



---

# **FRAUNHOFER-CHALMERS RESEARCH CENTER FOR INDUSTRIAL MATHEMATICS FCC**

- **GEOMETRIE UND BEWEGUNGSPLANUNG**

Software-Entwicklung für die Bewegungsplanung von Robotern und Simulation flexibler Kabel

- **COMPUTATIONAL ENGINEERING UND DESIGN**

Numerische Methoden und Simulationstools für die Bereiche Hydrodynamik, Strukturdynamik und Elektromagnetismus

- **SYSTEM- UND DATENANALYSE**

Software-Entwicklung für dynamische Systeme, Prognose und Kontrolle, Bild- und Videoanalyse, Statistik und Quality Engineering



**DR. JOHAN CARLSON**  
LEITER DES FCC



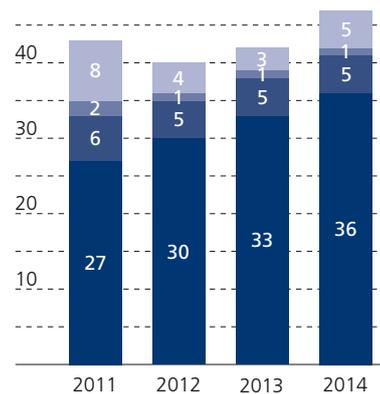
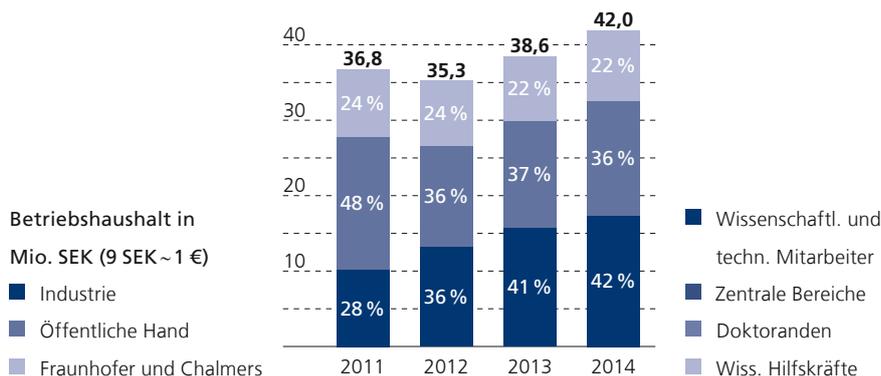
Modellierung, Simulation und Optimierung ermöglichen eine Spitzenstellung bei der industriellen Innovation von Produkten und Produktionssystemen. 2014 haben wir dies erfolgreich in 50 Projekten mit Kunden aus dem Automobil- und Nutzfahrzeugbereich sowie der pharmazeutischen Industrie, der Holz- und Papierindustrie und der Elektronikindustrie bewiesen. Beispiele sind u. a. die Simulation von Lackierverfahren, die Optimierung von Roboterstationen und -linien, die Modellierung und die Simulation der Verteilung und Wirkung von Medikamentenverbindungen und die Simulation kapillarer Saugeffekte an Papierkanten. In 20 unserer Projekte wurden wir von Institutionen wie der SSF, VINNOVA und der EU unterstützt. Der Umsatz weist ein befriedigendes Wachstum von fast 10 Prozent im Vergleich zum letzten Jahr auf, der Industrieanteil beträgt 41 Prozent und die Gesamtbilanz ist positiv. Mit unserer Arbeit konnten wir vor allem schwedische Kunden unterstützen, aber auch Kunden aus Deutschland, den USA, Finnland, Dänemark, Japan und Großbritannien. Jedoch ist das volle Potenzial der Mathematik in der Industrie bei weitem noch nicht ausgeschöpft, so dass wir hoffentlich 2015 unser Wachstum fortführen und steigern können.

