



Fraunhofer

ITWM

M. Speckert, N. Ruf, K. Dreßler, R. Müller, C. Weber,
S. Weihe

Ein neuer Ansatz zur Ermittlung von Erprobungslasten für sicherheitsrele- vante Bauteile

Bereits erschienen in: 14. VDI-Fachtagung Erpro-
bung und Simulation in der Fahrzeugentwick-
lung – Mess- und Versuchstechnik – (CD-Rom)
Düsseldorf: VDI Wissensforum GmbH 2009

Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 177 (2009)

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2009

ISSN 1434-9973

Bericht 177 (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: +49(0)631/3 1600-0
Telefax: +49(0)631/3 1600-1099
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 werden sowohl hervorragende Diplom- und Projektarbeiten und Dissertationen als auch Forschungsberichte der Institutsmitarbeiter und Institutsgäste zu aktuellen Fragen der Techno- und Wirtschaftsmathematik aufgenommen.

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

Ein neuer Ansatz zur Ermittlung von Erprobungslasten für sicherheitsrelevante Bauteile

Dr. **M. Speckert**, Dr. **N. Ruf**, Dr. **K. Dreßler**, Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern; **R. Müller**, Dr. **C. Weber**, Dr. **S. Weihe**, Daimler AG, Stuttgart

Kurzfassung

Bei der Erprobung sicherheitsrelevanter Bauteile von Nutzfahrzeugen steht man vor der Aufgabe, die sehr vielfältige Belastung durch die Kunden abschätzen zu müssen und daraus ein Prüfprogramm für die Bauteile abzuleiten, das mehreren gegenläufigen Anforderungen gerecht werden muss: Das Programm muss scharf genug sein, damit bei erfolgreicher Prüfung ein Ausfall im Feld im Rahmen eines bestimmungsgemäßen Gebrauchs ausgeschlossen werden kann, es soll aber nicht zu einer Überdimensionierung der Bauteile führen, und es soll mit relativ wenigen Bauteilversuchen eine ausreichende Aussage-sicherheit erreicht werden.

Wegen der hohen Anforderungen bzgl. Sicherheit müssen bei der klassischen statistischen Vorgehensweise – Schätzen der Verteilung der Kundenbeanspruchung aus Messdaten, Schätzen der Verteilung der Bauteilfestigkeit aus Versuchsergebnissen und Ableiten einer Ausfallwahrscheinlichkeit – die Verteilungen in den extremen Rändern bekannt sein. Dazu reicht aber das Datenmaterial in der Regel bei weitem nicht aus. Bei der klassischen „empirischen“ Vorgehensweise werden Kennwerte der Beanspruchung und der Festigkeit verglichen und ein ausreichender Sicherheitsabstand gefordert.

Das hier vorgeschlagene Verfahren kombiniert beide Methoden, setzt dabei die Möglichkeiten der statistischen Modellierung soweit aufgrund der Datenlage vertretbar ein und ergänzt die Ergebnisse durch empirisch begründete Sicherheitsfaktoren. Dabei werden bei der Lastfestlegung die im Versuch vorhandenen Möglichkeiten berücksichtigt. Hauptvorteile dieses Verfahrens sind a) die Transparenz bzgl. der mit statistischen Mitteln erreichbaren Aussagen und des Zusammenspiels zwischen Lastermittlung und Versuch und b) die Möglichkeit durch entsprechenden Aufwand bei Messungen und Erprobung die empirischen zugunsten der statistischen Anteile zu reduzieren.

1. Einleitung

Die experimentelle Erprobung sicherheitsrelevanter Bauteile von Nutzfahrzeugen wie beispielsweise Achsen oder Bremsen ist trotz wachsender Möglichkeiten rechnerischer Verifikation unverzichtbar. Dabei muss einerseits die Zuverlässigkeit gewährleistet werden und andererseits sollen die Belange des Leichtbaus und der Kostenreduktion berücksichtigt werden. Die Optimierung von Gewicht und Kosten führt meist zu einer Verringerung der Festigkeit von Bauteilen und kann deshalb nur so weit betrieben werden, wie es die Sicherheit zulässt. Die Zuverlässigkeit wird in der Regel entweder durch Ausfallfreiheit oder nach oben beschränkter Ausfallwahrscheinlichkeit unter einer bestimmten Last definiert. Da die Betriebsbeanspruchung aber wegen der hohen Varianz der Kundennutzung sehr stark streuen kann, muss die in einer experimentellen Erprobung des Bauteils zu verwendende Last zunächst durch geeignete statistische Überlegungen in eine definierte Beziehung zur Kundenverteilung gebracht werden.

Eine systematische Betrachtung der Erprobung eines Bauteils trennt zunächst die Ermittlung der einwirkenden Beanspruchung (Bemessungsgrundlage) von der in einem Test tatsächlich aufgetragenen Last (Prüfkollektiv oder Erprobungslast). Dadurch kann die Festigkeit eines Bauteils (die ertragbare Last bis zum Auftreten eines definierten Schadensbildes) unabhängig von der im Betrieb tatsächlich auftretenden Beanspruchung bestimmt werden. Durch Kombination von Beanspruchung und Festigkeit kann schließlich die Ausfallwahrscheinlichkeit abgeschätzt werden. Damit ist die klassische Gesamtvorgehensweise in die folgenden 3 Schritte gegliedert:

- i. **Ermittlung der Beanspruchung:** In diesem Schritt wird die Beanspruchung D (Duty) und ihre durch die Kundennutzung gegebene Verteilung bzw. Streuung (meist basierend auf den Daten einer Messkampagne) ermittelt.
- ii. **Ermittlung der Festigkeit:** Auf Basis geeigneter Prüfkollektive und entsprechender Versuchsergebnisse wird die Festigkeit C (Capacity) eines Bauteils und die zugehörige statistische Absicherung (Konfidenz) ermittelt.
- iii. **Ermittlung der Ausfallwahrscheinlichkeit:** In einem dritten Syntheseschritt wird die Ausfallwahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit für das Versagen $P(D > C)$) durch Kombination der Verteilungen für die Beanspruchung D und die Festigkeit C berechnet.

Bei sicherheitsrelevanten Bauteilen sind die Ränder der Verteilungen (schwache Bauteile und hohe Kundenbeanspruchungen) besonders interessant. Da die Verteilungen aber aus einer mehr oder weniger beschränkten Anzahl von Beobachtungen geschätzt werden müssen, sind sie mit einem Fehler behaftet, der sich gerade im Randbereich stark auswirkt. Die Ergebnisse aus Schritt iii sind deshalb entsprechend unscharf.

