

# DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN

www.digital-engineering-magazin.de

Innovative Lösungen für Konstrukteure, Entwickler und Ingenieure

ANZEIGE

SIEMENS



Digital Enterprise Platform von Siemens

## Gemeinsames Datenmodell für Industrie 4.0

Schiffbau

Zusammenspiel von Simulation, Versuch und Realität

PLM-Software

Kosten-Transparenz schon in der Konstruktion

Messtechnik

Sicher und präzise messen mit Laser-Triangulationssensoren

**Liebe Leser,**

für Fußballfreunde hat am 12. Juni die sicherlich schönste Zeit des Jahres begonnen: die Fußball-Weltmeisterschaft 2014 in Brasilien. In den nächsten vier Wochen wird sich vieles um den Fußball drehen und andere Dinge in den Hintergrund verdrängen.

Ich traue unserer Mannschaft jedenfalls ein erfolgreiches Turnier zu. Schließlich steigern sich unsere Kicker meist bei Weltmeisterschaften – dies hat die Vergangenheit schon oft gezeigt. Und von der Qualität her brauchen sich unsere 23 Spieler auch nicht zu verstecken und können sicherlich mit den anderen Top-Nationen mithalten. Wir sollten unserer Mannschaft jedenfalls kollektiv die Daumen drücken. Vielleicht wird ja ein Traum wahr und unser Kapitän Philipp Lahm bekommt am 13. Juli in Rio de Janeiro den goldenen WM-Pokal überreicht. Nach mehreren vergeblichen Anläufen wären wir doch endlich einmal wieder dran.

Fußball-WM hin oder her, für Konstrukteure und Ingenieure gibt es auch außerhalb des Sports weiterhin interessante Themen und News. Ein gutes Beispiel dafür ist die Meldung von Dassault Systèmes über die Präsentation von BIOVIA. Der Anbieter von Lösungen für 3D-Design und PLM stellte Anfang Juni seine neueste Marke BIOVIA vor. Sie kombiniert die Dassault-Aktivitäten in Bio-Intelligence mit den eigenen 3D-Experience-Technologien und den Anwendungen für Bio- und Werkstoffwissenschaften des kürzlich akquirierten Unternehmens Accelrys. BIOVIA soll durch Anwendungen, Services und Content-Zugang unternehmensweite wissenschaftli-

che, biologische, chemische und materialwissenschaftliche Entwicklungen ermöglichen.

Ein hochinteressantes Umfeld für Produktentwickler. Schließlich zieht die Bionik bereits seit Jahren Naturwissenschaftler, Ingenieure, Konstrukteure, Architekten und Designer in ihren Bann, die versuchen, Phänomene der Natur auf die Technik zu übertragen.

Beispielsweise sind Wassertiere, vor allem Delfine, eine großartige Inspirationsquelle für Entwickler. Oft versucht man, biologische Mechanismen mit technischen Mitteln zu replizieren. So erkannte bereits 1936 der britische Zoologe Sir James Gray, dass Delfine im Verhältnis zu ihrer Muskelmasse unerklärbar hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen erreichen. Er formulierte die Hypothese, die Delfinhaut müsse spezielle strömungstechnische Eigenschaften haben, was zu vielfältigen Bemühungen der Wissenschaft führte, das sogenannte Gray'sche Paradoxon zu erklären.

Der Lösung dieses Rätsels ein Stück näher zu kommen, das war auch das Ziel der Diplomarbeit von Donald Riedeberger an der Uni Stuttgart. Mit Berechnungstools konnte er die einzigartigen hydrodynamischen Eigenschaften der Delfine simulieren. Mehr über die numerische Simulation am gemeinen Delfin lesen Sie auf den Seiten 32 und 33. Ein – wie ich meine – faszinierendes Praxisbeispiel für die Bionik.

Viel Spaß beim Lesen!

**Rainer Trummer**, Chefredakteur



**Rainer Trummer**  
Chefredakteur

# PDM. PLM.

Produktentwicklung ist Projektarbeit. CIM DATABASE bietet integriertes Projektmanagement, das durch seine Prozessorientierung und den Bezug zum Produktdatenmodell hervorragend auf die Belange von Entwicklungsorganisationen ausgerichtet ist. CIM DATABASE steht für Product Lifecycle Management von der Portfolioplanung bis zur Synchronisation mit den Logistikprozessen.



Bild: MAN Diesel &amp; Turbo



Bild: SKF



Bild: shutterstock

Schiffe sind – aus der Sicht der Produktentwicklung – komplexe Systeme, und zwar solche, bei denen es auf Sicherheit ankommt. Bedeutet, Entwickler und Konstrukteure greifen ebenso auf Simulation zurück, um beispielsweise die Kollision von Schiffen zu untersuchen (Seite 34), wie auf zuverlässige Komponenten, etwa Lager oder Stevenrohre, die den widrigen Bedingungen über die Lebensdauer eines Schiffs hinweg standhalten (ab Seite 26).

