

# Computertomographie, Bildverarbeitung und Auswertung von zellularen Metallen

Dr. B. Illerhaus, Berlin

## 1. Zellulare Metalle

Die dreidimensionale Computertomographie erzeugt oft eine große Datenmenge, die den Auswerter zwar mit vielen Bildern aber mit noch keiner getroffenen Entscheidung allein läßt. Soll eine bestimmte Materialeigenschaft überprüft werden, so müssen geeignete und einfache Auswertekriterien gefunden werden, die Ergebnisse der CT-Daten mit entscheidenden Materialeigenschaften verbinden. Für zelluläre metallische Werkstoffe sollen hier Möglichkeiten gezeigt werden.

Zelluläre Werkstoffe sollen vor allem als Aluminiumschaum (Abbildung 1) in der Automobilindustrie verwendet werden: Sie sind sehr leicht, bieten sehr gute isotrope Aufpralldämpfungseigenschaften und können in Sandwichbauweise für tragende Teile verwendet werden [1].

Berichte über das Prinzip der 3DCT sind schon des öfteren auch in dieser Zeitschrift veröffentlicht worden und sollen daher nicht Gegenstand dieses Artikels sein [2].

## 2. Dichte-Verteilung

Einige der Parameter, die für die mechanischen Eigenschaften von metallischen Schäumen wichtig sind, sind die lokale mittlere Dichte, die Porengrößen und ihre Verteilung, die Beschreibung der Verschiebung der inneren Struktur nach einem Kompressionsversuch [8], sowie das Verhältnis von „Wänden“ zu „Knoten“ und die Wanddicken.

Für den Nachweis von übergroßer Poren, muß die vollständige dreidimensionale Information vorhanden sein; d.h. bei der CT-Messung muß die Ortsauflösung so gewählt werden, daß alle relevanten Wände im CT-Bild sichtbar sind. Zur besseren Beurteilung des Vorhandenseins von Fehlstellen, entweder zu großer Poren oder zu starker Materialanhäufungen, kann eine mittlere lokale Dichte aus den CT-Bildern berechnet werden [3]. Dafür muß zunächst definiert werden, wie groß das Volumen

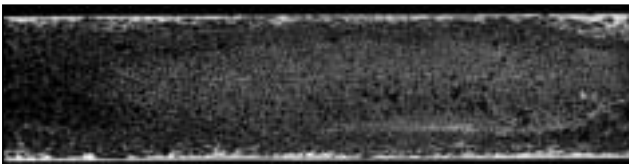


Abb. 1: Tomographischer Längsschnitt durch einen in Form geschäumten Aluminiumzylinder, 26cm lang, 6cm im Durchmesser



Abb. 2: Angabe der Dichteverteilung und unzulässig großer Poren für einen Schaumzylinder mit 4cm Durchmesser in einem Bild

sein soll, ab dem eine Dichteabweichung als Fehler angesehen wird, d.h. z.B. wie groß die größte Pore sein darf. In diesem Volumen werden alle Voxel gleichmäßig gemittelt, dann das Volumen ein Voxel weiter geschoben und wieder gemittelt. Der resultierende Datensatz ist also gleich groß dem Ausgangsdatsatz. Abb. 2 zeigt eine solche Mittelung bei der das kritische Volumen auf  $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$  gesetzt wurde. Bei der Mittelung werden alle Bereiche in denen die mittlere Dichte auf 30% unterschritten wird maximal hell gekennzeichnet. Ein anschließendes ray tracing bildet dann das gesamte 3D Objekt als 2D Bild ab. Der in Abbildung 2 gezeigte Aluminiumschaumzylinder ist aus der selben Serie wie in Abbildung 1. Die Bereiche mit zu geringer Dichte erscheinen als weiße Flecken. Neben einigen zu großen Poren, insbesondere am rechten Rand, erkennt man einen Bereich mit überhöhter Dichte in der oberen, linken Hälfte. Mit diesem automatisierten Verfahren ist eine schnelle ja-nein Entscheidung über die Brauchbarkeit der Schaumprobe möglich.

