



## **Vergleichende Analyse von ingenieurrelevanten Mess- und Simulationsdaten**

---

**Projektkoordinator:**

Fraunhofer-Gesellschaft, Institut SCAI, Sankt Augustin

**Projektpartner:**

General Electric Global Research, Garching bei München

GNS mbH, Braunschweig

SCALE GmbH, Dresden

SIDACT GmbH, Sankt Augustin

Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH), TU Dresden

Fakultät Informatik, TU Dresden

Weidmüller Monitoring Systems GmbH, Dresden

**Unterstützende Industriepartner:**

AUDI AG, Ingolstadt

Volkswagen AG, Wolfsburg

Im Rahmen des Projekts VAVID standen die acht Projektpartner aus den Bereichen Automobil, Windenergie und der Forschung gleichermaßen vor der Herausforderung und der Chance, die in den jeweiligen Bereichen immer massiver anfallenden Daten zu verarbeiten und zu analysieren. Dank vergleichender Analyse sollten diese Daten mit weniger Platzaufwand gespeichert, schneller übertragen und sowohl effizienter als auch aufschlussreicher analysiert werden. Insgesamt brachte das Projekt neue Erkenntnisse für Datenaspekte in der virtuellen Produktentwicklung und der Systemüberwachung.

Betrachten wir den Automobil-Bereich, dort liegt der Projektfokus auf der virtuellen Fahrzeugentwicklung und insbesondere der numerischen Simulation, die heutzutage aus der Fahrzeugentwicklung nicht mehr wegzudenken ist. Dabei werden Eigenschaften des Fahrzeugs wie beispielsweise das Verhalten in einem Crash im Rechner simuliert; Grundlage dafür ist ein Simulationsmodell bestehend aus Geometriedaten und physikalischen Parametern, und im Ergebnis erhält man wiederum umfangreiche Geometrie- und Physikdaten zur Auswertung. Mit der Verbesserung der Rechentechnik werden die Simulationsmodelle zunehmend genauer und größer, während gleichzeitig die Anzahl der gefahrenen Simulationen ansteigt. Speicherung und Transfer der Daten ist damit eine Herausforderung, insbesondere für externe Dienstleister, die mit vergleichsweise geringer Bandbreite angebunden sind. Zudem ist die Analyse der komplexen Ergebnisdaten sehr anspruchsvoll.

Im Windenergiebereich spielen numerische Systemsimulationen eine essentielle Rolle vom Anlagenentwurf über Zertifizierung und standortspezifischen Analysen bis hin zu Produkt-Upgrades an der installierten Anlagenflotte. Durch die große Anzahl von Lastfällen und der starken Kopplungseffekte zwischen einzelnen Teilsystemen ist der Entwurf und die Systemoptimierung hoch komplex.

Für das Systemmonitoring im Ingenieurbereich werden zahlreiche Messwerte von Anlagen im Praxisbetrieb gewonnen, im Projekt werden Rotorblattsensoren von Windenergieanlagen betrachtet. Daraus ergibt sich der Bedarf an geeigneten Methoden zur Verarbeitung und Analyse dieses großen Bestands an numerischen Daten, zudem spielt eine vergleichende Analyse von Messdaten von gleichartigen Objekten eine Rolle.

Die inhaltlichen Arbeiten des Konsortialführers Fraunhofer SCAI beschäftigten sich mit der (Weiter-)Entwicklung von Methoden zur interaktiven Visualisierung und Analyse größerer Datenmengen aus Simulationen basierend auf neuartigen mathematischen Methoden zur nichtlinearen Dimensionsreduktion, die insbesondere die Integration von physikalischen Wissen in die Datenanalyse ermöglichen. Die Umsetzung und Anwendung der Methoden erfolgte durch ein visuelles Tool für die Analyse von Scharen von Simulationsdaten aus 3D Finiten Elements Simulationen im Crash-Bereich. Zudem wurden neue Methoden für die Analyse von Zeitreihen aus Simulationen von Windenergieanlagen und Messdaten aus Condition-Monitoring von Windenergieanlagen entwickelt.

Aeroelastische Instabilitäten ergeben sich aus einer aerostrukturellen Interaktion im Windturbinenblatt. In den Arbeiten von GE wurde ein Detektor entwickelt, um diese Instabilitäten zu erkennen. Durch Klassifizierung wurden Regeln definiert, die im Steuerungssystem einer Windkraftanlage eingesetzt werden können. Ein Erkennungsalgorithmus, der gezielt Oszillationen aus Zeitscheiben herausfiltert, bildet zusammen mit Methode der nichtlinearen Dimensionsreduktion das Herzstück eines Frameworks, das mittels der Analyse von großen Mengen an Simulationsdaten von Windkraftanlagen einen Einblick in das komplexe Zusammenspiel zwischen der Aerodynamik und der Struktur ermöglicht.