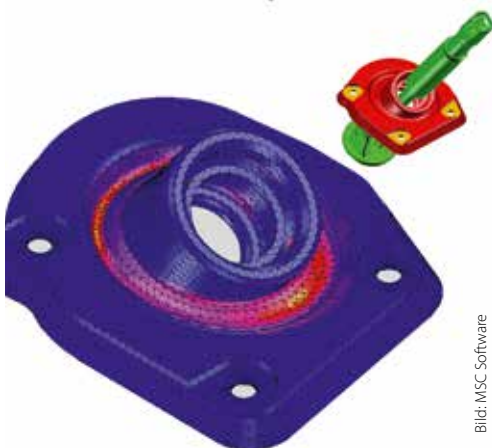


Bild: MSC Software

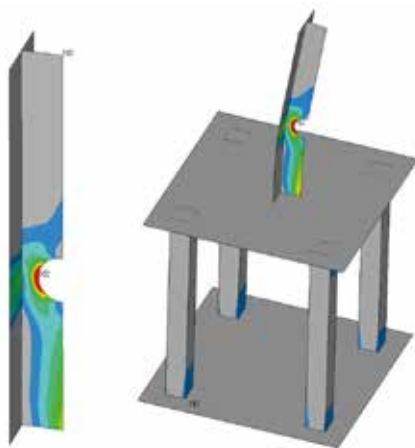


Bild: Invenio

## AKTUELL

### Wirtschaftsticker

Macher und Märkte

6

### Trends und Technologie

Neue Produkte und Verfahren

9

### Veranstaltungskalender

Was, wann, wo?

12

## MANAGEMENT

### ■ Titelstory: Siemens im Gespräch

Josef Schindler über die Digital Enterprise Plattform und Industrie 4.0

14

### Pauken für Industrie 4.0

Revolution braucht Umdenken – ein Beispiel von Festo Didactic

16

### Multiprojektmanagement

Portfolios und Programme unternehmensweit orchestrieren

18

## PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT

### ■ Produktkosten-Transparenz

Kosten fangen in der Konstruktion an – mit Software zur automatisierten Kalkulation

20

### Den Spritzgussprozesse optimieren

Komplexe Formen erfordern Integration von Spritzgussimulation in die Konstruktion

22

### Von CAD bis ERP

Einführung eines neuen „kommunikativen“ PLM-Systems verbessert die Workflows

24

## BRANCHE: SCHIFFBAU

### SKF nutzt Synergien

Lagerhersteller hat sein Schiffbau-Portfolio durch Kauf von Blohm + Voss ausgebaut

26

### EMV im Board-Netzwerk

Wie sich die elektromagnetische Verträglichkeit auch an Board sichern lässt

28

### Steckverbinder Lebenslänglich

So lang wie das Schiff sollen auch verbaute Komponenten halten

30

### Rätsel gelöst: Delfin meets CFD

Warum Delfine trotz geringer Muskelmasse hohe Geschwindigkeiten erreichen

32

Bei der Simulation fokussieren wir diesmal auf einen Klassiker – Finite-Elemente-Methode (FEM) – und da gibt es unterschiedliche Standpunkte, wieviel Fachwissen nötig ist, um die FEM ins Unternehmen zu bringen – die Software sei einfach zu bedienen und selbst Neulinge könnten leicht profitieren (Artikel ab Seite 48). Eine andere Meinung zeigt sich ab Seite 46 – FEM sei mehr als ein Mausclick und das Wissen um die korrekten Randbedingungen essenziell. Übrigens: Während die einen noch über FEM nachdenken, tummeln sich die anderen bereits in bunten Multi-physik-Welten (Seite 50).



Messen, Steuern, Regeln (MSR) dient dazu, Prozesse am Laufen zu halten und die Qualität zu sichern. So messen in der Metallbranche Lasertriangulatoren die Dicke von glühendem Stahl (Seite 54) oder bei Durchflussmessern helfen Optionen, die Kosten über die Lebenszeit der Anlagen hinweg zu reduzieren (Seite 52). Um da jederzeit Bescheid zu wissen, wie die Produktion läuft – wäre es doch das Einfachste, eine App auf dem Tablet zu haben – um auch gleich die Rezeptur nachzujustieren (Seite 56).

