

# Mathematik – Numerik, Modellierung, Simulation

## Vorwort

Die Mathematik bildet eine der wesentlichen Grundlagen für fast alle Natur- und Ingenieurwissenschaften und für weite Bereiche der Wirtschaftswissenschaften. Obwohl sie zu den klassischen Wissenschaften zählt, befindet sie sich sowohl in ihren theoretischen als auch ihren anwendungsorientierten Teilgebieten in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess. Mit der beschleunigten Weiterentwicklung in Industrie, Wirtschaft und Technik ergibt sich eine schnell wachsende Fülle von Problemen, die neue mathematische Lösungsmethoden erfordern. So sind mathematische Modelle in der Hydro- und Aerodynamik, in Kommunikationssystemen, im Finanz- und Versicherungswesen, der geometrischen Datenverarbeitung, der Automatisierung von Fertigungstechniken und der Numerik für Vektor- und Parallelrechner von fundamentaler Bedeutung. Insbesondere hat das Zeitalter der Großrechner neue Forschungsbereiche der Mathematik eröffnet, wie das wissenschaftliche Rechnen und die experimentelle Mathematik.

Der folgende Beitrag gibt einige Beispiele der aktuellen Forschung des Fachbereichs Mathematik auf den Gebieten Numerik, Modellierung und Simulation. Sie dokumentieren die breit gefächerte Kooperation mit ingenieurwissenschaftlichen Instituten und industriellen Anwendern.

## Finite-Element-Methoden mit B-Splines

Finite-Element-Methoden spielen bei der numerischen Simulation in Forschung und Praxis eine fundamentale Rolle. Sie bilden ein vielseitiges Hilfsmittel zur Lösung partieller Differentialgleichungen, wie sie zum Beispiel bei Problemen der Kontinuums- und Strömungsmechanik oder der Thermodynamik auftreten.

Die gemeinsam mit Ulrich Reif und Joachim Wipper entwickelten gewichteten erweiterten B-Splines (WEB-Splines) bilden eine neue Klasse von Finiten Elementen. Sie entsteht durch Verknüpfung des klassischen Finite-Element-Ansatzes mit Konzepten der geometrischen Datenverarbeitung.

Als Grundlage für die Konstruktion dieser neuen Finite-Element-Basis dienen B-Splines. Dies sind stückweise polynomiale Funktionen, die auf regulären Gittern definiert werden (siehe Abb. 1). Zur Einhaltung wesentlicher Randbedingungen, wie z.B. die Einspannung eines Bauteils, werden die B-Splines mit einer auf dem Simulationsgebiet global definierten Gewichtsfunktion multipliziert. Eine Kopplung der in Abb. 1 rot markierten B-Splines am Rand mit den grün gekennzeichneten inneren B-Splines vermeidet zusätzlich numerische Instabilitäten bei der Simulation.

Die spezielle Konstruktion der WEB-Splines bedingt eine Reihe verfahrens-

technischer Vorteile: Durch die Verwendung regulärer Gitter entfällt der zeit- aufwändige Vernetzungsschritt, wie er bei klassischen Finite-Element-Methoden benötigt wird. Die einfache Gitterstruktur ist ideal für hierarchische Verfeinerungsansätze und Mehrgitterlöser geeignet. Sie ermöglicht darüber hinaus effiziente und vergleichsweise einfache Implementierungen.

Da der Grad der B-Splines frei gewählt werden kann, sind bereits bei wenigen Ansatzfunktionen Lösungen von hoher Genauigkeit möglich. Darüber hinaus können durch die Gewichtung Randbedingungen exakt eingehalten werden, woraus sich ein weiterer Genauigkeitsvorteil ergibt. WEB-Splines ermöglichen eine genaue Kontrolle des Simulationsfehlers und erlauben dadurch ei-

### Kontakt

**Prof. Dr. Klaus Höllig**  
**Dipl.-Math. Joachim Wipper**  
Universität Stuttgart, IMNG  
Pfaffenwaldring 57  
70569 Stuttgart  
Tel. (0711) 685-5351  
Fax (0711) 685-5375  
e-mail: hollig@mathematik.uni-stuttgart.de