Dieser Artikel geht deshalb davon aus, dass nur relativ grobe Schätzungen der Beanspruchungs- und Festigkeitsverteilung eines Bauteils bzw. Informationen über ihre Lage und Streuungen vorliegen und konzentriert auf die Frage, wie groß der Abstand zwischen einer charakteristischen Kundenbeanspruchung und einer sinnvollen Erprobungslast sein muss (vgl. Abbildung 1), damit die geforderte Zuverlässigkeit nachgewiesen werden kann.

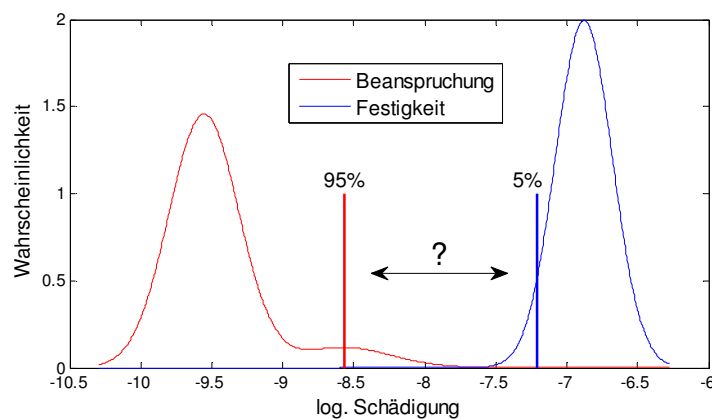


Bild 1: Die Dichten der Kundenbeanspruchung und der Festigkeit eines Bauteils.

Nach einer kurzen Begriffsdefinition in Abschnitt 2 wird in Abschnitt 3 die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit bei gegebenen Verteilungen für D und C skizziert und die Sensitivitäten bzgl. Unsicherheiten in den zu schätzenden Parametern exemplarisch aufgezeigt. Zur Vorbereitung der späteren Vorgehensweise werden in Abschnitt 4 einige Begriffe aus dem Bereich der Versuchsplanung erläutert. In Abschnitt 5 wird die neue Methode vorgestellt, welche die Unsicherheiten explizit adressiert, die Anwendung der rein statistischen Methoden auf das aufgrund der Daten vertretbare Maß reduziert und die Lücke durch empirisch zu begründende Sicherheitsfaktoren schließt. In Abschnitt 6 werden die Verfahren auf verschiedene Testdaten angewandt. Im abschließenden Abschnitt 7 werden die Ergebnisse zusammengefasst und die verbleibenden offenen Punkte diskutiert.

Die vorgeschlagene Methode kann zwar die Unsicherheiten nicht einfach eliminieren, sie macht aber transparent wie weit die reine Statistik mit dem vorhandenen Datenmaterial trägt

und dass bei sehr hohen Anforderungen und gleichzeitig beschränktem Aufwand der Datenerhebung keine Alternative zur zusätzlichen Anwendung von empirischen Methoden existiert. Dies betrifft insbesondere die Fälle, in denen Ausfallfreiheit gefordert werden muss. Außerdem macht die vorgeschlagene Methode deutlich, dass bei der Ermittlung der Erprobungslast nicht nur die Verteilung der Kundenbeanspruchung eine Rolle spielt, sondern auch die Planung von Versuchen (welches Quantil der Festigkeit kann mit wie vielen Versuchen und mit welcher Konfidenz nachgewiesen werden) berücksichtigt werden muss. Die vorgeschlagene Methodik ist offen und flexibel für Anpassungen an spezielle Gegebenheiten und der Artikel insgesamt versteht sich als einen Schritt hin zu einem transparenteren Vorgehen als bisher bei der Erprobung sicherheitsrelevanter Bauteile.

2. Definition von Beanspruchung und Festigkeit

Der Vollständigkeit halber wird in diesem Abschnitt eine Definition von Beanspruchung und Festigkeit gegeben, die beide Größen auf eine vergleichbare Skala bringt und damit die Berechnung von Ausfallwahrscheinlichkeiten erlaubt. Dazu betrachtet man eine an dem Bauteil angreifende Lastzeitreihe $L(t)$ und die mit dem Rainflow-Verfahren daraus abgeleiteten Lastamplituden $S_i, i = 1, 2, \dots$. Es wird angenommen, dass die Lebensdauer N des Bauteils durch ein Gesetz der Form $1/N \sim \sum S_i^k$ beschrieben werden kann, wobei k den Wöhlerexponenten bezeichnet (vgl. [1]). Dies motiviert die Definition

$$D = \sum S_{i,\text{Betrieb}}^k, C = \sum S_{j,\text{Versuch}}^k,$$

wobei i über alle Lastwechsel im Kundenbetrieb und j über alle Lastwechsel in einem Test bis zum Versagen laufen. Der Parameter k wird über Bauteilversuche (Wöhlerversuche) bestimmt. Details findet man in [1] für den häufigen Fall konstanter Amplituden und in [2] für den Fall von Wöhlerversuchen mit variablen Amplituden. Damit liefert jeder bis zum Bruch gefahrene Bauteilversuch mit einer beliebigen Lastzeitreihe $L(t)$ eine Beobachtung für die Festigkeit C .

Beobachtungen für die Beanspruchung sind in der Regel schwieriger zu erhalten. Hier spielt die große Varianz der Kundennutzung eine wichtige Rolle. Zur Bestimmung der Verteilung der Beanspruchung müssen Messungen unter typischen Belastungen durchgeführt werden, bei Nutzfahrzeugen beispielsweise Fahrten auf öffentlichen Straßen mit realistischen Beladungszuständen und Fahrweisen. Eine solche Messkampagne erfordert einen großen Aufwand bereits in der Planung. Man könnte zum Beispiel zufällig ausgewählte Fahrer und

zufällig ausgewählte Strecken vermessen in der Hoffnung, dass bei genügend hoher Anzahl von Messungen (viele Fahrer auf vielen Strecken mit verschiedenen Beladungszuständen) eine für die typische LKW-Belastung repräsentative Menge von Daten entsteht. Wegen der vielen verschiedenen Faktoren und damit der vielen möglichen Kombinationen von Fahrern, Fahrweisen, Strecken etc. erscheint diese Vorgehensweise bei der Messdatenerfassung aber nicht praktikabel. Meist werden deshalb gezielt das Fahrverhalten, die Beladungszustände und die gefahrenen Strecken (z. B. Autobahn, Landstraßen oder Stadtfahrten) variiert, um möglichst viele denkbare Kombinationen abgedeckt zu haben, die anschließend zu typischen Nutzungsszenarien kombiniert werden können. Diese Methodik wird hier nicht weiter vertieft, stattdessen sei auf [3] und [4] verwiesen.

