

## **Rechnergestützte Auslegungswerkzeuge für keramische Bauteile**

Bernd Ilzhöfer, Thomas Rathgeber, Albert Albers

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau

Die Arbeiten des Teilprojekts C5 „Rechnergestützte Auslegungswerkzeuge für keramische Bauteile“ gliedern sich in drei Schwerpunkte:

1. Berechnung von keramischen Bauteilen an den Demonstratoren
2. Entwicklung eines rechnergestützten Auslegungswerkzeugs zur Gestaltung von keramischen Bauteilen (Formoptimierung auf Ausfallwahrscheinlichkeiten)
3. Entwicklung eines Informations-, Modellierungs- und Konstruktionssystems

Anhand von konkreten konstruktiven Bauteilausführungen werden die Beanspruchungen im Friktionskontakt am Beispiel des CVT-Getriebes (Teilprojekt A1) untersucht. Dabei wird unter anderem das Schädigungsverhalten der Keramik (Schädigungsmodell aus Teilprojekt C3) berücksichtigt. Im Vorfeld der in A1 und C1 durchgeführten Prüfstandsversuche konnte mit diesen Untersuchungen die Sensitivität wesentlicher Parameter auf die Kontaktbelastung ermittelt werden.

Zur Gestaltung von keramischen Bauteilen wurde ein am Institut für Maschinenkonstruktionslehre entwickeltes Optimierungswerkzeug mit dem in Teilprojekt C4 weiterentwickelten Werkzeug zur statistischen Auswertung von Keramiken erweitert. Damit ist eine Homogenisierung der Versagenswahrscheinlichkeiten auf der Bauteiloberfläche durch eine automatische Geometrievariation möglich.

Das methodische Entwickeln von keramischen Produkten bedarf der kontinuierlichen Verfügbarkeit von Informationen (Werkstoffdaten, Gestaltungsrichtlinien etc.). Diese sollen dem Konstrukteur in einem Informations-, Modellierungs- und Konstruktionssystem bereitgestellt werden, das in diesem Teilprojekt erarbeitet wird. Die Erfahrungen und Ergebnisse aller Teilprojekte des Sonderforschungsbereichs 483 fließen in dieses System ein.

### **1. Einleitung**

Eine Hauptschwierigkeit beim Entwickeln von keramischen Bauteilen ist die Unsicherheit des Konstrukteurs bei der beanspruchungsgerechten Gestaltung. Die besonderen mechanischen Eigenschaften der Keramik erfordern eine dem Entwickler nicht immer vertraute Vorgehensweise, vor allem im Hinblick auf Dimensionierung und Auslegung. Insbesondere bei komplexen Belastungsarten, wie z.B. Friktionskontakten, überwiegt die Skepsis gegenüber diesem Werkstoff.

## 1. Statuskolloquium des SFB 483 am 22. Januar 2002 in Karlsruhe

Durch eine zuverlässige Modellierung und Simulation der Belastung sowie eine Analyse der sich daraus ergebenden Beanspruchungszustände können die Möglichkeiten und Grenzen des keramischen Werkstoffs aufgezeigt werden. Der Einsatz numerischer Methoden, speziell der Methode der Finiten Elemente, ist dabei ein wesentliches Element. Zur Untersuchung von typischen konstruktiven Ausführungen von Friktionsbauteilen wurde in dieser Arbeit das CVT-Getriebe aus dem Teilprojekt A1 herangezogen. Hieran können prinzipielle Belastungssituationen modelliert und untersucht werden.

Die werkstoffgerechte Konstruktion von keramischen Bauteilen setzt nicht nur die Kenntnis der Beanspruchung, sondern auch das Wissen um die statistische Verteilung der Fehler in der Keramik und der damit verbundenen Streuung der mechanischen Kenngrößen voraus [1]. Als charakteristische Größe zur Beschreibung des Versagens eines Bauteils reichen daher Beanspruchungen in Form von Vergleichsspannungen nicht mehr aus. Als Konsequenz ergibt sich daraus die Notwendigkeit zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit. Das am Institut entwickelte Werkzeug zur Formoptimierung von Bauteilen hat die Homogenisierung der Oberflächenspannungen als Ziel. Es werden dabei die genannten keramischen Eigenschaften vernachlässigt. Daher ist ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit dieses Gestaltungswerkzeug so zu erweitern, dass eine keramikgerechte Gestaltung in Form einer Homogenisierung von Überlebens- oder Versagensgrößen möglich ist.

Der Entwickler ist beim Gestalten mit keramischen Werkstoffen nicht nur auf die Ausführung der Gestalt beschränkt. Vielmehr benötigt er im gesamten Produktentwicklungsprozess keramikspezifisches Wissen. Die Bereitstellung dieses Wissens soll in einem Informations-, Modellierungs- und Auslegungssystem erfolgen, in das die Erfahrungen und Ergebnisse aus den verschiedenen Teilprojekten einfließen. Die Konzeption und Realisierung des Informationssystems wird in dieser Arbeit vorgestellt.