**Prof. Dr. Ulrich Reif**  
Technische Universität Darmstadt  
Fachbereich Mathematik, AG3  
Schlossgartenstraße 7  
64289 Darmstadt  
Tel. (06151) 16-4690  
Fax (06151) 16-2131  
e-mail: reif@mathematik.tu-darmstadt.de

[www.web-spline.de](http://www.web-spline.de)

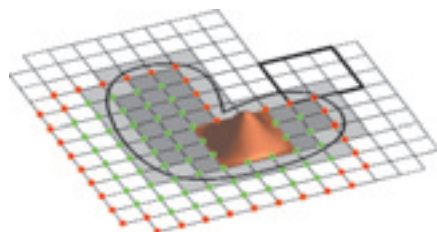


Abb.1: Klassifikation der B-Splines bei der Konstruktion der WEB-Basis.

ne gezielte globale oder lokale Steuerung des Simulationsprozesses.

Aufgrund der konzeptionellen Gemeinsamkeiten von WEB-Splines und CAD/CAM-Modellen, ist eine nahtlose Einbettung der Finite-Element-Approximation in den Gestaltungsprozess möglich. Zusammen mit der genauen Fehlerkontrolle ergibt sich so z.B. eine hervorragende Grundlage für automatisierte gestaltoptimierende Verfahren.

In einer Reihe typischer Anwendungen erwies sich das WEB-Verfahren herkömmlichen Methoden deutlich überlegen. Beispielsweise wurden elektromagnetische Schwingungen in einem flachen Hohlzylinder berechnet. Die mathematische Beschreibung basiert auf der Helmholtz-Gleichung und führt auf ein verallgemeinertes Eigenwertproblem.

Die praktische Bestimmung der Eigenfrequenzen ist im Allgemeinen nur mit hohem Aufwand möglich. Achim Richter von der Technischen Universität Darmstadt hat zur Untersuchung quantenmechanischer Effekte hierzu einen Analogrechner in Form eines Hohlzylindermodells aus einem Supraleiter gefertigt, in den nach extremer Abkühlung Mikrowellen eingeleitet werden. Mit Hilfe der WEB-Spline-Methode konnte Ulrich Reif dieses Modell simulieren. Die Effizienz des Verfahrens ermöglichte es dabei innerhalb einer Stunde mehrere tausend Eigenfrequenzen des Systems mit hoher Genauigkeit auf einem Standard-PC zu berechnen.

#### Literatur

- Höllig, Klaus (2003): Finite Element Methods with B-Splines, SIAM, Frontiers in Applied Mathematics, 26.  
 Höllig, Klaus; Reif, Ulrich; Wipper, Joachim (2003): Patentschrift DE 100 23 377 C2.

## Analysis, Modellierung und Simulation von Mehrskalenproblemen



Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert seit September 2000 im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1095

deutschlandweit 26 Projekte, die zum größten Teil innerhalb der Mathematik verankert sind. Die Koordination des Programms geschieht durch Prof. Alexander Mielke (Stuttgart).

Eine fundamentale Fragestellung bei der mathematischen Modellierung und Analyse realistischer Systeme aus Physik und Ingenieurwissenschaften ist die Wechselwirkung zwischen Effekten auf unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen. Ein Verständnis des Zusammenspiels der Skalen ist nicht nur von grundsätzlicher theoretischer Bedeutung, sondern auch eine entscheidende Voraussetzung für die effiziente Simulation großer Systeme. Eine der zentralen Fragen ist, welche Informationen auf den kleinen Skalen benötigt werden, um die makroskopischen Größen richtig zu beschreiben. Ziel des Schwerpunktprogramms ist es, neue mathematische Konzepte anhand konkreter Fallbeispiele zu entwickeln und ihre Anwendungen systematisch zu bündeln. Neben den Impulsen für die Modellbildung beinhalten die analytischen Konzepte wesentliche Erkenntnisse darüber, welche Größen in der Mehrskalentheorie stabil berechnet werden können.