## 3. Poren und Porengrößenverteilung

Um die Porengrößen zu bestimmen gibt es zwei Wege [6], je nachdem ob die Poren geschlossen oder offen sind:

1. Sind die Poren geschlossen wird zunächst ein binäres Bild aller möglichen Poren durch eine Schwellwertoperation erzeugt, wobei die Poren markiert werden. Die Schwelle sollte so gewählt werden, das sie alle Wände berücksichtigt, die Abweichung der Wandstärke vom wahren Wert muß im Nachhinein mit einer Korrektur des Porenradius berücksichtigt werden. Alle Bereiche außerhalb des Objektes müssen zuvor mit einem „invader“ Algorithmus aufgefüllt werden [4]. Dann wird mit einem Suchalgorithmus das erste markierte und alle diesem angrenzende, markierte Voxel bestimmt und mit einer Farbe gekennzeichnet. Das Volumen, der Schwerpunkt und weitere Parameter werden dabei berechnet. Dann wird nach der nächsten Pore gesucht.

Abbildung 3 zeigt auf der rechten Seite einen vertikalen und einen horizontalen Schnitt durch ein zelluläres Metall, nach dem die Poren bestimmt wurden. Mit Hilfe der unterschiedlichen Farben kann beurteilt werden, ob keine Verbindungen zwischen Poren bestehen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Porengrößenverteilung. In diesem Fall handelt es sich um einen ca. 2cm hohen Zylinder aus gesinterten metallischen Hohlkugeln.

2. Sind die Poren offen, so wird zunächst der nicht metallische Bereich binär markiert. Hierbei muß die Begrenzung des Objektes vorgegeben werden. Dann werden die markierten Bereiche solange 3d-erodiert, bis alle Poren getrennt sind. Die Anzahl der Schritte muß einmal per Hand abhängig von der Schaumart

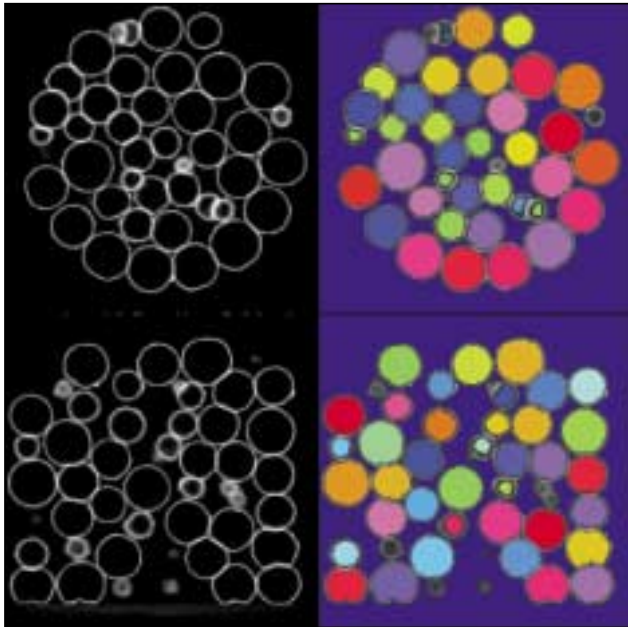


Abb.3: Senkrechter und waagerechter Schnitt durch einen zellularen metallischen Formkörper, links, sowie das Ergebnis des Porensuchprogramms ebenso, rechts

bestimmt werden. Der Porenradius wird dann wie oben aus den pro Pore gezählten Voxeln berechnet. Der Porenradius muß um die Größe der Erodierschritte und um den beim Binarisieren verkleinerten Porenrandbereich ergänzt werden.