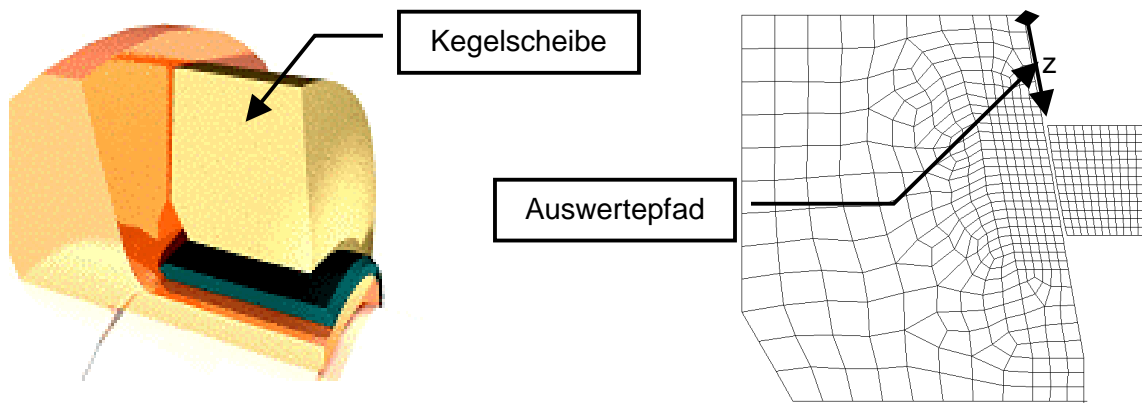
## 2. Berechnungen von keramischen Bauteilen

Als Beispiel zur Berechnung von Friktionssystemen mit keramischen Werkstoffen wurde das CVT-Getriebe aus dem Teilprojekt A1 herangezogen.

### 2.1 Zweidimensionale Kontaktuntersuchungen

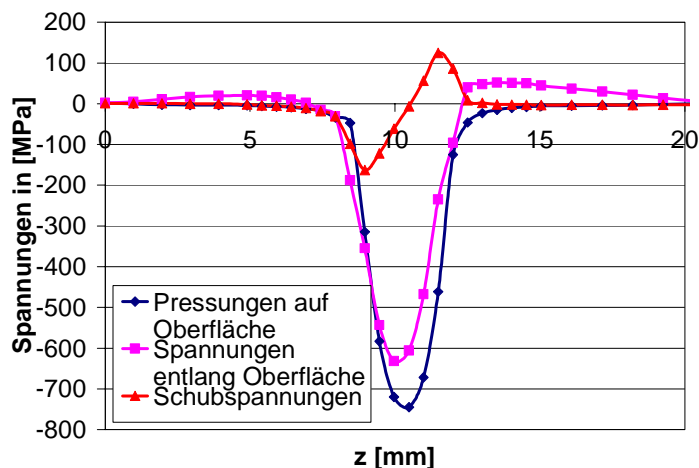
Zunächst wurden die Keramikscheibe (**Bild 1**) und das Wiedruckstück zweidimensional modelliert (**Bild 2**). Durch Variation von Geometrie- und Werkstoffdaten sowie Anpresskräften und Reibungszahlen wurden erste Untersuchungen im Vorfeld der Prüfstandsversuche durchgeführt.

Exemplarisch für die Untersuchungen ist der Verlauf der Spannungen in der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Kegelscheibe entlang dem in **Bild 2** eingezeichneten Pfad bei einer Anpresskraft des Wiedruckstücks von  $F=2.000\text{N}$  in **Bild 3** dargestellt. Diese Anpresskraft resultiert aus einem Anpressdruck der Kegelscheiben zueinander von etwa  $p=50\text{bar}$ .



**Bild 1:** Schnittmodell einer CVT-Scheibe **Bild 2:** Zweidimensionales FEM-Modell der CVT-Scheibe (Quelle Teilprojekt A1)

Die maximale Pressung beträgt für den zweidimensionalen Fall  $\sigma_{P,max}=-745\text{MPa}$ . Die maximale Zugspannung an der Kontaktzone  $\sigma_{Zug,max}=52\text{MPa}$  liegt aufgrund der Scheibenneigung und der daraus resultierenden Radialkomponente zur Scheibenmitte hin. Die Schubspannungen in der Oberfläche weisen einen Vorzeichenwechsel auf, da vereinfacht beschrieben das Material in



**Bild 3:** Spannungen auf der Scheibenoberfläche

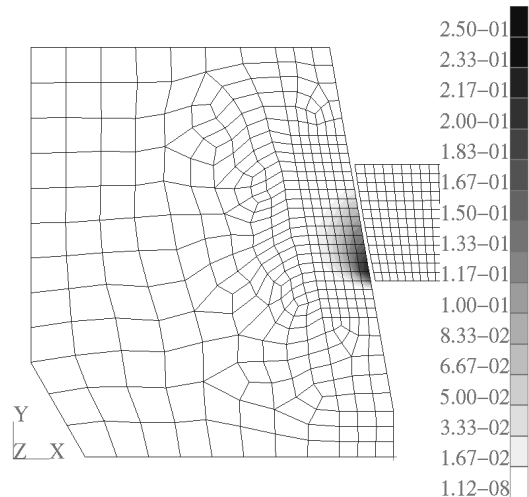
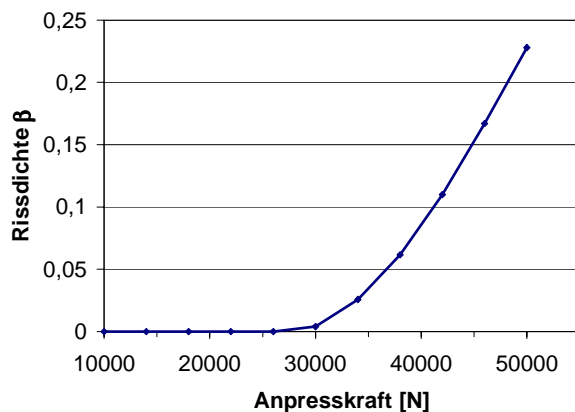
der Kontaktzone radial zur Seite gedrängt wird. Die maximale Schubspannung beträgt hierbei  $\tau_{max}=-163\text{MPa}$ . Die Beanspruchungen im Kontakt sind also relativ gering. Die quasistatische Betrachtung des Kontakts vernachlässigt allerdings mögliche dynamische Effekte, wie z.B. den Auftreffen des Wiegedruckstücks beim Einlauf in die Scheibe.