Im Stuttgarter Teilprojekt „Makroskopische Dynamik von Oszillatorketten“ wird diese Thematik exemplarisch an mathematischen Modellen für Kristalle untersucht. Dabei wird eine große Anzahl von Atomen betrachtet, die in periodischer Weise durch rein elastische Federn verbunden sind. Dabei wird untersucht, wie sich Wellen im System ausbreiten und wie die Energie transportiert wird, wenn die Atome geeignet angeregt wurden. Betrachten wir beispielsweise ein lineares System, bei dem die rechte Hälfte der Atome zur Zeit  $t=0$  nach rechts versetzt wird, so bilden sich zwei Wellenfronten, die mit

der makroskopischen Wellengeschwindigkeit nach links bzw. rechts laufen (Abb. 2). Zwischen den Fronten fluktuieren die Atome gemäß einer wohldefinierten, verschmierten Energieverteilung (Abb. 3)

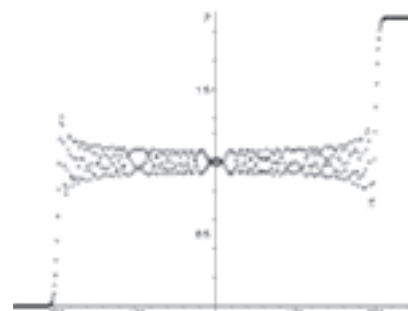


Abb. 2: Auslenkung der 500 Atome zur Zeit  $t=200$ .

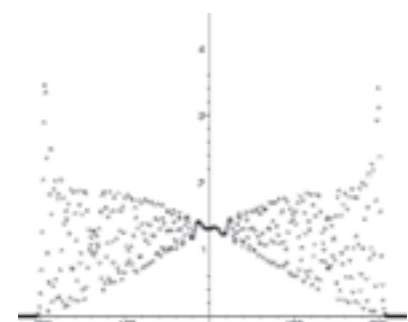
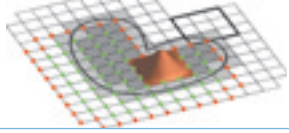


Abb. 3: Energieverteilung zur Zeit  $t=200$ .

#### Kontakt

Prof. Dr. Alexander Mielke,  
 Dr. Johannes Giannoulis  
 Universität Stuttgart  
 Institut für Analysis, Dynamik und Modellierung (IADM)  
 Pfaffenwaldring 57  
 70569 Stuttgart  
 Tel. (0711) 685-5546  
 Fax (0711) 685-5535  
 e-mail: mehrskal@mathematik.uni-stuttgart.de  
<http://www.mathematik.uni-stuttgart.de/~mehrskal>



## BMBF-Projekt: Fenstertechniken für elektromagnetische Analysen an Geräten der elektrischen Energietechnik

In vielen technischen Anwendungen der Elektrotechnik treten auf Grund hoher Stromstärken thermische Belastungen in den Bauteilen auf. Ziel des Projekts ist neben der Modellierung

Die Simulation beruht auf einer schnellen Randelementmethode zur Lösung der Maxwell-Gleichungen im dreidimensionalen Raum. Insbesondere werden bei diesem Zugang Verdrängungs- und Wirbelstromeffekte berücksichtigt. Daran angekoppelt ist die Lösung eines thermodynamischen Problems, dessen Quellen gerade die elektrodynamischen Felder sind.

