



Fraunhofer

ITWM

A. Streit, K. Dreßler, M. Speckert, J. Lichter, T. Zenner,
P. Bach

Anwendung statistischer Methoden zur Erstellung von Nutzungsprofilen für die Auslegung von Mobilbaggern

Bereits erschienen in: VDI-Berichte Nr. 2065
VDI-Verlag GmbH Düsseldorf (2009), Seiten 65-77

Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 163 (2009)

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2009

ISSN 1434-9973

Bericht 163 (2009)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Herausgebers ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus in irgendeiner Form durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren zu reproduzieren oder in eine für Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache zu übertragen. Dasselbe gilt für das Recht der öffentlichen Wiedergabe.

Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.

Die Veröffentlichungen in der Berichtsreihe des Fraunhofer ITWM können bezogen werden über:

Fraunhofer-Institut für Techno- und
Wirtschaftsmathematik ITWM
Fraunhofer-Platz 1

67663 Kaiserslautern
Germany

Telefon: 06 31/3 16 00-0

Telefax: 06 31/3 16 00-10 99

E-Mail: info@itwm.fraunhofer.de

Internet: www.itwm.fraunhofer.de

Vorwort

Das Tätigkeitsfeld des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM umfasst anwendungsnahe Grundlagenforschung, angewandte Forschung sowie Beratung und kundenspezifische Lösungen auf allen Gebieten, die für Techno- und Wirtschaftsmathematik bedeutsam sind.

In der Reihe »Berichte des Fraunhofer ITWM« soll die Arbeit des Instituts kontinuierlich einer interessierten Öffentlichkeit in Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft vorgestellt werden. Durch die enge Verzahnung mit dem Fachbereich Mathematik der Universität Kaiserslautern sowie durch zahlreiche Kooperationen mit internationalen Institutionen und Hochschulen in den Bereichen Ausbildung und Forschung ist ein großes Potenzial für Forschungsberichte vorhanden. In die Berichtreihe sollen sowohl hervorragende Diplom- und Projektarbeiten und Dissertationen als auch Forschungsberichte der Institutsmitarbeiter und Institutsgäste zu aktuellen Fragen der Techno- und Wirtschaftsmathematik aufgenommen werden.

Darüber hinaus bietet die Reihe ein Forum für die Berichterstattung über die zahlreichen Kooperationsprojekte des Instituts mit Partnern aus Industrie und Wirtschaft.

Berichterstattung heißt hier Dokumentation des Transfers aktueller Ergebnisse aus mathematischer Forschungs- und Entwicklungsarbeit in industrielle Anwendungen und Softwareprodukte – und umgekehrt, denn Probleme der Praxis generieren neue interessante mathematische Fragestellungen.



Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters
Institutsleiter

Kaiserslautern, im Juni 2001

Anwendung statistischer Methoden zur Erstellung von Nutzungsprofilen für die Auslegung von Mobilbaggern

Application of Statistical Methods for the Derivation of Usage Profiles of Mobile Excavators

Dr. A. Streit, Dr. K. Dreßler, Dr. M. Speckert, Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern; **J. Lichter, T. Zenner, Dr. P. Bach**, Volvo Construction Equipment GmbH & Co. KG, Konz

Kurzfassung

Forderungen nach kürzeren Entwicklungszyklen bei gleichzeitig höherer Produktqualität führen in allen Bereichen der Nutzfahrzeugtechnik und insbesondere auch bei Baumaschinen zum verstärkten Einsatz von Simulationssoftware. Um in diesem Sinne Lebensdauerberechnungen durchführen zu können, sind jedoch genaue Kenntnisse über die im Kundeneinsatz auftretenden Betriebslasten und Beanspruchungen erforderlich. Für deren Ermittlung hat der Baumaschinenhersteller VOLVO Construction Equipment einen Mobilbagger umfassend mit Messtechnik ausgestattet, die neben den mechanischen Belastungen an der Arbeitsausrüstung auch wesentliche Kenndaten des Hydrauliksystems und des Fahrantriebs erfasst. Dieser Messbagger wurde bereits bei unterschiedlichen Kunden in Europa eingesetzt. Der Artikel beschreibt die methodische Vorgehensweise zur Verarbeitung der erfassten Daten und zur Generierung von repräsentativen Nutzungsprofilen am Beispiel der mechanischen Belastungen an der Arbeitseinrichtung, die im Wesentlichen vom Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) erarbeitet wurde.

Durch die mannigfaltigen Einsatzmöglichkeiten eines Mobilbaggers ergeben sich besondere Herausforderungen bei der Datenerfassung und -auswertung. Zur Klassifizierung der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten werden die Messdaten definierten Anwendungen zugeordnet. Um diese entsprechend zu gewichten, werden Vergleichsgrößen, wie z.B. deren Zeitanteile, Schädigungen, Schwingungs- bzw. Druckniveaus herangezogen. Mittels Varianzanalyse wird beispielsweise untersucht, welche der möglichen Anwendungen keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Schädigung aufweisen und zusammengefasst werden können. Unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilungen der von VOLVO definierten Anwendungen lassen sich durch Monte-Carlo-Simulationen Lastprofile generieren, welche zur Auslegung zukünftiger Entwicklungen herangezogen werden können.

Abstract

The need for shorter development periods and yet improved product quality leads to an increasing use of numerical simulations in today's commercial vehicle industry, in particular also in the construction machinery industry. For computer-based durability calculations, detailed knowledge regarding the service loads in customer usage is necessary as input data. To evaluate these loads, VOLVO Construction Equipment has extensively equipped a hydraulic mobile excavator with measurement devices. These measure the loads in the boom and arm and capture characteristic values of the hydraulic system and power train. This excavator has been used by various customers all over Europe. This article describes the systematic approach for the processing of the measured data and the generation of representative customer usage profiles, worked out mainly by Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics (ITWM).

Special challenges for the collection and analysis of the data result from the manifold application areas of mobile excavators. For the classification of the various possibilities of using the excavator, the measured data is related to predefined reference tasks. Comparable values, such as the percentage of the total measurement time, damage values, and vibration or pressure levels are calculated and used for weighting the different reference tasks. With the use of analysis of variance, it is for example possible to evaluate which representative tasks can be merged, since they do not show a statistically significant difference in their damage contribution. Considering the frequency of occurrence of the different representative tasks, design target loads can be generated by Monte Carlo simulations.

1. Einleitung

Forderungen nach kürzeren Entwicklungszyklen bei gleichzeitig höherer Produktqualität führen in allen Bereichen der Nutzfahrzeugtechnik zum verstärkten Einsatz von CAE-Methoden. Diese ermöglichen in einer frühen Entwicklungsphase unter anderem die virtuelle Erprobung von Einzelbauteilen oder sogar die der Gesamtmaschine. Schließlich lassen sich Aussagen hinsichtlich der Lebensdauer im späteren Kundeneinsatz treffen. Die Anzahl an zeit- und kostenintensiven Realversuchen kann somit stark reduziert werden, da notwendige Korrekturschleifen nunmehr am Rechner stattfinden. Als Randbedingung für die virtuelle Erprobung sind Lastprofile zwingend erforderlich, wozu Messkampagnen im Kundeneinsatz durchgeführt und mit Hilfe statistischer Methoden analysiert werden müssen. Benötigt werden beispielsweise Profile, die in Bezug auf die Schädigung mechanischer Strukturen einer Baumaschine einen hinreichend hohen Prozentsatz aller Kundeneinsätze zuverlässig abdecken.

Hierbei ergeben sich beim Mobilbagger besondere Herausforderungen bzgl. der Messdatenerfassung und der anschließenden Analyse zur Generierung der Lastprofile. Dessen Einsatzmöglichkeiten sind nicht zuletzt durch die große Zahl an unterschiedlichen Anbaugeräten sehr vielfältig. Die Anwendungen reichen vom Bodenaushub mit einem Tieflöffel bis hin zu Abrissarbeiten und der Verwendung eines Hydraulikhammers. Zudem kann der Bagger im Fahrbetrieb auf der Straße eine Geschwindigkeit von bis zu 35 km/h erreichen. Die einzelnen Anwendungen unterscheiden sich sowohl in den auftretenden Betriebslasten als auch in der Häufigkeitsverteilung über die Gesamtlaufzeit der Maschine, was schematisch Bild 1 verdeutlicht. Einen wesentlichen Einfluss hierauf haben der Einsatz der Maschine in verschiedenen Regionen bzw. Ländern sowie bei verschiedenen Kunden (bzw. Fahrern). Um schließlich zuverlässige Lastprofile für die rechnergestützte Lebensdauerberechnung zu erhalten, müssen die Messungen das Einsatzspektrum des Baggers weitestgehend vollständig abdecken. Zur möglichst vollständigen Nutzung der Informationen und effizienten Auswertung werden eine Vielzahl an unterschiedlichen statistischen Methoden verwendet, wie z.B. die Varianzanalyse, Korrelationsanalyse, Verteilungsschätzung oder auch die Monte-Carlo-Simulation.



Bild 1: Beispiele für Anwendungen eines Mobilbaggers, die sich in Ihrer Häufigkeit und ihren Belastungen deutlich unterscheiden.

2. Erfassung und Aufbereitung der Rohdaten

Für die Erfassung der auftretenden Betriebslasten wurde ein VOLVO Mobilbagger mit einem Einsatzgewicht von 18 t mit Sensortechnik und Datenerfassungssystemen ausgerüstet. Diese zeichnen im Betrieb der Maschine synchron wesentliche mechanische und hydraulische Kenngrößen sowie die Informationen des CAN-Bus-Systems in Form von Zeitsignalen auf. In Bezug auf die Mechanik liefern DMS-Brückenschaltungen an Schnittstellen und Bolzen die Kräfte und Momente der Arbeitsausrüstung, an den Achsen sowie den Hydraulikzylindern. Die Informationen von Weg- und Drehwinkelaufnehmer geben Aufschluss über die Position aller Strukturkomponenten. Vom Hydrauliksystem werden verschiedene Drücke sowie Fördermengen erfasst und die Daten aus dem CAN-Bus-System liefern z.B. den Betriebszustand des Dieselmotors. Im Betrieb der Maschine werden so insgesamt 266 Kanäle aufgenommen, die sich schließlich für die nachfolgende Datenaufbereitung und Analyse über eine Schnittstelle auslesen lassen.