Bild: National Instruments



**Simulation: Wenn Schiffe kollidieren**

Forschung greifbar am Echtfall aus dem Hafen von Travemünde 34

**Schnell in der Spur**

Agilent-Konformitätstest für die Physical Layers der Automobile 58

**ANTRIEBSTECHNIK**

**Die Vielfalt der Linearbeweger**

Ganter bewegt mit seinem umfangreichen Sortiment Anlagenteile 37

**Dynamisch und präzise**

Schnell und genau positioniert mit Kugelgewindetriebe und Linearführungen 38

**Rückspeisung spart Kosten**

Das Energierückspeisesystem von MSF Vathauer ist mehr als eine Komponente 40

**Dynamik pur**

Dynamische Motoren mit Vier-Quadranten-Regel Elektronik 42

**SIMULATION & VISUALISIERUNG**

**Es muss nicht immer FEM sein**

Systemsimulation von Schwingungen am Antriebsstrang des Schiffsdiesels 43

**FEM – nur wie?**

Simulation braucht trotz benutzerfreundlicher Software weiterhin Experten 46

**Finite-Elemente-Methode**

Viele Firmen schrecken noch zurück – was bei der Einführung zu beachten ist 48

**Multiphysik – die Natur trennt nicht**

Multiphysik betrachtet alle relevanten Domänen - für besseres Verständnis 50

**ELEKTROTECHNIK & AUTOMATION**

**Unter dem Strich**

Optionen können sich bei der Durchflussmesstechnik schnell rechnen 52

**Messtechnik bei 1.200 Grad**

Lasertriangulation führt nicht nur im Warmwalzwerk zu besseren Ergebnissen 54

**Messen und Regeln via App**

Bald mehr Tablets als PCs – auch die Zahl der MSR-Apps steigt 56

**HARDWARE & PERIPHERIE**

**Anlagen digitalisieren**

Scan-Systeme erzeugen farbige Punktwolken von kompletten Chemieanlagen 62

**Qualität berührungslos**

Faro-Arm im Einsatz in der Aluminiumgießerei 64

**Interview: Grafik-Turbo für Rechner**

Im Gespräch mit Niles Burbank über das GPU-Computing mit AMD-Grafikkarten 66

EDITORIAL 3  
 MARKTPLATZ 61  
 IMPRESSUM 67  
 VORSCHAU 67

**Titelthemen**

**REDAKTIONELL ERWÄHNT  
FIRMEN UND INSTITUTIONEN**

a.b.jödden [S. 10], Accelrys [S. 10], Agilent [S. 58], Altair [S. 9], Althen [S. 8], AMD [S. 66], B&R [S. 9], Baumüller [S. 10], CD-adapco [S. 32], Cenit [S. 10], Contact Software [S. 18], Dassault Systèmes [S. 10], Dell [S. 6], Dr.Tretter [S. 38], Endress+Hauser [S. 52], Faro [S. 64], Festo Didactic [S. 16], Hadleigh Castings [S. 64], Harting [S. 30], Hochschule Albstadt-Sigmaringen [S. 16], Inneo [S. 22], Invenio Technical Solutions [S. 46], Keytech [S. 24], Koch Pac-Systeme [S. 20], Lapp Group [S. 8], MAN Diesel & Turbo [S. 30], Maplesoft [S. 43], Materialise [S. 9], Micro-Epsilon [S. 54], MSC Software [S. 48], MSF Vathauer [S. 40], National Instruments [S. 56], Otto Ganter [S. 37], Phoenix Contact Electronics [S. 28], Pink Vakuumtechnik [S. 38], ProCAD [S. 8], PTC [S. 22], Reed Exhibition [S. 8], Siemens Industrial Automation [S. 14], Siemens PLM Software [S. 50], Simus Systems [S. 20], SKF [S. 26], SKF Blohm + Voss Industries [S. 26], Tebis [S. 6], Technische Universität Hamburg-Harburg [S. 34], Universität Stuttgart [S. 32], WEG [S. 42], Württembergische Elektromotoren [S. 42], Z+F [S. 62].

## HILFSMITTEL IN DER MITARBEITER-AUSBILDUNG

# Pauken für die **Revolution**

Dezentrale Vernetzung von Anlagenkomponenten, kundenindividuelle Produkte ab Los eins zum attraktiven Preis.

Autonome Produkte, rekonfigurierbare Anlagenkomponenten und IT-Systeme, die im geschlossenen Informationskreislauf kommunizieren – doch der Mensch muss bei all dem weiterhin begreifen, was da passiert – gerade in der Aus- und

Weiterbildung erfordert das neue ganzheitliche Lösungen. **VON HEIKE HAARMANN**



Die Transfer Factory von Festo Didactic ist weltweit in verschiedenen Bildungseinrichtungen und Industrieunternehmen im Einsatz – eine an der Hochschule Albstadt-Sigmaringen.

Viele Prozesse werden nach den Visionen der vierten industriellen Revolution stärker automatisiert sein als bis dato üblich: Beispielsweise passt sich die Produktionslinie an Auftragsbestand und kundenspezifische Produkte an, wobei auch die Inbetriebnahme und Re-Konfiguration der Anlage in die Planung einfließt. Um die Auslastung in einem Produktionsnetzwerk zu optimieren, passt sich also die Kapazität durch Vergrößern und Verkleinern der Anlage zeitnah an die Gegebenheiten an.

## Anforderungen an den Menschen

Bei soviel Flexibilität auf der Seite der Technik stellt sich die Frage, welche Anforderungen der Mensch in Zukunft erfüllen muss und welche Hilfsmittel in der Aus- und Weiterbildung er benötigt, um sich in der neuen Produktionswelt zurechtzufinden.

Ein Ansatz findet sich mit der Lehr- und

Forschungsplattform MPS Transfer Factory von Festo Didactic. Sie soll Unternehmen und Hochschulen in die Lage versetzen, Ingenieuren und Fachkräften einen Zugang zu den Technologien und Anwendungen der Industrie 4.0 zu gewähren. Die Transfer Factory bildet dazu modular die einzelnen Komponenten einer realen Produktionsanlage ab.

In einer spezialisierten Konfiguration demonstriert sie die intelligente Vernetzung der Anlagenkomponenten und Produkte sowie den Einsatz von offenen, konfigurierbaren Systemen und Kommunikationsstandards. Sie bildet ein Netzwerk aus Softwareanwendungen, kommunikationsfähigen Produkten und Anlagenkomponenten. Die Produkte beziehen ihre individualisierten Produktionsdaten über RFID direkt aus der Auftragsverwaltung und geben sie an die einzelnen Bearbeitungsstationen der Anlage weiter. Sie beauftragen also selbstständig ihre eigene Verarbeitung.

Während der Produktion erzeugen die Sensoren innerhalb der Anlage laufend Diagnose, Fehler- und Serviceinformationen, die an die unterschiedlichen IT- und Anlagenkomponenten weitergegeben werden. Diese direkten und geschlossenen Informationskreisläufe ermöglichen den angestrebten schnellen und selbstständigen Produktionsprozess. Die nahtlose Integration von Anlagen- und Automatisierungstechnik mit der Prozesssteuerung und Auftragsverwaltung wird durch den Einsatz von offenen, konfigurierbaren Systemen und Kommunikationsstandards ermöglicht. Ein Beispiel ist hier der Standard OPC-UA zur Anbindung von Maschinen an das Produktionsnetzwerk durch eine semantische Beschreibung der Maschinenzustände und -funktionen.