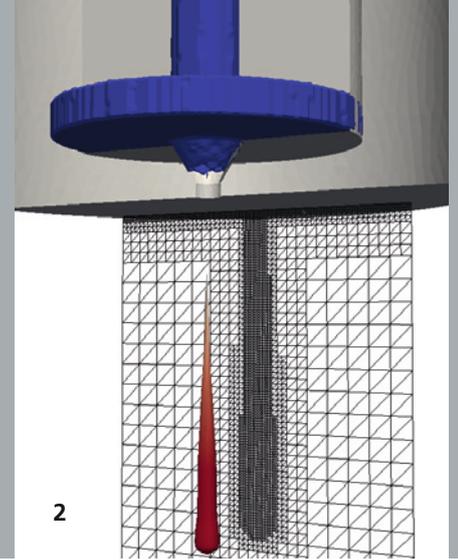
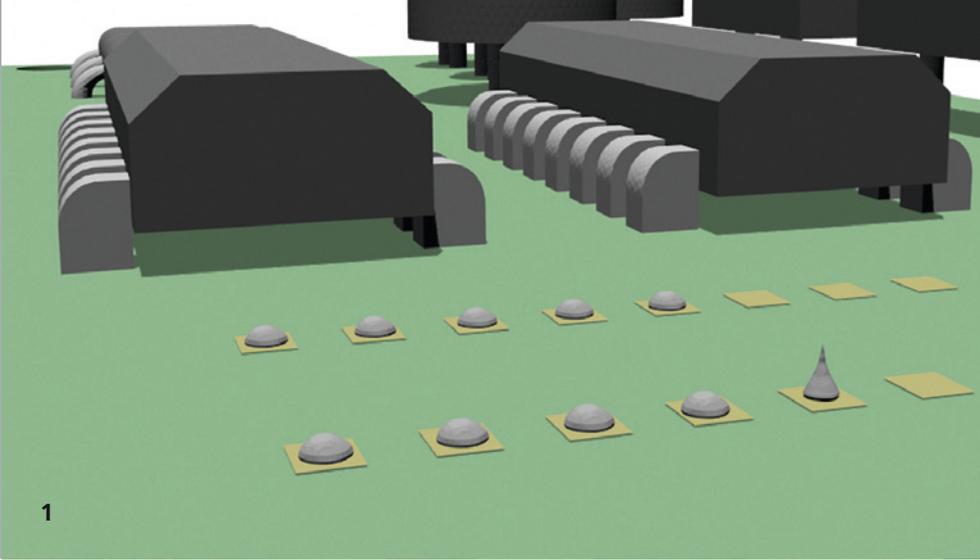
beschert wie etwa Messtechnik, Biomechanik, Ortungssysteme, Simulation flexibler Systeme, Simulation ultraschneller Elektronik und im Bereich Big Data. Die Kooperation mit anderen Fraunhofer-Instituten haben wir ebenfalls ausgebaut. Auch 2014 umfasste die bewährte Zusammenarbeit mit Chalmers-Zentren und -Fachbereichen Projekte und Förderanträge sowie die Betreuung von Doktoranden und Masterstudenten am Wingquist Labor, mit Schwerpunkten in der Produkt- und Produktionsentwicklung, System- und Synthetische Biologie, Fluidodynamik, Life Science Engineering.

Ein besonderer Dank geht an unseren Vice Chairman Professor Helmut Neunzert, der nun nach 13 Jahren das FCC-Board verlässt. Er hat Fraunhofer 2001 durch die Einleitung der Gespräche und Verhandlungen nach Schweden gebracht und war der treibende Geist für den erfolgreichen Aufbau eines schwedischen Zentrums für Industriemathematik nach dem Fraunhofer-Modell.

Dr. Johan Carlson  
Leiter des FCC

Die Kooperation und der Austausch von Projekten mit dem Fraunhofer ITWM haben uns 2014 eine Vielzahl von Themen





## SIMULATION DES LÖTPASTENDRUCKS AUF EINE LEITERPLATTE MITTELS JET-PRINT-VERFAHREN

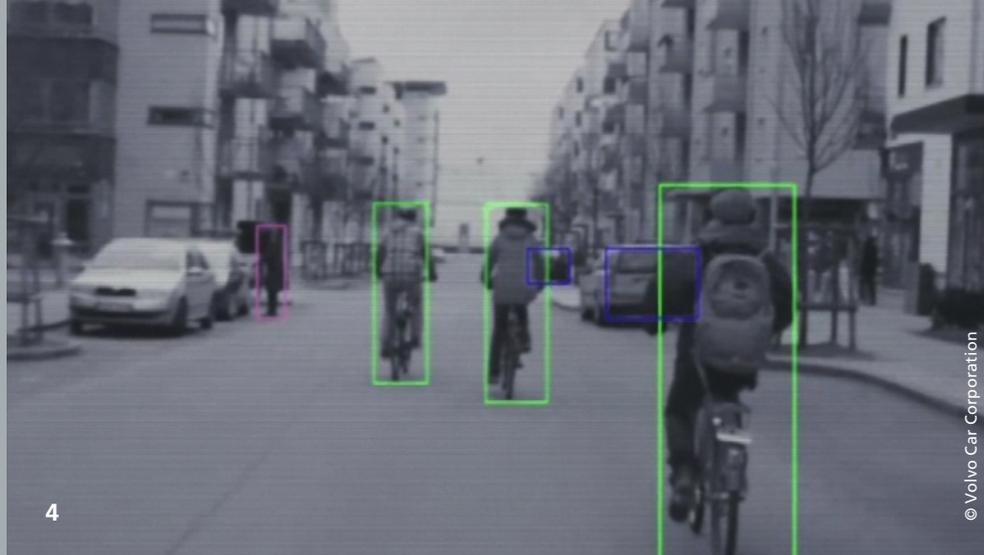
In enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Mycronic AB entwickelt das Fraunhofer-Chalmers Centre eine neuartige Software zur Simulation des Jet-Print-Prozesses in der Herstellung von Leiterplatten. Anhand dieser Software kann Mycronic den gegenwärtigen Wissensstand im komplexen Jettingverfahren weiter vertiefen sowie die Produktentwicklung der nächsten Generation von Jet-Druckern fördern.