Das dynamische Verhalten des Getriebes ist zur Zeit Gegenstand weiterer Untersuchungen.

## 2.2 Schädigungsverhalten

Mit dem im Teilprojekt C3 entwickelten Schädigungsmodell wurden mit dem in Abschnitt 2.1 gezeigten Modell die Anpresskräfte des Wiegedruckstückes variiert. Ziel war dabei festzustellen, bei welchen Belastungen die Keramikscheiben erste Schädigungen aufzeigen.

**Bild 4** zeigt die Rissdichte (siehe Teilprojekt C3) bei zunehmender Anpresskraft. Es ist zu erkennen, dass erst ab einer Anpresskraft von ca.  $F=28.000\text{N}$  Schädigung auftritt. Ursache hierfür ist die hohe Schwellenspannung ( $\sigma_0=6.200\text{MPa}$ ) zur Schädigung der Keramik. In **Bild 5** ist die Schädigungsverteilung bei einer Anpresskraft von  $F=50.000\text{N}$  zu sehen. Dabei ist gut zu erkennen, dass die Schädigung im Bereich der unteren Kante des Bolzens auftritt. Ursache hierfür ist, dass der Bolzen an dieser Stelle aufgrund der hohen Anpresskraft in die Keramikscheibe eintaucht, worauf ein Kanteneffekt entsteht.



**Bild 4:** Verlauf der Rissdichte bei zu-nehmender Anpresskraft

**Bild 5:** Verteilung der Rissdichte bei einer Anpresskraft von  $F=50.000N$

### 2.3 Dreidimensionale Kontaktuntersuchungen

Erst mit der dreidimensionalen Betrachtung der am CVT-Getriebe vorliegenden Kontaktbelastung kann die dadurch erzeugte Beanspruchung ausreichend untersucht werden.

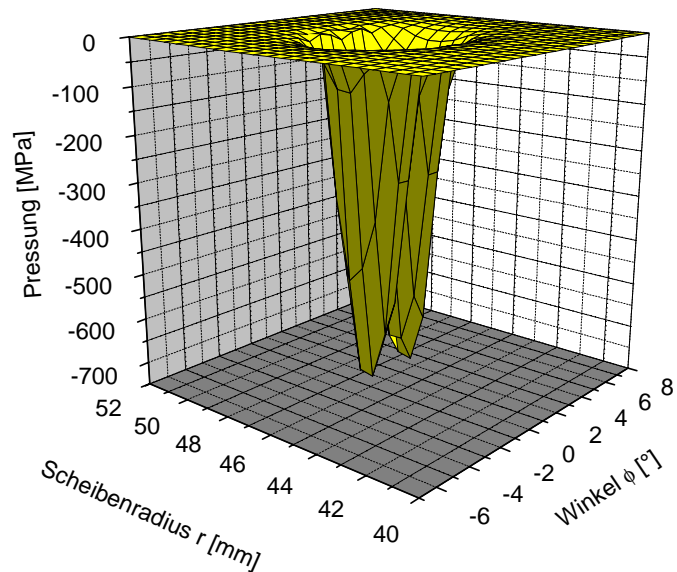
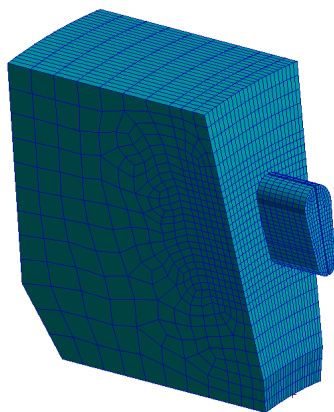
In **Bild 6** ist das FEM-Modell für die dreidimensionalen Kontaktuntersuchungen zu sehen. Dabei wurde von einer rotationssymmetrischer Belastung („Cyclic Symmetry“) der Scheibe durch die Wiegedruckstücke ausgegangen um Beanspruchungen durch benachbarte Wiegedruckstückpaare zu berücksichtigen.

Auch hier beträgt die Anpresskraft, wie in Abschnitt 2.1,  $F=2.000N$  pro Wiegedruckstück. Eine Momentenbelastung wird vernachlässigt.

Das **Bild 7** zeigt die Pressungsverteilung auf der Oberfläche der Keramikscheibe in Abhängigkeit des Scheibenradius und des Winkels  $\phi$ . Die Nulllage von  $\phi$  liegt hierbei in der Spiegelsymmetrieebene der Wiegedruckstücke.

In einem ersten Vergleich der dreidimensionalen Untersuchung stimmen die maximalen Pressungen in der Kontaktzone  $\sigma_{P,max}=-739MPa$  mit denen der zweidimensionalen Betrachtung ( $\sigma_{P,max}=-745MPa$ ) gut überein.

In weiteren Untersuchungen werden mit Randbedingungen aus dynamischen Getriebe-Simulationen die Schmierbereiche nach Hamrock und Dowson [2] des Friktionskontaktes am dreidimensionalen Modell identifiziert.



**Bild 6:** Dreidimensionales CVT-Modell

**Bild 7:** Druckverteilung auf der Oberfläche der Keramikscheibe

### 3 Formoptimierung von keramischen Bauteilen

Ziel des dritten Arbeitsschwerpunktes dieses Teilprojekts ist ein Werkzeug zur automatisierten Gestaltung von keramischen Bauteilen unter Berücksichtigung der keramikspezifischen Eigenschaften.

#### 3.1 Methode

Werden die o.g. keramikspezifischen Eigenschaften vernachlässigt, ist es mit Hilfe der parameterfreien Formoptimierung auf Basis der Methode der Finiten Elemente (FEM) möglich vorhandene Kerbspannungen zu reduzieren. Indirekt wird damit die Lebensdauer bzw. die globale Überlebenswahrscheinlichkeit erhöht [3].