Der Messbagger wurde bisher einer Vielzahl an verschiedenen Kunden in Europa (z.B. in Spanien, Schweden und Deutschland) für jeweils mehrere Tage zur Verfügung gestellt und Messungen im Alltagseinsatz durchgeführt. So resultieren insgesamt 80 Einzelmessungen, die 200 Stunden Kundeneinsatz der Maschine wiedergeben. Jeder Einsatz wird parallel per Video aufgezeichnet und mit den on-board erfassten Messdaten synchronisiert. Weitere Messungen werden in enger Zusammenarbeit mit Kunden durchgeführt, um die bisherige Datenbasis systematisch zu vergrößern.

Zunächst werden die Daten auf Messfehler geprüft und diese ggf. in LMS Tecware [3] bzw. GlyphWorks [4] korrigiert.

VOLVO hat 20 Anwendungen definiert, mit denen sich die Kundeneinsätze eines Mobilbaggers nahezu vollständig klassifizieren lassen. Die Anwendungen lauten beispielsweise „Graben ziehen“, „LKW beladen“, „Fahren auf der Straße“, etc. Die Gesamtzeitreihe einer Messung, die alle 266 Kanäle beinhaltet, wird schließlich durch Sichtung der zugehörigen Videoinformationen in Zeitabschnitte gegliedert, die dann den definierten Anwendungen zugeordnet werden. Dabei lassen sich auch diejenigen Einzelabschnitte identifizieren, in denen sich die Maschine im Leerlauf befindet. Für jede definierte Anwendung liegt somit eine Vielzahl an Einzelabschnitten vor, die für alle weiteren Auswertungen getrennt voneinander betrachtet werden. Für jeden Einzelabschnitt und für jeden darin enthaltenen Messkanal werden statistische Größen, wie z.B. Mittelwert, Minimal- und Maximal-Wert bestimmt. Weiterhin wird für jeden Kanal eines Einzelabschnitts eine Schädigungsrechnung durchgeführt und die Pseudoschädigung zur Charakterisierung der Beanspruchungsschärfe ermittelt.

Um die Einzelabschnitte schließlich miteinander vergleichen zu können, werden die Pseudoschädigungen auf Ihre Zeitlänge normiert.

Jedem Einzelabschnitt werden eine Reihe weiterer Attribute, wie z.B. Land und Region, Informationen über den Fahrer (erfahren/unerfahren), etc. zugeordnet. Die prozentualen Zeitanteile an den Messungen eines Landes sowie an allen durchgeführten Messungen führen zu regionalspezifischen oder globalen Einsatzprofilen (das heißt z.B. für Deutschland: 25% Einebnen, 13% Graben ziehen, 10% Fahren, etc.).

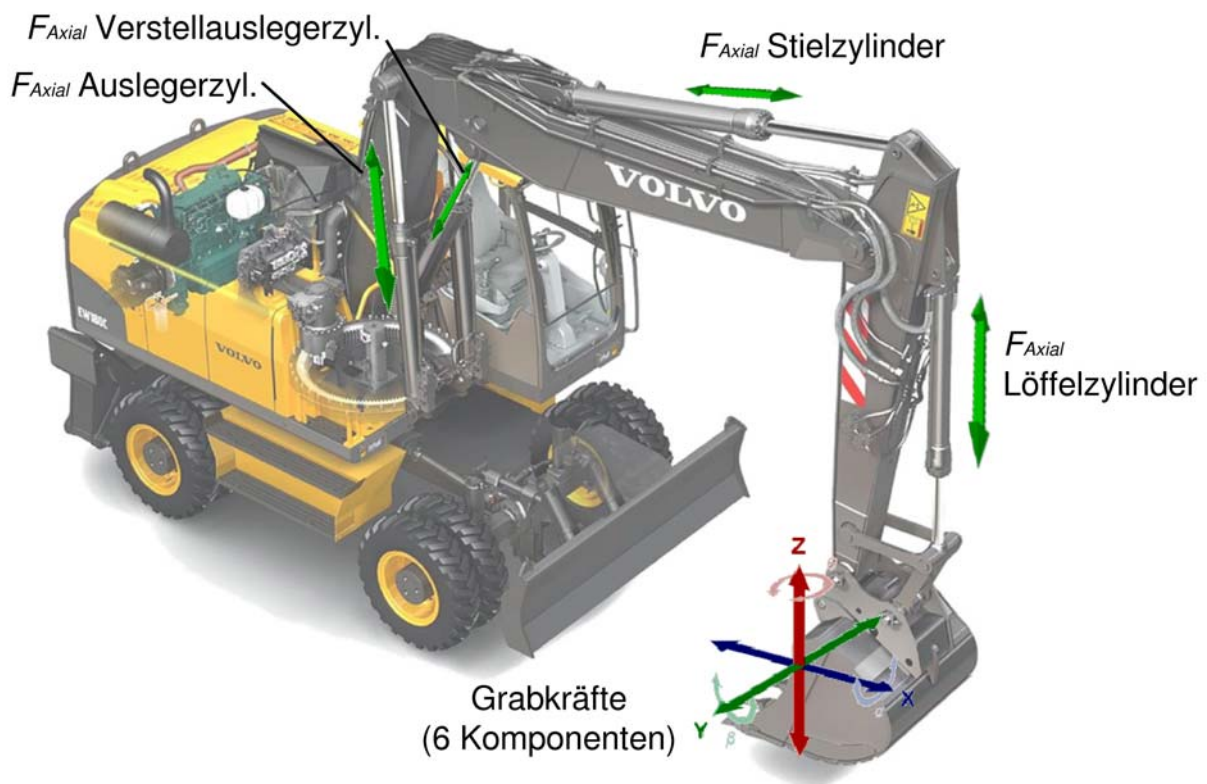


Bild 2: Beispiel für die Lastdatenerfassung (Kräfte und Momente) an der Arbeitsausrüstung eines Mobilbaggers.

3. Statistische Methoden zur Datenauswertung

Die durch die umfassenden Kundeneinsätze der Maschine vorliegende Datenmenge ermöglicht die statistische Auswertung verschiedener Bereiche und Einzelkomponenten der Maschine. Es lassen sich Lastprofile im Hinblick auf den Antrieb, den mechanischen Aufbau sowie das Hydrauliksystem erstellen. In den folgenden Abschnitten werden im Hinblick auf Belastungen der Arbeitseinrichtung beispielhaft die verschiedenen statistischen Methoden vorgestellt, die bei der Auswertung der Daten eingesetzt wurden.

3.1 Korrelationsanalyse der verschiedenen Kanäle

Die Klassifikation der Messungen nach verschiedenen Anwendungen, Regionen und Fahrern führt zu einer Vielzahl verschiedener Konfigurationen, die unterschieden werden müssen. Hinzu kommt noch die große Zahl der Messkanäle. Diese sollen für die weiteren Auswertungen reduziert werden. Mittels Korrelationsanalyse wird dazu untersucht, welche Kanäle sich bezüglich bestimmter Kenngrößen ähnlich verhalten.

Die Vorgehensweise wird am Beispiel der Pseudoschädigungen von 10 Kanälen erläutert. Die Korrelation zwischen Kanal i und Kanal j für n Messungen ist gegeben durch

$$\text{Corr}(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^n (d_{i,k} - \bar{d}_i)(d_{j,k} - \bar{d}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (d_{i,k} - \bar{d}_i)^2 \sum_{k=1}^n (d_{j,k} - \bar{d}_j)^2}}, \quad \text{mit} \quad \bar{d}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_{i,k}.$$

Mit $d_{i,k}$ wird dabei der Schädigungswert der k -ten Messung im Kanal i bezeichnet. Die Korrelation liegt immer zwischen -1 und 1, je größer der Wert betragsmäßig ist, umso stärker sind die beiden Kanäle miteinander korreliert. Bei positivem Vorzeichen liefert eine große Schädigung im ersten Kanal auch eine große Schädigung im zweiten Kanal, bei negativem Vorzeichen verhalten sich die Schädigungen in den beiden Kanälen entgegengesetzt.

Zunächst wird die Korrelationsmatrix der 10 Kanäle über alle Messungen berechnet. Diese Matrix ist für das Beispiel in Bild 3 dargestellt. Die Farbe gibt jeweils die Größe der Korrelation zwischen zwei Kanälen an. In der Abbildung ist zu erkennen, dass es drei verschiedene Gruppen von Kanälen gibt, die stark korreliert sind. Die erste Gruppe besteht dabei aus den ersten 4 Kanälen, die zweite Gruppe aus den Kanälen 5 und 6. Die Kanäle aus Gruppe 1 sind auch zu den Kanälen der zweiten Gruppe korreliert. Allerdings ist der Zusammenhang schwächer als innerhalb der beiden Gruppen.

Die dritte Gruppe besteht aus den Kanälen 8 bis 10. Diese sind untereinander stark und zu allen anderen Kanälen kaum korreliert. Die Gesamtzahl der Kanäle für die weiteren Untersuchungen kann nun durch Auswahl eines oder mehrerer Repräsentanten dieser Gruppen reduziert werden. Kanal 7 ist zu allen anderen Kanälen kaum korreliert und muss in den weiteren Untersuchungen getrennt betrachtet werden. Für die spätere Varianzanalyse werden aus Gruppe 1 und 3 jeweils die ersten beiden Kanäle als Repräsentanten ausgewählt.

