

**Titel**

**Untertitel**

Name

Abgabedatum

Betreuer: Betreuer

Technische Universität Berlin  
Fakultät  
Institut

Anleitung für die Benutzung 8. Mai 2007 N.N.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Programmbedienung</b>	<b>1</b>
1.1	Vorraussetzung und Start der visAbsorber-Software . . . . .	1
1.2	Features und Bedienung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Einführung in die Implementierung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Überprüfung der Qualität des FEM- Algorithmuses</b>	<b>5</b>
3.1	Ergebnisse und Auswertung . . . . .	5
	<b>Literatur</b>	<b>11</b>

# Formelzeichen

$\theta$	Ein Formelzeichen.
A	Eine Matrix.

# Glossar

ADU oder A/D	Analog-Digital-Umsetzer
CMR	Common Mode Rejection
DMS	Dehnungsmessstreifen
OT	Oberster Totpunkt
OP	Operationsverstärker
I/O	Input-Output Schnittstelle
MUX	Multiplexer
S&H	Sample-and-Hold-Baustein



# 1 Programmbedienung

## 1.1 Voraussetzung und Start der visAbsorber-Software

Das Programm benötigt eine JAVA-Runtime-Umgebung ab Version 1.5.x. Je nach Größe des genutzten FEM-Netzes sollten 512-2048MB RAM-Speicher vorhanden sein. Die Software wird gestartet je nach Betriebssystem in der Konsole mit dem Befehl "java -jar visAbsorber.jar".

## 1.2 Features und Bedienung

Die visAbsorber-Software berechnet die zweidimensionale Wärmeverteilung im Querschnitt eines Solarabsorbers. Das Programm nutzt die FEM-Netzdatentypen des PPM-Netzgenerators. Hierbei ist die ordnungsgemäße Indizierung der Elementtypen (Absorber, Dämmung, Boden) und der Randtypen (Absorberoberfläche, Rohrfläche, Bodenfläche) Voraussetzung für den reibungsfreien Programmablauf. Abbildung 1.1 zeigt die Indexverteilung an Hand eines Beispiels.

//Abbildung Indexverteilung

Die Anwendung besitzt ein graphisches User-Interface (Abb ??), die es den Benutzer erlaubt, sehr einfach die Systembedingungen zu verändern. Somit kann mit geringem Aufwand unterschiedliche Szenarien untersucht werden. Die Ergebnisse werden graphisch in dem Ausgabefenster angezeigt, sowie als Liste im Programmverzeichnis gespeichert.

Vorgehensweise bei der Bedienung der Software:

1. Wählen Sie die Knoten-, Element-, Randlistendateien zu dem passenden FEM-Netz aus.
2. Geben Sie die Systembedingungen (Wärmeleitfähigkeit, Umgebungstemperatur, etc.) an, sowie die Länge des Absorbers in Rohrrichtung (Z-Koordinate)
3. Änzahl der Schnitte" gibt an, in wie viel Teile der Absorber in Z-Richtung geteilt werden soll. Für jede Position wird im Verlauf ein jeweiliges Temperaturfeld berechnet und als Bild- und Listendatei im Programmverzeichnis gespeichert.
4. Um den Prozess zu starten, klicken Sie auf "Start FEM".
5. Der aktuelle Status wird am oberen Rand angezeigt und Ergebnisse des aktuellen Schnitts im Ausgabe Fenster angezeigt.