Die Zielfunktion der Optimierung ist dabei die Homogenisierung der Spannungen auf der Bauteiloberfläche. Diese wird durch eine gewichtete Verschiebung  $\Delta U$  der FEM-Oberflächenknoten in Abhängigkeit der Differenz zwischen lokaler Vergleichspannung  $\sigma_{eq}$  und einem globalem Referenzwert  $\sigma_{eq,r}$  erreicht:

$$\Delta U_n = \alpha \left| \sigma_{eq} - \sigma_{eq,r} \right|^\kappa \text{sign}(\sigma_{eq} - \sigma_{eq,r}) \quad (1)$$

$\alpha$ ,  $\kappa$ , sind hierbei Gewichtungsfaktoren.

In **Bild 8**, links ist eine konventionelle Optimierungsschleife des am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau entwickelten Optimierungswerkzeugs zu sehen. Die in einem FEM-Lauf berechneten Spannungen gehen dabei in das Optimierungsmodul als Eingangsgrößen ein. Im Optimierer wird die skalare Vergleichsgröße  $\sigma_{eq}$  berechnet. Mit Gleichung (1) werden daraufhin die Koordinaten der Oberflächenknoten modifiziert und damit

ein neues FEM-Datei erzeugt. Mit der erneuten FEM-Berechnung schließt die Optimierungsschleife.

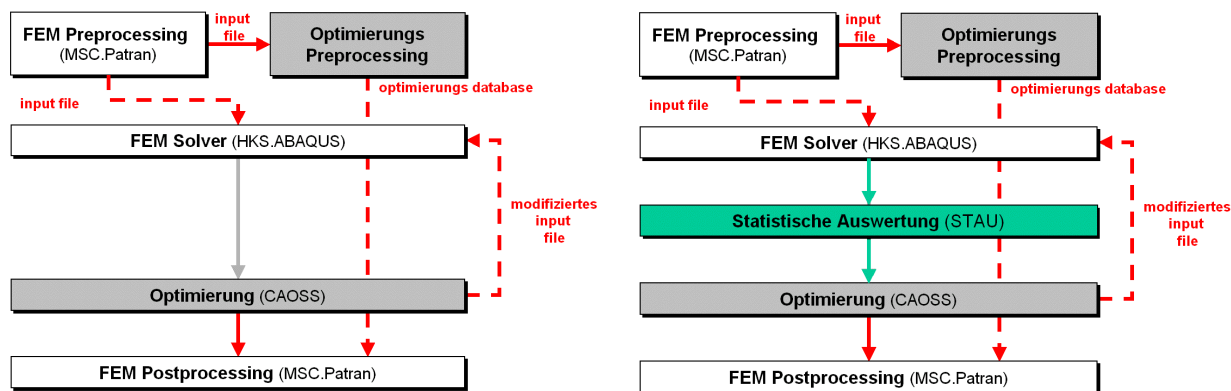
Für die Optimierung von keramischen Bauteilen ist es zunächst sinnvoll, Mehrachsigenkriterien zur Berechnung der Vergleichsspannung heranzuziehen. Diese basieren in der Regel auf einem allgemeinen mechanischen Kriterium, das das globale Bruchverhalten der Keramik beschreibt [4]. Diese Versagenskriterien vernachlässigen allerdings, dass das Versagen von bruchauslösenden stochastisch verteilten und orientierten Fehlern ausgeht.

Für eine keramikgerechte Formoptimierung ist es deshalb notwendig, anstelle einer Vergleichsspannung, eine skalare Größe heranzuziehen, die die oben genannten statistischen Eigenschaften ausreichend beschreibt.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit die Optimierungsschleife ergänzt. Es wurde zwischen FEM-Solver und Optimierungsmodul das Programm STAU\* zur statistischen Auswertung der Bauteilbeanspruchungen gesetzt (**Bild 8**, rechts).

Die Eingangsgröße des Optimierers ist nun, unter der Annahme des Bauteilversagens durch Volumenfehler die Versagenswahrscheinlichkeit  $P_{F,V}$ :

$$P_{F,V}(t) = 1 - \exp \left[ - \frac{1}{V_0} \int_{V_E} \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} \left( \max_{\tau \in [0;t]} \frac{\sigma_{eq}(\tau)}{\sigma_0} \right)^m d\Omega dV \right] \quad (2)$$



**Bild 8:** Datenfluss einer herkömmlichen Formoptimierungsschleife (links) und bei Formoptimierung auf Ausfallwahrscheinlichkeit (rechts)

### 3.2 Beispiel

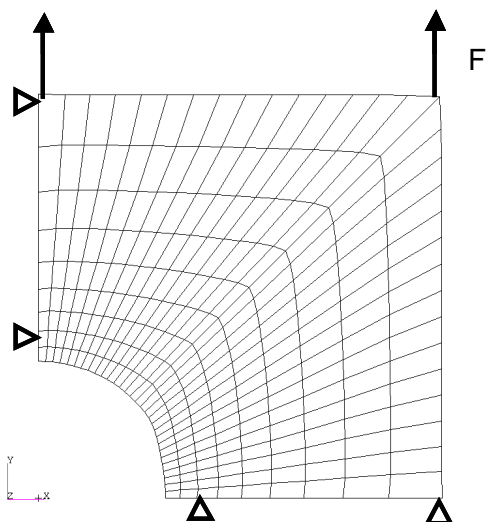
Anhand einer Lochscheibe wird die Durchführung der hier vorgestellten Methode aufgezeigt.