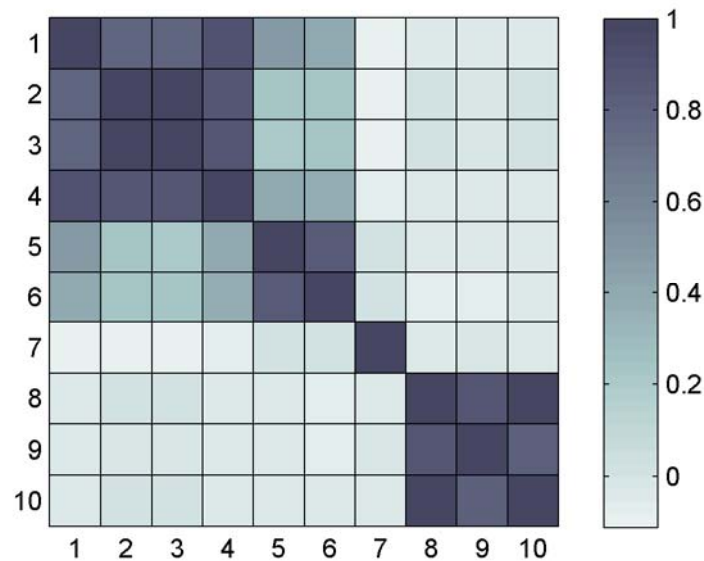


Bild 3: Korrelationsmatrix der 10 Kanäle. Drei Gruppen von Kanälen sind untereinander stark korreliert. Gruppe 1: Kanal 1 – Kanal 4, Gruppe 2: Kanäle 5 und 6 und Gruppe 3: Kanal 8 - Kanal 10.

Die im obigen Beispiel gefundenen Kanalgruppen bestehen dabei aus mehreren gemessenen Kräften (Gruppe 1) und gemessenen Dehnungen (Gruppe 2) an der Arbeitseinrichtung des Baggers sowie Beschleunigungen am Unterwagen (Gruppe 3). Die statistisch gefundene Korrelation zwischen den Kanälen entspricht also auch der physikalisch passenden Zuordnung. Dies ist jedoch nicht zwangsläufig der Fall und physikalische Aspekte müssen deshalb zusätzlich bei der Auswahl repräsentativer Kanäle berücksichtigt werden.

3.2 Verteilungsschätzungen

Aus den normierten Schädigungswerten jeder Anwendung wird mit der Maximum-Likelihood-Methode (vgl. [1] und [2]) jeweils eine parametrische Verteilung geschätzt. Die Konfidenz der geschätzten Parameter hängt dabei von der vorhandenen Anzahl an Messungen ab.

Mit statistischen Tests wird weiterhin überprüft, wie gut die Annahme einer parametrischen Verteilung zu den Daten passt. Das Ergebnis für die analysierten Messungen ist, dass eine Lognormalverteilung sowohl für die verschiedenen Anwendungen als auch für die untersuchten Kanäle gut zu den Messungen passt. Da bei der Varianzanalyse (s. u.) eine Normalverteilung der untersuchten Werte vorausgesetzt wird, bietet dies den Vorteil, dass die logarithmierten Daten direkt für die Analyse verwendet werden können.

3.3 Varianzanalyse der verschiedenen Anwendungen

Die Messdaten wurden, wie bereits in Kapitel 2 geschildert, anhand der Videoanalyse klassifiziert und in Abschnitte unterteilt, die unterschiedlichen Anwendungen, wie beispielsweise „Graben ausheben“, „LKW beladen“, „Fahren“, etc. entsprechen. Dabei war zunächst unklar, wie fein diese Unterteilung aufgelöst werden muss. Können beispielsweise alle Grabanwendungen zusammengefasst werden oder sollte zwischen reinem „Graben“, „Graben mit LKW beladen“, etc. unterschieden werden? Auf Schädigungsebene kann diese Frage durch eine Varianzanalyse beantwortet werden.

Zur Untersuchung werden jeweils die logarithmierten Schädigungswerte aller Messungen einer Anwendung zu einer Gruppe zusammengefasst. In der Varianzanalyse wird dann die Streuung der Mittelwerte der einzelnen Gruppen mit der Streuung innerhalb der Gruppen verglichen (vgl. [1] und [2]). Durch diesen Vergleich wird ermittelt, ob sich die Mittelwerte der Gruppen signifikant voneinander unterscheiden.

Bei der Varianzanalyse wird eine Normalverteilung der Daten zugrunde gelegt. Hier werden deshalb die logarithmierten Schädigungswerte verwendet, da diese gut zu einer Normalverteilung passen (s. o.).

Werden Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden, können durch eine Verfeinerung der Analyse die Anwendungen, die die Unterschiede verursachen, identifiziert werden. Diese sind dann weiterhin getrennt zu betrachten, während die übrigen Anwendungen zusammengefasst werden können.

Ob Anwendungen unterschieden werden sollten oder nicht, kann dabei insbesondere von den betrachteten Kanälen abhängen. Wie leicht Unterschiede erkannt werden, hängt zum einen von der Anzahl der vorhandenen Messungen in den einzelnen Gruppen, zum anderen vom betrachteten Signifikanzniveau α ab. Meist wird bei statistischen Tests für α ein kleiner Wert, z.B. 5%, gewählt. Die Nullhypothese, dass sich die Gruppen nicht unterscheiden, wird nur bei signifikanten Unterschieden abgelehnt. Will man jedoch verhindern, dass zu viele Anwendungen zusammengefasst werden, kann ein größerer Wert, wie z.B. $\alpha = 20\%$, gewählt werden. Unterschiede werden dann in der Varianzanalyse einfacher erkannt, sind dafür aber statistisch nicht ganz so sicher.

Beispiel: Als Beispiel wird hier das Ergebnis der Untersuchung von fünf verschiedenen Anwendungen betrachtet. Als Kanäle werden dabei die Kanäle 1, 2, 7, 8 und 9 des obigen Beispiels zur Korrelationsanalyse verwendet. Die Kanäle 1 und 2, sowie 8 und 9 repräsentie-

ren dabei die Gruppen 1 und 3. Zusätzlich wird noch Kanal 7 bei der Analyse mit einbezogen. Der Übersichtlichkeit halber werden aus Gruppe 2 keine Kanäle untersucht.

In der Varianzanalyse für alle fünf Anwendungen, wird ein Unterschied in den Mittelwerten in jedem der betrachteten Kanäle erkannt. Ein anschließender paarweiser Vergleich der Anwendungen in jedem Kanal liefert die Werte nach Tabelle 1. Eintrag 0 bedeutet dabei, dass beim paarweisen Vergleich mit Signifikanz $\alpha = 20\%$ kein Unterschied erkannt wird und 1 heißt, dass ein Unterschied gefunden wurde.

Tabelle 1: Ergebnis der Varianzanalyse von fünf verglichenen Anwendungen in fünf verschiedenen Kanälen (1 = Unterschied, 0 = kein Unterschied)

		Kanal 1	Kanal 2	Kanal 7	Kanal 8	Kanal 9
Anw 1	Anw 2	1	1	1	0	0
Anw 1	Anw 3	0	0	1	0	0
Anw 1	Anw 4	0	0	1	1	1
Anw 1	Anw 5	1	0	1	1	1
Anw 2	Anw 3	1	1	0	0	0
Anw 2	Anw 4	1	1	1	1	1
Anw 2	Anw 5	1	1	1	1	1
Anw 3	Anw 4	0	0	1	1	1
Anw 3	Anw 5	1	1	1	1	1
Anw 4	Anw 5	1	1	1	0	0

Zunächst ist ersichtlich, dass die erkannten Unterschiede in den Anwendungen stark vom betrachteten Kanal abhängen. Für die Kanäle 1 und 2 unterscheiden sich die Anwendungen 1, 3 und 4 nicht, sie können also für die weiteren Auswertungen zusammengefasst werden. Für die Kanäle 8 und 9 gilt dies dagegen nicht. Die Anwendungen 1 und 4 unterscheiden sich hier, dagegen lassen sich die Anwendungen 1 bis 3 sowie die Anwendungen 4 und 5 zusammenfassen.

Der Kanal 7 verhält sich, wie schon bei der Korrelationsanalyse festgestellt wurde, deutlich anders als die anderen Kanäle. Hier lassen sich nur die zweite und die dritte Anwendung zusammenfassen.

Anhand dieser Auswertungen kann somit eine kanalabhängige Unterteilung der Messungen nach verschiedenen Anwendungen vorgenommen werden. Für weitere Auswertungen der ersten beiden Kanäle müssen demnach nur drei verschiedene Anwendungen unterschieden werden, für die Kanäle 8 und 9 sogar nur zwei. Durch das Zusammenfassen der Messungen wird dabei jeweils die statistische Aussagesicherheit bei der Verteilungsschätzung erhöht.

In Bild 4 sind links die aus den logarithmierten Schädigungswerten der fünf Anwendungen im Kanal 1 geschätzten Lognormalverteilungen zusammen mit dem jeweiligen Mittelwert

dargestellt. Der Unterschied im Mittelwert zwischen den Anwendung 2 bzw. 5 und den anderen drei Anwendungen ist so groß, dass er in der Varianzanalyse erkannt wird. Die kleinen Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Anwendungen 1, 3 und 4 sind dagegen statistisch nicht signifikant. Im rechten Bild sind die logarithmierten Daten zusätzlich noch als Boxplot dargestellt. Entsprechend kann mit der Varianzanalyse auch überprüft werden, ob sich dieselben Anwendungen in verschiedenen Regionen in ihrer Schädigung voneinander unterscheiden, was auf unterschiedliche Böden zurückgeführt werden kann.