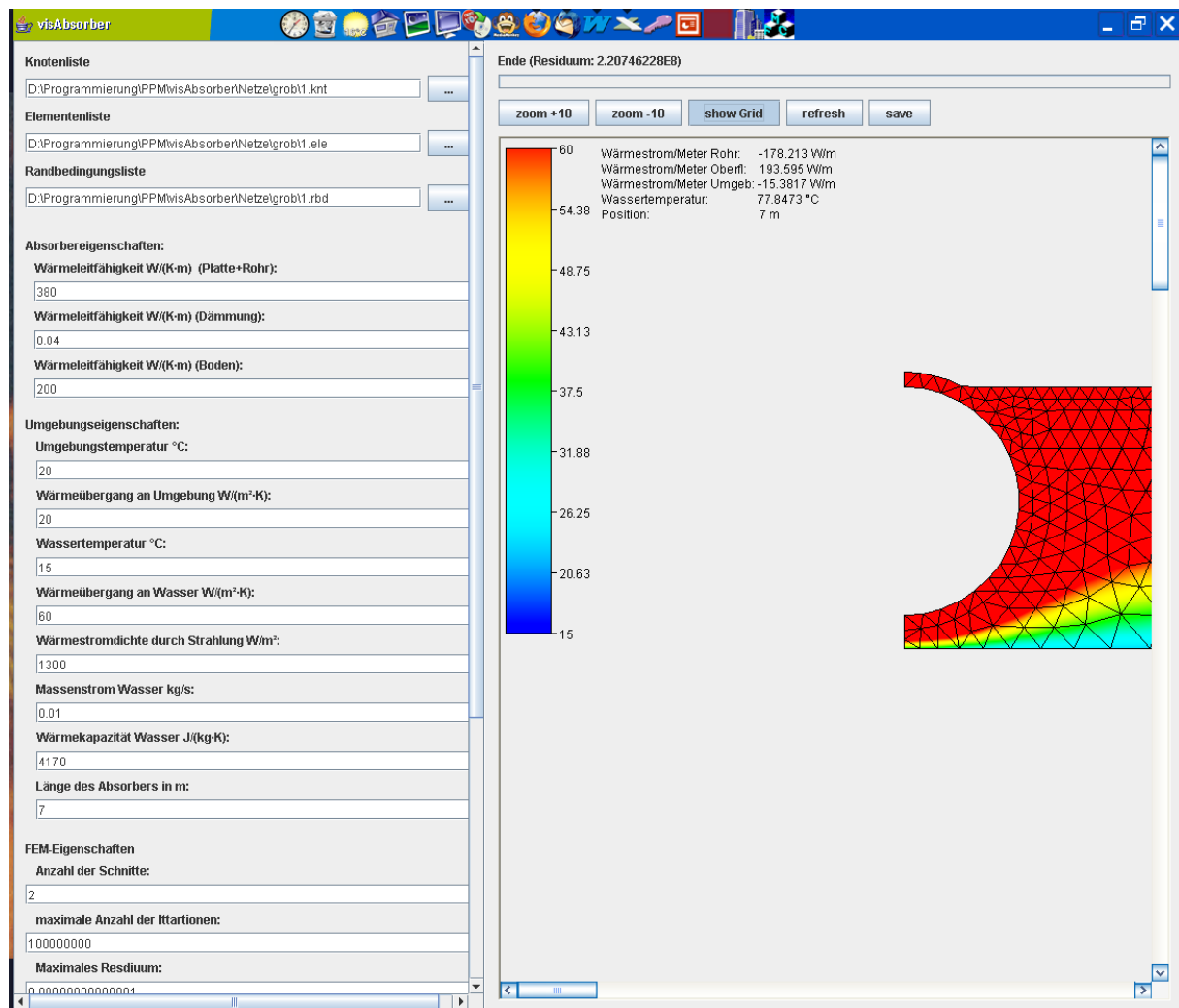


Bild 1.1: Grafisches User-Interface des visAbsorbers



## 2 Einführung in die Implementierung

Die visAbsorber-Software wurde in der objektorientierten Programmiersprache JAVA implementiert. Abbildung 2.1 zeigt den vereinfachten Überblick über den Programmablauf. Elementen-, Knoten und Randlisten sind mit Hilfe von Objekten realisiert und sind direkt miteinander verknüpft. Dadurch sind umständliche Zugriffsoperationen über Indextafeln überflüssig. Dies beschleunigt zum einen das Programm und lässt zum anderen den Quellencode übersichtlicher erscheinen.

