



Struktur und Druckverlust realer und virtueller Drahtgewebe

E. Glatt, St. Rief, A. Wiegmann, M. Knefel, E. Wegenke*

Ein effizientes mathematisches Modell zur virtuellen Erzeugung von Metalldrahtgeweben wird vorgestellt. Die Genauigkeit des Modells wird durch den Vergleich virtueller Strukturen mit dreidimensionalen Tomographien von realen Drahtgeweben nachgewiesen. Anschließend werden Geometriemodelle für drei Metallgewebe erstellt. Für diese Modelle wird der geschwindigkeitsabhängige Druckabfall simuliert und mit Messungen der Fa. GKD - Gebr. Kufferath AG verglichen. Die Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung ist sehr gut. Ähnliche gute Übereinstimmung erhält man für die Gewebeparameter Kugeldurchlass, Bubble-Point und Porosität. Die Gewebemodelle und Eigenschaftsberechnungen konnten durch Nutzung der GeoDict Software beim Drahtgewebehersteller erstellt bzw. durchgeführt werden.

1. Einleitung

Drahtgewebe sind eine wichtige Klasse von Filtermedien. Für den Hersteller ist es entscheidend den komplexen Einfluss der

* **Dr. Erik Glatt, Dr. Stefan Rief, Dr. Andreas Wiegmann**
 Fraunhofer ITWM, Fraunhofer-Platz 1
 67663 Kaiserslautern
 Telefon: +49(0)631 31600-4355
 E-Mail: erik.glatt@itwm.fraunhofer.de
 ** **Dipl.-Ing. Markus Knefel, Dipl.-Ing. Engelbert Wegenke**
 GKD - Gebr. Kufferath AG,
 Metallweberstraße 46, 52353 Düren
 Telefon: +49 (0)2421 803 305
 E-Mail: markus.knefel@gkd.de

Gewebegeometrie auf die Strömungs- und Filtrationseigenschaften zu verstehen. Dieses Verständnis ist die Voraussetzung für die Optimierung der Gewebe nach den Wünschen der Kunden. Der Optimierungsprozess kann durch die Verwendung von Computermodellen zur Simulation der Porosität, der Strömungseigenschaften und der Filtrationseigenschaften deutlich verkürzt und verbilligt werden. Zunächst muss jedoch gewährleistet sein, dass die Simulationen mit der Realität übereinstimmen. Im Folgenden wird diese Übereinstimmung für ein mathematisches Modell zur virtuellen Erzeugung von

Metalldrahtgeweben etabliert. Die Struktur eines Gewebes kann mit Hilfe von mechanischen Eigenschaften des Drahtmaterials berechnet werden /1/, wobei die Berechnung des Kraftgleichgewichts /2/ und der minimalen Energie /3/ bekannte Methoden sind. Ein anderer Ansatz verfolgt das Ziel, die Gewebegeometrie direkt zu modellieren. Beispiele hierfür sind das idealisierte Peirce-Modell /4/ und die näherungsweise Beschreibung der Drahtmitten mit Splines /5/. Hier wird ein einfaches Modell zur direkten Geometriemodellierung vorgestellt, welches durch wenige messbare Parameter an reale

Mehr als 40.000 PIERALISI Zentrifugen sind weltweit in Betrieb!
 Der Dekanter- und Separator-Absatz in der Prozess-Industrie steigt rasant!

PIERALISI Dekanter beweisen sich in: Chemie-, Pharma- und Nahrungsmittel-Applikationen, div. Umwelt-Aufgaben wie Klärschlamm- und Biovergärungsanlagen und natürlich im Biodiesel und Bioethanol.

PIERALISI Vertikale Teller-Separatoren erobern zunehmend den Markt. Einzelne Maschinen für Chemie/Pharma/Food und beachtliche Mengen in der Biodiesel Produktion (2- u. 3-Phasen-Trenner, Klärer), der Pflanzenöl-Raffination sowie der Mineralöl-Aufbereitung.

PIERALISI Prozess-Maschinen werden für den individuellen Einsatz spezifiziert.

Gasdichte und Ex-Atex-Maschinen sind ebenso Alltag, wie automatische Regelung und Voll-Verschleißschutz für Dekanter.