3. Sensitivität der Ausfallwahrscheinlichkeit bzgl. Verteilungsparametern

Ein Ausfall ist dann zu erwarten, wenn die Beanspruchung höher als die Festigkeit ist. Deshalb gilt für die Ausfallwahrscheinlichkeit $p_A = P(D > C) = P(C - D < 0)$. Für die konkrete Berechnung braucht man die Verteilungsfunktion der Differenz $C - D$. Hat man Verteilungen $D \sim F_D$ und $C \sim F_C$ für Beanspruchung und Festigkeit geschätzt, so kann man aus den zugehörigen Dichten f_D, f_C mittels Faltung die Dichte und Verteilungsfunktion der Differenz $C - D$ bestimmen. Unabhängigkeit von C und D vorausgesetzt folgt

$$p_A = F_{C-D}(0) = \int_{-\infty}^0 f_{C-D}(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} f_D(x) \left(\int_{-\infty}^x f_C(y) dy \right) dx = \int_{-\infty}^{\infty} f_D(x) F_C(x) dx .$$

Diese Überlegungen sind unabhängig von der konkreten Form der Verteilungen und behalten ihre Gültigkeit auch dann, wenn die Einzelverteilungen nur durch numerische Approximationen (z. B. aus einer Monte-Carlo-Methode) bekannt sind. Die Formel zeigt, dass zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit beide Verteilungsfunktionen vollständig bekannt sein müssen. Dies gilt insbesondere im Überlappungsbereich, also für große Beanspruchungen bzw. kleine Festigkeiten. Diese Methode bleibt auch dann gültig, wenn die logarithmierten Werte betrachtet werden. Wegen $p_A = P(C - D < 0) = P(\log(C) - \log(D) < 0)$ ändern sich dabei nur die Verteilungsfunktionen bzw. Dichten, man verwendet also in diesem Fall Modelle für $f_{\log(D)}, f_{\log(C)}, F_{\log(D)}, F_{\log(C)}$.

Unterstellt man Lognormalverteilungen für die Beanspruchung ($\log(D) \sim N(\mu_D, \sigma_D^2)$) und die Festigkeit ($\log(C) \sim N(\mu_C, \sigma_C^2)$), so ergibt sich die explizite Formel

$$p_A = P(\log(C) - \log(D) < 0) = \Phi\left(-\frac{\mu_C - \mu_D}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2}}\right)$$

wobei Φ die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung bezeichnet. Der Quotient $\frac{\mu_C - \mu_D}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2}}$ wird häufig als „Signal-Rausch-Verhältnis“ (im Englischen „signal-to-noise ratio“, SNR) bezeichnet. Problematisch ist die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten wegen der Sensitivität der Ergebnisse bzgl. der geschätzten Verteilungen. Die folgende Abbildung 2 verdeutlicht dies am Beispiel der Lognormalverteilung.

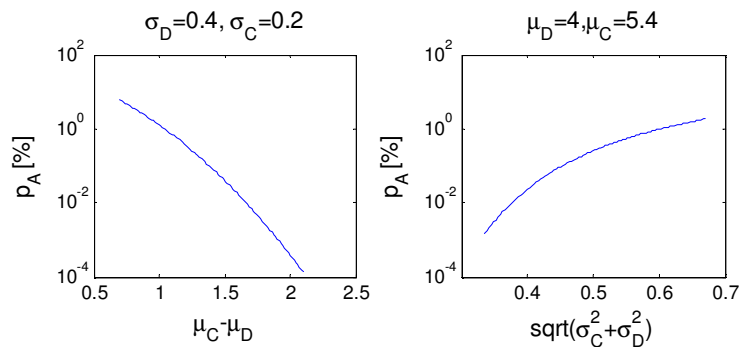


Bild 2: Ausfallwahrscheinlichkeit bei variierenden Parametern für Lognormalverteilungen. Links bei Veränderung des Abstandes, rechts als Funktion der Gesamtstreuung.

Bereits kleine Unsicherheiten in den geschätzten Parametern wirken sich sehr stark auf die berechnete Ausfallwahrscheinlichkeit aus. Hierbei ist noch nicht die Unsicherheit hinsichtlich der Verteilungsannahme selbst berücksichtigt. Zur Demonstration der Sensitivität von Quantilen bezüglich der Verteilungsannahme werden jeweils eine Lognormal- und eine Weibull-Verteilung mit gleicher Streuspanne (vgl. [1]) betrachtet und der Quotient zwischen den zugehörigen Quantilen berechnet. Variiert man dabei die Streuspannen sowie die Wahrscheinlichkeiten der Quantile, so ergibt sich das folgende Bild:

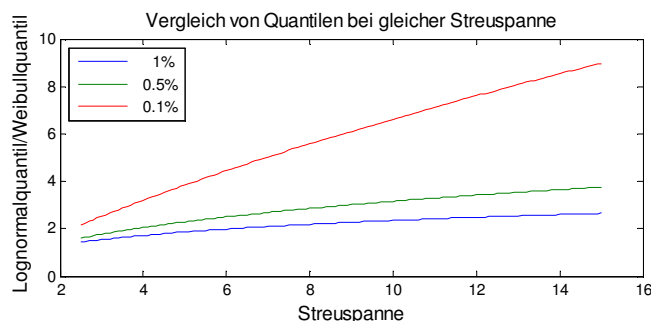


Bild 3: Quotient der Quantile von Lognormal- und Weibull-Verteilungen mit gleicher Streuspanne.

Wie man sieht wachsen die Unterschiede mit wachsender Streuspanne. Die 1%-Quantile unterscheiden sich dabei höchstens um einen Faktor 2. Extremere Quantile weisen allerdings einen wesentlich höheren Faktor auf. So liegt beispielsweise der Faktor für das 0.1% Quantil schon zwischen 2 und 8. Abbildung 4 untersucht die Streuung der Quantilschätzer aufgrund des Stichprobenumfangs. Aus einer lognormalverteilten Population wurden mehrfach Stichproben vom Umfang 12 gezogen, daraus eine Lognormal- oder eine Weibull-Verteilung geschätzt und aus diesen Verteilungen die 1%-Quantile berechnet.