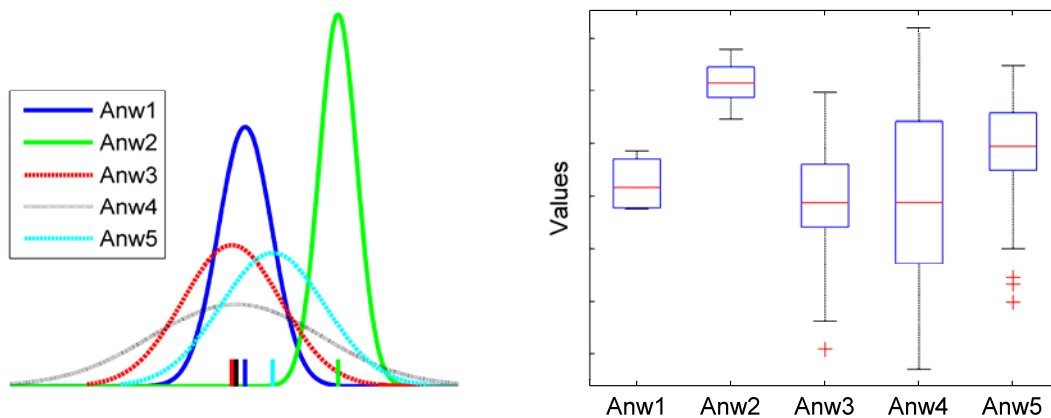


Bild 4: Verteilungsplot bzw. Boxplot der logarithmierten Schädigungswerte in Kanal 1 (geschätzte Lognormalverteilungen) mit den zugehörigen Mittelwerten.

4. Ermittlung eines Kundennutzungsprofils und repräsentativer Messungen

Nachdem die relevanten Kanäle identifiziert und die Anwendungen entsprechend der Varianzanalyse zusammengefasst sind, wird im nächsten Schritt ein Kundennutzungsprofil aus den Messdaten abgeleitet. Dabei muss insbesondere beachtet werden, dass nicht einfach jeder der vorhandenen Messabschnitte als ein Kunde interpretiert werden kann. Die Schädigung, die ein Kunde in der Gesamtauslegungsdauer des Mobilbaggers erzeugt, setzt sich vielmehr aus verschiedenen Anwendungen zusammen. Für verschiedene Kunden können dabei jeweils Abschnitte unterschiedlicher Schädigung der einzelnen Anwendungen repräsentativ sein. Auch wie häufig die einzelnen Anwendungen vorkommen, kann von Kunde zu Kunde verschieden sein.

Mittels einer Monte-Carlo-Simulation (vgl. auch [2], [5]) werden diese Variationen auf der Basis der vorhandenen Messdaten durchgespielt. Es werden viele verschiedene Kunden (z.B. 10.000) simuliert, die jeweils unterschiedliche Schädigungen an der Arbeitseinrichtung erzeugen.

Beispiel: Betrachtet werden vier verschiedene Gruppen von Anwendungen: 1. Verfüllen, 2. Graben und LKW beladen, 3. Fahren und 4. Spezialanwendungen. Diese sollen im Mittel über alle Kunden jeweils einen Zeitanteil von 40%, 35%, 15% bzw. 10% der Gesamtausleistungszeit bekommen.

Jeder einzelne Kunde muss dabei nicht genau diese Aufteilung besitzen, sondern kann z.B. auch einen größeren oder kleineren Anteil an Fahrwendungen etc. haben. Die Messungen aller 4 Gruppen werden jeweils noch feiner nach verschiedenen Anwendungen aufgeteilt, entsprechend dem Ergebnis der Varianzanalyse. Auch der prozentuale Anteil jeder Gesamtgruppe wird noch nach den verschiedenen Anwendungen aufgespalten.

Aus diesen Vorgaben wird nun in einer Monte-Carlo-Simulation eine Kundenverteilung aus 10.000 Kunden simuliert. Die Schädigungsverteilung, die sich dabei ergibt, ist in Bild 5 für den ersten Kanal als Histogramm dargestellt.

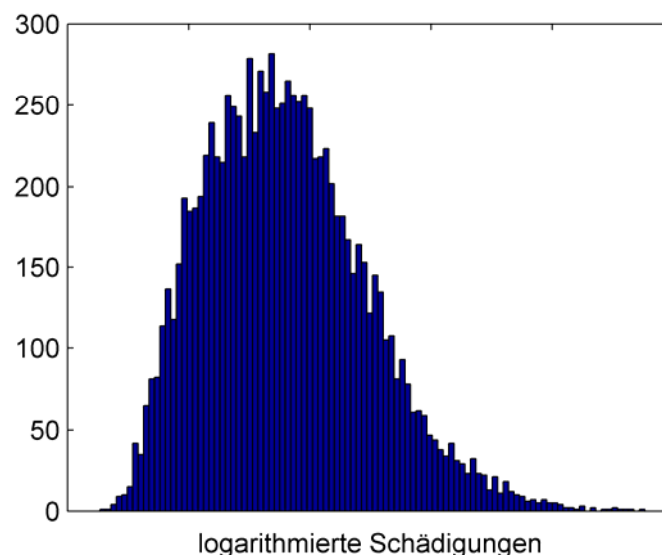


Bild 5: Verteilung der logarithmierten Schädigungswerte der 10.000 simulierten Kunden im Kanal 1.

Aus der Schädigungsverteilung in jedem Kanal, kann dann ein vorgegebenes Quantil, z.B. 90%, direkt aus der empirischen Verteilung abgelesen werden. Durch die vielen simulierten Datenpunkte, ist dazu keine Verteilungsannahme notwendig. Ein solches Kundennutzungsprofil kann dabei (durch unterschiedliche Definition der Parameter und/oder durch Verwendung ausgewählter Messdaten) entweder spezifisch für einzelne Länder (wie z.B. Spanien, Schweden, Deutschland) oder global erstellt werden.

In einem abschließenden Schritt wird durch Optimierung eine Kombination der vorhandenen Messungen bestimmt, deren Schädigung in jedem Kanal möglichst genau der jeweils ermittelten Zielschädigung D_i entspricht (vgl. auch [3], [6], [7]). Wird mit $a_{i,j}$ die Schädigung der Messung j im Kanal i bezeichnet, müssen Wiederhol-faktoren w_j bestimmt werden, so dass die Kombination

$$\sum_{j=1}^n w_j a_{i,j}$$

jeweils einen möglichst kleinen Abstand zur Zielschädigung im Kanal i liefert. Als Abstand kann dabei im einfachsten Fall der Betrag der Differenz der Schädigungen verwendet werden. Da bei Schädigungswerten jedoch häufig Faktoren zwischen den beiden Werten interessant sind, kann dies auch bei der Definition des Abstands und damit in der Optimierung berücksichtigt werden. Des Weiteren muss ein Kompromiss zwischen den vielen verschiedenen Kanälen gefunden werden. Auch hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie z.B. die Minimierung des größten Abstands, des mittleren quadratischen Abstands, usw.

Weiterhin können bei der Optimierung verschiedenste Nebenbedingungen, wie z.B. möglichst geringe Gesamtdauern, möglichst wenige Einzelmessungen, ganzzahlige Wiederhol-faktoren etc. berücksichtigt werden. Diese repräsentative Kombination von Messungen wird dann als Beanspruchungsprofil für rechnergestützte Lebensdauerberechnungen oder zum Vergleich zwischen verschiedenen Regionen etc. herangezogen.

Zusammenfassung

Für die rechnergestützte Lebensdauerberechnung mechanischer Strukturen in der Entwicklung von Baumaschinen werden Lastprofile benötigt, die einen hohen Prozentsatz aller Kundeneinsätze abdecken. Ein VOLVO Mobilbagger wurde dafür umfassend mit Messtechnik ausgestattet. Die Daten aus einzelnen Messungen im Kundeneinsatz des Baggers werden zunächst nach Anwendungen gegliedert. Von jedem einzelnen Zeitabschnitt der Messdaten und für jeden einzelnen Messkanal werden dann Vergleichsgrößen, wie z.B. deren Zeitanteile, Schädigungen, Schwingungs- bzw. Druckniveaus gebildet. Mittels Korrelationsanalysen wird untersucht, welche Kanäle bezüglich der Pseudoschädigung relevant erscheinen. Weiterhin werden durch Varianzanalysen Anwendungen ähnlicher Schädigungswirkung definiert und gruppiert, um die Datenmenge zu reduzieren. Monte-Carlo-Simulationen generieren darauf aufbauend viele verschiedene Kunden (wie z.B. 10.000) und erzeugen eine Schädigungsverteilung, so dass ein vorgegebenes Quantil, wie z.B. 90%, direkt abgelesen werden kann. Durch Optimierung wird eine Kombination aus vorhandenen Anwendungen bestimmt, deren Schädigung in jedem Kanal möglichst genau der ermittelten

Zielschädigung entspricht. Diese Kombination stellt schließlich das Lastprofil dar. Die umfangreichen Messdaten ermöglichen unter Anwendung der vorgestellten Methode nicht nur die Generierung von Lastprofilen im Hinblick auf den Stahlbau, sondern auch für den Antrieb oder das Hydrauliksystem.

Eine Herausforderung liegt noch in der Entwicklung von Übertragungsmöglichkeiten der ermittelten Nutzungsprofile auf andere Gewichtsklassen der Mobilbagger, wie z.B. 23 t oder 14 t. Hierzu sollen MKS-Simulationsstudien sowie einfache Messungen mit wenigen Referenzkanälen an Maschinen durchgeführt werden, um weitere Messkampagnen im Kundeneinsatz auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Literatur:

- [1] Montgomery, D.C.; Runger, G.C.: Applied Statistics and Probability for Engineers, JohnWiley & Sons 2003
- [2] Hartung, J.; Statistik, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 2002
- [3] LMS Tecware, Documentation
- [4] GlyphWorks, Reference Guide
- [5] Speckert, M., Dreßler, K., Müller, R., Weber, C.: Customer Loads Correlation in Truck Engineering, in Proceedings of FISITA world automotive congress (F200812198), München, September 2008
- [6] Gründer, B., Speckert, M., Pompetzki, M.: Design of Durability Sequences Based on Rainflow Matrix Optimization, SAE 980690, Detroit, February 1998
- [7] Gründer, B., Dreßler, K., Speckert, M., Schäfer, U.: Optimierte Erstellung von Prüfsequenzen, VDI Bericht Nr. 1335, Düsseldorf 1997