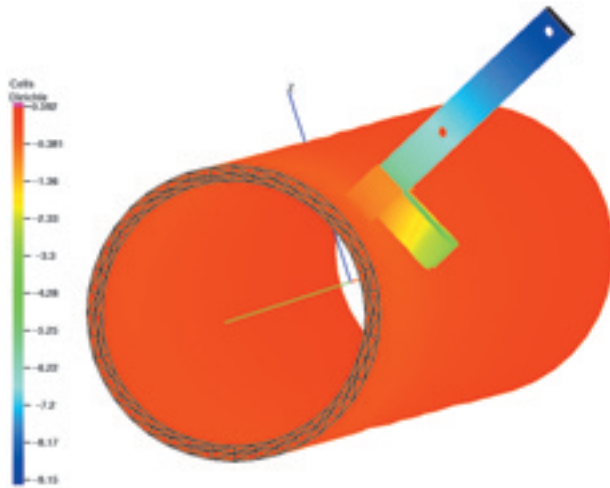


Abb.4: Simulation eines Hochleistungstransformators.

und effizienten numerischen Berechnung elektrodynamischer Felder die Beschreibung und Analysis der Oberflächentemperatur eines Bauteils unter dem Einfluss einer vorgegebenen äußeren Kühlströmung. In Abb. 4 ist als typische Anwendung das Oberflächennetz von einem Teil eines Hochleistungstransformators dargestellt.

In Abb. 4 ist das elektrische Potential zur Veranschaulichung der Lösung des elektrodynamischen Problems dargestellt. Die beiden Enden des Rohrs sind dabei mit dem negativen Pol und das obere Ende der Anordnung mit dem positiven Pol einer äußeren Spannungsquelle verbunden.

## Arbeitsgruppe Sedimentation

Die Arbeitsgruppe Sedimentation befasst sich mit der mathematischen Modellierung, der Analysis sowie der Entwicklung von Simulationsverfahren zur Steuerung von Fest-Flüssig-Trennprozessen, wie sie in der Aufbereitungstechnik, der Umwelttechnik, der Medizin und der Biotechnologie vielfach vorkommen. Die Modellierung von Suspensionen führt auf nichtlineare partielle Differentialgleichungen, die in der Regel nur numerisch gelöst werden können. Simulationen unterstützen die Einsicht in den physikalischen Vorgang und werden zur Auslegung und Steuerung von Kläranlagen eingesetzt.

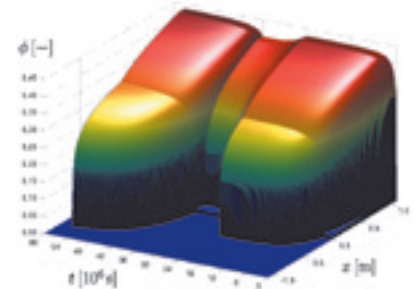


Abb.5: Visualisierung der Simulation des Verlaufes der Konzentration  $\phi$  einer ausgeflockten Suspension in einem Kläreindicker in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  und der Tiefe  $x$ .

Die mathematische Modellierung basiert auf der Theorie der Mischungen und geht von allgemeinen Massen- und Impulsbilanzen für die Phasen aus. Die Flüssigkeit und der in ihr verteilte Feststoff werden dabei als kontinuierliche

### Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wolfgang Wendland  
Dipl.-Math. Jens Breuer  
Universität Stuttgart, IANS  
Pfaffenwaldring 57  
D-70569 Stuttgart  
Tel. 0711 / 685-5525  
Fax. 0711 / 685-5535  
e-mail: wendland@mathematik.uni-stuttgart.de

Prof. Dr. Zoran Andjelic  
ABB Corporate Research Ltd  
Segelhof 1  
CH-5405 Baden-Dättwil  
Tel. 0041 - (0)56 / 486-8411  
e-mail: zoran.andjelic@ch.abb.com

### Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. W. L. Wendland  
Priv.-Doz. Dr. Raimund Bürger  
Dipl.-Math. Stefan Berres  
Universität Stuttgart,  
Institut für Angewandte Analysis  
und Numerische Simulation  
Pfaffenwaldring 57  
70569 Stuttgart  
Tel. (0711) 685-5509  
Fax (0711) 685-5599  
e-mail: buerger@mathematik.uni-stuttgart.de  
www.ians.uni-stuttgart.de/buerger

Phasen beschrieben. Materialspezifische Modellannahmen und weitere Vereinfachungen führen auf partielle Differentialgleichungen für den Volumenanteil des Feststoffes und die mittlere Strömungsgeschwindigkeit. Die besonderen mathematischen Merkmale dieser Gleichungen sind unstetige Parameter und Typentartungen. Als Grundlage zuverlässiger Simulationswerkzeuge muss erst eine passende mathematische Theorie entwickelt werden.