Im ersten Schritt werden die Netzdaten aus den jeweiligen Dateien des PPM-Netzgenerators eingelesen und den Objekten zugeordnet. Beim Start des FEM-Algorithmuses wird zu erst die Benutzereingaben (Wärmeleitfähigkeiten, Wärmekapazitäten, etc) den Listen zugeordnet. Danach öffnet die Software für FEM-Berechnung einen einzelnen Thread. Dies ist ein Prozess der abgelöst vom Hauptprogramm arbeitet. Dies hat den Zweck, dass während der Berechnung Statusinformationen im Hauptfenster angezeigt werden können. Nach der Übergabe der FEM-Daten an den Thread, werden die Steifigkeitsmatrix und der Lastvektor berechnet. Da die Matrix schwach besetzt ist, dass heißt an viele Positionen befindet sich ein Null, wird im folgenden Schritt diese optimiert. Das Programm generiert einen Vektor, welcher auflistet, welche Positionen mit ungleich Null besetzt sind. Die bringt einen großen Vorteil bei der Lösung des Gleichungssystems, da der Gauss-Seidel-Löser nur noch diese Stellen in die Berechnung einfließen lassen muss. Dadurch erübrigen sich sehr viele Additionen mit einer Null. Nachdem der Löser das System bis zum gewünschten Reesiduum gelöst hat, übergibt der Thread den Lösungsvektor zurück an das Hauptprogramm. Mit dieser Lösung wird das Temperaturfeld im Ausgabefenster gezeichnet, dabei wird innerhalb der Dreieckelemente linear interpoliert. Nach der Speicherung der Bild- Listendaten in das Programmverzeichnis, wird überprüft ob weitere Schnitte zu berechnen sind. Falls ja werden die neuen Randbedingungen berechnet (Wassertemperatur) und der FEM-Thread erneut gestartet.

