

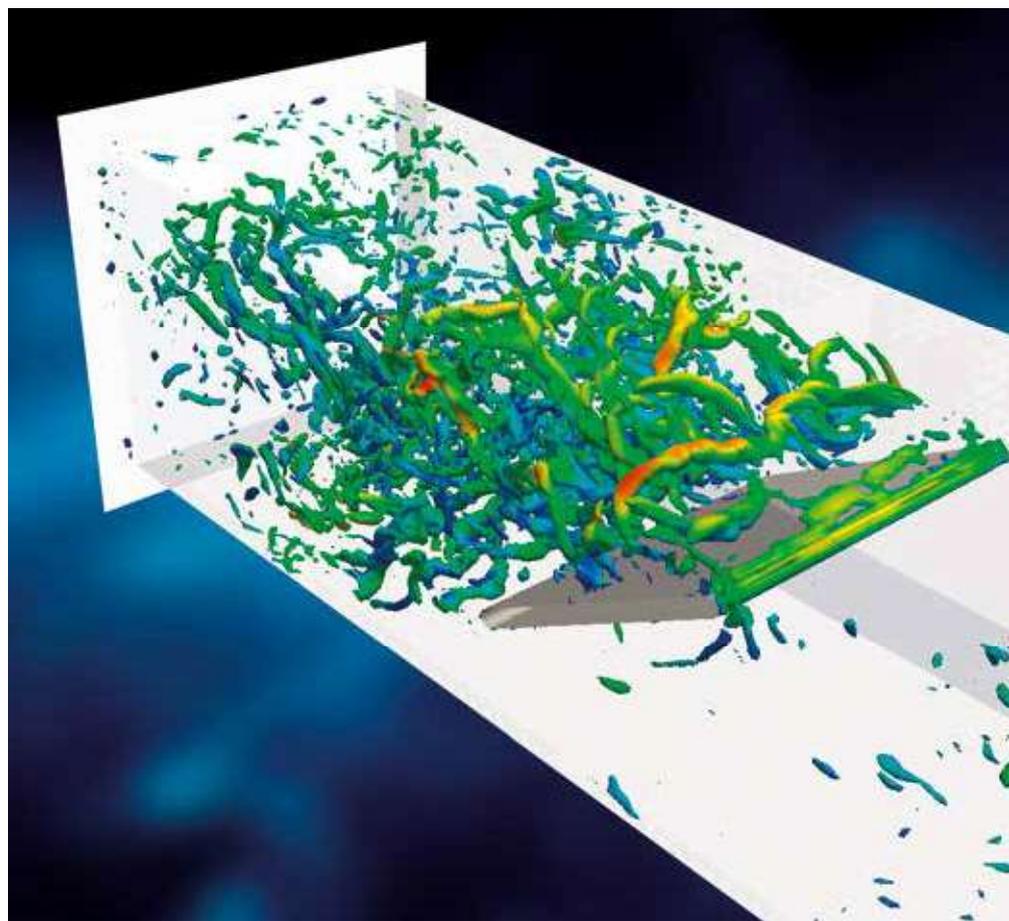
# Neue industrielle Anwendungen IM BLICK

Die Leistungsfähigkeit von Supercomputern wird in den nächsten Jahren weiter steigen. Sogenannte Exascale-Computer liefern noch genauere Simulationsergebnisse. Das Fraunhofer SCAI entwickelt für die zunehmenden Datenmengen effiziente Datenanalyse-Methoden, die Ingenieuren detaillierte Einblicke in die komplexen technischen Zusammenhänge gewähren. Deren Arbeit wird sich künftig durch den unterstützenden Einsatz von maschinellen Lernverfahren weiter verändern. > von Prof. Dr. Jochen Garcke

**S**imulationen auf Supercomputern beantworten wichtige Fragestellungen der Industrie, beispielsweise wie sich Luftströmungen in Klimaanlageanlagen, an Rotorblättern oder ganzen Flugzeugen verhalten. Durch neue Ansätze im Hardware-Design werden in den kommenden Jahren Rechner mit einer Leistung von einer Trillion Rechenoperationen pro Sekunde zur Verfügung stehen. Sogenannte Exascale-Computer haben eine tausendfach höhere Rechengeschwindigkeit als bisherige Supercomputer und können dadurch komplexe, derzeit als unlösbar geltende Probleme, bewältigen. Zudem liefern sie genauere Ergebnisse und damit wirtschaftlichere Lösungen für industrielle Aufgabenstellungen. Exascale-Simulationen erzeugen allerdings auch erheblich größere Datenmengen. Dadurch entstehen neue Herausforderungen bei der Datenverarbeitung und Datenanalyse.

