- Anzeige -

IT&Production
Zeitschrift für erfolgreiche Produktion

SPEZIAL

Simulation

Von Hypercubes zur Materialkarte für Simulationen

Werkstoffe wirklich verstehen

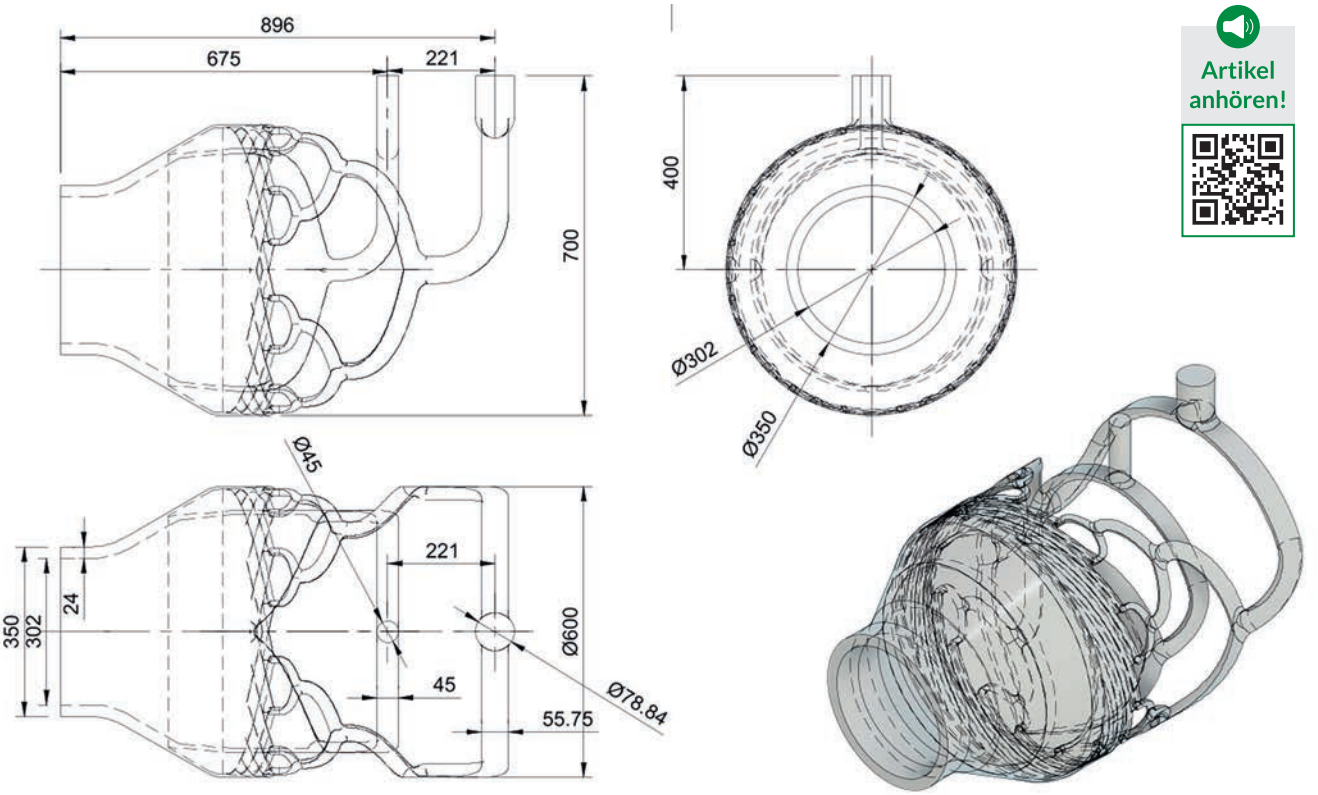


Bild: Matplus GmbH

MATPLUS®

Simulation und künstliche Intelligenz

Wie Blasformtechnik datengetrieben optimiert wird



Artikel anhören!