Die Antriebskraft im Jet-Drucker ist ein Piezoelement, das sich rapide ausdehnt, sobald ein elektrisches Signal übermittelt wird und dadurch die Geschwindigkeit eines Kolbens beschleunigt. Die Kolbenbewegung bewirkt einen abrupten Druckanstieg in der mit Lötpaste gefüllten Kammer, wodurch das Fluid durch die Druckkopfdüse herausgepresst wird. Wird das Signal unterbrochen, zieht sich das Piezoelement zusammen und der Druck verringert sich wieder. Zu diesem Zeitpunkt ist die Dynamik des Fluids ausreichend groß, damit sich ein Tropfen ausbilden kann, der durch die Luft zur Leiterplatte wandert und sich auf die Leiterplatte aufträgt. Aufgrund der Zusammensetzung der Lötpaste, einer Mischung aus festen Körnchen und einem Flussmittel, sowie der kurzen Zeitspanne und räumlichen Größenordnung des Vorgangs gestaltet es sich schwierig, Untersuchungsdaten vom Ablauf des Düsenstrahlverfahrens (Jetting) zu erfassen. Simulationen sind aufgrund der großen Beschleunigung des Kolbens und der starken Fluid-Struktur-Interaktion zwischen Kolben und Lötpaste ebenfalls sehr anspruchsvoll. Auswurfvorgang und Ausbildung des Lötpastentropfens werden mit unserer betriebseigenen Software IBOFlow (Immersed Boundary Octree Flow solver) simuliert, verbunden mit LaStFEM (Large Strain FEM solver). Die Immersed Boundary-Methoden und die adaptiven Octree-Gitterverfahren vereinfachen den Simulationsaufbau und eignen sich hervorragend für die komplexe Fluid-Struktur-Interaktion. Die Lötpaste wird als ideales Newtonsches Fluid abgebildet mit einem zeitabhängigen Carreau-Ansatz, der das viskoelastische als auch das strukturviskose Verhalten berücksichtigt.

Simulationen zeigen, dass der Jet-Print-Vorgang empfindlich auf stoffliche Parameter wie Oberfläche, Spannung und Viskosität reagiert. Insbesondere die Viskosität bei hohen Scherraten ist wichtig für die Anfangssequenz des Jettingverfahrens, während die Oberflächenspannung wichtiger für die Tropfenbildung nach dem eigentlichen Jetting-Vorgang ist. Unterschiedliche Piezosignale beeinflussen nicht nur Tropfengeschwindigkeit und -größe, sondern auch die Ablösung des Filaments und das Entstehen von Satelliten-Tropfen. Dieser Vorgang ist entscheidend für die Qualität der Lötstelle. Die detailgenaue Abbildung sowie die kurzen Simulationszeiten machen es Mycronic möglich, das Jetting-Verfahren anhand unserer Software besser zu verstehen und sie für die Entwicklung der nächsten Generation von Jet-Druckern einzusetzen.