Unter Ausnutzung der Symmetrien wurde das in **Bild 9** dargestellte zweidimensionale Viertelmodell der Lochscheibe mit ebenem Spannungszustand optimiert. Die statistische Auswertung während der Optimierung erfolgte unter der Annahme, dass das Versagen von

\* STAU (statistische Auswertung) wurde am Institut für Materialforschung II entwickelt und wird im Teilprojekt C4 des Sonderforschungsbereichs weiterentwickelt

Volumenfehlern ausgeht. Als Versagenshypothese an den Fehlern wurde das Normalspannungskriterium herangezogen. Das unterkritische Risswachstum wurde ebenso berücksichtigt.

Die Zielfunktion der Optimierung war nun die Homogenisierung der lokalen Versagenswahrscheinlichkeiten, dem Ergebnis aus der statistischen Auswertung. Das Optimierungsgebiet wird durch die FEM-Knoten in der Bohrung repräsentiert. Während der Optimierung soll sich das Volumen der Lochscheibe nicht ändern.



**Bild 9:** FEM-Modell der Lochscheibe

In **Bild 10** (links) ist die Verteilung der elementbezogenen Überlebenswahrscheinlichkeiten  $P_S$ :

$$P_S = 1 - P_{F,V} \quad (3)$$

des Ausgangsmodells zu sehen. Dabei ist zu erkennen, dass im Kerbgrund die minimale lokale Überlebenswahrscheinlichkeit mit  $P_S=90,5\%$  auftritt. Die globale Überlebenswahrscheinlichkeit bei einer Anzahl von  $k$  Elementen  $P_{S,global}$ :

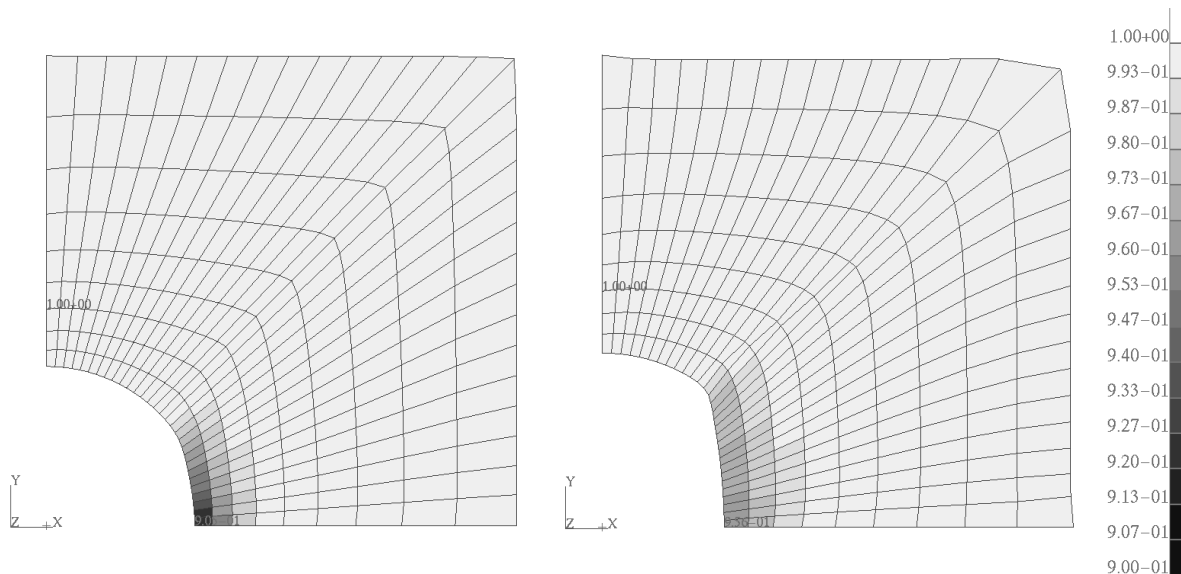
$$P_{S,global} = \prod_{j=1}^k P_S \quad (4)$$

beträgt unter diesen Randbedingungen  $P_{S,global}=31,6\%$ . An der Verteilung der Überlebenswahrscheinlichkeiten des optimierten Modells (**Bild 10**, rechts) ist zu erkennen, dass eine Homogenisierung der lokalen Überlebenswahrscheinlichkeiten stattgefunden hat. Die minimale lokale Überlebenswahrscheinlichkeit ist dann um  $5,1\%$  auf  $P_S=95,6\%$  gestiegen. Dadurch wird die globale Überlebenswahrscheinlichkeit auf  $P_{S,global}=38,2\%$  verbessert.

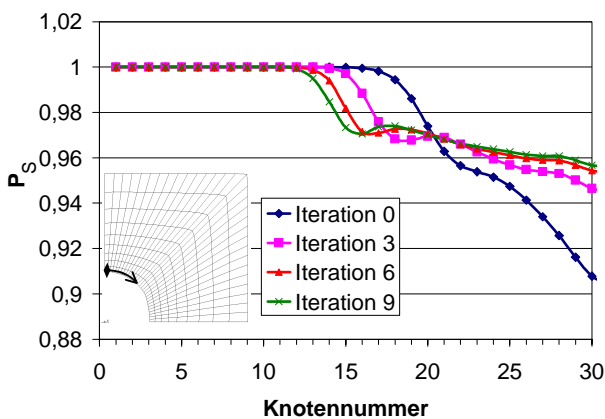
In **Bild 11** sind die lokalen elementbezogenen Überlebenswahrscheinlichkeiten auf die Oberfläche extrapoliert und über dem Oberflächenpfad (siehe Skizze im Diagramm) in der Kerbe für verschiedene Iterationen aufgetragen. Dabei ist zu erkennen, dass der relativ ausgeprägte Gradient der Überlebenswahrscheinlichkeiten im Kerbgrund mit zunehmendem Verlauf der Optimierung geringer wird. Im Kerbgrund findet dann eine allmähliche Homogenisierung statt.