## Zusammenarbeit der Welten

Um die neue Welt zu ermöglichen, müssen Anlagen- und Komponenten-Hersteller mit den Entwicklern von Betriebssoftware zur Unternehmens- und Produktionssteuerung eng zusammenarbeiten. Auf der Hannover Messe 2014 waren zwei sehr ähnliche Anlagen parallel am Stand von Festo und an dem von SAP zu sehen und beide demonstrierten eine relevante Neuentwicklung. Die integrierten SAP-Anwendungen ERP und MES kommunizieren dabei über direkte Schnittstellen mit der Produktionsanlage. Das zeigt, dass der Einsatz von Leitrechnern als Vermittlungsebene zwischen der Auftragsverwaltung und der Produktionsanlage nicht mehr zwingend nötig ist. Doppelte Datenhaltung und inkonsistente Datenbestände gehören somit der Vergangenheit an und in der Herstellung von kundenindividuellen Produkten lassen sich Zeit und Kosten einsparen.

An der Hochschule Albstadt-Sigmaringen ist die Lernfabrik zum Beispiel im in-



Die verschiedenen Grundmodule lassen sich flexibel verbinden und konfigurieren – das Grundmodul „Weiche“ erlaubt den Aufbau komplexer Produktionsstrecken.

terdisziplinären Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Produktionsmanagement im Einsatz. Dabei geht es um die Simulation und Optimierung von Produktionsprozessen – also auch um Teilaspekte wie Produktionsplanung, Produktionssteuerung und Produktionsorganisation.

Ziel ist – wie im realen Produktionsalltag – die Effizienz zu erhöhen, die Kosten zu senken und die Durchlauf- und Prozesszeiten zu reduzieren. Mit der Transfer Factory können Studierende ihre Erkenntnisse aus den verschiedenen Vorlesungen praxisnah und interdisziplinär verknüpfen und im Rahmen von Praktika und Übungen selbstständig Schwachstellen an bestehenden Produktionsabläufen erkennen und diese beseitigen und somit die Prozesse optimieren.

### Automatisierung vermitteln

Mit der Modellfabrik lassen sich wesentliche Anwendungen der Automatisierung vermitteln: Anlagenvernetzung, SPS-Programmierung und Antriebstechnik, Sensorik, Sicherheitstechnik und Robotik sowie Montage.

Darüber hinaus nutzt die Hochschule die Plattform mit ihren weiteren didaktischen Möglichkeiten: zum Kennenlernen von Schnittstellen zu anderen IT-Systemen – Zugreifen über verschiedene Interfaces auf bestimmte Daten, Analysieren der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Produktionsabläufen und die Qualitätssicherung mittels der „Quality Inspection Camera“. Mit letzterer lassen sich vordefinierte Muster erkennen und fehlerhafte Teile identifizieren – ein Roboter sondert die Schlechteile aus und/oder sortiert die Gutteile nach Farbe oder sonstigen Kriterien.

In der Zusammenarbeit mit anderen Studiengängen und Unternehmen setzt die Hochschule die Lernfabrik in weiteren Pro-

jekten und Kontexten ein, zum Beispiel der Steuerung und dem Monitoring von Anlagen mit Smart Devices, in Augmented und Mixed-Reality-Anwendungen, für die Szenarien der Lean Production und der Simulation von Roboter- und Produktionsprozessen.

### Eins plus eins ist drei

Die einzelnen Zellen der Lernfabrik lassen sich für unterschiedliche Produktionsszenarien konfigurieren und bilden so eine wandelbare Fabrik. Mittels passiver Werkstückträgerumlenkung können die Zellen der Transfer Factory ohne zusätzlichen Aufwand einzeln oder im Verbund genutzt werden – eine einzigartige Lösung.

Der doppelseitige Aufbau der Zellen unterstützt unterschiedliche Szenarien der Gruppenarbeit: Auf beiden Seiten können Schüler oder Studenten unabhängig voneinander an je einer Bandstrecke arbeiten. Alle Zellen der Lernfabrik sind mit Rollen ausgestattet. Sie lassen sich somit ohne Werkzeuge oder Hubwagen frei im Labor positionieren. Die Versorgung der Zellen erfolgt über ein spezielles Systemkabel, womit Umverdrahten, Neuverschlauchungen oder zusätzliche Installationen bei Layoutänderungen entfallen. Das spart wertvolle Trainingszeit und das Labor bleibt frei von Stolperfallen in Form von zusätzlichen Versorgungskanälen.

### Modulare Steuerungstechnik

Die Steuerungen der Transfer Factory-Zellen sind modular aufgebaut. Alle notwendigen Komponenten sind in den Zellschaltschränken untergebracht: Steuerungen mit Profibus oder Profinet-Vernetzung, Profisafe-Komponenten und Antriebe, wie etwa Frequenzumrichter, Schützsteuerungen oder Servocontroller. Die Produktionslinie lässt sich mit oder auch ohne Leitsystem betreiben.

Laufrollen, Schaltschrank, Transportband, Bedienpult, Systemkabel, immer gleiche Abmessungen: Die hohe Flexibilität der Transfer Factory basiert auf dem immer identischen Grundaufbau der Zellen. Jede Zelle bietet von Haus aus zwei Transportstrecken und ist damit Basis für ein vollständiges Teilsystem. Die Produktionszelle mit Verzweigung ermöglicht weitere Layouts. Auch sie kann – bestückt mit Funktionsmodulen – als eigenständiges System fungieren.

Die Roboterzellen sind mit allem ausgestattet, was die Industrie beim Robotikunterricht begehrt. Komplett umhaust und mit Sicherheitstüren ermöglichen sie gefahrloses Arbeiten. Damit lassen sich Trendthemen praxisnah erarbeiten wie die kameraunterstützte Montage, der Einsatz von Wechselgreifersystemen, das Palettieren oder das Kamera-Tracking. Für die Kombination der Zellen und die möglichen Layouts gibt es kaum Grenzen.

