagers minimiert werden; insbesondere ist also häufiges Umstapeln von Brammen zu vermeiden. Herr König präsentierte einen praxistauglichen Algorithmus aus dem Bereich der kombinatorischen Optimierung, welcher beweisbar sehr gute Lösungen für das beschriebene Problem liefert und auch leicht auf andere Logistikanwendungen übertragbar ist, in denen Güter gestapelt werden.

Neue Wege bei der Reihenfolgen- und Losgrößenoptimierung unter Unsicherheit

Dr. **Ulf Lorenz**, Universität Paderborn

Firmen versuchen sowohl ihre Lieferfähigkeit zu erhöhen als auch Produktionskosten zu senken. Sich dynamisch ändernde Aufträge erfordern dabei variable Produktionsreihenfolgen und Losgrößen. Hinzu kommt, dass ein zu einem bestimmten Zeitpunkt guter Plan durch Störungen, aber auch einfach durch neu hinzukommende Aufträge, an Qualität verliert. Das eigentliche Problem besteht darin, dass man zum Planen teilweise nur unscharfe Daten zur Verfügung hat, und dass eine reine Steuerung diese Daten leider völlig ignoriert.

Die drei Hauptfragen, die entstehen, wenn man Unsicherheit von Daten mit in Planungsprozesse einbeziehen möchte sind (1) wie man die entstehenden Fragestellungen sinnvoll modellieren kann, (2) welche Algorithmen gute Lösungsvorschläge bieten, und (3) wie man Verfahren zur Planung und Steuerung evaluieren kann. Wir stellen Lösungsansätze für Problemstellungen vor, wie sie z.B. in Schmelz- und Warmwalzwerken vorkommen.

Flüssiger Stahl auf der Schiene: Optimierung des rollenden Materials bei Werkseisenbahnen

Dr. **Marco Lübbecke**, Arbeitsgruppe kombinatorische Optimierung und Graphenalgorithmen
am Institut für Mathematik der Technischen Universität Berlin

Was wäre, wenn sich jemand auf das Wagnis einließe, den gesamten Eisenbahnbetrieb in einem deutschen Stahlwerk wie bei einer Modelleisenbahn zentral zu steuern? Mit allen technischen Feinheiten, automatischen Kupplungen, GPS-Ortung der Lokomotiven, zentraler Einstellung der Fahrstraßen, ferngesteuerten Weichen? Erst auf den zweiten Blick wird klar, dass neben den großen technischen Herausforderungen (die uns hier weniger interessieren sollen) eine beachtliche planerische Herausforderung steckt, dass es plötzlich nicht mehr reicht, einem Lockrangierführer mitzuteilen, dass er einen Zug aus bestimmten Waggons zusammenstellen soll. Sind nämlich erst einmal alle Weichen ferngesteuert, müssen sämtliche Fahrwege, um damit zum Beispiel auch sämtliche Rangieroperationen haarklein im Vorhinein angegeben werden; ein mobiles Empfangsgerät macht's möglich. Stehen die Züge erst einmal abfahrbereit im Gleis, müssen sie durch das Gleisnetz bewegt werden, und das von einer ganzen Flotte von Rangierlokomotiven. Dass dies nicht nur zeitkritisch ist, sondern vor allem auch Sicherheitsaspekte beinhaltet versteht sich von selbst, ebenso, dass es dabei immer wieder zu Engpässen und unvorhergesehenen Störungen kommt.

Die beiden genannten Aufgaben – Rangieren und Routenplanung – werden in der Mathematik im Bereich der sogenannten kombinatorischen Optimierung betrachtet; die Tourenplanung ist sehr gut untersucht, das Rangieren noch fast gar nicht. Wir stellen moderne Verfahren vor, die diese Aufgaben lösen, d.h. Rangierpläne mit möglichst wenigen Bewegungen berechnen und kostengünstige Fahrwege für die Lokomotivflotte und den fast unzähligen praktischen Nebenbedingungen bestimmen. Man erhält nebenbei immer eine Aussage über die Qualität, kann also stets angeben, wie weit man noch vom Optimum entfernt ist. Im Vortrag wurden

mächtige mathematische Werkzeug der linearen ganzzahligen Optimierung mit Aspekten aus Column Generation und Branch&Price vorgestellt, dass in einer unüberschaubaren Vielfalt industrieller Aufgabenstellungen Einsatz findet.