Wird die globale Überlebenswahrscheinlichkeit für die einzelnen Optimierungsschritte aufgetragen (**Bild 12**) ist festzustellen, dass diese nach 6 Iterationen gegen einen Wert von  $P_{\ddot{U},global} \approx 38,2\%$  konvergiert und dann nicht mehr anwächst.

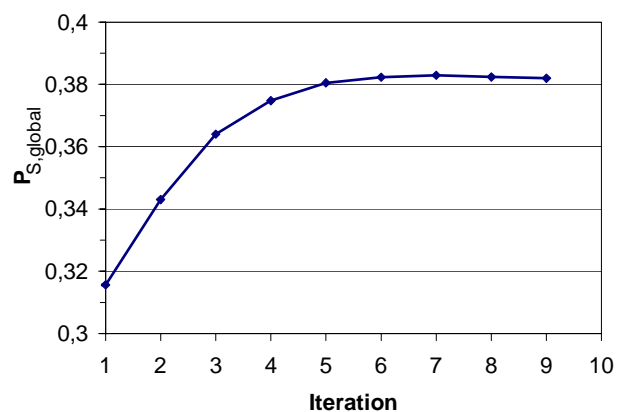
In weiteren Untersuchungen soll die hier vorgestellte mit STAU gekoppelte Methode der konventionellen Optimierung gegenübergestellt werden.



**Bild 10:** Verteilung der Überlebenswahrscheinlichkeiten am Ausgangsmodell (links) und am optimierten Modell (rechts)



**Bild 11:** Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeiten auf dem eingezeichneten Pfad



**Bild 12:** Verlauf der globalen Überlebenswahrscheinlichkeit bei der Optimierung

#### 4. Informations-, Modellierungs- und Auslegungssystem

Im Teilprojekt C5 wird die Entwicklung eines Informations-, Modellierungs- und Auslegungssystems betrieben. Dieses System hat das Ziel, den Ingenieur beim methodischen Entwickeln von ingenieurkeramischen Bauteilen dahingehend zu unterstützen, dass die für ihn notwendigen Daten kontextbezogen bereitgestellt werden. Die Erkenntnisse des Sonderforschungsbereichs 483 zur Gestaltung von keramischen Bauteilen fließen hierin ein.

Im ersten Arbeitsschritt liegt dabei der Fokus der Arbeit auf der Konzeption und Entwicklung eines Informationssystems. Mit Hilfe dessen wird eine entsprechende Datenablage und Datenbereitstellung innerhalb des Sonderforschungsbereichs ermöglicht.



#### 4.1 Konzeption

Die Anforderungen an das Informationssystem definieren sich wie folgt:

- Speicherung und Verwaltung beliebiger Informationen und Dateien: Heterogene Datenverfügbarkeit (Tabellen, Bilder, Dateien, Formeln etc.)
- Physikalische Ablage von Informationen erfolgt einmalig. Der Kontext muss aber mehrfach definierbar sein (n-fach Klassierung)
- Einfacher Zugriff über Intranet und Internet
- Offenheit, Skalierbarkeit und modularer Aufbau: Das System muss beliebig erweiterbar sein und neuen Anforderungen gerecht werden können. Ergänzung des Systems durch weitere funktionale Einheiten muss möglich sein
- Sicherheitsmechanismen: Lese-, Schreibe-, Ausführberechtigungen müssen für jede Information definiert werden können

Das in **Bild 13** gezeigte Schichtenmodell veranschaulicht den technischen Aufbau des Informationssystems. Als Basis dient das frei skalierbare Betriebssystem Windows 2000 Server. Hierauf ist der Microsoft SQL-Server 2000 (Programmierung der Datenbank) und der Exchange-Server (Dateicontainer) zur Datenhaltung installiert. In der sogenannten Core-Application-Schicht wurden die Basisfunktionen (Einfügen, Aktualisieren, Löschen) implementiert. Diese sind für den direkten Datenzugriff in den Tabellen verantwortlich. Die Basisfunktionen knüpfen an die Prozessschicht (Functional Application-Layer) an. Diese beinhalten weitere auf dem Server implementierte Prozeduren und Funktionen, die die Prozesslogik beim Aufruf der Basisfunktionen regeln. Z. B. erfolgt die Prüfung der Benutzerrechte über eine solche logische Funktion, noch bevor eine der Basisfunktionen aufgerufen wird. Die Prozeduren im Functional Application-Layer verwenden für den Datenzugriff die Basisfunktionen aus dem Core Application-Layer.

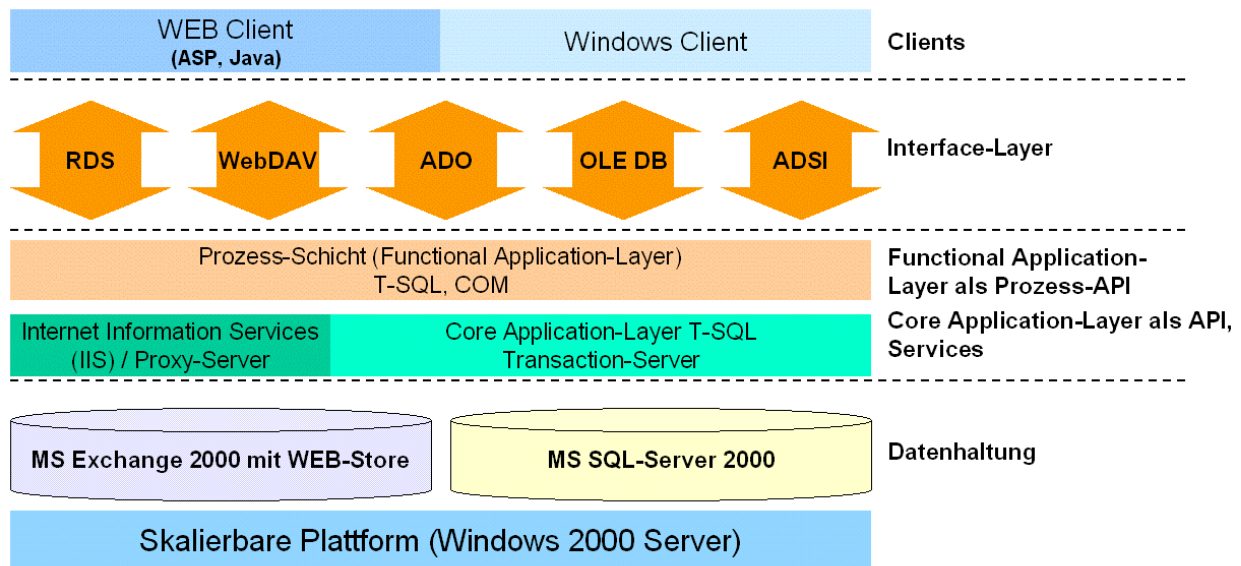
Der Endanwender greift auf Standard-Schnittstellen (Interface-Layer) über eine in Visual Basic programmierte Benutzeroberfläche zu. In späteren Erweiterungen soll über einen sogenannten Web Client plattformunabhängig über das Internet auf das Informationssystem zugegriffen werden können.