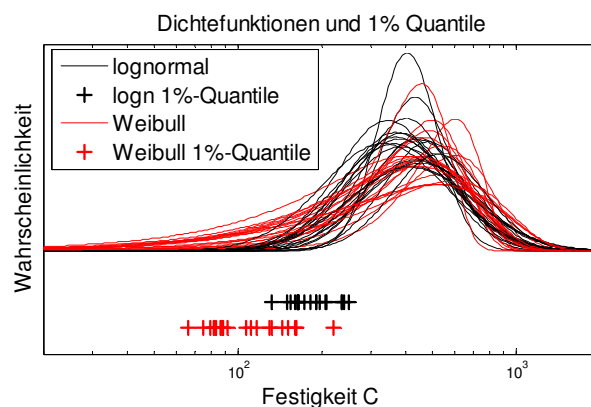


Bild 4: Lognormal- und Weibull-Verteilungen und zugehörige 1%-Quantile geschätzt aus 20 lognormal-verteilten Stichproben vom Umfang $n=12$.

Auch hier kann aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs von $n=12$ die korrekte Verteilung (in diesem Fall Lognormal) nicht aus den Daten allein ermittelt werden. Ob eine bestimmte Verteilungsfamilie geeignet ist, kann prinzipiell mit geeigneten statistischen Tests geprüft werden. Eine Unterscheidung zwischen den häufig verwendeten Verteilungsfamilien Lognormal und Weibull ist dabei aber erst mit genügend großem Stichprobenumfang ($n > 50$) möglich. In den meisten Fällen muss deshalb die Wahl der Verteilungsfamilie aufgrund von Erfahrung und ohne eine statistisch signifikante Verifikation erfolgen. Dies wird im Wesentlichen auch in [5] bestätigt, wo die Frage nach der Verteilungsfamilie detailliert beschrieben und anhand von Beispielen aus dem Nutzfahrzeug- und Baumaschinenbereich untersucht wird.

4. Methoden der Versuchsplanung

Vor der Absicherung der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Unsicherheiten der geschätzten Ausfallwahrscheinlichkeiten durch empirische Methoden müssen zunächst einige grundlegende Ergebnisse der Planung von Lebensdauerversuchen bereitgestellt werden. Ausgangspunkt ist ein Test mit bestimmter Länge und einer bestimmten Anzahl von

Probanden, indem nachgewiesen werden soll, dass das 1%-Quantil der Festigkeit eines Bauteils mindestens einem bestimmten Sollwert entspricht. Die Aussage muss mit einer Konfidenz von z.B. 95% getroffen werden.

Ohne Annahme über die Verteilung der Festigkeit ist ein solcher Nachweis nur mit einem sehr hohen Stichprobenumfang zu leisten. Insbesondere ist durch die Verlängerung von Tests über die nachzuweisende Sollfestigkeit hinaus keine Verbesserungen zu erzielen. Dies gelingt erst auf Basis einer Verteilungsannahme (häufig Lognormal oder Weibull) und einer Abschätzung der Streuung. Ist man bereit eine solche Annahme zu treffen, so kann mit Hilfe der statistischen Testtheorie berechnet werden, wie viele Probanden wie lange zu prüfen sind, um den Nachweis mit der geforderten Konfidenz zu erbringen. Je extremer das nachzuweisende Quantil bzw. je höher die gewünschte Konfidenz ist, desto größer ist der erforderliche Stichprobenumfang. Die mit vertretbarem Aufwand nachweisbare Wahrscheinlichkeit β (also z.B. $\beta = 1\%$) kann deshalb nicht beliebig klein gewählt werden. Die Grundzüge der Methodik findet man z.B. in [6] oder in [7], Verfeinerungen mit aktuellen mathematischen Methoden in [8]. Wie unten deutlich werden wird braucht man zur Herleitung einer Erprobungslast neben der Beanspruchungsverteilung auch eine Abschätzung der Streuung der Festigkeit und den Wahrscheinlichkeitswert β des nachweisbaren Quantils. Dies bedeutet, dass eine Zusammenarbeit zwischen Versuch und dem für die Kundenbeanspruchung verantwortlichen Bereich notwendig ist.

5. Kombination statistischer und empirischer Methoden

In diesem Abschnitt wird eine Modifikation einer in [9] beschriebenen Methode entwickelt, die berücksichtigt, dass die Kundenverteilung der Beanspruchung nur bis zu einem gewissen Quantil α (z. B. 90%) mit ausreichender Sicherheit berechnet werden kann. Bei der Festigkeit wird angenommen, dass ein bestimmtes Quantil β (z. B. 10%) der Verteilung mit ausreichender Konfidenz nachgewiesen werden kann (vgl. Abschnitt 4).

Im Folgenden bezeichnen τ_C, τ_D die Standardabweichungen, sowie $q_{\beta,C}, q_{\alpha,D}$ die Quantile von Festigkeit und Beanspruchung. Dabei werden für C, D die Logarithmen zur Basis 10 von Festigkeit und Beanspruchung betrachtet. Es seien α eine moderate Wahrscheinlichkeit für die Beanspruchung (nicht zu groß, z.B. $\alpha = 90\%$) und β eine moderate Wahrscheinlichkeit für die Festigkeit (nicht zu klein, z.B. $\beta = 10\%$), so dass das α -Quantil der Last und

das β -Quantil der Festigkeit ausreichend zuverlässig angeben werden können. Zur Absicherung gegen Ausfälle wird $q_{\beta,C} - q_{\alpha,D} \geq \log_{10}(S)$ gefordert, d.h. zwischen den Quantilen soll ein ausreichender Sicherheitsabstand $\log_{10}(S) > 0$ liegen. Mit einem Schätzer $\hat{q}_{\alpha,D}$ für das Quantil der Beanspruchungsverteilung und einem Schätzwert für den Sicherheitsabstand erhält man die Bedingung

$$q_{\beta,C} \geq \hat{q}_{\alpha,D} + \log_{10}(\hat{S}),$$

die im Lebensdauerversuch (vgl. Abschnitt 4) zu überprüfen ist.

Als Schätzer für τ_C werden häufig Werte $\hat{\tau}_C$ aus der einschlägigen Literatur über Materialparameter (siehe etwa [1]) verwendet oder, es wird auf erfahrungsbasierte Werte im Haus zurückgegriffen. Als Schätzer für τ_D können neben dem „Standardschätzer“

$\hat{\tau}_D^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ (wobei die $x_i, i=1, \dots, n$ Beobachtungen für D bezeichnen) auch andere Definitionen verwendet werden, z. B.

$$\hat{\tau}_D := \frac{\hat{q}_{\alpha,D} - \hat{q}_{50\%,D}}{\Phi^{-1}(\alpha)}$$

wobei Φ^{-1} die Umkehrung der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung ist. Dieser Ansatz beruht darauf, dass für eine normalverteilte Zufallsvariable $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ $q_{\alpha,X} = \mu + \sigma \cdot \Phi^{-1}(\alpha) = q_{50\%,X} + \sigma \cdot \Phi^{-1}(\alpha)$ gilt. Für eine normalverteilte Last ist $\hat{\tau}_D$ also ein konsistenter Schätzer für die Standardabweichung mit den Vorteilen a) die Streuung der Last „nach unten“, die hier nicht von Interesse ist, wird nicht berücksichtigt und b) der Schätzer ist robust dagegen, dass die Extreme der Lastverteilung nach oben nicht bekannt sind.