Ziel der Arbeiten von der GNS mbH war die Bereitstellung einer Datenschnittstelle für die im Vorhaben nachgeordneten Prozesse der Datenkompression und -analyse. Am Beispiel von Eingangsdaten für die

Crashsimulation wurde erstmals die Semantik dieser Daten genutzt, um eine datenbankgestützte Deduplizierung zu erreichen. Für eine effiziente Visualisierung sowohl der Eingangsdaten (Metadaten) als auch der Ausgangsdaten (Massen- und Analysedaten) stellt die entwickelte Datenschnittstelle einen effizienten, wahlfreien Zugriff auf ein beliebiges Datum zur Verfügung. Als Nebeneffekt wird die Datendurchgängigkeit zwischen Eingangs- und Ausgangsdaten gewährleistet. Die entwickelten Technologien werden in Zukunft kommerziell genutzt, um SDM-Lösungen für Industriepartner anzubieten.

Für ihr Kernziel nutzte die SCALE die Technik der Datendeduplikation zum platzsparenden Ablegen großer Datenmengen auf Basis von vergleichender Analyse. Besondere Anforderungen für den konkreten Anwendungsfall waren wahlfreier, nebenläufiger Zugriff (inkl. der Möglichkeit des Löschens), Übertragen der Daten zwischen zwei „deduplizierten“ Ablagen mit vergleichbarer Einsparung der Datenmenge sowie die Integration in bestehende Produkte ohne zusätzliche Systemanforderungen. Ein Datensatz der Industriepartners AUDI in Größe von 29 Terabyte wurde um den Faktor 14 verkleinert, was einen Faktor 4,3 besser als der Stand der Technik darstellt.

Die SIDACT GmbH beschäftigte sich mit zwei Themengebieten. Zum einen wurde die Kompression von Scharen von Simulationsergebnissen weiter entwickelt. Hierbei wurde Module entwickelt, welche es ermöglichen, mehrere tausend Simulationsergebnisse gemeinsam zu komprimieren, aber separat zu speichern. Hierfür wurden Gemeinsamkeiten extrahiert und zentral abgelegt, während Unterschiede, wie zum Beispiel geänderte Geometrie oder anderes Verhalten, erkannt und getrennt bearbeitet wurden. Dadurch wurde eine Verbesserung der Kompressionsraten um einen Faktor bis zu 2-6 gegenüber dem aktuellen Stand der Technik erreicht. Zum anderen wurde die Analyse von Streuungen und deren Wirkpfaden in einer Schar von Simulationsergebnissen verbessert. Hier wurde ein neuer lokal-linearer Ansatz eingesetzt und die Datenhaltung durch die zuvor entwickelten Kompressionsmethoden ersetzt. Hierdurch konnten sowohl die Zusammenhänge und Strukturen in der Schar besser darstellen werden, als auch die Analyse beschleunigt werden.

An der TU Dresden ist eine Data Gateway-Infrastruktur am ZIH entstanden, mit der die Projektpartner in der Lage sind, ihre Analyse-Workflows in einer sicheren jedoch benutzerfreundlichen Weise zu gestalten und sie auf den Hochleistungsrechnern der Universität auszuführen. Dabei wurden diverse Beiträge zur Modernisierung der Open Source-Komponenten dieser Infrastruktur geleistet. Der Lehrstuhl für Datenbanken unterstützte dies mit der Entwicklung einer Übersetzungsarchitektur für Datenanalyse sowie eine innovative Ausführungsplattform für Datentransformationen. Diese Ergebnisse stehen jetzt den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der TU Dresden zur Verfügung und finden auch im Rahmen von anderen Projekten, z.B. über ScaDS Dresden/Leipzig, Anwendung.

Insgesamt führte das Vorhaben bei der WMS neben einem besseren Verständnis im Umgang mit großen Datenmengen zu einem Umdenken der Arbeitsweise beim Erstellen von Bewertungsmodellen zu einer verstärkten Nutzung von Echtzeiten im Gegensatz zum vorherigen Vorgehen, bei dem Bewertungsmodelle für das WEA-Verhalten auf Basis von kontrollierten Experimenten und zeitlich begrenzten Versuchsmessungen durchgeführt wurden. Es wurden in der Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern weitreichende Erkenntnisse über Einsatzmöglichkeiten und Verfahren des Maschinellen Lernens gewonnen. Hervorzuheben sind insbesondere Gaussian Processes und Methoden der Dimensionsreduktion (linearer wie auch nicht-linearer). Die WMS sieht sich nach Abschluss des Projektes besser in der Lage, weitere Entwicklungsmöglichkeiten zu projizieren und durch den Einsatz maschineller Lernverfahren den eigenen Datenbestand zu nutzen.