RESALE 2009

Karlsruhe, 22/24-04-09

Stand: 1-530/631

ACHEMA 2009

Frankfurt, 11/15-05-09

Halle: 5.0-B40-C41

ERFOLG IN DER PROZESS-INDUSTRIE



PIERALISI
 DEUTSCHLAND GmbH

Ochsenfurter Strasse 2 - 97246 Eibelstadt - Tel.: +49 93 03 / 90 82-0 - Fax: -20
 E-mail: pieralisi@pieralisi.de - Internet: www.pieralisi.de

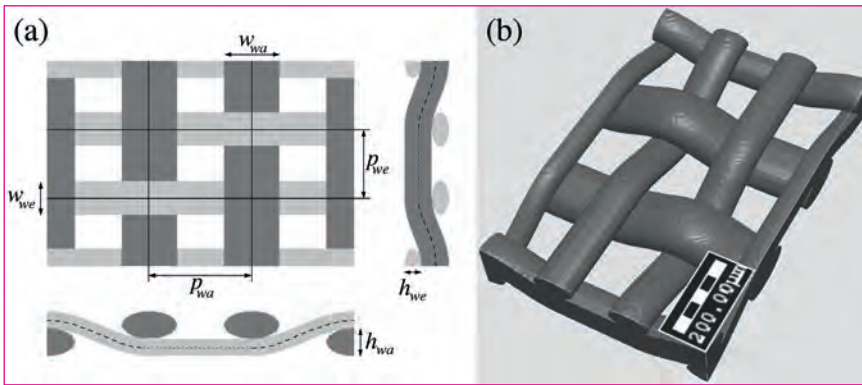


Abb. 1: Das Modell eines KÖpergewebes (2/1-Bindung), mit $h_{wa} = 80\mu\text{m}$, $h_{we} = 50\mu\text{m}$, $w_{wa} = 160\mu\text{m}$, $w_{we} = 100\mu\text{m}$, $p_{wa} = 300\mu\text{m}$ und $p_{we} = 200\mu\text{m}$. (a): 2D Ansicht von oben und von den Seiten, (- -) Sinusfunktion und (-) konstante Funktion. (b): Virtuell erzeugtes 3D Modell.



Abb. 2: Virtuell generiertes KÖpergewebe (2/2-Bindung) mit $h_{wa} = h_{we} = 50\mu\text{m}$, $w_{wa} = w_{we} = 100\mu\text{m}$, $p_{wa} = p_{we} = 150\mu\text{m}$. (a): Ohne Formvariationen. (b): Mit Verbreiterung und lateraler Deformation $b_{wa} = b_{we} = 0.2$ und $d_{wa} = d_{we} = 15\mu\text{m}$. (c): Mit Steifigkeit und Kröpfung $s = 0.5$ und $c = 1$.

Drahtgewebe angepasst werden kann. Das Modell hat den großen Vorteil, dass es Formvariationen der Drähte, welche im Fertigungsprozess der Gewebe entstehen, berücksichtigt. Diese Formvariationen haben einen großen Einfluss auf die Gewebegeometrie.

Wichtige Parameter zur Charakterisierung von Filtermedien sind der Druckverlust bei der Durchströmung mit Medien wie z.B. Luft, Wasser und Öl, der Bubble-Point und die Porengrößenverteilung /6/. Ziel der mathematischen Modellierung der Gewebe ist es, diese Größen möglichst genau durch numerische Simulationen zu ermitteln /7, 8, 9, 10/. Für das vorgestellte mathematische Modell werden entsprechende Simulationen mit Messungen an realen Drahtgeweben durch GKD – Gebr. Kufferath AG verglichen.

2. Virtuelle Erzeugung von Drahtgeweben

Die Drähte eines Gewebes können als kompakte Objekte ohne innere Struktur modelliert werden. Zur Vereinfachung wird zunächst angenommen, dass ein Draht einen konstanten ellipsoiden Querschnitt hat. Die Höhe und die Breite des Querschnitts werden durch die Parameter h und w beschrieben. Zur Unterscheidung zwischen Kett- und Schussfäden werden betreffende Parameter im folgenden mit w_{wa} oder w_{we} indiziert. Der Abstand der Drahtmitten in der Ebene des Gewebes, die sogenannte Teilung, ist durch den Parameter p bestimmt. Diese Parameter sind in Abb. 1(a) am Beispiel eines KÖpergewebes dargestellt.