Die automatisierte, cloudbasierte Simulation verändert die Werkzeugentwicklung im Extrusionsblasformen grundlegend. Ein Projekt aus dem Maschinenbau zeigt, wie KI-gestützte Auslegungssysteme messbare Verbesserungen bei Ausschuss, Spülzeiten und Rezyklateinsatz erzielen können. Der entscheidende Faktor ist dabei der Wendelverteiler.

Extrusionsblasformen zählen zu den zentralen Fertigungsverfahren der Kunststoffverarbeitung: Flaschen, Kanister, Fässer und technische Hohlkörper entstehen in Milliardenmengen mit diesem Verfahren. Der wirtschaftliche Druck auf die Hersteller wächst dabei kontinuierlich: steigende Rohstoff- und Energiekosten, höhere Qualitätsanforderungen, kürzere Produktzyklen. Hinzu kommt ein struktureller Wandel. Denn die steigende Nachfrage nach Recyclingmaterial erhöht die Anforderungen an Prozessstabilität erheblich, da sich Rezyklate in der Verarbeitung deutlich variabler verhalten als Primärmaterial. Die entscheidende Stellschraube in diesem System ist das Werkzeug bzw. der Wendelverteiler. Er bestimmt, wie das aufgeschmolzene Material im Blaskopf verteilt wird, welche Wanddicken entstehen, wie schnell Farbwechsel vollzogen werden können und ob der Prozess bei wechselnden Rohmaterialien stabil bleibt.

Der klassische Entwicklungsprozess sieht hier einen erfahrungsbasierten Ansatz vor, mit wenigen Varianten und begrenzten Simulationsressourcen. Das Optimum liegt irgendwo im mehrdimensionalen Parameterraum, wird aber mit klassischen Methoden selten systematisch gefunden.

Vom Einzelfall zur Massensimulation

Ein Hersteller von kundenspezifischen Blasformanlagen stand vor genau dieser Herausforderung. Jede Anlage ist ein Einzelprojekt, jedes Werkzeug wird individuell ausgelegt. Simulation war zwar vorhanden, aber nicht skalierbar. Pro Projekt flossen wenige manuelle Einzelanalysen ein, der Aufwand für eine breite Variantenuntersuchung war schlicht zu hoch.

Bild: Ianus Simulation GmbH

Ausgehend von der Frage 'Wie verstehe ich den gesamten Lösungsraum?' erkannte der Maschinenbauer Potenzial in der parametrischen Beschreibung des Werkzeugs. Parameter wie Steigungswinkel, Wendelbreite, Wendeltiefe und Austrittsspalt lassen sich mathematisch erfassen und damit automatisiert variieren. Auf dieser Grundlage bauten die Beteiligten eine vollautomatisierte Simulationsinfrastruktur in der Cloud auf. Geometrie, Betriebspunkt und Zielgrößen fließen als Datenpunkte ein und die Simulation läuft ohne manuelle Vorbereitung ab. Hunderte von Varianten lassen sich parallel berechnen und systematisch vergleichen. Es entstand ein Datengenerator, bei dem jeder Simulationslauf zum Aufbau eines strukturierten Datenpools beiträgt.

Das Surrogatmodell

Aus den systematisch generierten Simulationsdaten haben die Beteiligten dann ein neuronales Netz trainiert. Input sind Geometrie- und Prozessparameter, Output sind die entscheidenden Zielgrößen wie Druckverlust, Spülzeit und Homogenität der Austrittsgeschwindigkeit. Das Ergebnis ist ein sogenanntes Surrogatmodell. Ein 'Sofort-Modell', das neue Designs ohne laufende Simulation bewerten kann. In der Optimierungslogik spielt dieses Modell eine zentrale Rolle: In frühen Iterationsphasen übernimmt es die schnelle Erstbewertung von Hunderten von Varianten und erst in den letzten evolutionären Stufen werden die aussichtsreichsten Kandidaten mit der physikalischen Vollsimulation explizit gerechnet. Pro Optimierungslauf werden so mehr als 500 Simulationen verarbeitet. Eine Tiefe der Parameterraumabdeckung, die manuell nicht erreichbar wäre.