Der Ansatz zur Bestimmung des Sicherheitsfaktors S beruht auf der Annahme, dass die Normalverteilung in gewissen Grenzen eine gute Approximation für die wahren Verteilungen darstellt und daraus zumindest eine untere Schranke bestimmt werden kann. Zur Herleitung dieser Schranke wird eine obere Schranke γ für die Ausfallwahrscheinlichkeit festgelegt. Dieser Wert hängt davon ab, ob es sich um Funktions- oder um sicherheitskritische Bauteile handelt (siehe Abschnitt 7). Im Normalverteilungsmodell kann man die Ausfallwahrscheinlichkeit explizit berechnen (vgl. Abschnitt 3) und aus der oberen Schranke γ einen Mindestabstand für die Quantile ableiten. Man erhält damit die Bedingung

$$\log_{10}(S) \geq \log_{10}(L_S) := \Phi^{-1}(1-\gamma)\sqrt{\tau_C^2 + \tau_D^2} - \Phi^{-1}(\alpha)\tau_D + \Phi^{-1}(\beta)\tau_C.$$

Falls der Abstand der Quantile diese Bedingung erfüllt, ist im Falle der Normalverteilung auch die gesetzte Ausfallwahrscheinlichkeit gegeben.

Es gibt aber zwei Gründe, den Sicherheitsabstand S größer als diese Schranke zu wählen, nämlich a) die Approximation durch die Normalverteilung ist umso schlechter, je kleiner γ ist und b) für sicherheitskritische Bauteile wird ein Ausfall selbst im 1 ppm Bereich nicht toleriert. Eine empirische Korrektur des Sicherheitsfaktors L_S ist gegeben durch den Ansatz

$$\hat{S} = \hat{L}_S \cdot K.$$

Dabei ist \hat{L}_S gemäß obiger Formel aus den Schätzern für die Streuungen zu berechnen und K ist ein rein empirisch festgelegter Sicherheitsfaktor, der alle Restunsicherheiten, also die Unsicherheiten in den Streuungsschätzungen und die Unsicherheiten in den beiden Verteilungsannahmen für Beanspruchung und Festigkeit abdecken muss. Dieser Ansatz entspricht im Wesentlichen dem Vorschlag aus der Arbeit [9]. Dort werden allerdings keine Schätzungen für die Quantile, sondern für die Mittelwerte von D, C verwendet.

Liegen weitergehende Kenntnisse über die Verteilungen vor, so kann der Ansatz verfeinert werden. Als Beispiel sei dazu der in [3] beschriebene Fall von LKW Beanspruchungen betrachtet. Hier wird angedeutet, wie aus umfangreichen Messungen und einer Monte-Carlo-Technik beliebig viele Kundenbeanspruchungen simuliert werden können. Dadurch ist im Prinzip die Kundenverteilung bekannt (natürlich nur mit den Unsicherheiten, die aus der zugrunde liegenden Datenbasis und der Annahmen im Simulationsprozess resultieren) und es können neben den Quantilen und der Streuung weitere Eigenschaften wie z. B. die Schiefe oder die Kurtosis (siehe z. B. [10]) abgelesen werden. Diese Eigenschaften können als Maß für die Abweichung von der Normalverteilungsannahme interpretiert und zur Berechnung eines Korrekturfaktors \hat{V}_S verwendet werden. Der verfeinerte Ansatz lautet

$$\hat{S} = \hat{L}_S \cdot \hat{V}_S \cdot K,$$

wobei die Größe \hat{V}_S als Absicherung gegen den Approximationsfehler interpretiert werden kann, der sich aus der Verwendung der Normalverteilung ergibt.

Erste Anwendungen bei Daimler und die im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Beispielrechnungen mit synthetischen Daten wurden u. a. mit einer Korrektur der Form

$\hat{V}_S = 1 + \max(g_{2,+}, 0)$ durchgeführt, wobei für die Berechnung von $g_{2,+}$ nur die Daten oberhalb des Median verwendet wurden, das heißt

$g_{2,+} = \frac{m_{4,+}}{m_{2,+}^2} - 3$, $m_{k,+} = \frac{2}{n} \sum_{x_i > q_{50\%,D}} (x_i - q_{50\%,D})^k$. Diese Form der Korrektur ist mathematisch nicht

zwingend. Andere Formen, die beispielsweise auf der Schiefe der Verteilung beruhen, sind denkbar. Ob eine solche Korrektur durchgeführt wird und wie der Korrekturansatz im Detail gewählt werden sollte hängt von der Datenlage ab und kann bisher nicht abschließend beurteilt werden (vgl. dazu auch Abschnitt 7).

6. Beispielhafte Anwendungen

Zur Untersuchung der Eigenschaften der vorgeschlagenen Methode werden Beanspruchungsdaten im Rechner aus gemischten Normalverteilungen mit unterschiedlichen Verhältnissen zwischen den Streuungen und Mittelwerten simuliert. Die Verwendung von $\hat{S} = \hat{L}_S$ alleine würde hier zu falschen Ausfallwahrscheinlichkeiten führen. Für die Festigkeit wird eine Normalverteilung mit Streuung $\tau_C = 0.2$ verwendet. Die Lage dieser Verteilung wird so bestimmt, dass sich mit der vorgegebenen Beanspruchungsverteilung nach der Formel in Abschnitt 3 eine Ausfallwahrscheinlichkeit von $\gamma = 10^{-6}$ ergibt. Schließlich werden aus den Verteilungen die Quantile $q_{90\%,D}$, $q_{10\%,C}$ berechnet. Damit kann die Differenz $S = q_{10\%,C} - q_{90\%,D}$ als „wahrer“ Sicherheitsfaktor interpretiert werden, der zur gewünschten Ausfallwahrscheinlichkeit führt.