Die Forschungsarbeiten befassten sich zunächst mit Existenz- und Eindeutigkeitsaussagen. Die Resultate der mathematischen Analysis wurden schließlich zur näherungsweise Berechnung von sogenannten Entropielösungen verwendet. Bei diesen Verfahren werden die auftretenden Unstetigkeiten der Lösung automatisch mitapproximiert. Seit geraumer Zeit befassen wir uns auch intensiv mit polydispersen Suspensionen, bei denen sich differentiell absetzende Teilchen unterschiedlicher Durchmesser und Dichten auftreten.

Durch die numerische Lösung der Feldgleichungen zusammen mit Anfangs- und Randbedingungen können Sedimentationsprozesse in Absatzbehältern und kontinuierlichen Eindickern simuliert werden. Vergleichsrechnungen mit experimentellen Daten bestätigten die Eignung der Modelle. Die entwickelten Modelle können schließlich zur Qualitätssicherung und zur Parameterbestimmung eingesetzt werden.

## Gebietszerlegungsmethoden und Fernfeldrandbedingungen für Erhaltungsgleichungen mit elektromagnetischen Feldern

Die vollständige mathematische Modellierung magnetoplasmodynamischer Strömungen (MPD) ist außerordentlich komplex und Rechenzeiten für entsprechende numerische Simulationen und große Rechengebiete sind extrem. Deshalb wird hier die Kopplung verschiedener physikalischer Modelle in einer Gebietszerlegung gewählt, bei der in Teilbereichen Effekte in vereinfachten Modellen vernachlässigt werden können.

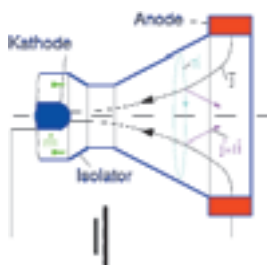


Abb. 6: Prinzip des MPD-Triebwerks.

Ein kaltes Gas (Argon) tritt in das Triebwerk ein und wird dann durch eine elektrische Entladung zu einem heißen Plasma aufgeheizt, welches durch Ausdehnung beschleunigt in einen Testtank strömt. Zusätzlich wird die Plasmageschwindigkeit durch elektromagnetische Lorentz-Kräfte erhöht. Aufgrund der hohen Komplexität der entsprechenden Modellgleichungen

wird das vollständige System nur im Nahfeld  $\Omega_1$  gelöst, während in den Gebieten  $\Omega_3$  und  $\Omega^*_2$  vereinfachte Modelle implementiert werden. Allerdings rezirkuliert ein Teil des umgebenden Gases der Gebiete  $\Omega^*_2$  und  $\Omega_3$  in die heiße Plasmazone in  $\Omega_1$ , so dass auf Teilen des künstlichen Randes Einströmrandbedingungen zu berücksichtigen sind. Dies erfordert auch in den Außengebieten  $\Omega_3$  und  $\Omega^*_2$  eine sorgfältige Modellierung der Strömung.

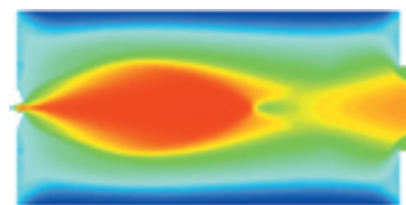


Abb. 7: Axialgeschwindigkeit im gesamten Rechengebiet.

Damit ergeben sich folgende **Ziele und Aufgaben:**

- Die mathematische Modellierung kompressibler magnetoplasmodynamischer Strömungen und ihre numerische Simulationen.
- Die Formulierung korrekt gestellter Transmissionsbedingungen für die Kopplung viskoser und reibungsfreier kompressibler Strömungen.
- Eine feinere Modellierung im Eigenfeldbeschleuniger.
- Effiziente numerische Gebietszerlegung für gekoppelte Navier-Stokes/Euler-Gleichungen.
- Numerische Experimente und numerische Fallrechnungen für MPD-Strömungen unter Berücksichtigung der fiktiven Kopplungsränder. Vergleich mit vorangegangenen numerischen Resultaten sowie mit Experimenten im Plasmawindkanal.