Die Struktur eines Gewebes ist weiterhin durch die Gewebebindung vorgegeben, welche normalerweise in Form einer Bindungspatrone angegeben wird. Die Patrone kann als binäre Matrix dargestellt werden, wobei ein Eintrag in der Matrix einen Drahtkreuzungspunkt beschreibt. Der Wert des Matrixelements gibt an, welcher Faden sich über dem anderen befindet. Hier werden nur die Leinwand- und die KÖperbindung untersucht, aber auch die Atlasbindung könnte so behandelt werden.

Für das Generieren der Struktur eines Drahtgewebes muss man die laterale (in der Gewebeebene) und die vertikale Position (senkrecht zur Gewebeebene) der Drahtmitten beschreiben, wobei diese Informationen das Gewebeskelett definieren. Die Schuss- und Kettdrähte verlaufen näherungsweise senkrecht zueinander und daher kann man ihre laterale Position einfach mit Hilfe der Maschenweite der Schuss- und Kettdrähte berechnen [siehe Abb. 1(a)].

Die vertikale Drahtposition kann mit Hilfe der Bindungspatrone berechnet werden. Ein Draht nimmt seine Maximalamplitude an, wenn er sich über einem anderen Draht befindet, und seine Minimalamplitude, wenn er unter einem anderen Draht liegt. Startet man von einem Kreuzungspunkt entlang eines Drahtes, kann man zwei Fälle beobachten. Im ersten Fall verändert sich der Zustand des Drahtes nicht (Flottierung) und die vertikale Drahtposition bleibt konstant. Im zweiten Fall findet man einen Übergang zwischen den zwei Drahtzuständen. Der

Verlauf eines solchen Übergangs wird durch eine Sinusfunktion beschrieben. Dies bedeutet, dass die vertikale Drahtposition durch eine Kombination von konstanten linearen Funktionen und von Sinusfunktionen genähert wird. Diese Näherung erscheint zunächst willkürlich, später wird jedoch gezeigt, dass sie für viele Fälle sehr gut mit realen Geweben übereinstimmt. Allerdings kann die Wahl anderer Näherungsfunktionen, je nach zu modellierendem Draht, bessere Ergebnisse liefern.

Zur Berechnung der Absolutwerte der vertikalen Drahtposition benötigt man die Information über Höhe und Breite der Drähte. Als erste Näherung nimmt man an, dass die Maximalamplitude der Schussdrähte die halbe Höhe der Kettdrähte ist, wobei entsprechendes für die Kettdrähte gilt. Sind die Schuss- und Kettfäden unterschiedlich (unterschiedliches Material, Durchmesser), dann gilt diese Näherung nicht mehr. Die genaue Berechnung der Drahtposition wird im Abschnitt über Formvariationen diskutiert.

Mit den Informationen über die Position der Drahtmitten kann man die Geometrie eines Gewebes modellieren. Dafür wird das Skelett jedes Drahtes in Segmente unterteilt, wobei jedes Segment die Zentralachse eines Zylinders ist. Die Höhe und Breite der Zylinder ist durch die Parameter h und w des jeweiligen Drahtes gegeben. Auf die Vorder- und die Rückseite jedes Zylinders wird ein passender Halbellipsoid aufgesetzt, um bei Richtungsänderungen der Segmente eine glatte Form zu erhalten. Die Vereinigung der Zylinder und Ellipsoide ist das analytische Modell der Drähte.

Im nächsten Schritt wird das analytische Modell verwendet, um ein diskretes Modell des Gewebes zu konstruieren. Dafür wird ein quaderförmiges Volumen, das den betrachteten Ausschnitt des Gewebes enthält, in regelmäßige würfelförmige Zellen, sogenannte Voxel, unterteilt. Jeder Voxel, dessen Mittelpunkt in einem der Zylinder oder Ellipsoide liegt, ist Bestandteil eines Drahtes. Diese Methode wurde auf das KÖpergewebe, dessen Schema in Abb. 1(a) vorgestellt wurde, angewendet. Die Oberfläche der so erhaltenen genäherten 3D Geometrie ist in Abb. 1(b) dargestellt. Für Gewebe mit anderen Bindungspatronen erhält man entsprechende Ergebnisse.

3. Formvariationen

In realen Geweben findet man eine große Anzahl von Formvariationen. Diese Variationen, welche man z.B. in Tomographien beobachtet, müssen auch in der Modellierung berücksichtigt werden.