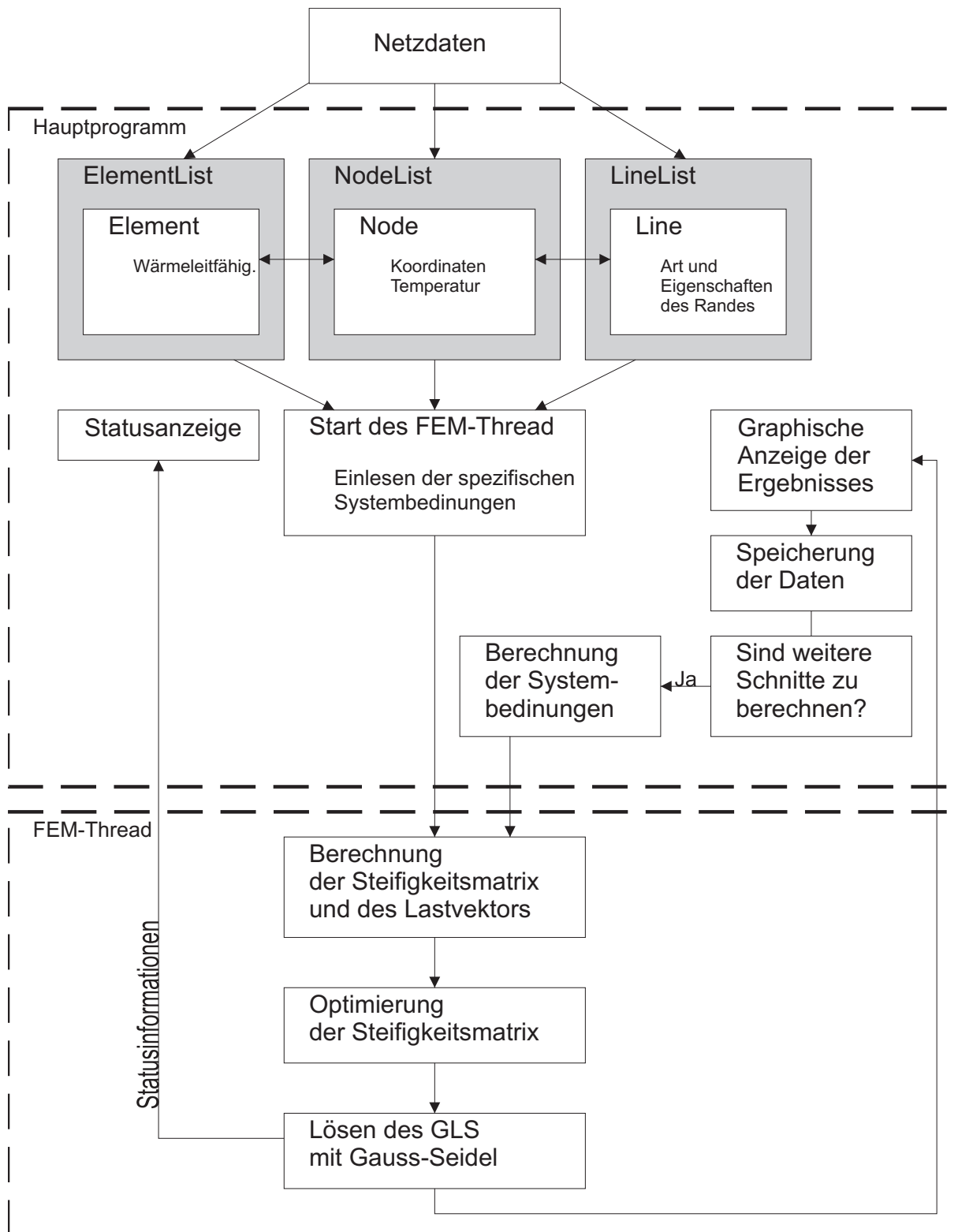


Bild 2.1: Vereinfachter Programmablauf des visAbsorbers

# 3 Überprüfung der Qualität des FEM-Algorithmuses

Nach der Implementierung der FEM und des Gleichungslösers in die Software wurde die Funktionsfähigkeit und Effektivität der beiden Programmteile untersucht. Hierzu ist der Vergleich einer klassischen analytischen Lösung mit der numerischen Lösung des FEM-Algorithmus ein Weg, um die Qualität der Implementierung zu überprüfen. Das verwendete Testgebiet ist ein Rechteck mit vier Randeigenschaften (Abb.3.1). Die beiden Neumann-Ränder sind adiabatisch, sodass kein Wärmestrom über diese fließt. Am Dirichlet-Rand herrscht eine konstante Temperatur von 20°C. Der Cauchy-Rand hat einen Wärmeübergangskoeffizient von  $\alpha_U = 400 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und eine Umgebungstemperatur  $\theta_a = 0^\circ \text{C}$ . Im inneren des Testgebietes ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 100 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ . Dieser Fall besitzt alle Randtypen die der FEM-Algorithmus verarbeiten kann und dient so gut zum Test der Implementierung. Die analytische Lösung dieses Testgebietes kann durch Gleichung (??) ausgedrückt werden.

//Gleichung

Im Weiteren wurden verschiedene FEM-Netze mit unterschiedlichen Anzahlen von Knoten passend generiert. So kann nach der numerischen Berechnung der Knotentemperaturen, diese verglichen werden mit den tatsächlichen Temperaturen an diesen Koordinaten. Der mögliche entstandene Fehler kann dann Rückschlüsse auf die Qualität der FEM-Implementierung liefern.

## 3.1 Ergebnisse und Auswertung

In der Untersuchung wurden 4 FEM-Netze mit 13, 25, 181, 761 bzw. 3121 Knoten verwendet. Die Abbildung 3.2 zeigt die jeweiligen numerischen Lösungen der Temperaturfelder.

Die Tabelle 3.1 beinhaltet für jedes Netz die Anzahl der benötigten Rechenzyklen um die numerische Lösung zu berechnen, das heißt diese Zahl gibt Auskunft über den Rechen- bzw. Zeitaufwand. Der relative Fehler ist ein Durchschnittswert aus den Fehlern an jeden Knoten. Diese werden berechnet aus der Differenz der FEM-Temperatur und der exakten analytischen Lösung, geteilt durch die analytische Lösung an den jeweiligen Knoten.

Dieser durchschnittliche prozentuale Fehler nimmt mit der Anzahl der Knoten stetig ab (Abb. 3.3) und konvergiert gegen null. Im Gegensatz dazu nimmt der Rechenaufwand in Form der nötigen Rechenzyklen zum Quadrat der Knotenanzahl zu (Abb. 3.4). So muss bei der Nutzung des FEM-Algorithmuses immer ein Kompromiss zwischen Fehler und Rechenaufwand eingegangen werden.