Die für die Untersuchungen eingesetzten **mathematischen Methoden** sind:

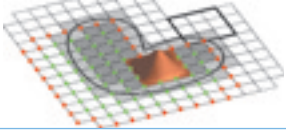
- Anwendung der singulären Störungstheorie von Vishik und Ljusternik auf die gekoppelten Navier-Stokes/Euler-Anfangsrand- und Übergangsprobleme.
- Anwendung der klassischen Charakteristiken-Methode für hyperbolische partielle Differentialgleichungssysteme.

Kontakt:

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wolfgang Wendland**  
 Institut für Angewandte Analysis und Numerische Simulation  
 Universität Stuttgart  
 Pfaffenwaldring 57  
 70569 Stuttgart

**Dr. C. Coclici**  
 Robert Bosch GmbH, FV/PTS  
 Postfach 30 02 40  
 70422 Stuttgart

**Prof. Dr.-Ing. habil. Monika Auweter-Kurtz**  
**Dr.-Ing. J. Heiermann**  
 Institut für Raumfahrtssysteme  
 Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31  
 70569 Stuttgart



- Heterogene Gebietszerlegungsmethoden für die numerische Lösung der MPD-Strömungen.
- Runge-Kutta-Methoden für gewöhnliche Differentialgleichungen im Zusammenhang mit inneren Grenzschichten an den künstlichen Kuppelrändern.

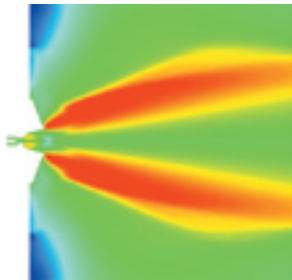


Abb. 8: Axialgeschwindigkeit.

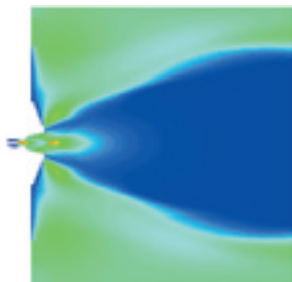


Abb. 9: Schwerteilchentemperatur.

Im Projekt wurden die folgenden

**Resultate** erzielt:

- Die vollständige Modellierung der Übergangsbedingungen für zweidimensionale oder rotationssymmetrische dreidimensionale gekoppelte viskose mit reibungsfreien kompressiblen Strömungen mit Hilfe der singulären Störungstheorie.
- Die numerische Lösung der gewöhnlichen Grenzschicht-Differentialgleichungen.
- Numerische Simulationsergebnisse für die Kopplung des vollständigen MPD-Systems bestehend aus den erweiterten kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen, den Maxwell-Gleichungen, dem Ohmschen Gesetz für Plasmen und den Erhaltungsgleichungen für die Plasma-Spezies in  $\Omega_1$  mit vereinfachten Modellen erweiterter Erhaltungsgleichungssysteme im Fernfeld  $\Omega\Omega_1$ .

### Schnelle Multipol-Randelementmethoden und industrielle Anwendungen

Bei der Simulation von technischen und physikalischen Vorgängen in komplexen Strukturen stellt bereits die Erzeugung der für die numerische Simulation notwendigen Vernetzungen eine Herausforderung dar. Insbesondere muss das von automatischen Vernetzungsprogrammen erzeugte Netz häufig noch von Hand mühsam auf seine Korrektheit überprüft werden. Hier bieten Randelementmethoden eine erhebliche Vereinfachung, da lediglich die Randfläche der Struktur vernetzt werden muss. Dies führt außerdem zu einer Dimensionsreduktion des resultierenden linearen Gleichungssystems.