In vielen realen Geweben ist die Drahtbreite nicht konstant. Stattdessen



kann oft eine periodische Verbreiterung der Drähte beobachtet werden. Zur Beschreibung der entsprechenden relativen Verbreiterung wird der Parameter b eingeführt. Weiterhin sieht man oft eine laterale Deformation der Drähte, welche direkt mit der Bindungspatrone korreliert ist. Dieser Effekt kann durch eine laterale Sinus-Oszillation genähert werden, wobei die Amplitude dieser Oszillation mit d bezeichnet wird. Die Verbreiterung und die laterale Deformation sind in Abb. 2(b) am Beispiel eines Körpergewebes, welches in Abb. 2(a) ohne Formvariationen gezeigt ist, dargestellt.

Die Drähte eines Gewebes sind in Kett- und Schussrichtung oft unterschiedlich gespannt und daher unterschiedlich gebogen. Dieses Verhalten wird mit dem Kröpfungparameter c modelliert, welcher den kontinuierlichen Übergang von geradem Kett- ($c = -1$) zu geradem Schussfaden ($c = 1$) beschreibt. Für sehr steife Drähte ist die Beschreibung der vertikalen Drahtposition mit linearen Funktionen und Sinusfunktionen keine gute Näherung. Für solche Gewebe beschreibt man die Drahtposition besser mit quadratischen Funktionen. Dies wird mit dem Steifigkeits-

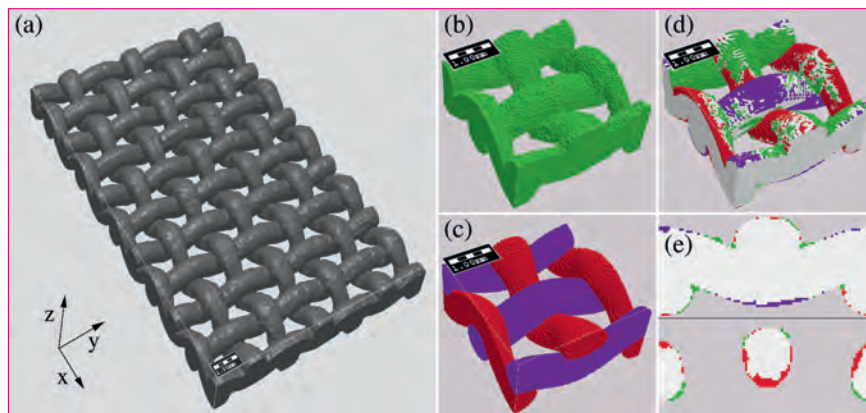


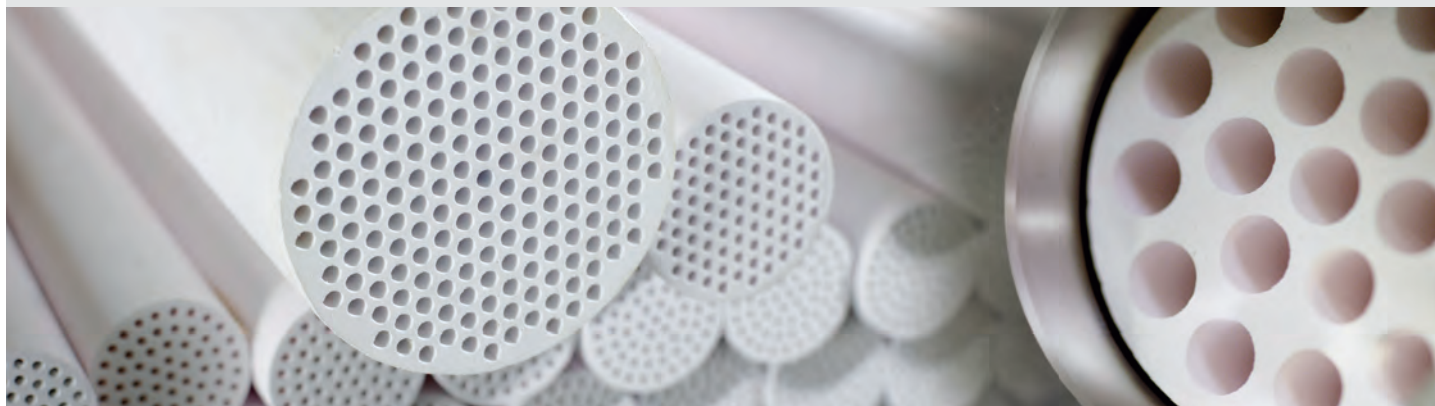
Abb. 3: Tomographie eines Drahtgewebes mit Leinwandbindung und der Vergleich mit einer generierten Struktur. (a), (b): Tomographie, wobei (b) eine Symmetriezelle zeigt. (c): Generierte Struktur mit $w_{wa} = 745\mu\text{m}$, $w_{we} = 888\mu\text{m}$, $h_{wa} = h_{we} = 780\mu\text{m}$, $p_{wa} = p_{we} = 1703\mu\text{m}$, $c = 0.25$, $b_{wa} = 0.4$ und $o = 142\mu\text{m}$. (d), (e): Vergleich zwischen der Tomographie und der generierten Struktur, wobei (d) ein 3D Bild und (e) 2D Schnitte für $x = 0\mu\text{m}$ (Vorderseite) und $x = 710\mu\text{m}$ zeigt.