Die Simulation sorgt für realitätsnahe Ergebnisse, die KI unterstützt die Entscheidungsfindung. Der Konstrukteur gibt Parameter vor, das System liefert optimierte Vorschläge, die anschließend via automatisierter Simulation validiert werden.

Messbarer Nutzen für Spülzeiten, Ausschuss, Rezyklat

Die Ergebnisse dieses Ansatzes sind quantifizierbar. Spülzeiten konnten um bis zu 50 Prozent reduziert werden. Der Ausschuss ließ sich um bis zu 66 Prozent senken. Der Rezyklateinsatz konnte auf bis zu 85 Prozent gesteigert werden, ohne die Prozessstabilität einzubüßen.

Entscheider können auf mehreren Ebenen davon profitieren: Direkt zeigen sich sinkende Material- und Energiekosten, weniger Ausschuss sowie kürzere Stillstandzeiten. Indirekt liegt der Nutzen in einer schnelleren Time-to-Market, höherer Flexibilität gegenüber Kundenanforderungen und in der Fähigkeit, neue Rohstoffquellen (insbesondere Rezyklate) verlässlich zu verarbeiten. Strategisch wichtig ist zudem, dass ingenieurseitiges Erfahrungswissen im Prozess digitalisiert wird.

Das System findet die Lösung

Der aufgezeigte Ansatz verändert die Arbeitsweise in der Werkzeugentwicklung. Wo früher Erfahrung und wenige Tests nötig waren, ermöglichen heute Simulation viele Varianten, abgesichert durch KI-gestützte Auslegungssysteme. Nicht der Ingenieur sucht langwierig und manuell nach der besten Geometrie, sondern das System findet sie.

Dabei ist CFD-Simulation in der Blasformbranche nicht neu: Sie macht Strömungs- und Wanddickenverhalten physikalisch greifbar, bevor das erste reale Werkzeug gefertigt wird, und ersetzt damit teure Trial-and-Error-Zyklen durch belastbare Daten. Die Innovation des beschriebenen Ansatzes liegt in der Automatisierung, der Parallelisierung und dem systematischen Datenaufbau. Dadurch entsteht die Grundlage für KI und damit die Grundlage für Assistenzsysteme, die Entscheidungen im Engineering früher, schneller und sicherer machen.

Der Ansatz ist zudem nicht auf Blasformanlagen beschränkt. Überall dort, wo komplexe Strömungsprozesse parametrisch beschreibbar sind und Simulationsdaten systematisch aufgebaut werden können, lässt sich diese Logik anwenden. n

Ianus Simulation GmbH
www.ianus-simulation.de

- Anzeige -



Automatisierungstreff
IT&AUTOMATION 2026
16. – 17. Juni 2026 | WTZ-Tagungszentrum Heilbronn

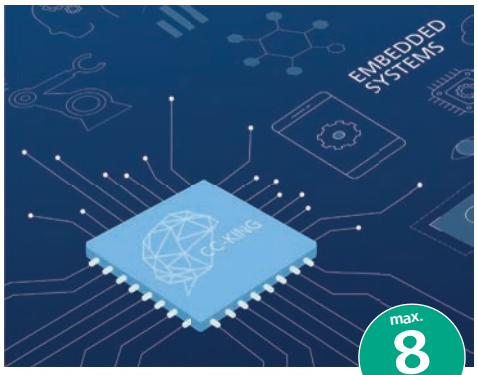
Praxisworkshop

From Data to Action: Smart Manufacturing in der Praxis

WTZ-Tagungszentrum Heilbronn
17.06.2026 • 10:00 – 18:00 Uhr

Am Vormittag – Keynote-Vorträge:

- MES und IIoT – Auf dem Weg zur Smart Factory kann das eine nicht ohne das andere sein!
  Dr. Ing. Harald Hoff, HIR GmbH
- KI - Künstliche Intelligenz in der industriellen Anwendung
  Dr. Constanze Hasterok, Fraunhofer IOSB



Hands-on Workshop am Nachmittag:

Professionelle Planung und -management von KI-Projekten in der Industrie

Die Planung und Durchführung von KI-Projekten ist erschwert durch zusätzliche Unbekannte. Zum Beispiel kann der genaue Datenbedarf für maschinelles Lernen zur Entwurfszeit grob geschätzt, aber nicht genau vorhergesagt werden.