Typische Probleme bei der Planung in einem Stahlwerk

Dipl.-Math. **Alexander Nagaytsev**, Hüttenwerke Krupp Mannesmann / Universität Duisburg-Essen

Online-Scheduling ist sicherlich eine der anspruchvollsten Aufgaben eines Mathematikers. Vor dem Hintergrund eigener Erfahrungen wird im Vortrag ein „Kochrezept“ vorgestellt, wie in solchen, oft komplexen Situationen verfahren werden kann. Der Grundansatz besteht im Separieren in kleinere Kernprobleme, wodurch entsprechende Teilplanungsaufgaben definiert werden. Bei der Lösungswegsuche geht es nicht zuletzt darum, wie mit fehlenden oder widersprüchlichen Angaben umgegangen werden kann. Vor diesem Hintergrund entwickeln wir sinnvolle Vorgehensweisen. Der Vortrag gibt im Weiteren einen Ausblick auf diverse komplexe Probleme, die nicht nur in der Stahl- und Metallindustrie auftreten.

Einsatz von CoilTrim bei der Spaltplanung von Coils mit Materialfehlern

Dr. **Helmut Schreck**, TietoEnator Deutschland GmbH

Bei komplexen Produktionswegen wie im Kaltwalzbereich kann es fertigungsbedingt zu lokalen Abweichungen der Qualität kommen, wie z.B. Randprobleme, Abdrücke oder innere Strukturfehler. Deren Erfassung wird infolge moderner Inspektions- und Erfassungssysteme immer einfacher und umfangreicher. Dadurch steigen auch die Anforderungen an eine Spaltplanung. Die Optimierungsrichtung verschiebt sich von der Verschnittoptimierung der Vergangenheit immer mehr zur ganzheitlichen Ertragsoptimierung.

Herr Schreck zeigte, wie das ursprüngliche mathematische Modell zur Verschnittoptimierung (Cutting Stock Problem) erweitert wurde, um das Problem darzustellen. Dabei treten komplexe Teilprobleme auf, wie die Erzeugung von geeigneten Schnittmustern unter Berücksichtigung von individuellen Qualitätsanforderungen der Aufträge. Einige praktische Beispiele aus den bisherigen Erfahrungen zeigten die Möglichkeiten und Grenzen der praktischen Spaltplanung.

Über die Auswahl und Bewertung statistischer Modelle für Werkstoffeigenschaften

Dipl.-Stat. **Dirk Surmann**, Universität Dortmund

Viele Eigenschaften eines Stahlwerkstoffes (beispielsweise DI-Werte) können aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung gut vorhergesagt oder sogar genau errechnet werden. Findet man durch eine sorgfältige statistische Auswertung von Produktionsdaten eine Formel („ein Modell“), der vom Produzenten und vom Verbraucher des Werkstoffs vertraut wird, so wird man zweifach belohnt: Reduktion aufwendiger Probenahmen und Prüfungen, sowie die Vorhersage der Werkstoffeigenschaften während des Produktionsprozesses, um dadurch bei einer drohenden Verfehlung des Ziels eingreifen.

Der Vortrag erläuterte anhand von (leicht verfremdeten) Beispielen aus der Praxis, wie man ein Modell einer Werkstoffeigenschaft auswählt und bewertet: Welche chemischen Elemente beeinflussen wesentlich die Werkstoffeigenschaft? Genügt die chemische Zusammensetzung zur Beurteilung der Werkstoffeigenschaft? Wie trifft man eine Vorauswahl der Modelle (der Rechenformeln), welcher näher untersucht werden sollen? Wie bestimmt das Beste der Modelle in der Vorauswahl?

Über die Webseite des Arbeitskreises *Mathematik in Forschung und Anwendung* (<http://www.uni-due.de/mathematik/agtoerner/tagungen.shtml>) können die Vorträge auch für Nichtteilnehmer auf einer CD zum Preis von 50 EUR erworben werden.

Insbesondere durch den Einsatz und die Prägung der Veranstaltung durch Dr. Bert Beisiegel (B² Software-Technik GmbH), einer der beiden Sprecher des Arbeitskreises, entwickelte sich ein reger Austausch und gute Kommunikation unter den Teilnehmern. Seiner Organisation und seinem Wirken ist auch der außergewöhnlich hohe Anteil aus Industrieteilnehmer (etwa 60%) zu verdanken. Die Atmosphäre im Tagungshaus Physikzentrum Bad Honnef tat ihr übriges, um diese Veranstaltung zu einer positiven Erinnerung für die Teilnehmer werden zu lassen. Dies wird unterstrichen durch die Beobachtung, dass die letzten Teilnehmer am Abend nach dem Tagungsbuffet erst um 01:30 den Weinkeller verließen, zum Frühstück um 8:00 aber wieder alle beieinander waren. Optimierung braucht halt Durchhaltevermögen.

Josef Kallrath, Weisenheim am Berg