parameter realisiert, der einen kontinuierlichen Übergang von der Approximation mit linearen Funktionen und Sinusfunktionen ($s = 0$) zu einer mit quadratischen Funktionen ($s = 1$), beschreibt. Ein Körpergewebe mit Steifigkeit und Kröpfung ist in Abb. 2(c) dargestellt.

Darüber hinaus beobachtet man oft eine Reduktion der vertikalen Maximalampli-

tude der Drähte. Dieses Phänomen wird durch den Parameter in unserem Modell beschrieben. Es entsteht durch die Deformation der Schuss- und Kettfäden an den Kreuzungspunkten (Abb. 3). Zur Beschreibung spezieller Gewebe müssen unter Umständen weitere Formvariationen in das Modell aufgenommen werden. Das vorgestellte Modell mit den besprochenen

Auf die Qualität kommt es an



Filtrationsanlagen müssen zuverlässige Abtrennung und lange Standzeiten garantieren – die Qualität der eingesetzten Membranen ist hierbei von entscheidender Bedeutung.

Die **atech innovations gmbh** bietet mit ihren keramischen Membranen Qualität in jeder Hinsicht: Keramik-Know-how auf dem Stand der Technik, jahrzehntelange Erfahrung mit Werkstoffen und Verfahrenstechnik, Verwendung hochreiner Materialien für weltweit einzigartige Produkte in Spitzenqualität zu bezahlbaren Preisen.

ACHEMA Frankfurt

11.05. – 15.05. | Halle 5.0 – Stand B38-B39

Jetzt bei uns serienmäßig:

Membranen in 1,5 m Länge und
Membranen mit 85 Kanälen

**atech
innovations
gmbh**

Am Wiesenbusch 26
45966 Gladbeck
Tel. 0 20 43 | 94 34-0
www.atech-innovations.com
info@atech-innovations.com

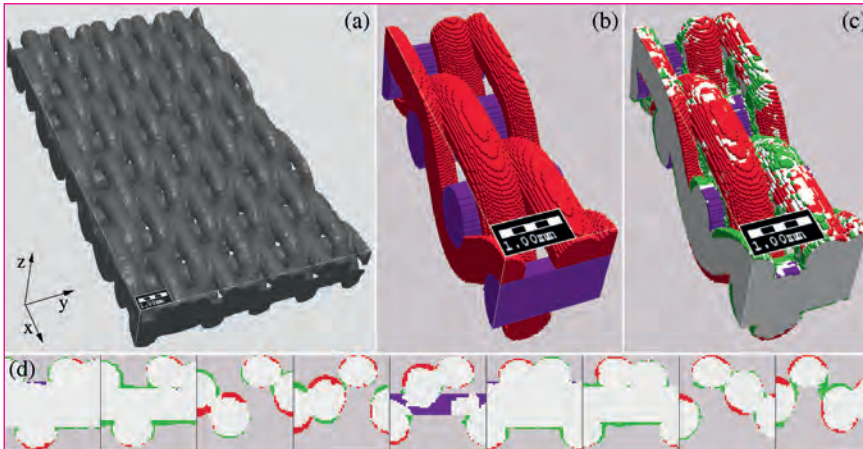


Abb. 4: Tomographie einer Körtresse (2/1-Bindung) und der Vergleich mit einer generierten Struktur. (a): Tomographie. (b): Generierte Struktur mit $w_{wa} = 798\mu\text{m}$, $w_{we} = 922\mu\text{m}$, $h_{wa} = 656\mu\text{m}$, $h_{we} = 922\mu\text{m}$, $p_{wa} = 656\mu\text{m}$, $p_{we} = 1809\mu\text{m}$, $c = 1$, $s = 0.1$ und $o = 195\mu\text{m}$. (c), (d): Vergleich zwischen der Tomographie und der generierten Struktur, wobei (c) ein 3D Bild und (d) 2D Schnitte für $x = 0\mu\text{m}$ (Vorderseite) $x = -354.7, -709.4, \dots, -2837\mu\text{m}$ zeigt.