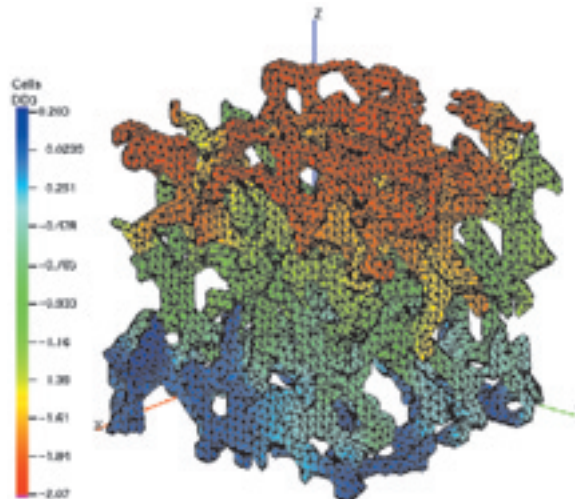


Abb. 10: Berechnete Deformation eines Metallschwamms.

Der Nachteil, dass dabei der lokale Charakter der zugrundeliegenden partiellen Differentialgleichungen verloren geht, kann durch die Verwendung von schnellen Randelementmethoden wie zum Beispiel der Multipolmethode ausgeglichen werden. Diese beruht auf der Einführung einer fiktiven Hierarchie zur Gruppierung der Randelemente und der Approximation des Kernes durch eine geeignete Reihenentwicklung für voneinander entfernt liegende Elemente. Wesentlich ist hierbei die Ausnutzung der aufgebauten Hierarchie zur effizienten Berechnung der Approximation. Abb. 10 zeigt die berechnete De-

formation eines Metallschwamms unter äußerer Kräfteinwirkung. Weitere Anwendungen finden sich in der Potentialberechnung zur Bestimmung der Kennlinien von Sensoren, der Simulation von Lackierungsvorgängen und der Auslegung von Umformwerkzeugen.

**Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wolfgang Wendland  
 Priv.-Doz. Dr. Olaf Steinbach  
 Dipl.-Math. Günther Of  
 Universität Stuttgart, IANS  
 Pfaffenwaldring 57  
 70569 Stuttgart  
 Tel. (0711) 685-5525  
 Fax (0711) 685-5599  
 e-mail: wendland@ians.uni-stuttgart.de

## Simulation inkrementeller Blechumformung

CNC-gesteuerte (CNC: Computer Numerical Control) inkrementelle Umformverfahren haben ein großes Innovationspotenzial bei der wirtschaftlichen Herstellung kleiner Serien von Blechbauteilen. Anstelle komplizierter Werkzeuge, die aufwendig herzustellen sind, werden Universalwerkzeuge verwendet, und anstelle einiger weniger Umformschritte treten viele kleine Umformschritte. Auch wenn der Prozess für das einzelne Bauteil länger dauert, können durch die Zeitersparnis beim Werkzeugbau Prototypen und Kleinserien schneller und kostengünstiger hergestellt werden. Von zentralem Interesse ist die Entwicklung flexibler inkrementeller Blechumformverfahren, die eine hohe Blechbauteilqualität garantieren und komplexe Geometrien ermöglichen. Dabei können numerische Simulationsergebnisse einen wesentlichen Beitrag leisten.

Für die Steuerung des Umformprozesses ist es wichtig, viele Umformsimulationen mit verschiedenen Werkzeugpfaden in kurzer Zeit durchführen zu können: Bei dem Prozess, der in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt ist, wäre die einfachste Lösung, mit dem Umformkopf nur an der gewünschten Zielkontur entlang zu fahren. Doch Vorsicht ist geboten: Nach der Lastwegnahme federt das Material zurück und



Abb. 11: Inkrementelle Blechumformung im Überblick: Das Blech wird fest eingespannt und durch eine Positivform (Patrize) unterstützt. Dann fährt der Umformkopf entlang von Höhenlinien den Werkzeugpfad ab und bringt das Blech in die gewünschte Form.

es ergibt sich nicht die erforderliche Bauteilgeometrie. Mit Hilfe mehrerer Simulationen mit unterschiedlichen Parametern kann ein Werkzeugpfad gefunden werden, der die gewünschte Endform liefert. Der dabei betrachtete Umformprozess ist vor allem dann sinnvoll, wenn es möglich ist, für die gewünschten Prototypen oder Kleinserienbauteile über Nacht die entsprechenden Programme für die CNC-Maschinen zu berechnen.