#### 4. Zellulare Metalle aus Hohlkugeln

Wie in der Abbildung 3 zu sehen können zellulare Metalle auch aus einzelnen Hohlkugeln, die als Massenware produziert werden können, hergestellt werden. Diese werden von der IFAM Außenstelle für Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe, Dresden hergestellt und unter leichtem Druck zu Formkörpern gesintert [5]. Der Vorteil hierbei ist, daß es möglich wird, definiert verschiedene Porengrößen zu mischen und somit ortsabhängige Materialeigenschaften zu erreichen.. Für ein solches Material muß ein theoretisches, vereinfachtes Modell entwickelt werden, um die mechanischen Eigenschaften des gesamten Körpers berechnen zu können. Als Grundlage hierfür dienten die oben gewonnenen Schwerpunkte

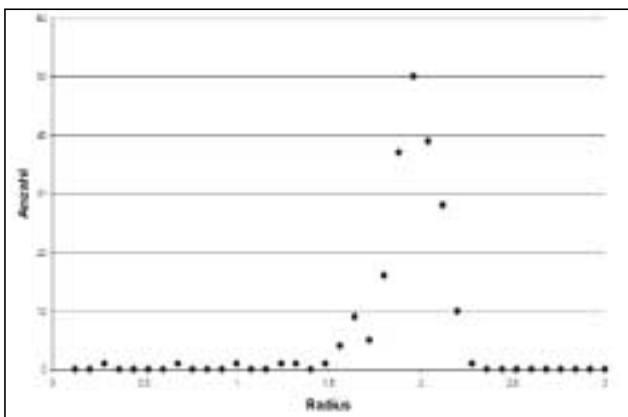


Abb. 4: Porengrößenverteilung der Probe aus Abb. 3

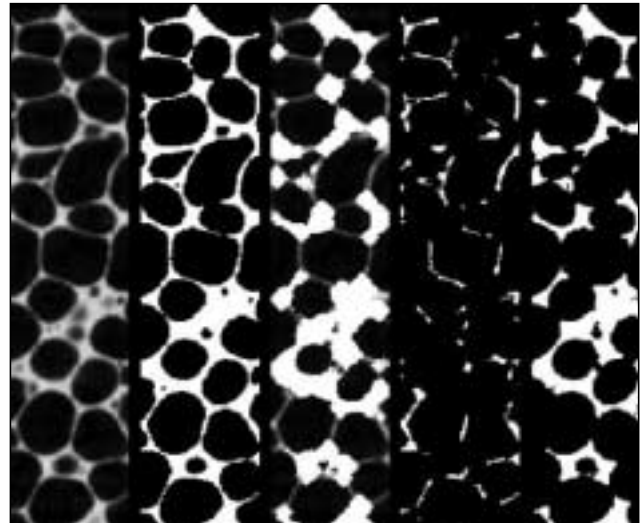


Abb. 5: Trennen von Wänden und Knoten eines Schaumes in fünf Schritten

und Radien. Diese werden für jede Pore einzeln abgespeichert. Unter der Annahme einer mittleren Wandstärke läßt sich dann ein Modellwerkstoff aus Kugeln simulieren.

#### 5. Trennen von Wänden und Knoten

Neben der lokalen Dichte ist die Angabe des Verhältnisses von Wänden zu Knoten eine weitere Möglichkeit die Struktur eines Schaumes zu beschreiben. Dabei werden als Wände Flächen bezeichnet, die zwei Poren von einander trennen. Um einen Knoten zu bilden müssen mindestens drei Wände aufeinander stoßen. Aus einem 3D $\mu$ CT-Datensatz ist diese Unterscheidung möglich.