Published reports of the Fraunhofer ITWM

The PDF-files of the following reports are available under:

www.itwm.fraunhofer.de/de/zentral__berichte/berichte

1. D. Hietel, K. Steiner, J. Struckmeier
A Finite - Volume Particle Method for Compressible Flows
(19 pages, 1998)
2. M. Feldmann, S. Seibold
Damage Diagnosis of Rotors: Application of Hilbert Transform and Multi-Hypothesis Testing
Keywords: Hilbert transform, damage diagnosis, Kalman filtering, non-linear dynamics
(23 pages, 1998)
3. Y. Ben-Haim, S. Seibold
Robust Reliability of Diagnostic Multi-Hypothesis Algorithms: Application to Rotating Machinery
Keywords: Robust reliability, convex models, Kalman filtering, multi-hypothesis diagnosis, rotating machinery, crack diagnosis
(24 pages, 1998)
4. F.-Th. Lentès, N. Siedow
Three-dimensional Radiative Heat Transfer in Glass Cooling Processes
(23 pages, 1998)
5. A. Klar, R. Wegener
A hierarchy of models for multilane vehicular traffic
Part I: Modeling
(23 pages, 1998)
Part II: Numerical and stochastic investigations
(17 pages, 1998)
6. A. Klar, N. Siedow
Boundary Layers and Domain Decomposition for Radiative Heat Transfer and Diffusion Equations: Applications to Glass Manufacturing Processes
(24 pages, 1998)
7. I. Choquet
Heterogeneous catalysis modelling and numerical simulation in rarified gas flows
Part I: Coverage locally at equilibrium
(24 pages, 1998)
8. J. Ohser, B. Steinbach, C. Lang
Efficient Texture Analysis of Binary Images
(17 pages, 1998)
9. J. Orlik
Homogenization for viscoelasticity of the integral type with aging and shrinkage
(20 pages, 1998)
10. J. Mohring
Helmholtz Resonators with Large Aperture
(21 pages, 1998)
11. H. W. Hamacher, A. Schöbel
On Center Cycles in Grid Graphs
(15 pages, 1998)
12. H. W. Hamacher, K.-H. Küfer
Inverse radiation therapy planning - a multiple objective optimisation approach
(14 pages, 1999)
13. C. Lang, J. Ohser, R. Hilfer
On the Analysis of Spatial Binary Images
(20 pages, 1999)
14. M. Junk
On the Construction of Discrete Equilibrium Distributions for Kinetic Schemes
(24 pages, 1999)
15. M. Junk, S. V. Raghurame Rao
A new discrete velocity method for Navier-Stokes equations
(20 pages, 1999)
16. H. Neunzert
Mathematics as a Key to Key Technologies
(39 pages (4 PDF-Files), 1999)
17. J. Ohser, K. Sandau
Considerations about the Estimation of the Size Distribution in Wicksell's Corpuscle Problem
(18 pages, 1999)
18. E. Carrizosa, H. W. Hamacher, R. Klein, S. Nickel
Solving nonconvex planar location problems by finite dominating sets
Keywords: Continuous Location, Polyhedral Gauges, Finite Dominating Sets, Approximation, Sandwich Algorithm, Greedy Algorithm
(19 pages, 2000)
19. A. Becker
A Review on Image Distortion Measures
Keywords: Distortion measure, human visual system
(26 pages, 2000)
20. H. W. Hamacher, M. Labbé, S. Nickel, T. Sonneborn
Polyhedral Properties of the Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem
Keywords: integer programming, hub location, facility location, valid inequalities, facets, branch and cut
(21 pages, 2000)
21. H. W. Hamacher, A. Schöbel
Design of Zone Tariff Systems in Public Transportation
(30 pages, 2001)
22. D. Hietel, M. Junk, R. Keck, D. Teleaga
The Finite-Volume-Particle Method for Conservation Laws
(16 pages, 2001)
23. T. Bender, H. Hennes, J. Kalcsics, M. T. Melo, S. Nickel
Location Software and Interface with GIS and Supply Chain Management
Keywords: facility location, software development, geographical information systems, supply chain management
(48 pages, 2001)
24. H. W. Hamacher, S. A. Tjandra
Mathematical Modelling of Evacuation Problems: A State of Art
(44 pages, 2001)
25. J. Kuhnert, S. Tiwari
Grid free method for solving the Poisson equation
Keywords: Poisson equation, Least squares method, Grid free method
(19 pages, 2001)
26. T. Götz, H. Rave, D. Reinel-Bitzer, K. Steiner, H. Tiemeier
Simulation of the fiber spinning process
Keywords: Melt spinning, fiber model, Lattice Boltzmann, CFD
(19 pages, 2001)
27. A. Zemitis
On interaction of a liquid film with an obstacle
Keywords: impinging jets, liquid film, models, numerical solution, shape
(22 pages, 2001)
28. I. Ginzburg, K. Steiner
Free surface lattice-Boltzmann method to model the filling of expanding cavities by Bingham Fluids
Keywords: Generalized LBE, free-surface phenomena, interface boundary conditions, filling processes, Bingham viscoplastic model, regularized models
(22 pages, 2001)
29. H. Neunzert
**»Denn nichts ist für den Menschen als Menschen etwas wert, was er nicht mit Leidenschaft tun kann«
Vortrag anlässlich der Verleihung des Akademiepreises des Landes Rheinland-Pfalz am 21.11.2001**
Keywords: Lehre, Forschung, angewandte Mathematik, Mehrskalalanalyse, Strömungsmechanik
(18 pages, 2001)
30. J. Kuhnert, S. Tiwari
Finite pointset method based on the projection method for simulations of the incompressible Navier-Stokes equations
Keywords: Incompressible Navier-Stokes equations, Meshfree method, Projection method, Particle scheme, Least squares approximation
AMS subject classification: 76D05, 76M28
(25 pages, 2001)
31. R. Korn, M. Krekel
Optimal Portfolios with Fixed Consumption or Income Streams
Keywords: Portfolio optimisation, stochastic control, HJB equation, discretisation of control problems
(23 pages, 2002)
32. M. Krekel
Optimal portfolios with a loan dependent credit spread
Keywords: Portfolio optimisation, stochastic control, HJB equation, credit spread, log utility, power utility, non-linear wealth dynamics
(25 pages, 2002)
33. J. Ohser, W. Nagel, K. Schladitz
The Euler number of discretized sets – on the choice of adjacency in homogeneous lattices
Keywords: image analysis, Euler number, neighborhood relationships, cuboidal lattice
(32 pages, 2002)
34. I. Ginzburg, K. Steiner
Lattice Boltzmann Model for Free-Surface flow and Its Application to Filling Process in Casting

- Keywords:** Lattice Boltzmann models; free-surface phenomena; interface boundary conditions; filling processes; injection molding; volume of fluid method; interface boundary conditions; advection-schemes; up-wind-schemes (54 pages, 2002)
35. M. Günther, A. Klar, T. Materne, R. Wegener
Multivalued fundamental diagrams and stop and go waves for continuum traffic equations
Keywords: traffic flow, macroscopic equations, kinetic derivation, multivalued fundamental diagram, stop and go waves, phase transitions (25 pages, 2002)
36. S. Feldmann, P. Lang, D. Prätzel-Wolters
Parameter influence on the zeros of network determinants
Keywords: Networks, Equicofactor matrix polynomials, Realization theory, Matrix perturbation theory (30 pages, 2002)
37. K. Koch, J. Ohser, K. Schladitz
Spectral theory for random closed sets and estimating the covariance via frequency space
Keywords: Random set, Bartlett spectrum, fast Fourier transform, power spectrum (28 pages, 2002)
38. D. d'Humières, I. Ginzburg
Multi-reflection boundary conditions for lattice Boltzmann models
Keywords: lattice Boltzmann equation, boundary conditions, bounce-back rule, Navier-Stokes equation (72 pages, 2002)
39. R. Korn
Elementare Finanzmathematik
Keywords: Finanzmathematik, Aktien, Optionen, Portfolio-Optimierung, Börse, Lehrerweiterbildung, Mathematikunterricht (98 pages, 2002)
40. J. Kallrath, M. C. Müller, S. Nickel
Batch Presorting Problems: Models and Complexity Results
Keywords: Complexity theory, Integer programming, Assignment, Logistics (19 pages, 2002)
41. J. Linn
On the frame-invariant description of the phase space of the Folgar-Tucker equation
Key words: fiber orientation, Folgar-Tucker equation, injection molding (5 pages, 2003)
42. T. Hanne, S. Nickel
A Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Scheduling and Inspection Planning in Software Development Projects
Key words: multiple objective programming, project management and scheduling, software development, evolutionary algorithms, efficient set (29 pages, 2003)
43. T. Bortfeld, K.-H. Küfer, M. Monz, A. Scherrer, C. Thieke, H. Trinkaus
Intensity-Modulated Radiotherapy - A Large Scale Multi-Criteria Programming Problem
Keywords: multiple criteria optimization, representative systems of Pareto solutions, adaptive triangulation, clustering and disaggregation techniques, visualization of Pareto solutions, medical physics, external beam radiotherapy planning, intensity modulated radiotherapy (31 pages, 2003)
44. T. Halfmann, T. Wichmann
Overview of Symbolic Methods in Industrial Analog Circuit Design
Keywords: CAD, automated analog circuit design, symbolic analysis, computer algebra, behavioral modeling, system simulation, circuit sizing, macro modeling, differential-algebraic equations, index (17 pages, 2003)
45. S. E. Mikhailov, J. Orlik
Asymptotic Homogenisation in Strength and Fatigue Durability Analysis of Composites
Keywords: multiscale structures, asymptotic homogenization, strength, fatigue, singularity, non-local conditions (14 pages, 2003)
46. P. Domínguez-Marín, P. Hansen, N. Mladenović, S. Nickel
Heuristic Procedures for Solving the Discrete Ordered Median Problem
Keywords: genetic algorithms, variable neighborhood search, discrete facility location (31 pages, 2003)
47. N. Boland, P. Domínguez-Marín, S. Nickel, J. Puerto
Exact Procedures for Solving the Discrete Ordered Median Problem
Keywords: discrete location, Integer programming (41 pages, 2003)
48. S. Feldmann, P. Lang
Padé-like reduction of stable discrete linear systems preserving their stability
Keywords: Discrete linear systems, model reduction, stability, Hankel matrix, Stein equation (16 pages, 2003)
49. J. Kallrath, S. Nickel
A Polynomial Case of the Batch Presorting Problem
Keywords: batch presorting problem, online optimization, competitive analysis, polynomial algorithms, logistics (17 pages, 2003)
50. T. Hanne, H. L. Trinkaus
knowCube for MCDM – Visual and Interactive Support for Multicriteria Decision Making
Key words: Multicriteria decision making, knowledge management, decision support systems, visual interfaces, interactive navigation, real-life applications. (26 pages, 2003)
51. O. Iliev, V. Laptev
On Numerical Simulation of Flow Through Oil Filters
Keywords: oil filters, coupled flow in plain and porous media, Navier-Stokes, Brinkman, numerical simulation (8 pages, 2003)
52. W. Dörfler, O. Iliev, D. Stoyanov, D. Vassileva
On a Multigrid Adaptive Refinement Solver for Saturated Non-Newtonian Flow in Porous Media
Keywords: Nonlinear multigrid, adaptive refinement, non-Newtonian flow in porous media (17 pages, 2003)
53. S. Kruse
On the Pricing of Forward Starting Options under Stochastic Volatility
Keywords: Option pricing, forward starting options, Heston model, stochastic volatility, cliquet options (11 pages, 2003)
54. O. Iliev, D. Stoyanov
Multigrid – adaptive local refinement solver for incompressible flows
Keywords: Navier-Stokes equations, incompressible flow, projection-type splitting, SIMPLE, multigrid methods, adaptive local refinement, lid-driven flow in a cavity (37 pages, 2003)
55. V. Starikovicus
The multiphase flow and heat transfer in porous media
Keywords: Two-phase flow in porous media, various formulations, global pressure, multiphase mixture model, numerical simulation (30 pages, 2003)
56. P. Lang, A. Sarishvili, A. Wirsen
Blocked neural networks for knowledge extraction in the software development process
Keywords: Blocked Neural Networks, Nonlinear Regression, Knowledge Extraction, Code Inspection (21 pages, 2003)
57. H. Knaf, P. Lang, S. Zeiser
Diagnosis aiding in Regulation Thermography using Fuzzy Logic
Keywords: fuzzy logic, knowledge representation, expert system (22 pages, 2003)
58. M. T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha da Gama
Largescale models for dynamic multi-commodity capacitated facility location
Keywords: supply chain management, strategic planning, dynamic location, modeling (40 pages, 2003)
59. J. Orlik
Homogenization for contact problems with periodically rough surfaces
Keywords: asymptotic homogenization, contact problems (28 pages, 2004)
60. A. Scherrer, K.-H. Küfer, M. Monz, F. Alonso, T. Bortfeld
IMRT planning on adaptive volume structures – a significant advance of computational complexity
Keywords: Intensity-modulated radiation therapy (IMRT), inverse treatment planning, adaptive volume structures, hierarchical clustering, local refinement, adaptive clustering, convex programming, mesh generation, multi-grid methods (24 pages, 2004)
61. D. Kehrwald
Parallel lattice Boltzmann simulation of complex flows
Keywords: Lattice Boltzmann methods, parallel computing, microstructure simulation, virtual material design, pseudo-plastic fluids, liquid composite moulding (12 pages, 2004)
62. O. Iliev, J. Linn, M. Moog, D. Niedziela, V. Starikovicus
On the Performance of Certain Iterative Solvers for Coupled Systems Arising in Discretization of Non-Newtonian Flow Equations
Keywords: Performance of iterative solvers, Preconditioners, Non-Newtonian flow (17 pages, 2004)
63. R. Ciegis, O. Iliev, S. Rief, K. Steiner
On Modelling and Simulation of Different Regimes for Liquid Polymer Moulding