In diesem Workshop werden Methoden und Werkzeuge für die professionelle Planung und Durchführung von KI-Projekten in der Industrie besprochen. Zur Illustration werden Anwendungsbeispiele aus der Praxis der Workshopleiter verwendet.

Inhalte:

- Grundkonzepte und Begrifflichkeiten der KI – Was ist relevant für den Projektleiter?
- Konzeption von KI-Pipelines
- Frameworks für die Strukturierung von KI-Projekten
- Der Daten-Bottleneck in der Projektplanung
  - Strukturierte Auswahl von Lernverfahren und deren jeweiliger Datenverbrauch
  - Auswirkung der Datenmenge und -qualität auf die Performanz gelernter Modelle
- Zeit-, Ressourcen- und Risikoplanung

Detaillierte Informationen zu dem Vormittagsprogramm, dem Workshop, die Teilnahmebedingungen und das Anmeldeformular finden Sie unter: **mes.automatisierungstreff.com.**

Fraunhofer IOSB

Anmeldung unter:
mes.automatisierungstreff.com

Vom CAD zum digitalen Zwilling

DATENMODELLE FÜR DIE VIBN



Bild: Machineering GmbH & Co. KG; ©Prathankarnpap/stock.adobe.com; Google Gemini

Durchgängige Datenmodelle werden zum Schlüssel für eine effiziente virtuelle Inbetriebnahme und den digitalen Zwilling. Statt isolierter Engineering-Prozesse ermöglichen sie eine konsistente Verbindung von CAD, Simulation und Steuerung – ohne Medienbrüche oder redundante Datenpflege. Unternehmen profitieren dadurch von kürzeren Entwicklungszeiten, frühzeitiger Fehlererkennung und einer deutlich höheren Flexibilität im Anlagenbau.

Unternehmen müssen heutzutage ihre Engineering-Prozesse so anpassen, dass sie die zunehmende Komplexität moderner Maschinen und Anlagen sowie die steigenden Anforderungen erfüllen können. Die klassische Vorgehensweise, bei denen Mechanik, Elektrik und Automatisierung getrennt voneinander arbeiten, führten in der Vergangenheit immer wieder zu Medienbrüchen, redundanter Datenhaltung und unzureichenden Informationsständen. Daher hat sich in den letzten Jahren die virtuelle Inbetriebnahme zunehmend etabliert, um Risiken zu reduzieren, Fehler frühzeitig zu erkennen und Entwicklungszeiten zu verkürzen. Das Potenzial darin ist deutlich höher, wenn ein durchgängiges Datenmodell vom ersten CAD-Entwurf bis hin zum digitalen Zwilling vorhanden ist.

Vom CAD-Modell zur simulationsfähigen Struktur

Das CAD-Modell stellt die Basis der digitalen Maschinenbeschreibung dar. Darin sind geometrische Informationen, Baugruppenstrukturen sowie grundlegende physikalische Eigenschaften enthalten. Für die virtuelle Inbetriebnahme ist diese Informationsbasis jedoch nicht ausreichend. Dafür muss das vorhandene Modell gezielt durch funktionale und logische Zusammenhänge ergänzt werden. Erst so entsteht ein Modell, das für die Simulation und die Abbildung des Maschinenverhaltens relevant ist. Dazu gehören kinematische Beziehungen, Bewegungsachsen, Freiheitsgrade sowie die Integration von Sensorik und Aktorik.