Produktions- und Automatisierungstechnik, Robotik und Mechatronik – alle Zellen und Funktionsmodule sind mit aktueller Technik aus der Industrie ausgestattet. Nach qualifizierter Bedarfsanalyse erstellen Techniker und Ingenieure von Festo auf die Anforderungen der Industrieunternehmen oder Bildungseinrichtungen zugeschnittene und mit SPS- sowie Roboter-Programiersystemen, Simulationssystemen, CAD sowie ECAD ausgestattete Konzepte für die individuelle Transfer Factory. **JB |**

Heike Haarmann verantwortet die Unternehmenskommunikation bei Festo Didactic in Denkendorf.



Die Anlage in Sigmaringen bearbeitet Modell-Werkstücke.

Bilder: Festo Didactic



## NUMERISCHE SIMULATION

# Die Lösung des Delfin-Rätsels

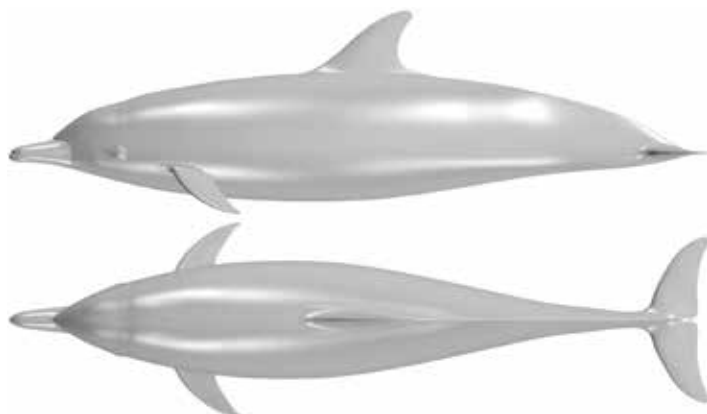
**Wassertiere, vor allem aber die Delfine sind eine großartige Inspirationsquelle für Ingenieure. Oft wird versucht, biologische Mechanismen mit technischen Mitteln zu replizieren. Donald Riedeberger nutzte als Teil seiner Diplomarbeit an der Uni Stuttgart High-End-Berechnungstools, um den Übergang zwischen laminarer und turbulenter Strömung am gemeinen Delfin zu analysieren. Damit sollte das Delfin-Rätsel der Lösung einen Schritt nähergebracht werden.**

VON DONALD RIEDEBERGER, UNIVERSITÄT STUTTGART, UND DEBORAH EPEL, CD-ADAPCO

Der britische Zoologe Sir James Gray erkannte im Jahr 1936, dass Delfine im Verhältnis zu ihrer Muskelmasse unerklärbar hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen erreichen. Er formulierte die Hypothese, die Delfinhaut müsse spezielle strömungstechnische Eigenschaften haben, was zu vielfältigen Bemühungen der Wissenschaft führte, das sogenannte Gray'sche Paradoxon zu erklären.

Der Lösung des Rätsels ein Stück näher zu kommen, das war auch das Ziel der Diplomarbeit von Donald Riedeberger an der Uni Stuttgart. Zudem brachte es Riedeberger den ersten Platz ein, sowohl im CD-adapco Academic CFD Image Contest 2012 als auch im Kalenderwettbewerb 2013. Der

folgende Artikel beschreibt Donald Riedebergers Vorgehen bei der Simulation der einzigartigen hydrodynamischen Eigenschaften der Delfine.



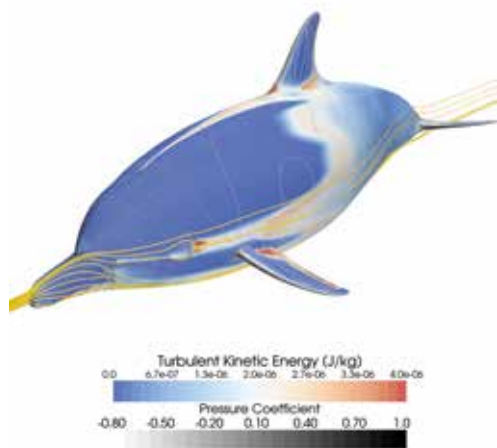
**Bild 1: Geometrie des gemeinen Delfins (Seitenansicht und Aufsicht), modelliert von Vadim Pavlov.**

## Warum STAR-CCM+?

Schon im letzten Jahrhundert wurden die unterschiedlichen Charakteristiken der laminaren und turbulenten Strömung in Bezug auf den Widerstand der Delfinhaut und die Auswirkungen auf die Fortbewegung des Delfins diskutiert. Seit der Postulierung des Gray'schen Paradoxons speulierte man darüber, ob der Delfin eine Möglichkeit besitzt, die Region der laminaren Strömung zu vergrößern und damit den Wasserwiderstand seines Körpers zu verringern.

Mit Hilfe von STAR-CCM+ aus der CFD-Simulationssoftwarefamilie, lassen sich Strömungen in komplexen Geometrien durch den Einsatz von Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS) in Verbindung mit Zweigleichungs-Wirbelviskositätsturbulenzmodellen simulieren. Zudem ermöglicht das  $\gamma$ -Re $\theta$  in STAR-CCM+ ein korrelationsbasiertes Übergangsmodell, die Vorhersage des laminar-turbulenten-Übergangs. Dieses Übergangsmodell und vor allem die Korrelationen, auf denen es basiert, lassen sich sehr einfach durch benutzerdefinierte Funktionen anpassen – was auch der Grund für die Auswahl von STAR-CCM+ aus der Vielzahl kommerzieller und eigener CFD-Software-Tools war, die am Institut für Aerodynamik und Gasdynamik der Uni Stuttgart zur Verfügung stehen. Zudem ist der Workflow vom Geometrie-Import bis zum Postprocessing in STAR-CCM+ sehr logisch und intuitiv, was ein großer Vorteil bei kurzfristigen Projekten wie einer Diplomarbeit ist.