**1** *Simulation: Die Lötpaste wird in einem bestimmten Muster auf die Leiterplatte aufgespritzt. Im nächsten Verfahrensschritt bilden diese Tropfen die Lötstelle zwischen der Elektronikkomponente und der Leiterplattenschaltung.*

**2** *Simulation der Lötpaste, zu sehen sind der Tropfen und das adaptive Octree-Gitternetz mit Teilen des Modellbereichs. Die feste Lötpaste in der Kammer ist blau dargestellt, der herausgepresste fallende Tropfen ist rot. Die grauen Teile zeigen die Druckkopfdüse und den sich bewegenden Kolben.*



© Volvo Car Corporation

## VIDEO-OPTIMIERUNG IN ECHTZEIT FÜR AUTOMOBILANWENDUNGEN

**1** Aufnahme mit Autoscheinwerfern als Lichtquelle; die Tiere sind kaum zu erkennen.

**2** Mit Infrarotblitz sieht man sie zwar, aber der Vordergrund ist überbelichtet.

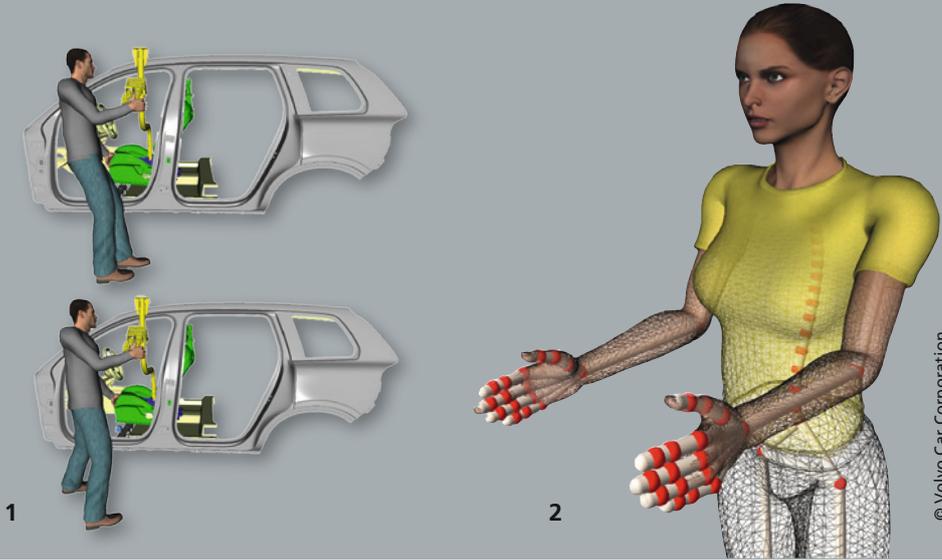
**3** Deutlich verbesserte Bildqualität dank der Video-Optimierung in Echtzeit

**4** Automatisch detektierte Fahrradfahrer, Fußgänger und Autos

In Kooperation mit der Volvo Car Corporation, Epsilon Embedded und der Chalmers University of Technology hat das FCC einen automatischen Algorithmus für die Video-Optimierung in Echtzeit entwickelt, der auf der Verbindung von regulären und Infrarot-Videosignalen basiert. Der Fahrer erhält dadurch eine verbesserte Sicht auf Straße und Umgebung, selbst unter extrem schlechten Bedingungen in komplexem Umfeld. Der Algorithmus kann wechselnde Gegebenheiten verarbeiten und kombiniert automatisch verbesserte Bildqualität in dunklen Umgebungen als auch in hellen, Licht durchfluteten Bereichen.

Der Video Enhancement-Algorithmus kombiniert die sich an den Gegebenheiten orientierende adaptive Kontrastverbesserung, Rauschreduzierung, Lichtnormierung und die Verbindung von Videostreams mit und ohne Infrarotblitz. Zu Beginn wurden mehrere moderne Algorithmen ausgewertet, die Qualität der entstandenen Videos wurde jedoch als unzureichend erachtet. Ein neuartige Herangehensweise war gefragt, die vorhandene Methoden mit eigens entwickelten benutzerdefinierten Algorithmen verbindet. Die Schlüsselkomponenten hierzu sind Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), Video Block Matching 3D (VBM3D) und Tone Mapping. Der Histogrammausgleich ist eine bewährte Technik zur Kontrastverbesserung. CLAHE ist eine lokalspezifische, rauschärmere Variante dieses Verfahrens. Durch die Video-Kontrastverstärkung im Dunkelbereich verstärkt sich auch das Rauschen, das wiederum reduziert werden muss. Hierbei wurde VBM3D eingesetzt, das ähnlich kleine Bildteile des aktuellen Einzelbildes oder angrenzender Videobilder identifiziert und eine 3D-Struktur dieser Bildteile erstellt, um dann eine auf dieser Transformation basierende Rauschreduzierung zu erreichen. Wird ein Infrarotblitz eingesetzt, verbessert sich die Bildinformation in dunklen Bereichen, während sich die Qualität in hellen Bereichen verschlechtert. Daher werden bei dem Verfahren zwei Videostreams verwendet, einer mit Blitz und einer ohne. Die beiden Streams werden miteinander verknüpft, unter Einsatz einer laufend aktualisierten Übersicht der Hell-Dunkel-Gewichtung des jeweiligen Bildes. Zuletzt wird der Objektkontrast verstärkt, wodurch Gefahren sichtbar werden und Objekte, die durch künstliche Lichtverhältnisse entstehen, entfernt werden (z. B. das helle ovale Licht der Autoscheinwerfer). Dafür werden von der Bewegung des Autos unabhängige Lichtmuster berechnet und das Bild auf Basis dieser Lichtmuster normiert. Dadurch wird das Lichtoval der Scheinwerfer entfernt, reale Objekte bleiben jedoch erhalten.