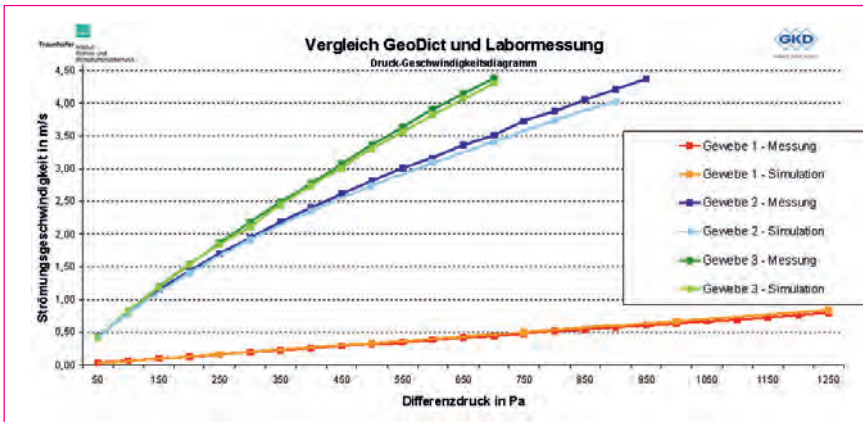


Abb. 5: Geschwindigkeitsabhängiger Druckabfall für drei Gewebetypen. x-Achse: Der Differenzdruck in Pa. y-Achse: Die Strömungsgeschwindigkeit in m/s.

Formvariationen führt jedoch zu einer sehr guten Übereinstimmung zwischen generierten und realen Metalldrahtgeweben.

4. Struktur von Metalldrahtgeweben

Tomographien von Metalldrahtgeweben, wobei die hier gezeigten von der GKD – Gebr. Kufferath AG zur Verfügung gestellt wurden, können mit der GeoDict-Software angesehen werden, indem man sie mit einem passend gewählten Schwellwert importiert. Voxel mit einem Grauwert größer als der Schwellwert gehören zu einem der Drähte. Anhand solcher Aufnahmen wurden die Eingangsparameter für die Gewebemodellierung bestimmt und für reale Gewebe kalibriert.

Ein Beispiel für eine so gewonnenen 3D-Geometrie ist in Abb. 3(a) gezeigt. Die Tomographie wurde so gedreht, dass die Kettfäden in y-Richtung und die Schussfäden in x-Richtung verlaufen. Die z-Richtung steht senkrecht auf der Ebene des Gewebes. Der kleinste Teil einer periodischen Struktur, der alle Informationen über die Geometrie enthält, nennt man Symmetriezelle. Sie entspricht dem Rapport des Gewebes. Für das

dargestellte Gewebe mit Leinwandbindung ist eine solche Symmetriezelle in Abb. 3(b) dargestellt. Ein solcher Ausschnitt einer Tomographie ist die exakteste Möglichkeit alle Informationen, die man zur Erzeugung eines Gewebemodells benötigt, zu gewinnen [Abb. 3(c)].

Zur Validierung der Methodik wird die Übereinstimmung zwischen dem Modell und dem realen Drahtgewebe durch ein Differenzbild nachgewiesen, welches in den Abbildungen 3(d) und (e) dargestellt ist. Die Farbe Weiß zeigt den Teil des Gewebes der sowohl in der Tomographie als auch im Modell präsent ist. Die anderen Farben gehören zu Voxeln, die nur im Modell oder nur in der Tomographie auftreten. Durch zählen der Voxel findet man, dass die Abweichung der Strukturen voneinander nur ca. 15% beträgt, d.h. 15% der Festkörpervoxel sind nicht weiß. Dieser Fehler liegt im Größenordnungsbereich des Fehlers der Tomographieaufnahme.

Abb. 4 zeigt eine Körtresse mit 2/1-Bindung, wobei die Tomographie in Abb. 4(a) dargestellt ist. Nun ermittelt man erneut eine Symmetriezelle und generiert ein Modell der Struktur, welches in Abb.