Im Zusammenhang mit diesem Projekt wurde STAR-CCM+ genutzt, um das Verhalten des laminar-turbulenten Übergangs in Abhängigkeit von der Reynoldszahl sowie den Einfluss von Turbulenzen in der Strömung auf den Verlauf des Übergangs zu berechnen. Zudem untersuchte man das Potenzial der Delfinhaut, die Strömung aktiv laminar zu halten.



**Bild 2: Laminar-turbulenter Übergang an einem gemeinen Delfin bei einer Strömungsgeschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde und einer Turbulenzintensität von einem Prozent. Die Konturen der turbulenten kinetischen Energie zeigen die Übergangsregionen. Überlagerte Druckkonturen zeigen die Regionen günstiger Druckgradienten, während die Strömungslinien die komplexe dreidimensionale Strömung an der Schnauze visualisieren.**

**Geometrie und Rechengitter**

Vadim Pavlov vom ITAW der Uni Hannover erstellte ein detailliertes CAD-Modell auf Basis von Messungen an gemeinen Delfinen. Das Modell ließ sich problemlos in STAR-CCM+ importieren und die stark gekrümmte, komplexe Form wurde mit Hilfe eines Polyedergitters mit prismatischer Wandverfeinerung abgebildet. Letzteres war notwendig, weil sowohl das Turbulenz- als auch das Übergangsmodell auf eine fein aufgelöste Wandregion angewiesen sind, um den Einsatz von Wandfunktionen zu vermeiden. Den Körper des Delfins hat man in ein Rechengebiet in Form eines Blocks eingebettet, dessen Ränder mindestens um die 2,5-fache Körperlänge von 1,94 Metern von der Oberfläche des Delfins entfernt waren. Das unstrukturierte Gitter wurde an den Rändern vergrößert, was insgesamt eine Gittergröße von 30 Millionen Zellen ergab.

**Simulationen und Performance**

Vor der eigentlichen Simulation berechnete man eine flache Platte und einen achsensymmetrischen Körper mit dem Übergangsmodell, um die Größenordnung der Turbulenzintensität zu analysieren, aber auch, um die beste Kombination von Rand- und Anfangsbedingungen für die eigentliche Delfinsimulation zu erhalten. Zur Lösung der Gleichungen verwendete man einen Segregated Solver. Die RANS-Gleichungen wurden mit dem SST-k- $\omega$ -Modell geschlossen.

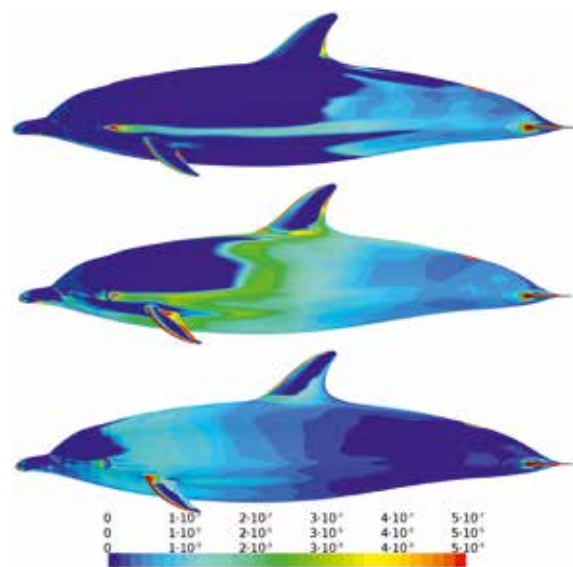
Dank einer Spende, die die Rechenzeit abdeckte, konnte man die Simulationen

auf dem NEC-Nehalem-Cluster des High Performance Computing Center Stuttgart (HLRS) berechnen. Die parametrischen Studien am Delfin wurden zum einen auf dem kompletten Gitter, zum anderen auf einem vereinfachten Netz ohne Flossen berechnet, um die Kosten für die Rechenzeit niedrig zu halten. Bei den meisten parametrischen Studien lief die Berechnung mit 48 Prozessen auf acht Knoten, die jeweils auf zwölf GByte Speicher zurückgreifen konnten. Dies ergab 650.000 Zellen pro Kern, was eine ausreichende Balance zwischen Rechenlast und Kommunikation bedeutet. Die Impuls- und Kontinuitätsgleichungen konvergierten bereits nach 4.000 Iterationsschritten und nach einer Rechenzeit von 42 Stunden.