Sehr interessant ist auch die noch ungeklärte Frage nach „dem“ Materialgesetz für Blechumformungen. Die Modellierung ist herausfordernd, da sehr hohe Umformgrade und eine zyklische Be- und Entlastung auftreten, und unter den verschiedenen heute eingesetzten Modellen hat sich noch keines klar hervorgehoben. Hier erhofft man sich ebenfalls Hilfe von der numerischen Simulation. Sie kann im Vergleich mit experimentellen Daten die Gültigkeitsbereiche und Grenzen bestehender Modelle aufzeigen und zu einem besseren Modell- und Prozessverständnis führen.

Bislang werden zur Simulation vor allem kommerzielle Programmsysteme eingesetzt. Diese liefern allerdings meist nur unbefriedigende Resultate. Lange Rechenzeiten, numerische Instabilitäten und qualitativ schlechte Ergebnisse erfordern die Entwicklung neuer effizienter Algorithmen. Dabei gilt es viele Hürden zu überwinden, was die Simulation von inkrementellen Blechumformverfahren zu einer herausfordernden und spannenden Aufgabe macht. Große Verformungen, kleine, aber lokal veränderliche plastische

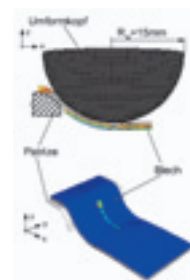


Abb. 12: Oben: Umformkopf am Blech. Unten: Draufsicht der Umformzone.

Zonen, nichtlineare Kontaktprobleme und viele Zyklen stellen nur einige der auftretenden Schwierigkeiten dar.

Diese Schwierigkeiten lassen sich nur mit vereinter Kraft von Spezialisten aus Umformtechnik und Angewandter Mathematik bewältigen. Im Rahmen eines neuen DFG-Schwerpunktes werden in einer Zusammenarbeit zwischen Mathematikern und Ingenieuren der Universitäten Leipzig, Saarbrücken und Stuttgart moderne numerische Simulationsverfahren eingesetzt und neue Algorithmen entwickelt. Zusätzlich werden im Rahmen von Experimenten Referenzlösungen für die Simulation geschaffen. In den mathematischen Teilprojekten wird unter anderem die Konstruktion geeigneter Vorkonditionierer für iterative Löser sowie die Lösung durch eine teilweise Simulation mit der Randelementmethode untersucht. Hauptziele hier vor Ort sind die Reduzierung der Rechenzeit durch die kombinierte Verwendung von lokal unterschiedlichen Modellen, Diskretisierungen und Vernetzungen, dynamischen überlappenden Gebietszerlegungsmethoden, effizienten iterativen Lösern sowie modernen Kontaktalgorithmen und die Entwicklung darauf aufbauender, numerisch stabiler Verfahren.

### Kontakt (Stuttgart):

Prof. Dr. Barbara Wohlmuth  
Dipl.-Math. Stephan Brunßen  
Universität Stuttgart, IANS  
Pfaffenwaldring 57  
70569 Stuttgart  
Tel. 0711/685-2040  
Fax (0711) 685-5507  
e-mail: wohlmuth@ians.uni-stuttgart.de

### Leitung des DFG-Schwerpunktprogrammes 1146:

Prof. Dr.-Ing. Gerhart Hirt  
Universität des Saarlandes  
Lehrstuhl für  
Werkstofftechnologie/Präzisionsformgebung  
Gebäude 38, Postfach 15 11 50  
66123 Saarbrücken  
Tel. (0681) 302-6520  
Fax (0681) 302-6530  
e-mail: g.hirt@mx.uni-saarland.de