Keywords: Liquid Polymer Moulding, Modelling, Simulation, Infiltration, Front Propagation, non-Newtonian flow in porous media
(43 pages, 2004)

64. T. Hanne, H. Neu
Simulating Human Resources in Software Development Processes
Keywords: Human resource modeling, software process, productivity, human factors, learning curve
(14 pages, 2004)

65. O. Iliev, A. Mikelic, P. Popov
Fluid structure interaction problems in deformable porous media: Toward permeability of deformable porous media
Keywords: fluid-structure interaction, deformable porous media, upscaling, linear elasticity, stokes, finite elements
(28 pages, 2004)

66. F. Gaspar, O. Iliev, F. Lisbona, A. Naumovich, P. Vabishchevich
On numerical solution of 1-D poroelasticity equations in a multilayered domain
Keywords: poroelasticity, multilayered material, finite volume discretization, MAC type grid
(41 pages, 2004)

67. J. Ohser, K. Schladitz, K. Koch, M. Nöthe
Diffraction by image processing and its application in materials science
Keywords: porous microstructure, image analysis, random set, fast Fourier transform, power spectrum, Bartlett spectrum
(13 pages, 2004)

68. H. Neunzert
Mathematics as a Technology: Challenges for the next 10 Years
Keywords: applied mathematics, technology, modelling, simulation, visualization, optimization, glass processing, spinning processes, fiber-fluid interaction, turbulence effects, topological optimization, multicriteria optimization, Uncertainty and Risk, financial mathematics, Malliavin calculus, Monte-Carlo methods, virtual material design, filtration, bio-informatics, system biology
(29 pages, 2004)

69. R. Ewing, O. Iliev, R. Lazarov, A. Naumovich
On convergence of certain finite difference discretizations for 1D poroelasticity interface problems
Keywords: poroelasticity, multilayered material, finite volume discretizations, MAC type grid, error estimates
(26 pages, 2004)

70. W. Dörfler, O. Iliev, D. Stoyanov, D. Vassileva
On Efficient Simulation of Non-Newtonian Flow in Saturated Porous Media with a Multigrid Adaptive Refinement Solver
Keywords: Nonlinear multigrid, adaptive refinement, non-Newtonian in porous media
(25 pages, 2004)

71. J. Kalcsics, S. Nickel, M. Schröder
Towards a Unified Territory Design Approach – Applications, Algorithms and GIS Integration
Keywords: territory design, political districting, sales territory alignment, optimization algorithms, Geographical Information Systems
(40 pages, 2005)

72. K. Schladitz, S. Peters, D. Reinel-Bitzer, A. Wiegmann, J. Ohser
Design of acoustic trim based on geometric modeling and flow simulation for non-woven

Keywords: random system of fibers, Poisson line process, flow resistivity, acoustic absorption, Lattice-Boltzmann method, non-woven
(21 pages, 2005)

73. V. Rutka, A. Wiegmann
Explicit Jump Immersed Interface Method for virtual material design of the effective elastic moduli of composite materials
Keywords: virtual material design, explicit jump immersed interface method, effective elastic moduli, composite materials
(22 pages, 2005)

74. T. Hanne
Eine Übersicht zum Scheduling von Baustellen
Keywords: Projektplanung, Scheduling, Bauplanung, Bauindustrie
(32 pages, 2005)

75. J. Linn
The Folgar-Tucker Model as a Differential Algebraic System for Fiber Orientation Calculation
Keywords: fiber orientation, Folgar-Tucker model, invariants, algebraic constraints, phase space, trace stability
(15 pages, 2005)

76. M. Speckert, K. Dreßler, H. Mauch, A. Lion, G. J. Wierda
Simulation eines neuartigen Prüfsystems für Achserprobungen durch MKS-Modellierung einschließlich Regelung
Keywords: virtual test rig, suspension testing, multibody simulation, modeling hexapod test rig, optimization of test rig configuration
(20 pages, 2005)

77. K.-H. Küfer, M. Monz, A. Scherrer, P. Süß, F. Alonso, A. S. A. Sultan, Th. Bortfeld, D. Craft, Chr. Thieke
Multicriteria optimization in intensity modulated radiotherapy planning
Keywords: multicriteria optimization, extreme solutions, real-time decision making, adaptive approximation schemes, clustering methods, IMRT planning, reverse engineering
(51 pages, 2005)

78. S. Amstutz, H. Andrä
A new algorithm for topology optimization using a level-set method
Keywords: shape optimization, topology optimization, topological sensitivity, level-set
(22 pages, 2005)

79. N. Etrrich
Generation of surface elevation models for urban drainage simulation
Keywords: Flooding, simulation, urban elevation models, laser scanning
(22 pages, 2005)

80. H. Andrä, J. Linn, I. Matei, I. Shklyar, K. Steiner, E. Teichmann
OPTCAST – Entwicklung adäquater Strukturoptimierungsverfahren für Gießereien Technischer Bericht (KURZFASSUNG)
Keywords: Topologieoptimierung, Level-Set-Methode, Gießprozesssimulation, Gießtechnische Restriktionen, CAE-Kette zur Strukturoptimierung
(77 pages, 2005)

81. N. Marheineke, R. Wegener
Fiber Dynamics in Turbulent Flows Part I: General Modeling Framework

Keywords: fiber-fluid interaction; Cosserat rod; turbulence modeling; Kolmogorov's energy spectrum; double-velocity correlations; differentiable Gaussian fields
(20 pages, 2005)

Part II: Specific Taylor Drag
Keywords: flexible fibers; $k-\epsilon$ turbulence model; fiber-turbulence interaction scales; air drag; random Gaussian aerodynamic force; white noise; stochastic differential equations; ARMA process
(18 pages, 2005)

82. C. H. Lampert, O. Wirjadi
An Optimal Non-Orthogonal Separation of the Anisotropic Gaussian Convolution Filter
Keywords: Anisotropic Gaussian filter, linear filtering, orientation space, nD image processing, separable filters
(25 pages, 2005)

83. H. Andrä, D. Stoyanov
Error indicators in the parallel finite element solver for linear elasticity DDFEM
Keywords: linear elasticity, finite element method, hierarchical shape functions, domain decomposition, parallel implementation, a posteriori error estimates
(21 pages, 2006)

84. M. Schröder, I. Solchenbach
Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit
Keywords: public transit, transfer quality, quadratic assignment problem
(16 pages, 2006)