Die Fehlerverteilung innerhalb des Testgebietes ist mit Hilfe zweier Beispiele dargestellt (Abb. 3.5, Abb. 3.6). Mit dem Vergleich zur Abbildung 3.2 zeigt sich, dass die größten Fehler in den Gebieten mit größten Temperaturänderungen und somit die größten Wärmeströme zu finden sind. Aus dieser Schlussfolgerung ist eine Möglichkeit die FEM zu optimieren, die die Netze so zu verändern, dass in Teilen mit hohen

Tabelle 3.1: Relativer Fehler und Rechenaufwand bei unterschiedlichen Knotenanzahlen

Anzahl der Knoten	13	25	181	761	3121
Rechenzyklen	5460	36036	2901230	53305797	933354851
Relativer Fehler	3,332678929	1,37121127	0,123004588	0,02628152	0,00627174

### 3 Überprüfung der Qualität des FEM- Algorithmuses

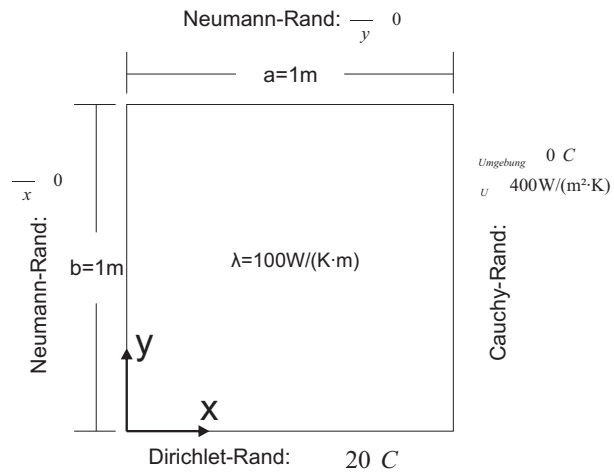


Bild 3.1: Schaubild des Testgebietes

Wärmeströmen die Anzahl der Knoten erhöht wird und in den Gebieten mit niedriger Temperturänderung sie reduziert wird.