#### 4.2 Ausführung

Zur Ablage von Informationen wurde ein objektorientiertes Datenbankmodell entworfen, in dem Tabellen festgelegt und ihre Grundfunktionen (Services) definiert sind.

Da der Microsoft SQL-Server 2000 einen relativen Datenbankansatz verwendet, muss das objektorientierte Datenbankmodell in der Entwicklungsphase in ein relationales Datenbankmodell transformiert werden (Entity Relationship Model).

## 1. Statuskolloquium des SFB 483 am 22. Januar 2002 in Karlsruhe

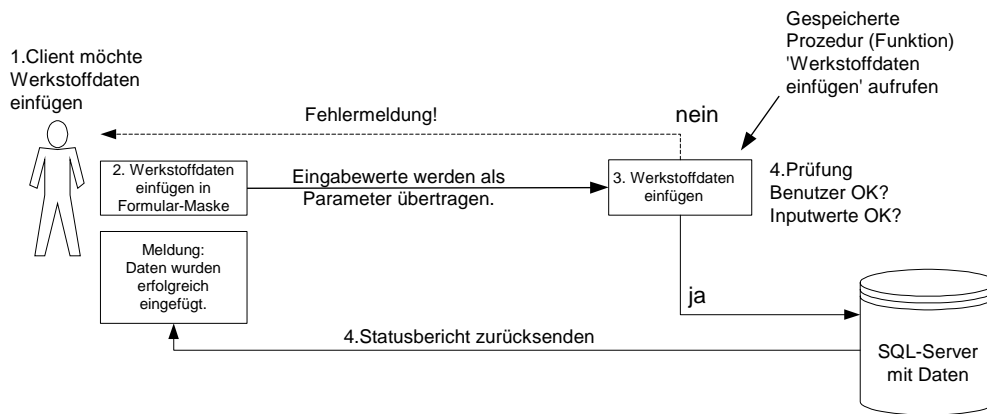


**Bild 13:** Konzeption des Informationssystems - Schichtenmodell

Der Zugriff auf diese Tabellen mit den Funktionen „Einfügen“, „Löschen“, „Aktualisieren“, „Lesen“ von Daten erfolgt aus sicherheitstechnischen Gründen und zur Leistungssteigerung bzw. optimalen Skalierbarkeit nicht clientseitig und direkt, sondern mit serverseitig programmierten und abgelegten TSQL-Skripten, die diese Funktionen beinhalten (sog. gespeicherte Prozeduren). Ein Benutzer muss also, um z.B. Daten lesen zu können, zum einen als Mitglied auf dem SQL-Server registriert sein und zum anderen eine solche Funktion aufrufen. Der Funktion werden gezielt und kontrolliert Eingabeparameter übergeben, worauf diese den Datenabruf nach einer Prüfung initialisiert. In der Praxis kommuniziert der Anwender nicht direkt mit diesen Server-Prozeduren; diese werden vielmehr von der Client Anwendung verwendet.

In **Bild 14** ist ein Benutzer skizziert, der Werkstoffdaten in das Informationssystem einfügen möchte (1). Dazu gibt er die Werkstoffdaten in eine Formularmaske ein (2). Nach Bestätigung der Eingabedaten werden diese an den Server übertragen. Dazu wird eine gespeicherte Prozedur (3) verwendet, der die Eingabeinformationen als Parameter übergeben werden. In dieser Prozedur erfolgen verschiedene Prüfungen in der Reihenfolge ihrer Priorität. Zuerst wird z.B. geprüft, ob der Benutzer richtig authentifiziert ist, womit gewährleistet wird, dass nur registrierte Personen Daten eingeben dürfen. Eine Prüfung der Eingabewerte erfolgt ebenfalls. Wurde ein Feld leer gelassen oder enthält es anstatt Zahlen Buchstaben, so wird eine Fehlermeldung am Bildschirm des Benutzers ausgegeben. Bei einer erfolgreichen Prüfung der Daten werden die Informationen in den entsprechenden Tabellen auf dem SQL-Server abgespeichert (4). Es wird ein Bericht an den Benutzer zurückgesandt (5).