85. A. Naumovich, F. J. Gaspar
On a multigrid solver for the three-dimensional Biot poroelasticity system in multilayered domains
Keywords: poroelasticity, interface problem, multigrid, operator-dependent prolongation
(11 pages, 2006)

86. S. Panda, R. Wegener, N. Marheineke
Slender Body Theory for the Dynamics of Curved Viscous Fibers
Keywords: curved viscous fibers; fluid dynamics; Navier-Stokes equations; free boundary value problem; asymptotic expansions; slender body theory
(14 pages, 2006)

87. E. Ivanov, H. Andrä, A. Kudryavtsev
Domain Decomposition Approach for Automatic Parallel Generation of Tetrahedral Grids
Key words: Grid Generation, Unstructured Grid, Delaunay Triangulation, Parallel Programming, Domain Decomposition, Load Balancing
(18 pages, 2006)

88. S. Tiwari, S. Antonov, D. Hietel, J. Kuhnert, R. Wegener
A Meshfree Method for Simulations of Interactions between Fluids and Flexible Structures
Key words: Meshfree Method, FPM, Fluid Structure Interaction, Sheet of Paper, Dynamical Coupling
(16 pages, 2006)

89. R. Ciegis, O. Iliev, V. Starikovicius, K. Steiner
Numerical Algorithms for Solving Problems of Multiphase Flows in Porous Media
Keywords: nonlinear algorithms, finite-volume method, software tools, porous media, flows
(16 pages, 2006)

90. D. Niedziela, O. Iliev, A. Latz
On 3D Numerical Simulations of Viscoelastic Fluids

Keywords: non-Newtonian fluids, anisotropic viscosity, integral constitutive equation
(18 pages, 2006)

91. A. Winterfeld

Application of general semi-infinite Programming to Lapidary Cutting Problems

Keywords: large scale optimization, nonlinear programming, general semi-infinite optimization, design centering, clustering
(26 pages, 2006)

92. J. Orlik, A. Ostrovska

Space-Time Finite Element Approximation and Numerical Solution of Hereditary Linear Viscoelasticity Problems

Keywords: hereditary viscoelasticity; kern approximation by interpolation; space-time finite element approximation, stability and a priori estimate
(24 pages, 2006)

93. V. Rutka, A. Wiegmann, H. Andrä

EJIM for Calculation of effective Elastic Moduli in 3D Linear Elasticity

Keywords: Elliptic PDE, linear elasticity, irregular domain, finite differences, fast solvers, effective elastic moduli
(24 pages, 2006)

94. A. Wiegmann, A. Zemitis

EJ-HEAT: A Fast Explicit Jump Harmonic Averaging Solver for the Effective Heat Conductivity of Composite Materials

Keywords: Stationary heat equation, effective thermal conductivity, explicit jump, discontinuous coefficients, virtual material design, microstructure simulation, EJ-HEAT
(21 pages, 2006)

95. A. Naumovich

On a finite volume discretization of the three-dimensional Biot poroelasticity system in multilayered domains

Keywords: Biot poroelasticity system, interface problems, finite volume discretization, finite difference method
(21 pages, 2006)

96. M. Krekel, J. Wenzel

A unified approach to Credit Default Swaption and Constant Maturity Credit Default Swap valuation

Keywords: LIBOR market model, credit risk, Credit Default Swaption, Constant Maturity Credit Default Swap method
(43 pages, 2006)

97. A. Dreyer

Interval Methods for Analog Circuits

Keywords: interval arithmetic, analog circuits, tolerance analysis, parametric linear systems, frequency response, symbolic analysis, CAD, computer algebra
(36 pages, 2006)

98. N. Weigel, S. Weihe, G. Bitsch, K. Dreßler
Usage of Simulation for Design and Optimization of Testing

Keywords: Vehicle test rigs, MBS, control, hydraulics, testing philosophy
(14 pages, 2006)

99. H. Lang, G. Bitsch, K. Dreßler, M. Speckert
Comparison of the solutions of the elastic and elastoplastic boundary value problems

Keywords: Elastic BVP, elastoplastic BVP, variational inequalities, rate-independency, hysteresis, linear kinematic hardening, stop- and play-operator
(21 pages, 2006)

100. M. Speckert, K. Dreßler, H. Mauch

MBS Simulation of a hexapod based suspension test rig

Keywords: Test rig, MBS simulation, suspension, hydraulics, controlling, design optimization
(12 pages, 2006)

101. S. Azizi Sultan, K.-H. Küfer

A dynamic algorithm for beam orientations in multicriteria IMRT planning

Keywords: radiotherapy planning, beam orientation optimization, dynamic approach, evolutionary algorithm, global optimization
(14 pages, 2006)

102. T. Götz, A. Klar, N. Marheineke, R. Wegener

A Stochastic Model for the Fiber Lay-down Process in the Nonwoven Production

Keywords: fiber dynamics, stochastic Hamiltonian system, stochastic averaging
(17 pages, 2006)

103. Ph. Süß, K.-H. Küfer

Balancing control and simplicity: a variable aggregation method in intensity modulated radiation therapy planning

Keywords: IMRT planning, variable aggregation, clustering methods
(22 pages, 2006)

104. A. Beaudry, G. Laporte, T. Melo, S. Nickel

Dynamic transportation of patients in hospitals

Keywords: in-house hospital transportation, dial-a-ride, dynamic mode, tabu search
(37 pages, 2006)

105. Th. Hanne

Applying multiobjective evolutionary algorithms in industrial projects

Keywords: multiobjective evolutionary algorithms, discrete optimization, continuous optimization, electronic circuit design, semi-infinite programming, scheduling
(18 pages, 2006)

106. J. Franke, S. Halim

Wild bootstrap tests for comparing signals and images

Keywords: wild bootstrap test, texture classification, textile quality control, defect detection, kernel estimate, nonparametric regression
(13 pages, 2007)

107. Z. Drezner, S. Nickel

Solving the ordered one-median problem in the plane

Keywords: planar location, global optimization, ordered median, big triangle small triangle method, bounds, numerical experiments
(21 pages, 2007)

108. Th. Götz, A. Klar, A. Unterreiter, R. Wegener

Numerical evidence for the non-existing of solutions of the equations describing rotational fiber spinning

Keywords: rotational fiber spinning, viscous fibers, boundary value problem, existence of solutions
(11 pages, 2007)

109. Ph. Süß, K.-H. Küfer

Smooth intensity maps and the Bortfeld-Boyer sequencer

Keywords: probabilistic analysis, intensity modulated radiotherapy treatment (IMRT), IMRT plan application, step-and-shoot sequencing
(8 pages, 2007)

110. E. Ivanov, O. Gluchshenko, H. Andrä, A. Kudryavtsev

Parallel software tool for decomposing and meshing of 3d structures

Keywords: a-priori domain decomposition, unstructured grid, Delaunay mesh generation
(14 pages, 2007)

111. O. Iliev, R. Lazarov, J. Willems

Numerical study of two-grid preconditioners for 1d elliptic problems with highly oscillating discontinuous coefficients

Keywords: two-grid algorithm, oscillating coefficients, preconditioner
(20 pages, 2007)

112. L. Bonilla, T. Götz, A. Klar, N. Marheineke, R. Wegener

Hydrodynamic limit of the Fokker-Planck equation describing fiber lay-down processes

Keywords: stochastic differential equations, Fokker-Planck equation, asymptotic expansion, Ornstein-Uhlenbeck process
(17 pages, 2007)

113. S. Rief

Modeling and simulation of the pressing section of a paper machine

Keywords: paper machine, computational fluid dynamics, porous media
(41 pages, 2007)

114. R. Ciegis, O. Iliev, Z. Lakdawala

On parallel numerical algorithms for simulating industrial filtration problems

Keywords: Navier-Stokes-Brinkmann equations, finite volume discretization method, SIMPLE, parallel computing, data decomposition method
(24 pages, 2007)

115. N. Marheineke, R. Wegener

Dynamics of curved viscous fibers with surface tension

Keywords: Slender body theory, curved viscous fibers with surface tension, free boundary value problem
(25 pages, 2007)

116. S. Feth, J. Franke, M. Speckert

Resampling-Methoden zur mse-Korrektur und Anwendungen in der Betriebsfestigkeit

Keywords: Weibull, Bootstrap, Maximum-Likelihood, Betriebsfestigkeit
(16 pages, 2007)

117. H. Knaf

Kernel Fisher discriminant functions – a concise and rigorous introduction

Keywords: wild bootstrap test, texture classification, textile quality control, defect detection, kernel estimate, nonparametric regression
(30 pages, 2007)

118. O. Iliev, I. Rybak

On numerical upscaling for flows in heterogeneous porous media

Keywords: numerical upscaling, heterogeneous porous media, single phase flow, Darcy's law, multiscale problem, effective permeability, multipoint flux approximation, anisotropy
(17 pages, 2007)