4(b) zu sehen ist. Überlagert man die Strukturen, dargestellt in Abb. 4(c) und (d), findet man eine Abweichung von ca. 10%.

Die Tomographien werden genutzt, um die Abweichungen der Geometrie der produzierten Gewebe von idealisierten Geweben sichtbar und quantifizierbar zu machen. Die genau Betrachtung der Tomographien hat zur Einführung der Parameter zur Beschreibung der Formvariation in unser Modell geführt.

5. Simulation und Messung des Druckverlustes für Edelstahlgewebe

Für den Vergleich der Labormessungen an realen Gewebetypen mit den Simulationsergebnissen wurden folgende Module der GeoDict-Software eingesetzt:

- WeaveGeo: Generierung der Gewebestruktur
- ProcessGeo: Definition der Einström- und Ausströmbereiche
- FlowDict (LB /10/): Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit bei vorgegebenem Differenzdruck

Die ausgewählten, realen Gewebetypen werden im GKD-Zentrallabor mikrometerngenau vermessen, da dies die Grundlage für die Generierung des virtuellen Gewebes mittels WeaveGeo bildet. Notwendige im Labor zu vermessende Gewebeparameter sind u.a. die Teilung in Kett- und Schussrichtung, die Drahtdurchmesser inkl. Toleranzen nach DIN ISO 4782, die Drahtundheit bzw. Drahtovalität und das Kröpfverhalten bzw. die Steifigkeit der Webdrähte. Eine Tomographie ist nicht notwendig.

Die Ermittlung der realen Strömungsgeschwindigkeiten bei vorgegebenen Differenzdrücken erfolgte bei GKD mit dem Luftdurchströmungsmessgerät Textest FX 3300 in Anlehnung an die EN ISO 9237. Der Differenzdruck wird bei 50 Pa beginnend in 50 Pa Schritten erhöht bis die Grenze des Messbereiches erreicht ist. Dieser Messbereich wird anschließend mit der GeoDict-Software nachgerechnet, um die Ergebnisse der numerischen Simulationen auf Basis der generierten Strukturen zu verifizieren.

Exemplarisch werden im Folgenden drei Gewebetypen virtuell und real verglichen. Hierbei handelt es sich jeweils um eine gängige Microtresse (Gewebe 1), PZ-Tresse (Gewebe 2) und optimierte Tresse (Gewebe 3). Der Vergleich der Simulationen mit den Messungen des Druckabfalls ist in Abb. 5 dargestellt.

Vergleicht man die mittels des FlowDict-Tools der GeoDict-Software für unterschiedliche Gewebetypen berechneten Luftströme bei unterschiedlichen Differenzdrücken, so stellt man eine sehr hohe Übereinstimmung mit den

Tabelle 1: Die Abweichung der Simulationsergebnisse von den Messergebnissen

	Gewebe 1	Gewebe 2	Gewebe 3
Mittlere Abweichung	+ 4,70 %	- 2,2 %	- 1,6 %
Standardabweichung	0,70 %	0,81 %	0,46 %

Labormessungen fest. Die Abweichung zwischen den GeoDict-Berechnungen und den Labormessungen ist in Tabelle 1 angegeben.

Wie zu erkennen ist liefern die GeoDict-Berechnungen realistische Werte. Eine ähnlich gute Übereinstimmung erhält man bei den Gewebeparametern Kugeldurchlass, Bubble-Point und Porosität.

Die Genauigkeit der Ergebnisse ist auf der einen Seite durch die Messgenauigkeit bzw. die Fertigungstoleranzen der Gewebe gegeben. Auf der Softwareseite ist sie durch die individuell zu bewertenden, auf Erfahrung basierenden, Parametereingaben bei der Gewebemodellierung beschränkt. Da die Fertigungstoleranzen bekannt sind, ist die Simulation von Min- und Max-Werte möglich.