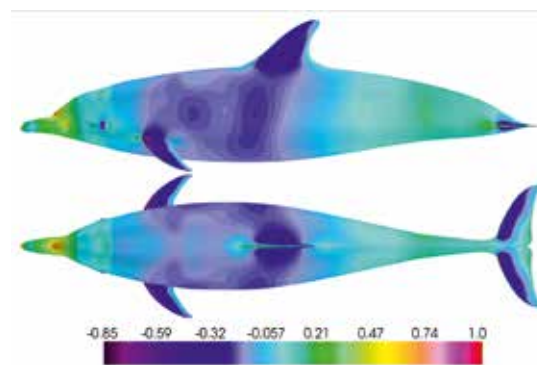
**Ergebnisse**

Die Strömung des Wassers um den kompletten Körper des Delfins wurde für Reynoldszahlen  $Re_L = 0,54 \times 10^6$  bis  $Re_L = 5,4 \times 10^6$  berechnet, was Strömungsgeschwindigkeiten von  $u_\infty = 0,25$  Meter pro Sekunde bis  $u_\infty = 2,5$  Meter pro Sekunde entspricht. Die turbulente kinetische Energie der wandnahen Zellen ist in Bild 3 dargestellt; sie zeigt, dass ein laminar-turbulenter Übergang klar stattfindet. Der Ort des Übergangs wandert bei steigender Reynoldszahl stromaufwärts: Bei geringeren Geschwindigkeiten lösen nur die Augen des Delfins Turbulenzen aus und nur wenige Bereiche des Körpers sind turbulenter Strömung ausgesetzt. Dagegen ist die Strömung bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten überwiegend turbulent und es verbleiben nur kleine Bereiche mit laminarer Strömung an der Stirn des Delfins.

Fazit: Dank der Möglichkeit, RANS-Simulationen sowohl mit Turbulenz- als auch mit Übergangsmodellen zu berechnen, lassen sich mit STAR-CCM+ komplexe Naturphänomene an realistischen Geometrien analysieren. Das  $\gamma$ - $Re\theta$ -Übergangsmodell wurde mit dem Wirbelviskositäts-SST k- $\omega$ -Modell gekoppelt, um die Strömung um einen symmetrisch halbierten, dreidimensionalen Delfinkörper zu studieren und dabei die Flossen zu berücksichtigen. Es zeigte sich, dass bei normalen Schwimgeschwindigkeiten von etwa drei Metern pro Sekunde in einer Umgebung mit einer Turbulenzintensität von einem Prozent die Strömung um den Delfin überwiegend turbulent ist, abgesehen von wenigen laminaren Bereichen an der Stirn. Es war möglich, eine Widerstandsreduzierung von um die zwanzig



**Bild 3: Verteilung der turbulenten kinetischen Energie k bei einer Turbulenzintensität von  $Tu = 1\%$  und einer Strömungsgeschwindigkeit von  $u_\infty = 0,25$  (oben),  $1,0$  (Mitte) und  $2,5$  m/s (unten).**



Prozent zu schätzen, wenn der Delfin die

**Bild 4: Verteilung des Druckkoeffizienten  $C_p$  bei einer Turbulenzintensität von  $Tu = 1\%$  und einer Strömungsgeschwindigkeit von  $u_\infty = 1,0$  m/s (Seitenansicht und Aufsicht).** Bilder: CD-adapco

Grenze des Übergangs an Stellen verschieden kann, die mit der Verteilung bei langsamerer Bewegung vergleichbar sind. **RT |**

*Simulation ausgeführt von D. Riedeberger und U. Rist, IAG, Universität Stuttgart, Deutschland. Der Text basiert auf der Arbeit: Numerische Simulation des laminar-turbulenten Übergangs an einem Delfin mit Hilfe des  $\gamma$ - $Re\theta$ -Modells, D. Riedeberger und U. Rist, High Performance Computing in Science and Engineering 2011: Transactions of the High Performance Computing Center, Autoren: W. E. Nagel, D. B. Kroener, M. M. Resch, Stuttgart (HLRS) 2011*

**euromold.**

**25. – 28. November 2014**  
Frankfurt/Main

**Werden Sie Aussteller!**

**www.euromold.com**



## IMPRESSUM

**Herausgeber und Geschäftsführer:**  
Hans-J. Grohmann (hjj@win-verlag.de)

**DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN im Internet:**  
<http://www.digital-engineering-magazin.de>

**So erreichen Sie die Redaktion:**

**Chefredaktion:** Rainer Trummer (v.i.S.d.P.), rt@win-verlag.de,  
Tel.: 0 81 06 / 350-152, Fax: 0 81 06 / 350-190  
**Redaktion:** Jan Bihn (-161); jbi@win-verlag.de  
**Textchef:** Armin Krämer (-156; ak@win-verlag.de)

**Mitarbeiter dieser Ausgabe:**

Dr. Than-Son Dao, Deborah Eppel, Ulrich Feldhaus, Tommy Göring, Heike Haarmann, Christoph Held, Matthias Holzapfel, Susann Kunz, Jan Larsson, Donald Riedeberger, Johann Salzberger, Valentin Scheltow, Viktor Schmidt, Holger Schmidt, Martin Schöttelndreyer, Dietmar Seidel, Ralf Steck, Marc Vathauer, Thomas Weinert, Michael Wendenburg, Dr. Rainer Widmann.

**So erreichen Sie die Anzeigenabteilung:**

**Anzeigenverkaufsleitung:**  
Martina Sumner (0 81 06 / 30 61 64, ms@win-verlag.de)  
**Mediaberatung:**  
Andrea Horn (0 81 06 / 350-241, aho@win-verlag.de)  
**Anzeigendisposition:**  
Chris Kerler (-220; cke@win-verlag.de)

**So erreichen Sie den Abonentenservice:**

Güll GmbH, Aboservice DIGITAL ENGINEERING Magazin, Heuriedweg 19a, 88131 Lindau, Tel. 01805-260119\*, Fax. 01805-260123\*, E-Mail: win-verlag@guell.de, \*14 Cent/Min. aus dem dt. Festnetz, Mobilfunk max. 42 Cent/Min.