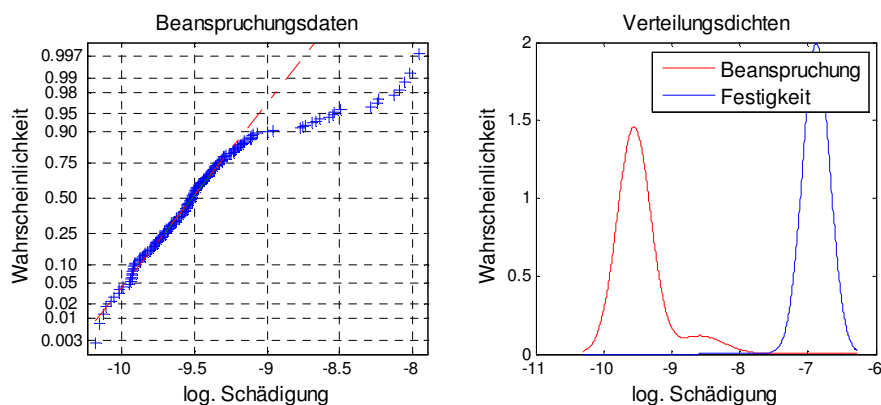


Bild 5: Links: 200 Daten aus einer gemischten Normalverteilung im Gaußpapier.
Rechts: Die Dichten der log. Beanspruchung und der log. Festigkeit.

Aus den gewählten Beanspruchungsverteilungen werden per Zufallsgenerator jeweils Stichproben der Größe $n = 200$ gezogen und die vorgeschlagene Methode angewandt. In

Abbildung 5 sind beispielhaft die Festigkeitsverteilung und eine Beanspruchungsverteilung (rechts) mit großem Gewicht im rechten Rand dargestellt. Links sind 200 Daten aus der Verteilung im Gaußpapier abgebildet. Man erkennt deutlich die Abweichung von der Normalverteilung. In Abbildung 6 sind die Quotienten zwischen exakten und geschätzten Sicherheitsfaktor für verschiedene Beanspruchungsverteilungen (nach aufsteigender Schiefe von links nach rechts geordnet) dargestellt.

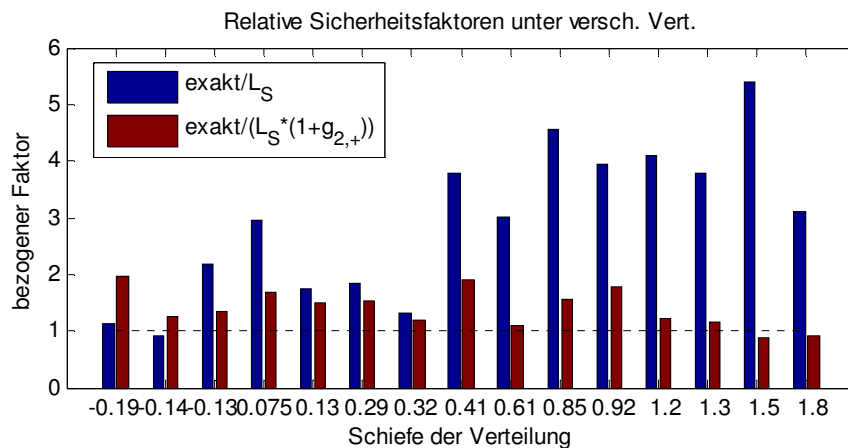


Bild 6: Quotient von exaktem und geschätztem Sicherheitsfaktor.

Dabei werden die Ergebnisse der Methode auf reiner Normalverteilungsannahme ($\hat{S} = \hat{L}_S$) und mit Korrektur $\hat{S} = \hat{L}_S \cdot (1 + g_{2,+})$ verglichen. Die Quotienten können als die empirischen Faktoren K interpretiert werden, die aufgrund der Abweichung von der Normalverteilung und der Schätzunsicherheiten aus den gezogenen Daten notwendig sind, um die gewünschte Ausfallwahrscheinlichkeit zu garantieren. Wie man sieht hängt K im Falle der einfachen Korrektur $\hat{S} = \hat{L}_S$ stark von der Beanspruchungsverteilung ab. Um auch für die rechtsschiefen Verteilungen konservativ zu sein muss der empirische Anteil etwa $K = 6$ gewählt werden, was allerdings für die Verteilungen mit geringer Schiefe sehr konservativ ausfällt. Aufgrund der Korrektur ist nur noch ein empirischer Anteil von maximal $K = 2$ notwendig.

Diese Beispiele zeigen, dass der empirische Anteil K umso größer gewählt werden muss, je größer die Unsicherheiten sind bzw. je weniger über die Verteilungen als bekannt vorausgesetzt werden kann. K deckt hier nur die Unsicherheiten bzgl. der Beanspruchung ab, da die Verteilung der Festigkeit als bekannt und konstant angenommen wurde.

Im Bereich der Nutzfahrzeuge bei Daimler wird die Methode derzeit erprobt. Aufgrund der in [3] beschriebenen Vorgehensweise bzgl. Umfang und Auswertung von Messkampagnen liegen relativ detaillierte Kenntnisse über die Beanspruchungsverteilung vor, so dass die Varianten mit Schiefen- oder Kurtosiskorrektur erfolgversprechend erscheinen. Die folgende Abbildung 7 zeigt Simulationsergebnisse (vgl. dazu [3]) für 3 Radkraftkanäle, jeweils auf die Mittelwerte normiert.

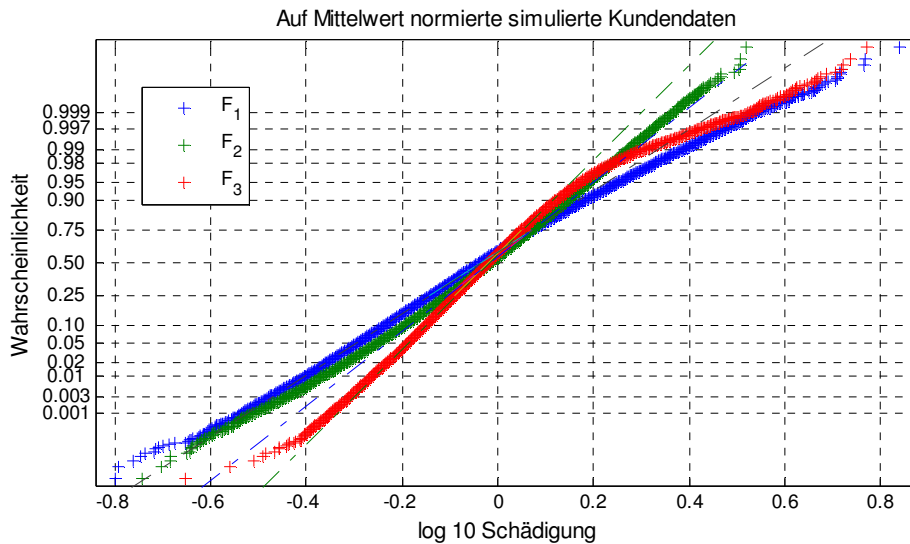


Bild 7: Bei Daimler Nutzfahrzeuge simulierte Kundenbeanspruchungen für 3 Messradkräfte.