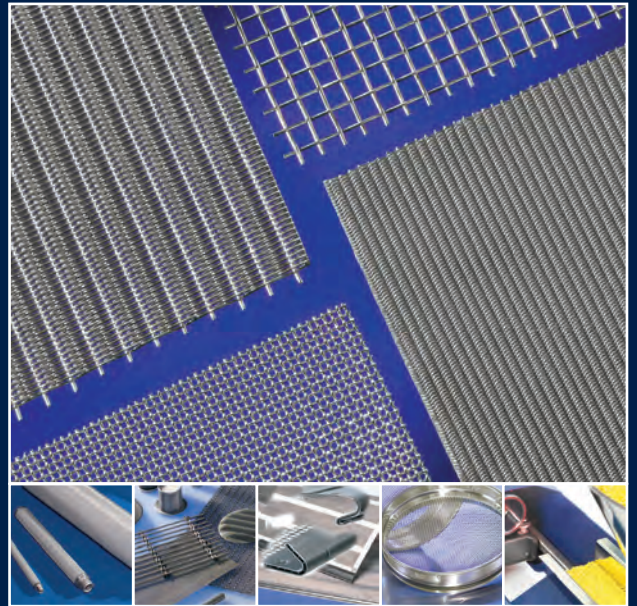
6. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass mittels des vorgestellten mathematischen Modells Strukturen erzeugt werden können, die sehr gut mit den Geometrien realer Drahtgeweben übereinstimmen. Mit Hilfe weiterer Tomographien wurde sichergestellt, dass diese Aussage auch für eine große Bandbreite von weiteren Metalldrahtgeweben gilt. Simulationen auf Basis dieser geometrischen Gewebemodelle liefern eine sehr gute Übereinstimmung mit entsprechenden Messwerten.

Vorteile in der Simulation von Geweben mittels GeoDict liegen in den präzisen Vorhersagen von Gewebeeigenschaften, der optischen Darstellung komplexer Kundenanwendungen, der recht einfachen Bedienung der Software, den geringen Anschaffungs- und Folgekosten, der Reduzierung von Entwicklungskosten und –zeiten. Die Berechnungszeiten für die in Abb. 5 gezeigten Serien liegen zwischen 5 und 15 Stunden. Die GKD – Gebr. Kufferath AG setzt GeoDict bereits seit vielen Monaten bei der Entwicklung und Optimierung diverser Gewebetypen ein.

Literatur:

- /1/ Verpoest und S.V.Lomov. Virtual textile composites software Wisetex: integration with micro-mechanical, permeability and structural analysis. Composites Science and Technology, 65(15-16): 2563-2574 (2005)
- /2/ S. Kawabata, M. Niwa und H. Kawai. The finite-deformation theory of plain weave fabrics, J. Text. Inst. 64: 21-61 (1973)
- /3/ J. W. S. Hearle, P. Potluri und V. S. Thammandra. Modelling fabric mechanics, J. Text. Inst. 92(3): 53-69 (2001)
- /4/ F. T. Peirce. The geometry of cloth structure, J. Text. Inst. 28: 45-96 (1973)
- /5/ M. A. Smith und X. Chen. CAD and constraint-based geometric modelling algorithms for 2D and 3D woven textile structures, J. of Information and Computing Science 3(3): 199-214 (2008)
- /6/ G. R. Rideal, E. Mayer und R. Lydon. Comparative Methods for the Pore Size Calibration of Filter Media. Filtech 2003 International Conference for Filtration and Separation Technology, 1:280-287 (2003)
- /7/ S. Schütz, P. Kopf und M. Piesche. Prediction of Pore Size and Pressure Drop of Porous Woven Wire Cloth Filter Media on the Basis of Calculation Models. Filtration, 4(8):335-344 (2008)
- /8/ M. A. Nazarboland, X. Chen, J. W. S. Hearle, R. Lydon und M. Moss. Modelling Filtration through Woven Fabrics. Filtech 2007 International Conference for Filtration and Separation Technology, 1:45-52 (2007)
- /9/ R. J. Wakeman, K. C. Ting und V. Nassehi. Finite Element Modelling of Flow Through Plain Twill and Satin Weave Monofilament Cloths. Filtech 2005 International Conference for Filtration and Separation Technology, 1:108-115 (2005)
- /10/ D. Kehrwald. Parallel lattice Boltzmann simulation of complex flows. Simulation of Complex Flows (CFD) - Application and Trends (2004)



IDEEN MIT KÖNNEN VERWEBEN

FILTRATION

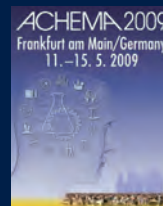
KONFEKTIONIERUNG

PARTIKELANALYSE

INDUSTRIESIEBE

PHOTOOPTISCHE

PARTIKELANALYSE



Bitte besuchen Sie uns.
Halle 5.0, Stand B27-C29

www.diedrahtweber.com