Im ersten Schritt wird das Tomogramm (Abbildung 5a) wieder binarisiert (Abbildung 5b), so daß alle Wände sichtbar bleiben. Dieses wird solange 3D-erodiert bis alle Wände gelöscht sind. Die Anzahl der Schritte ist von der Ortsauflösung des Tomogramms und der Wanddicke bestimmt. Da die Orientierung der Wände mehr oder weniger statistisch ist, muß das Erodieren in 3D durchgeführt werden. Nach der selben Anzahl von Dilatationsschritten markieren die verbleibenden Bereiche nur die Knoten (Abbildung 5c). Durch eine Verundung mit dem Originalbild können dann die Knoten dargestellt werden (Abbildung 5e). Aus der Differenz dazu ergeben sich die Wände (Abbildung 5d). Jetzt kann sowohl das Volumen der Knoten als auch der Wände bestimmt werden. Mittels eines statistischen Verfahrens [7] kann dann aus dem Bild der Wände deren Oberfläche bestimmt werden, wodurch sich auch die durchschnittliche Wandstärke ergibt. In dem gezeigten Beispiel betrug die mittlere Wanddicke 20 $\mu$ m. In manchen Fällen werden neben den Knoten große, zusammenhängende Gebiete als Knoten erfaßt. Dann fand während des Schäumvorganges eine nicht wünschenswerte Drainage des flüssigen Metalls statt.

#### 6. Zusammenfassung

Durch die Verwendung voncomputergestützter Bildverarbeitung nach 3DCT gelingt es, eine direkte und einfache

che Aussage über die Qualität von komplex strukturierter Bauteilen (Schäumen) zu erhalten. Die hier gezeigten Auswerteverfahren müssen dann mit den mechanischen Eigenschaften der Bauteile korreliert werden.

### Danksagung

Die Programmierung der Softwaremodule und die Datenauswertung wurden von Dr. E. Jasiuniene im Rahmen einer von der DFG unterstützten Arbeit durchgeführt.

### Literatur

1. Metal Foams and Porous Metal Structures. Editors: J. Banhart, M. F. Ashby, N. A. Fleck, Verl. MIT Publ., (1999), ISBN 3-9805748-7-3
2. H. Riesemeier, J. Goebbels, B. Illerhaus, Y. Onel, P. Reimers, 3-D Mikrocomputertomograph für die Werkstoffentwicklung und Bauteilprüfung, DGZfP Berichtsband 37 (1993) S. 280-287
3. H.P. Degischer, A. Kottar, On the Non-Destructive Testing of Metal Foams, in Metal Foams and Porous Metal Structures, Editors: J. Banhart, M. F. Ashby, N. A. Fleck, Verlag MIT Publishing, 1999, pp213-220.
4. B. Illerhaus, J. Goebbels, P. Reimers, H. Riesemeier, The principle of computerized tomography and its application in the reconstruction of hidden surfaces in objects of art, 4th Int. Conf. NDT of Works of Art, DGZfP Berichtsband 45, 1 (1994) pp. 41-49
5. O. Andersen, U. Waag, L. Schneider, G. Stephani, B. Kieback, Novel metallic hollow sphere structures: processing and properties, , in Metal Foams and Porous Metal Structures, Editors: J. Banhart, M. F. Ashby, N. A. Fleck, Verlag MIT Publishing, 1999, pp183-188.
6. E. Jasiuniene., B. Illerhaus, J. Goebbels.: 3D investigation of metallic foams by Mikrotomography ( $\mu$ CT) In: AIPnD (Hrsg.), Proc. 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Rom 15.-21. Oktober 2000, ID-Nr. 170; CD-ROM
7. M.R. Sené, M. Bailey, B. Illerhaus, J. Goebbels, O. Haase, A. Kulish, N. Godon, J.J. Choucan ,Characterisation of Accessible Surface Area of HLW Glass Monoliths by High Energy Accelerator Tomography and Comparison with Conventional Techniques, Project report Nuclear Science and Technology, EUR 19119 EN, 1999, 62pages.
8. E. Jasiuniene, J. Goebbels, B. Illerhaus, P. Löwe, A. Kottar, 3D Investigation of Strength Tested Metallic Foams by Micro-Tomography, to be published in: J. Banhart, M. F. Ashby, N. A. Fleck (Editors), Cellular Metals and Metal Foaming Technology, MIT-Verlag (2001).



### Der Autor:

bernhard.illerhaus@bam.de  
 Tel.: ++49 30 8104-4151  
<http://www.ct.bam.de>  
 BAM  
 Unter den Eichen 87,  
 12205 Berlin

1/2 Seite Anzeige

PAM