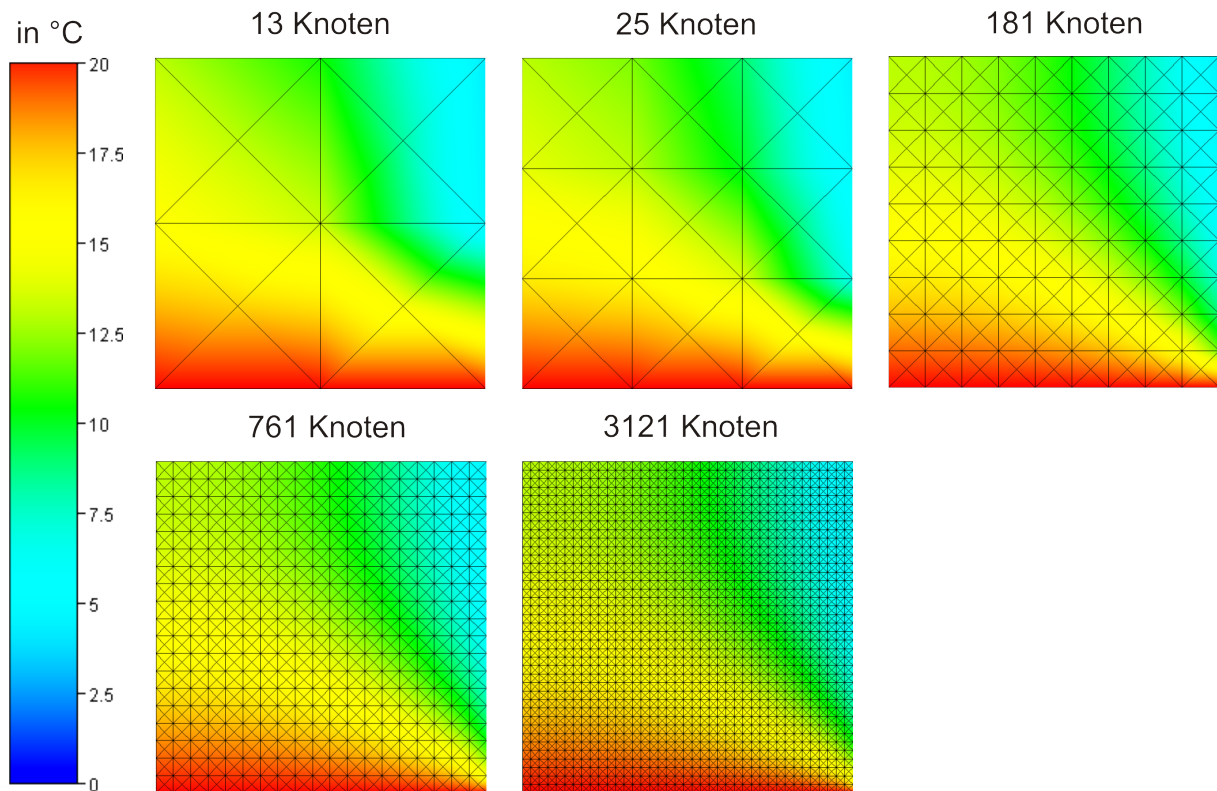


Bild 3.2: Temperaturverteilung im Testgebiet

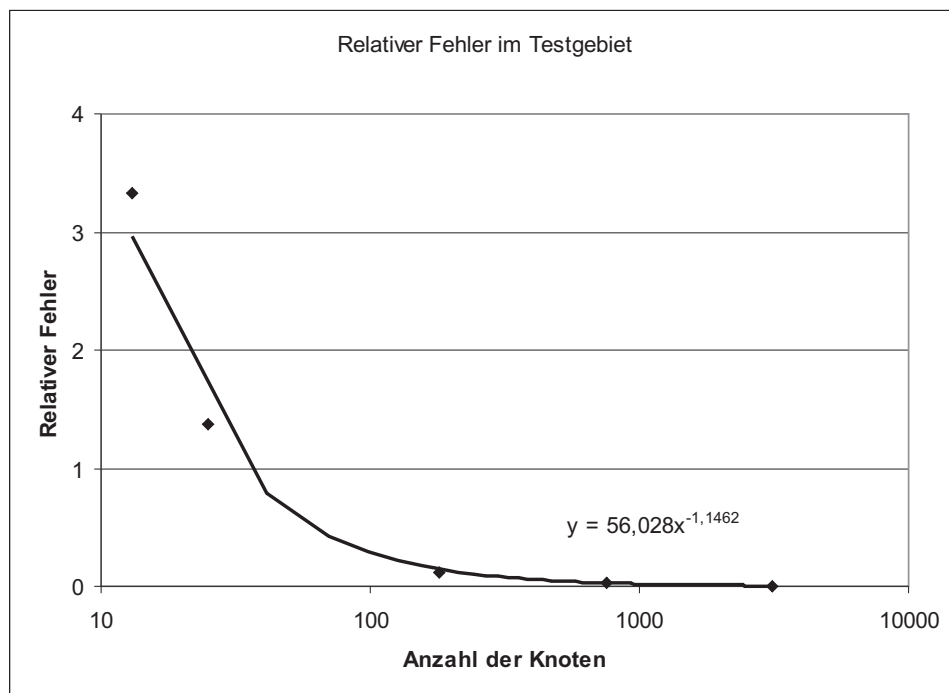


Bild 3.3: Relativer Fehler bei unterschiedlichen Knotenanzahlen

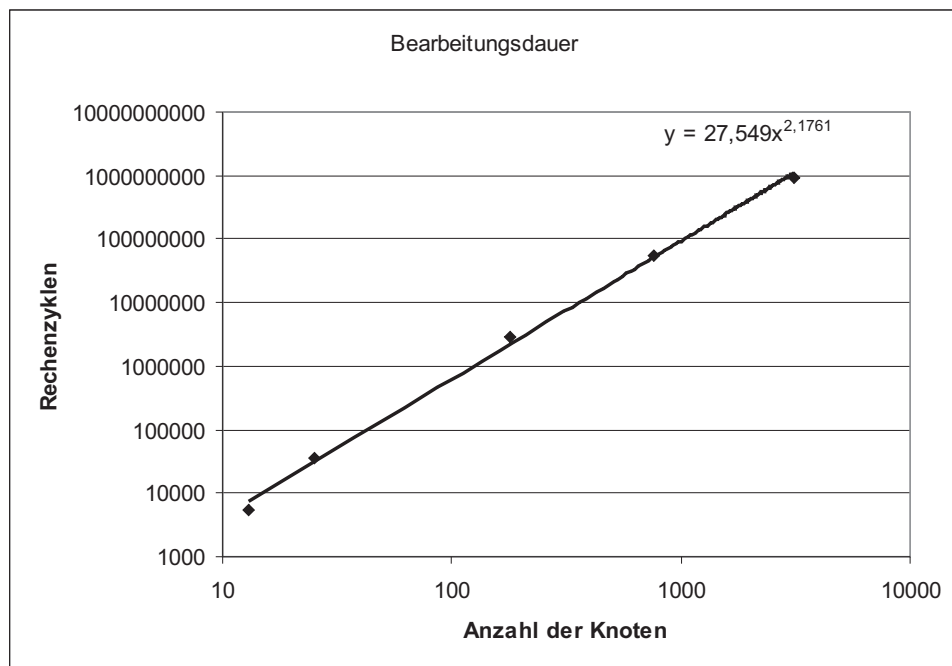


Bild 3.4: Rechenaufwand der jeweiligen FEM-Netze

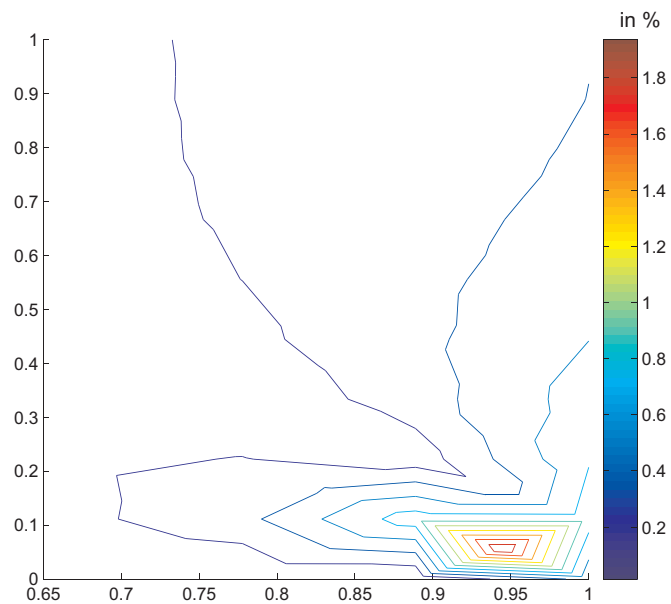