Diesem Problem haben sich die Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI angenommen. Sie entwickeln Verfahren, die die Datenanalyse bereits während der Simulation durchführen. Das minimiert Speicherbedarf und Rechenzeit. So lassen sich auch riesige Datenmengen effizient analysieren. Die SCAI-Wissenschaftler konzentrieren sich dabei auf Methoden zur vergleichenden Analyse von Simulationsdaten. Durch den automatischen Vergleich der Daten können Ingenieure auf einen Blick erkennen, wie sich beispielweise eine veränderte Bauteilform auf das Strömungsverhalten und damit auf die Lautstärke einer Klimaanlage auswirkt. Dies hilft bei der Entwicklung neuer Produkte.

Das Fraunhofer SCAI arbeitet im neugegründeten „Kompetenzzentrum der Euro-



Für weniger Lärm: Hochauflösende Simulation der Strömungen in einer Autoklimaanlage.

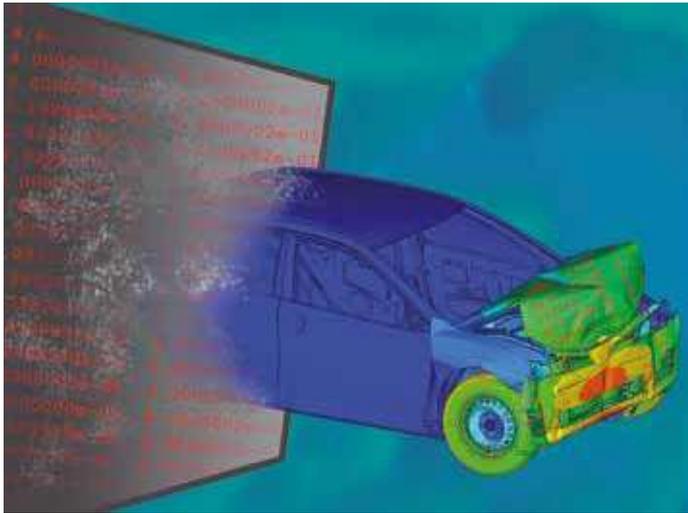
Bild: Fraunhofer SCAI

päischen Union für Ingenieur Anwendungen“ Excellerat zusammen, mit dreizehn Partnern aus sieben europäischen Ländern. Ziel ist es, die neuen Möglichkeiten des Supercomputing im industriellen Umfeld bestmöglich zu nutzen. Die Projektpartner optimieren Simulationscodes aus zwölf Anwendungsbeispielen aus der Industrie. Zu diesen zählen unter anderem die Simulation von Strömungen an Rotorblättern und in Autoklimaanlagen sowie

die Berechnung von Brennkammer-Emissionen.

## HPC in Kombination mit maschinellen Lernverfahren

High Performance Computing (HPC) hat die jüngsten Entwicklungen und großen Erfolge in den Bereichen maschinelles Lernen und Big Data erst ermöglicht. HPC verbindet die Forschung in den Domänen Mathematik und Informatik (einschließ-



**In der virtuellen Produktentwicklung vereinfachen und beschleunigen Methoden des maschinellen Lernens den Forschungs- und Entwicklungsprozess, zum Beispiel in der Automobilindustrie.**

Bild: George Washington University National Crash Analysis Center/ Fraunhofer SCAI

lich Hardware und Software) mit Anwendungsbereichen wie Ingenieurwesen, Naturwissenschaften, Technik und Wirtschaft.

Maschinelles Lernen (ML) ist eine Schlüsseltechnologie für kognitive Systeme, intelligente Produkte und digitale Assistenten und spielt eine entscheidende Rolle in der Transformation unserer Wirtschaft und Gesellschaft. Beim maschinellen Lernen wird dabei ein Algorithmus trainiert, um automatisch Muster, Signale oder Strukturen in massiven Datensätzen zu finden. Die genaue Beschaffenheit dieser Muster und die Strukturen sind unbekannt und können verborgen sein. Hier kommen nun maschinelle Lernmethoden für deren (halb)automatische Erkennung zum Einsatz.

ML verändert auch die computergestützten Natur- und Ingenieurwissenschaften auf grundlegende Weise. Für Probleme in realistischer Größe erfordert ML und seine Anwendungen einen systematischen Einsatz von HPC-Technologien. Hierzu ist es weiterhin notwendig, an der Analyse, dem Design, der Entwicklung und dem Einsatz von ML-Methoden zu arbeiten, sowie skalierbare Implementierungen für HPC- und Embedded-Systeme zu realisieren.