Man erkennt, dass die Streuung des ersten Kanals (blau) größer als bei den anderen Kanälen ist. Die Abweichung von der Normalverteilung ist bei der dritten Kraft (rot) am größten. In Abbildung 8 sind die berechneten Sicherheitsfaktoren mit und ohne Kurtosiskorrektur dargestellt.

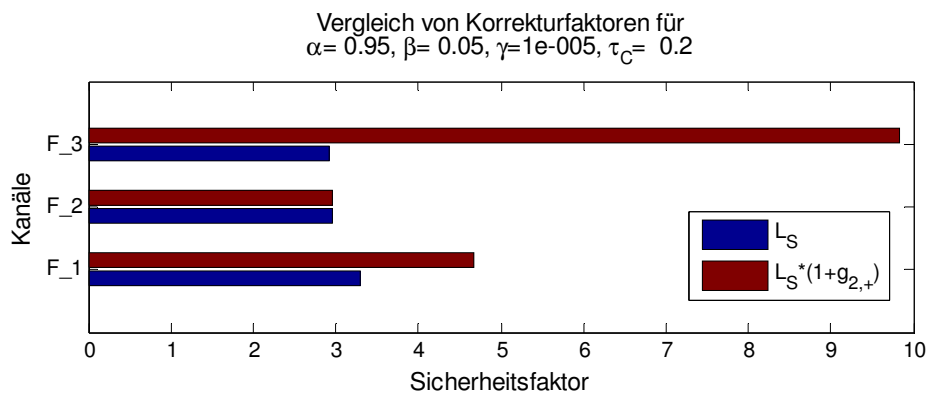


Bild 8: Sicherheitsfaktoren für die 3 Kraftkanäle

Die Parameter $\alpha = 95\%$, $\beta = 5\%$, $\gamma = 10^{-5}$, $\hat{\tau}_c = 0.2$ sind für die Darstellung hier fiktiv gewählt. Der auf der Normalverteilungsannahme beruhende Faktor \hat{L}_S liegt in diesem Fall etwa bei 3 für alle Kanäle. Die Kurtosiskorrektur für Kanal 2 entfällt, da diese Daten recht gut normalverteilt sind. Für Kanal 2 ergibt sich eine relativ geringe Erhöhung des Faktors auf etwa 4.5 und für Kanal 3 erhöht sich wegen der deutlichen Schiefe der Verteilung der Faktor beinahe auf 10. Der rein empirische Anteil K ist hier nicht dargestellt. Er muss so festgelegt werden, dass die Unsicherheiten im Kundensimulationsprozess und in der Verteilung der Festigkeit abgedeckt werden.

7. Zusammenfassung und Diskussion

Die vorgeschlagene Methode zur Herleitung einer Erprobungslast aus Schätzungen über die Beanspruchungs- und Festigkeitsverteilung ist algorithmisch einfach und benötigt keine aufwändigen Rechnungen. Sie kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

1. Abschätzung von Quantilen der Beanspruchung $\hat{q}_{\alpha,D}$, $\hat{q}_{50\%,D}$ (dieser Schritt ist nicht Gegenstand dieser Arbeit und kann im Einzelnen durchaus sehr schwierig sein).
2. Abschätzung der Streuung der Beanspruchung mittels $\hat{\tau}_D = \frac{\hat{q}_{\alpha,D} - \hat{q}_{50\%,D}}{\Phi^{-1}(\alpha)}$.
3. Berechnung von $\log_{10}(\hat{L}_S) = \Phi^{-1}(1-\gamma)\sqrt{\tau_c^2 + \tau_D^2} - \Phi^{-1}(\alpha)\tau_D + \Phi^{-1}(\beta)\tau_c$ als untere Schranke des Sicherheitsfaktors basierend auf Normalverteilungsannahme.
4. Gegebenenfalls Berechnung einer zusätzlichen Korrektur, z. B. $\hat{V}_S = 1 + g_{2,+}$ (nur bei ausreichender Kenntnis der Beanspruchungsverteilung).
5. Berechnung des Gesamtsicherheitsfaktors $\hat{S} = \hat{L}_S \cdot K$ oder $\hat{S} = \hat{L}_S \cdot \hat{V}_S \cdot K$.
6. In einem Prüfstandtest ist damit nachzuweisen, dass das β -Quantil der Festigkeit die Beziehung $q_{\beta,C} \geq \hat{q}_{\alpha,D} + \log_{10}(\hat{S})$ erfüllt.

Die Herausforderung beim Einsatz der Methode liegt in der Wahl der Parameter:

- α : Auch wenn zur Auslegung des Bauteils besonders hohe Beanspruchungen interessant sind sollte diese Wahrscheinlichkeit nur so hoch gewählt werden, dass die Abschätzung $\hat{q}_{\alpha,D}$ des zugehörigen Quantils noch robust genug erfolgen kann. In

vielen Fällen scheint ein Wert von 90% oder höchstens 95% sinnvoll zu sein. Noch höhere Werte sollten nur dann gewählt werden, wenn genügend Daten zur Schätzung vorliegen.

β : Diese Wahrscheinlichkeit ist gemäß den Möglichkeiten im Versuch zu wählen (vgl. Abschnitt 4).

γ, K : Die Wahl dieser Parameter hängt u. a. von der Beurteilung des Bauteils ab. Handelt es sich nicht um ein sicherheitskritisches Bauteil, so können die Werte nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Garantiekosten, Reputation, ...) gewählt werden, beispielsweise $\gamma = 10^{-3}$, $K = 2$. Handelt es sich dagegen um ein sicherheitskritisches Bauteil, so ist eine endliche Ausfallwahrscheinlichkeit eigentlich nicht akzeptabel. In diesem Fall können beispielsweise die Kombinationen $\gamma = 10^{-5}$, $K = 4$ oder $\gamma = 10^{-6}$, $K = 3$ gewählt werden. Die Ausfallfreiheit wird dabei über die relativ großen Werte von K sichergestellt werden. Die konkrete Wahl der Werte muss allerdings mit der vorhandenen Erfahrung abgeglichen werden (siehe unten).