Bild 3.5: Räumliche Fehlerverteilung in Prozent bei 181 Knoten

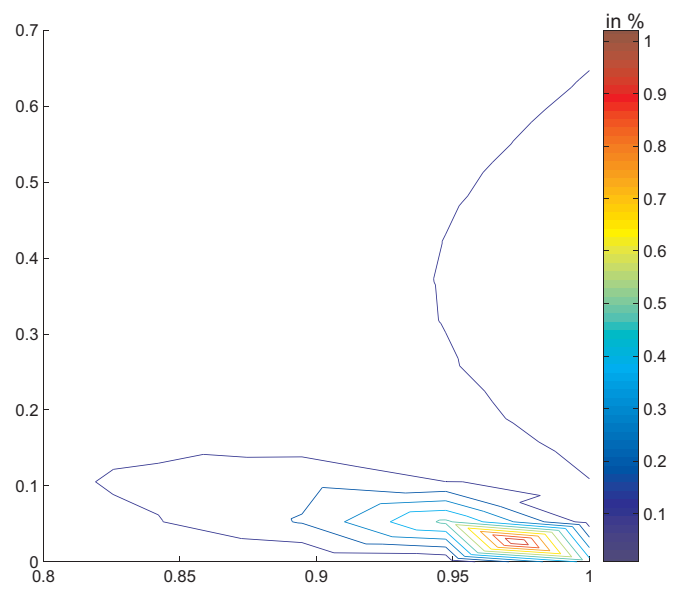


Bild 3.6: Räumliche Fehlerverteilung in Prozent bei 761 Knoten

### 3 Überprüfung der Qualität des FEM- Algorithmuses



# Literaturverzeichnis

[1] Winkler, D.; Liebezeit, Th.

*Vorlage für Studien- und Diplomarbeiten - Anleitung für die Benutzung*  
MDT 2007 (unveröffentlicht)