## 1. Statuskolloquium des SFB 483 am 22. Januar 2002 in Karlsruhe



**Bild 14:** Funktionsweise von gespeicherten Prozeduren

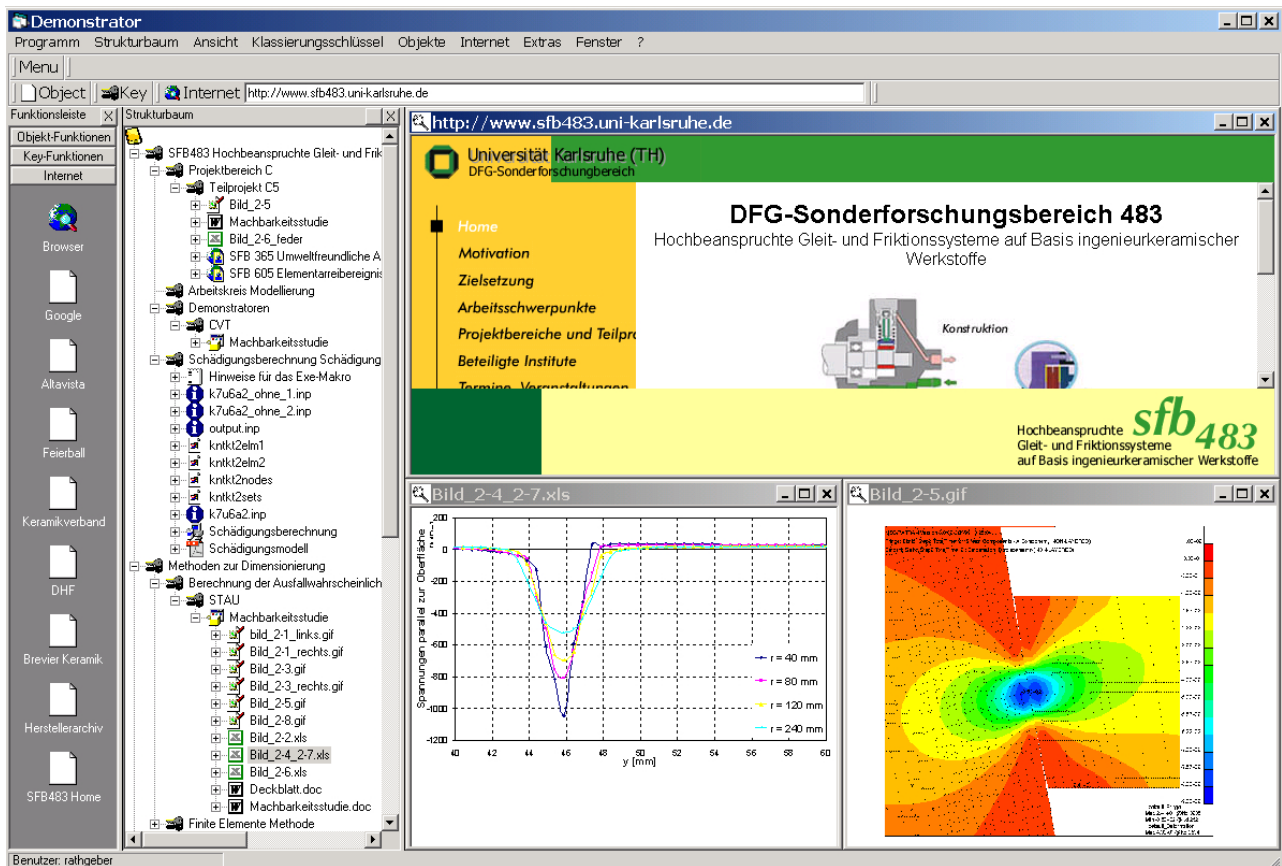
In **Bild 15** ist die Benutzeroberfläche zu sehen. Links befindet sich eine Liste mit Favoriten, die man frei einstellen kann. Daneben ist der Strukturbaum zu erkennen, in dem die einzelnen Arbeitsprojekte zu sehen sind. Das besondere hieran ist, dass eine Datei lediglich einmal zentral gespeichert wird, aber in verschiedenen Arbeitskontexten (Arbeitsordnern) im Strukturbaum verfügbar sein kann (n-Klassierung). Rechts ist zu erkennen, dass Hyperlinks ebenso projektbezogen verwaltet werden können, wie normale Dokumente (Excel, Word, Acrobat Reader, etc.) Es ist damit möglich Informationen aus dem Internet direkt im Informationssystem zu beziehen und diese darin weiterzuverarbeiten. Für gängige Office-Programme wurde die Vorschau realisiert.

Im weiteren werden die Arbeiten am Informationssystem verschiedene Suchmechanismen und funktionale Erweiterungen des Systems als Inhalt haben. Der Schritt in Richtung Informations- und Konstruktionssystem wird durch:

- Hinzufügen intelligenter Regeln zur Daten- und Informationsablage
- Möglichkeiten zur Definition von Ablaufprozessen
- Hinzufügen von Verknüpfungsregeln

vorbereitet.

# 1. Statuskolloquium des SFB 483 am 22. Januar 2002 in Karlsruhe



**Bild 15:** Informationssystem

## 5. Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung der Forschungsarbeiten im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 483 "Hochbeanspruchte Gleit- und Friktionssysteme auf Basis ingenieurkeramischer Werkstoffe".

## 6. Literatur

- [1] M. Schöpke: Gestaltung, Berechnung und Erprobung hochbeanspruchter Keramikbauteile. VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 1, Bd. 308, Düsseldorf (1999)
- [2] B. J. Hamrock, D. Dowson: Ball Bearing Lubrication. John WileySons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore (1981)
- [3] B. Ilzhöfer, O. Müller, P. Häußler et al: Shape Optimization Based on Lifetime Prediction Measures. International Conference on Engineering Design ICED 01. Glasgow. 21.-23. August, (2001), S. 195-202
- [4] D. Munz, T.Fett: Ceramics. Mechanical Properties, Failure Behaviour, Materials Selection. Springer Berlin, Heidelberg (1999)
- [5] V. Bach, P. Vogler, H. Österle: Business Knowledge Management. Springer, Berlin, Heidelberg, (1999)