119. O. Iliev, I. Rybak

On approximation property of multipoint flux approximation method

- Keywords: *Multipoint flux approximation, finite volume method, elliptic equation, discontinuous tensor coefficients, anisotropy*
(15 pages, 2007)
120. O. Iliev, I. Rybak, J. Willems
On upscaling heat conductivity for a class of industrial problems
Keywords: *Multiscale problems, effective heat conductivity, numerical upscaling, domain decomposition*
(21 pages, 2007)
121. R. Ewing, O. Iliev, R. Lazarov, I. Rybak
On two-level preconditioners for flow in porous media
Keywords: *Multiscale problem, Darcy's law, single phase flow, anisotropic heterogeneous porous media, numerical upscaling, multigrid, domain decomposition, efficient preconditioner*
(18 pages, 2007)
122. M. Brickenstein, A. Dreyer
POLYBORI: A Gröbner basis framework for Boolean polynomials
Keywords: *Gröbner basis, formal verification, Boolean polynomials, algebraic cryptanalysis, satisfiability*
(23 pages, 2007)
123. O. Wirjadi
Survey of 3d image segmentation methods
Keywords: *image processing, 3d, image segmentation, binarization*
(20 pages, 2007)
124. S. Zeytun, A. Gupta
A Comparative Study of the Vasicek and the CIR Model of the Short Rate
Keywords: *interest rates, Vasicek model, CIR-model, calibration, parameter estimation*
(17 pages, 2007)
125. G. Hanselmann, A. Sarishvili
Heterogeneous redundancy in software quality prediction using a hybrid Bayesian approach
Keywords: *reliability prediction, fault prediction, non-homogeneous poisson process, Bayesian model averaging*
(17 pages, 2007)
126. V. Maag, M. Berger, A. Winterfeld, K.-H. Küfer
A novel non-linear approach to minimal area rectangular packing
Keywords: *rectangular packing, non-overlapping constraints, non-linear optimization, regularization, relaxation*
(18 pages, 2007)
127. M. Monz, K.-H. Küfer, T. Bortfeld, C. Thieke
Pareto navigation – systematic multi-criteria-based IMRT treatment plan determination
Keywords: *convex, interactive multi-objective optimization, intensity modulated radiotherapy planning*
(15 pages, 2007)
128. M. Krause, A. Scherrer
On the role of modeling parameters in IMRT plan optimization
Keywords: *intensity-modulated radiotherapy (IMRT), inverse IMRT planning, convex optimization, sensitivity analysis, elasticity, modeling parameters, equivalent uniform dose (EUD)*
(18 pages, 2007)
129. A. Wiegmann
Computation of the permeability of porous materials from their microstructure by FFF-Stokes
Keywords: *permeability, numerical homogenization, fast Stokes solver*
(24 pages, 2007)
130. T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha da Gama
Facility Location and Supply Chain Management – A comprehensive review
Keywords: *facility location, supply chain management, network design*
(54 pages, 2007)
131. T. Hanne, T. Melo, S. Nickel
Bringing robustness to patient flow management through optimized patient transports in hospitals
Keywords: *Dial-a-Ride problem, online problem, case study, tabu search, hospital logistics*
(23 pages, 2007)
132. R. Ewing, O. Iliev, R. Lazarov, I. Rybak, J. Willems
An efficient approach for upscaling properties of composite materials with high contrast of coefficients
Keywords: *effective heat conductivity, permeability of fractured porous media, numerical upscaling, fibrous insulation materials, metal foams*
(16 pages, 2008)
133. S. Gelareh, S. Nickel
New approaches to hub location problems in public transport planning
Keywords: *integer programming, hub location, transportation, decomposition, heuristic*
(25 pages, 2008)
134. G. Thömmes, J. Becker, M. Junk, A. K. Vainkuntam, D. Kehrwald, A. Klar, K. Steiner, A. Wiegmann
A Lattice Boltzmann Method for immiscible multiphase flow simulations using the Level Set Method
Keywords: *Lattice Boltzmann method, Level Set method, free surface, multiphase flow*
(28 pages, 2008)
135. J. Orlik
Homogenization in elasto-plasticity
Keywords: *multiscale structures, asymptotic homogenization, nonlinear energy*
(40 pages, 2008)
136. J. Almqvist, H. Schmidt, P. Lang, J. Deitmer, M. Jirstrand, D. Prätzel-Wolters, H. Becker
Determination of interaction between MCT1 and CAII via a mathematical and physiological approach
Keywords: *mathematical modeling; model reduction; electrophysiology; pH-sensitive microelectrodes; proton antenna*
(20 pages, 2008)
137. E. Savenkov, H. Andrä, O. Iliev
An analysis of one regularization approach for solution of pure Neumann problem
Keywords: *pure Neumann problem, elasticity, regularization, finite element method, condition number*
(27 pages, 2008)
138. O. Berman, J. Kalcsics, D. Krass, S. Nickel
The ordered gradual covering location problem on a network
Keywords: *gradual covering, ordered median function, network location*
(32 pages, 2008)
139. S. Gelareh, S. Nickel
Multi-period public transport design: A novel model and solution approaches
Keywords: *Integer programming, hub location, public transport, multi-period planning, heuristics*
(31 pages, 2008)
140. T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama
Network design decisions in supply chain planning
Keywords: *supply chain design, integer programming models, location models, heuristics*
(20 pages, 2008)
141. C. Lautensack, A. Särkkä, J. Freitag, K. Schladitz
Anisotropy analysis of pressed point processes
Keywords: *estimation of compression, isotropy test, nearest neighbour distance, orientation analysis, polar ice, Ripley's K function*
(35 pages, 2008)
142. O. Iliev, R. Lazarov, J. Willems
A Graph-Laplacian approach for calculating the effective thermal conductivity of complicated fiber geometries
Keywords: *graph laplacian, effective heat conductivity, numerical upscaling, fibrous materials*
(14 pages, 2008)
143. J. Linn, T. Stephan, J. Carlsson, R. Bohlin
Fast simulation of quasistatic rod deformations for VR applications
Keywords: *quasistatic deformations, geometrically exact rod models, variational formulation, energy minimization, finite differences, nonlinear conjugate gradients*
(7 pages, 2008)
144. J. Linn, T. Stephan
Simulation of quasistatic deformations using discrete rod models
Keywords: *quasistatic deformations, geometrically exact rod models, variational formulation, energy minimization, finite differences, nonlinear conjugate gradients*
(9 pages, 2008)
145. J. Marburger, N. Marheineke, R. Pinnau
Adjoint based optimal control using mesh-less discretizations
Keywords: *Mesh-less methods, particle methods, Eulerian-Lagrangian formulation, optimization strategies, adjoint method, hyperbolic equations*
(14 pages, 2008)
146. S. Desmettre, J. Gould, A. Szimayer
Own-company stockholding and work effort preferences of an unconstrained executive
Keywords: *optimal portfolio choice, executive compensation*
(33 pages, 2008)
147. M. Berger, M. Schröder, K.-H. Küfer
A constraint programming approach for the two-dimensional rectangular packing problem with orthogonal orientations
Keywords: *rectangular packing, orthogonal orientations non-overlapping constraints, constraint propagation*
(13 pages, 2008)

148. K. Schladitz, C. Redenbach, T. Sych,
M. Godehardt

Microstructural characterisation of open foams using 3d images

Keywords: virtual material design, image analysis, open foams
(30 pages, 2008)

149. E. Fernández, J. Kalcsics, S. Nickel,
R. Ríos-Mercado

A novel territory design model arising in the implementation of the WEEE-Directive

Keywords: heuristics, optimization, logistics, recycling
(28 pages, 2008)

150. H. Lang, J. Linn

Lagrangian field theory in space-time for geometrically exact Cosserat rods

Keywords: Cosserat rods, geometrically exact rods, small strain, large deformation, deformable bodies, Lagrangian field theory, variational calculus
(19 pages, 2009)

151. K. Dreßler, M. Speckert, R. Müller,
Ch. Weber

Customer loads correlation in truck engineering

Keywords: Customer distribution, safety critical components, quantile estimation, Monte-Carlo methods
(11 pages, 2009)

152. H. Lang, K. Dreßler

An improved multi-axial stress-strain correction model for elastic FE postprocessing

Keywords: Jiang's model of elastoplasticity, stress-strain correction, parameter identification, automatic differentiation, least-squares optimization, Coleman-Li algorithm
(6 pages, 2009)

153. J. Kalcsics, S. Nickel, M. Schröder

A generic geometric approach to territory design and districting

Keywords: Territory design, districting, combinatorial optimization, heuristics, computational geometry
(32 pages, 2009)

154. Th. Fütterer, A. Klar, R. Wegener

An energy conserving numerical scheme for the dynamics of hyperelastic rods

Keywords: Cosserat rod, hyperelastic, energy conservation, finite differences
(16 pages, 2009)

155. A. Wiegmann, L. Cheng, E. Glatt, O. Iliev,
S. Rief

Design of pleated filters by computer simulations

Keywords: Solid-gas separation, solid-liquid separation, pleated filter, design, simulation
(21 pages, 2009)

156. A. Klar, N. Marheineke, R. Wegener

Hierarchy of mathematical models for production processes of technical textiles

Keywords: Fiber-fluid interaction, slender-body theory, turbulence modeling, model reduction, stochastic differential equations, Fokker-Planck equation, asymptotic expansions, parameter identification
(21 pages, 2009)

157. E. Glatt, S. Rief, A. Wiegmann, M. Knefel,
E. Wegenke

Structure and pressure drop of real and virtual metal wire meshes

Keywords: metal wire mesh, structure simulation, model calibration, CFD simulation, pressure loss
(7 pages, 2009)

158. S. Kruse, M. Müller

Pricing American call options under the assumption of stochastic dividends – An application of the Korn-Rogers model

Keywords: option pricing, American options, dividends, dividend discount model, Black-Scholes model
(22 pages, 2009)

159. H. Lang, J. Linn, M. Arnold

Multibody dynamics simulation of geometrically exact Cosserat rods

Keywords: flexible multibody dynamics, large deformations, finite rotations, constrained mechanical systems, structural dynamics
(20 pages, 2009)

160. P. Jung, S. Leyendecker, J. Linn, M. Ortiz

Discrete Lagrangian mechanics and geometrically exact Cosserat rods

Keywords: special Cosserat rods, Lagrangian mechanics, Noether's theorem, discrete mechanics, frame-indifference, holonomic constraints
(14 pages, 2009)

161. M. Burger, K. Dreßler, A. Marquardt,
M. Speckert

Calculating invariant loads for system simulation in vehicle engineering

Keywords: iterative learning control, optimal control theory, differential algebraic equations(DAEs)
(18 pages, 2009)

162. M. Speckert, N. Ruf, K. Dreßler

Undesired drift of multibody models excited by measured accelerations or forces

Keywords: multibody simulation, full vehicle model, force-based simulation, drift due to noise
(19 pages, 2009)

163. A. Streit, K. Dreßler, M. Speckert, J. Lichter,
T. Zenner, P. Bach

Anwendung statistischer Methoden zur Erstellung von Nutzungsprofilen für die Auslegung von Mobilbaggern

Keywords: Nutzungsvielfalt, Kundenbeanspruchung, Bemessungsgrundlagen
(13 pages, 2009)

Status quo: May 2009