**Vertrieb:** Sabine Immerfall, (si@win-verlag.de),  
Tel.: 0 81 06 / 350-131, Fax: 0 81 06 / 350-190

**Artdirection und Titelgestaltung:**

Saskia Kölliker Grafik, München  
**Bildnachweis/Fotos:** falls nicht gekennzeichnet:  
Werkfotos, aboutpixel.de, pixelio.de, PhotoDisc; MEV, fotolia.de  
**Titelbild:** Siemens AG  
**Vorstufe + Druck:** Stürtz GmbH, Würzburg  
**Produktion und Herstellung:** Jens Einloft (-172; je@win-verlag.de)

**Anschrift Anzeigen, Vertrieb und alle Verantwortlichen:**

WIN-Verlag GmbH & Co. KG,  
Johann-Sebastian-Bach-Straße 5, 85591 Vaterstetten,  
Tel.: 0 81 06 / 350-0, Fax: 0 81 06 / 350-190

**Verlagsleitung:**

Bernd Heilmeier (-251; bh@win-verlag.de), anzeigenverantwortl.

**Objektleitung:** Rainer Trummer (-152, rt@win-verlag.de)

**Bezugspreise:**

Einzelverkaufspreis Euro 14,40 Jahresabonnement (8 Ausgaben) im Inland Euro 115,20 frei Haus, im Ausland zuzüglich Versandkosten. Vorzugspreis Euro 78,40 (Inland) für Studenten, Schüler, Auszubildende und Wehrdienstleistende – nur gegen Vorlage eines Nachweises, im Ausland zuzüglich Versandkosten.

**17. Jahrgang**

**Erscheinungsweise:** achtmal jährlich

**Einsendungen:** Redaktionelle Beiträge werden gerne von der Redaktion entgegen genommen. Die Zustimmung zum Abdruck und zur Vervielfältigung wird vorausgesetzt. Gleichzeitig versichert der Verfasser, dass die Einsendungen frei von Rechten Dritter sind und nicht bereits an anderer Stelle zur Veröffentlichung oder gewerblicher Nutzung angeboten wurden. Honorare nach Vereinbarung. Mit der Erfüllung der Honorarvereinbarung ist die gesamte, technisch mögliche Verwertung der umfassenden Nutzungsrechte durch den Verlag – auch wiederholt und in Zusammenfassungen – abgegolten. Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichung kann trotz Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden.

**Copyright © 2014 für alle Beiträge bei der WIN-Verlag GmbH & Co. KG**

Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fallen insbesondere der Nachdruck, die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und allen anderen elektronischen Datenträgern.



ISSN 1618-002X, VKZ B 47697

Dieses Magazin ist umweltfreundlich auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

**Außerdem erscheinen bei der WIN-Verlag GmbH & Co. KG:**

**Magazine:** AUTOCAD & Inventor Magazin, DIGITAL MANUFACTURING, e-commerce Magazin, digitalbusiness CLOUD

**Partnerkataloge:** AUTOCAD & Inventor Solution Guide, DIGITAL ENGINEERING SOLUTIONS, IBM Business Partner Katalog, Partnerlösungen für HP Systeme

## IM NÄCHSTEN HEFT

### Branche: Automobilbau

Wir nehmen die Entwicklung im Automobilbau unter die Lupe – einer der Traumbranchen vieler Ingenieure – und kommen schnell auf den Boden zurück, denn hier geht es darum, dass der Rennbolide trotz CFK und Leichtbau eben nicht die Haftung verliert und zum Höhenflug ansetzt – und die Familienkutsche soll vor allem eines sein: praktisch – und sparsam.



Bild: BMW

### Mehrkörpersimulation

Mittels Mehrkörpersimulation kann der Ingenieur einzelne Körper wie Hebel und Gelenke zusammensetzen, durch Differentialgleichungen beschreiben und Freiheitsgrade bestimmen. Wenn möglich zieht er die Elemente aus der Bauteilbibliothek und passt sie an die Bedürfnisse an. Zunächst ein recht grobes Abbild der Realität, lassen sich die plastischen Eigenschaften der Elemente beispielsweise durch FEM-Berechnungen verfeinern, Thermodynamik und Regelungstechnik integrieren – bis ein virtuelles Abbild eines Operationstisches entsteht, dessen Verhalten dem in der Realität entspricht.

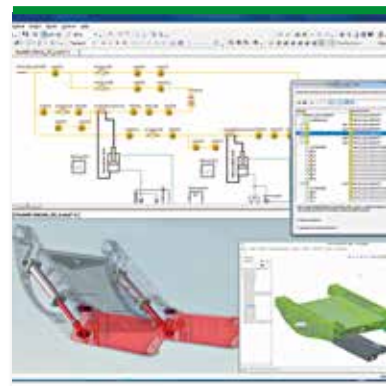


Bild: ITI

### Mobile Automation

Die mobilen Arbeitstiere stellen zunehmend komplexe Anforderungen an die Steuerungstechnik. Das macht optimal aufeinander abgestimmte Soft- und Hardwarekomponenten erforderlich. Erschwerend kommt hinzu, dass es sich häufig um Kleinserien handelt, in der Bagger & Co. zum trotzdem attraktiven Preis entstehen müssen. Hier setzen wir in der kommenden Ausgabe an und schauen, was das für den Ingenieursalltag bedeutet.



Bild: Ropa

**Weitere Themen:**

**Ergonomische Arbeitsplatzlösungen für Ingenieure**

**CAD & Design: Blechbearbeitung**

**Product Lifecycle Management: Kunden- und Lieferantenintegration**

**Elektrotechnik: Kabel und Leitungen**

**Hardware: mobiles Computing**

**Antriebstechnik: Kleinstaktoren und Motion Control**

Aus aktuellem Anlass sind Themenänderungen möglich.