Wie in Abschnitt 6 bereits erwähnt wird bei Daimler im Bereich der Nutzfahrzeuge die Methode derzeit erprobt. Die damit errechneten Erprobungslasten werden mit den bisherigen Prüfstandstests für die Bauteilfreigabe verglichen um Erfahrungen über die Wahl der Parameter γ, K zu sammeln. Führt man dies für bereits freigegebene und im Betrieb erfolgreiche Bauteile durch, so erhält man Werte für γ, K , die man als „sichere Wahl“ einstufen kann. Bei Bauteilen mit Problemen im Kundenbetrieb erhält man dagegen Werte, die als zu klein einzustufen sind. In beiden Fällen kann die Frage der kundenkorrelierten Dimensionierung neu beleuchtet und die bisherige Erprobung im Sinne der neuen Methode interpretiert bzw. angepasst werden.

Dieser Artikel versteht sich nicht als die Darstellung einer abgeschlossenen Methode sondern vielmehr als ein Diskussionsbeitrag in dem sensiblen Bereich der Absicherung sicherheitsrelevanter Komponenten. Gerade zur Erfüllung sich widersprechender Ziele wie der Verbrauchs- und Kostenoptimierung einerseits und hoher Zuverlässigkeit andererseits mit ihren technischen und juristischen Aspekten ist eine Vorgehensweise hilfreich, die klar herausarbeitet, wie weit „rein statistische“ Methoden tragen und wie und wo sie durch Erfahrung und empirische Ansätze ergänzt werden müssen.

Literatur

- [1] E. Haibach. *Betriebsfestigkeit*. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin (2002)
- [2] T. Svensson, P. Johannesson, J. de Maré. *Fatigue life prediction based on variable amplitude tests—methodology*. Int. Journal of Fatigue, Vol. 27, Issue 8 (2005)
- [3] K. Dressler, M. Speckert, R. Müller, C. Weber. *Customer Loads Correlation in Truck Engineering*. Congress Proceedings FISITA 2008, World Automotive Congress, Munich 2008
- [4] A. Streit, M. Speckert, K. Dressler, J. Lichter, T. Zenner, P. Bach. *Anwendung statistischer Methoden zur Erstellung von Nutzungsprofilen für die Auslegung von Mobilbaggern*. VDI Fachtagung Technische Zuverlässigkeit, Leonberg 2009
- [5] T. Torstensson. *Reliability in fatigue - On the choice of distributions in the load strength model*. Master thesis, Department of Mathematics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden (2004)
- [6] VDA-Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 3. *Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten, 2*
- [7] B. Bertsche, G. Lechner. *Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 3. Auflage 2004
- [8] S. Feth. *Generalising Success Runs to Partially-Passed Component Counting*. Dissertation TU Kaiserslautern, 2009 (erscheint im Sommer 2009)
- [9] M. Karlsson, B. Johannesson, J. de Maré, T. Svensson. *Verification of safety critical components*. VDI Berichte 1876, 215-229 (2005)
- [10] J. Hartung. *Statistik*. R. Oldenbourg Verlag München Wien (2002)

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. Lentens, 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 renement, 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. Reinle-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. Ettrich
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 Swap-tion and Constant Maturity Credit Default Swap valuation
Keywords: LIBOR market model, credit risk, Credit Default Swap-tion, 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 multiaxial 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)
164. I. Correia, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama
Anwendung statistischer Methoden zur Erstellung von Nutzungsprofilen für die Auslegung von Mobilbaggern
Keywords: Capacitated Hub Location, MIP formulations (10 pages, 2009)
165. F. Yaneva, T. Grebe, A. Scherrer
An alternative view on global radiotherapy optimization problems
Keywords: radiotherapy planning, path-connected sub-levelsets, modified gradient projection method, improving and feasible directions (14 pages, 2009)
166. J. I. Serna, M. Monz, K.-H. Küfer, C. Thieke
Trade-off bounds and their effect in multi-criteria IMRT planning
Keywords: trade-off bounds, multi-criteria optimization, IMRT, Pareto surface (15 pages, 2009)
167. W. Arne, N. Marheineke, A. Meister, R. Wegener
Numerical analysis of Cosserat rod and string models for viscous jets in rotational spinning processes
Keywords: Rotational spinning process, curved viscous fibers, asymptotic Cosserat models, boundary value problem, existence of numerical solutions (18 pages, 2009)
168. T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama
An LP-rounding heuristic to solve a multi-period facility relocation problem
Keywords: supply chain design, heuristic, linear programming, rounding (37 pages, 2009)
169. I. Correia, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama
Single-allocation hub location problems with capacity choices
Keywords: hub location, capacity decisions, MILP formulations (27 pages, 2009)
170. S. Acar, K. Natcheva-Acar
A guide on the implementation of the Heath-Jarrow-Morton Two-Factor Gaussian Short Rate Model (HJM-G2++)
Keywords: short rate model, two factor Gaussian, G2++, option pricing, calibration (30 pages, 2009)
171. A. Szimayer, G. Dimitroff, S. Lorenz
A parsimonious multi-asset Heston model: calibration and derivative pricing
Keywords: Heston model, multi-asset, option pricing, calibration, correlation (28 pages, 2009)
172. N. Marheineke, R. Wegener
Modeling and validation of a stochastic drag for fibers in turbulent flows
Keywords: fiber-fluid interactions, long slender fibers, turbulence modelling, aerodynamic drag, dimensional analysis, data interpolation, stochastic partial differential algebraic equation, numerical simulations, experimental validations (19 pages, 2009)
173. S. Nickel, M. Schröder, J. Steeg
Planning for home health care services
Keywords: home health care, route planning, meta-heuristics, constraint programming (23 pages, 2009)
174. G. Dimitroff, A. Szimayer, A. Wagner
Quanto option pricing in the parsimonious Heston model
Keywords: Heston model, multi asset, quanto options, option pricing (14 pages, 2009)
174. G. Dimitroff, A. Szimayer, A. Wagner
Model reduction of nonlinear problems in structural mechanics
Keywords: flexible bodies, FEM, nonlinear model reduction, POD (13 pages, 2009)

176. M. K. Ahmad, S. Didas, J. Iqbal

Using the Sharp Operator for edge detection and nonlinear diffusion

Keywords: maximal function, sharp function, image processing, edge detection, nonlinear diffusion

(17 pages, 2009)

177. M. Speckert, N. Ruf, K. Dreßler, R. Müller, C. Weber, S. Weihe

Ein neuer Ansatz zur Ermittlung von Erprobungslasten für sicherheitsrelevante Bauteile

Keywords: sicherheitsrelevante Bauteile, Kundenbeanspruchung, Festigkeitsverteilung, Ausfallwahrscheinlichkeit, Konfidenz, statistische Unsicherheit, Sicherheitsfaktoren

(16 pages, 2009)

Status quo: December 2009