Die Ergebnisse wurden sowohl intern bei Volvo Car Corporation als auch anlässlich verschiedener Foren wie dem ICT Arena's Innovation Bazaar und dem Transportforum, der wichtigsten skandinavischen Tagung für den Transportsektor, vorgestellt und von der Automobilindustrie sehr positiv aufgenommen.



## IMMA – INTELLIGENTLY MOVING MANIKINS

Bessere Ergonomie in der Montage verringert arbeitsbedingte Verletzungen, steigert Qualität und Produktivität und senkt Kosten. Darum werden im Projekt IMMA neue Methoden, Algorithmen und Softwaretools entwickelt, die eine schnelle und einfache Evaluation der ergonomischen Aspekte bei der Montage unter Berücksichtigung menschlicher Diversität gewährleisten. Das Projekt war Teil des SSF ProViking Programms unter Einbeziehung von Forschern des FCC, des Wingquist Laboratory und des Virtual Ergonomic Centre, in enger Zusammenarbeit mit unseren Industriepartnern Volvo Cars, Scania, AB Volvo und Virtual Manufacturing.

Die Ergonomie in Montagevorgängen ist ein wichtiger Faktor für die Gesunderhaltung der Arbeitskräfte, die Vermeidung von Verletzungen und die Erhaltung von Produktivität und Produktionsqualität. Bei ergonomischen Untersuchungen von Montageabläufen ist das volle Potenzial längst nicht ausgeschöpft, da die bisher eingesetzte Software nur begrenzt geeignet ist, realistische Montagebewegungen unter Einbeziehung der abzubildenden Zielgruppe zu erzeugen. Ergonomische Studien sind zeitaufwendig und werden meist mit nur wenigen Manikins (Menschmodellen) in statischer Position durchgeführt, anstatt einer Untersuchung der kompletten Montagebewegung mit einer Gruppe von Manikins, die mit großer Zuverlässigkeit die Arbeitskräftezielgruppe abbilden.

Zur Behebung dieser Defizite wurde ein digitales Menschmodell-Tool, IMMA, in enger Zusammenarbeit mit der schwedischen Automobilindustrie entwickelt. Das Hauptresultat ist ein einfaches und schnelles Softwaretool, das automatisch eine kollisionsfreie Montagebewegung mit geringstmöglicher biomechanischer Belastung sucht, die menschliche Verschiedenartigkeit beachtet, das mit High-Level-Language-Befehlen gesteuert werden kann und arbeitsergonomische Bewertungsverfahren einsetzt. Zur automatischen Erstellung manueller Montagebewegungen ist die detaillierte Abbildung der Kinematik des menschlichen Körpers erforderlich. Das biomechanische Modell des IMMA Manikin ist als vereinfachtes menschliches Skelett angefertigt, das aus 82 Knochensegmenten besteht. Die Gelenke des biomechanischen Modells verfügen über insgesamt 162 Freiheitsgrade, um die Beweglichkeit des menschlichen Körpers darzustellen. Es ist eine Komfortfunktion definiert, um zu ermitteln, welche Positionen des Manikin ergonomisch korrekt sind. Der Komfort basiert auf den ergonomischen Kriterien des biomechanischen Modells und wurde passend zum mathematischen Framework von IMMA formalisiert. Das Framework erzeugt eine enge Kopplung zwischen leistungstarken Algorithmen für die kollisionsfreie Pfadplanung und dem biomechanischen Modell. Dadurch werden kinematische Beschränkungen, Balance, Kontaktkräfte, Kollisionsvermeidung und Komfort bei den generierten Montagebewegungen berücksichtigt.

**1** *Arbeitsposition bei der Montage, einmal gut, einmal schlecht ausbalanciert*

**2** *Biomechanisches Skelett mit vernetztem Menschmodell, erzeugt mit der Software Poser®.*