## Entwicklung neuer und intelligenter Algorithmen

Basierend auf seiner Expertise in den Bereichen Datenanalyse, numerische Simulation und Algorithmen-Entwicklung, kom-

biniert Fraunhofer SCAI die Bereiche HPC und ML, um Lösungen für die industrielle Praxis zu liefern. Die Arbeiten von SCAI konzentrieren sich auf die Entwicklung neuer und intelligenter Algorithmen zur Anpassung von Datenanalysemethoden für die spezifischen Anforderungen von Anwendungsprojekten. Daten werden dabei nicht nur von Messungen oder Sensoren übernommen, sondern auch angereichert mit Ergebnissen aus der physischen Modellierung, mit numerischen Simulationen oder anderem – auch allgemeinen – Anwendungswissen.

In vielen realen maschinellen Lernanwendungen gibt es jedoch Situationen, in denen datengesteuerte Ansätze an ihre Grenzen stoßen – insbesondere im Engineering. Oftmals gibt es nicht genügend annotierte Daten, um gute ML-Modelle zu trainieren. Häufig unterliegen die verfügbaren Daten auch Beschränkungen hinsichtlich des Datenschutzes. Hier kommt das „informierte maschinelle Lernen“ als eine Form des hybriden Lernens ins Spiel, bei dem das Domänenwissen direkt in den ML-Prozess integriert wird. Dies trägt dazu bei, ML-Modelle transparenter, interpretierbarer und erklärbarer zu machen. Eine Besonderheit von SCAI ist ML für physikalisch-technische Anwendungen, bei denen man beispielsweise Domänenwissen in Form numerischer Simulationen nutzt. Dies wird auch als „simulationsbasiertes ML“ bezeichnet. Diese beiden Themen sind zusammen mit dem „ressourcenbewussten ML“ im Fokus des Fraunhofer Forschungszentrum für maschinelles Lernen, in dem das SCAI mit drei weiteren Fraunhofer Instituten gemeinsam arbeitet.

Insbesondere in ingenieur- und naturwissenschaftlichen Anwendungen bieten diese Ansätze mehr Zuverlässigkeit bei prä-

diktiven Analysen und bereichern das Potenzial der ML-Technologie. Dies unterscheidet sich von einem Black-Box-Ansatz, der Daten so nimmt, wie sie sind, und sie mit generischen Datenanalysemethoden behandelt, wodurch das verfügbare spezifische Domänenwissen und die Struktur der Daten vernachlässigt werden. Das Fraunhofer SCAI entwickelt mathematische Konzepte, die physikalische Eigenschaften und Verhaltensweisen in ML-Methoden integrieren. Sie vereinfachen Arbeitsprozesse und ermöglichen es Ingenieuren, sich auf die wichtigen Aspekte ihrer Arbeit zu konzentrieren.

## Anwendungen von ML

In der vorausschauenden Instandhaltung technischer Systeme mit Sensordaten bilden ML-Methoden den algorithmischen Kern. Zum Beispiel hat Fraunhofer SCAI Windkraftanlagen untersucht. ML-Methoden sind dabei in der Lage, Anomalien in den Daten von Schwingungssensoren zu erkennen, die ursprünglich zur Erkennung der Bildung einer Eisschicht erfasst wurden. In den vorliegenden Daten der Schwingungssensoren an den Rotorblättern sind jedoch weitere Informationen verborgen, die – mit ML ausgewertet – auf mögliche zukünftige Schäden hindeuten können.

In der virtuellen Produktentwicklung vereinfachen und beschleunigen ML-Methoden den Forschungs- und Entwicklungsprozess, zum Beispiel in der Automobilindustrie. Weitere Anwendungsgebiete sind beispielsweise datengesteuertes Energiemanagement, virtuelles Materialdesign und intelligente Robotersysteme, die sicher mit Menschen zusammenarbeiten können.

## ML verändert die Konstruktion

Der Konstruktionsprozess von Maschinen und Anlagen verändert sich, etwa durch „digitale Zwillinge“. Dabei handelt es sich um eine Darstellung der Maschine als Datensatz. Simulationen eines Gesamtsystems, zum Beispiel eines Flugzeugs, werden auch für andere Anwendungen zur Regel. ML ermöglicht es, die Daten aus dem realen Betrieb mit den Entwicklungs- und Simulationsdaten zu kombinieren und zu analysieren. Entwickler können dadurch den gesamten Prozess viel genauer verstehen, bessere Produkte entwerfen und den Betrieb von Anlagen optimieren. **RT** <

**Prof. Dr. Jochen Garcke** ist Abteilungsleiter „Numerische datenbasierte Vorhersage“ beim Fraunhofer SCAI in Sankt Augustin.