CAD-Daten in die Modelle bringen

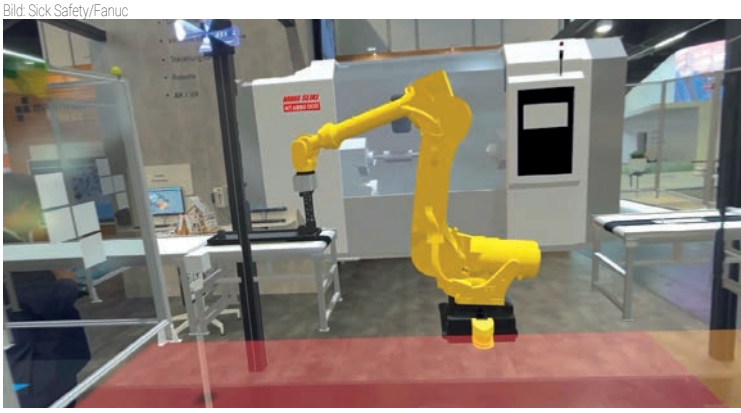
Im industriellen Umfeld zeigt sich aber, dass CAD-Daten einerseits zu detailliert und gleichzeitig nicht ausreichend strukturiert für eine Simulation sind. Daher macht eine direkte Übernahme in vorhandene Simulationsumgebungen meist wenig Sinn. Es sollten Geometrien vereinfacht, Kollisionsmodelle erzeugt und Bewegungsdefinitionen ergänzt werden. Dieser Schritt ist entscheidend für die spätere Performance und Aussagekraft der Simulation. Simulationsplattformen wie iPhysics von Machineering setzen hier an, indem sie CAD-nahe Strukturen in echtzeitfä-

Bild: Machineering GmbH & Co. KG/Sick AG



Für Anlagen mit mehreren Achsen, Greifsystemen und Fördertechnik sind Anwendungen zur virtuellen Inbetriebnahme wie geschaffen.

Bild: Sick Safety/Fanuc



Wenn Fehler im Roboterlaufweg zu Kollisionen führen, dann lieber in der Simulation als in echt.

hige Modelle überführen. Änderungen im CAD ziehen erfahrungsgemäß Nacharbeiten in der Simulation nach sich, was nicht nur Zeit kostet, sondern auch Fehlerpotenziale erhöht. Ein durchgängiges Datenmodell kann dafür sorgen, dass eine strukturierte Übermittlung der Daten innerhalb des Systems erfolgt, ohne dass Informationen verloren gehen oder mehrfach überarbeitet werden müssen.

Durchgängige Datenmodelle als Integrationsbasis

In einem durchgängigen Datenmodell wird die Maschine nicht nur geometrisch, sondern über alle Disziplinen hinweg beschrieben. Neben der Mechanik werden auch elektrische und steuerungstechnische Informationen abgebildet. Zudem lassen sich Komponenten identifizieren, ihre Beziehungen zueinander definieren und Signale können systemübergreifend zugeordnet werden. Die technische Umsetzung erfolgt dabei häufig durch standardisierte Datenstrukturen, eindeutige Objektmodelle und Integrationsplattformen. Entscheidend ist die Qualität der vorhandenen Datenstruktur. Wenn ein Bauteil über alle Systeme hinweg eindeutig nachvollziehbar ist, können Änderungen effizient nachverfolgt und umgesetzt werden.

Das Rad nicht neu erfinden

Bewährte Maschinenmodule können dabei in neuen Projekten erneut verwendet werden. Viele Informationen können übernommen werden, ohne dass diese bei jedem Projekt neu aufgebaut werden müssen. Gerade bei der virtuellen Inbetriebnahme zeigt dieses Konzept Wirkung, da die Steuerungssoftware direkt gegen ein Simulationsmodell getestet wird, das auf den selben Daten basiert wie das restliche Engineering. Signale, Zustände und Bewegungen sind miteinander verknüpft, wodurch ein realitätsnahes Anlagenverhalten abgebildet werden kann.

Umsetzung und digitale Zwillinge

Der digitale Zwilling ist damit die logische Weiterentwicklung eines durchgängigen Datenmodells, da er die reale Maschine nicht nur geometrisch, sondern auch funktional und dynamisch abbildet. In der virtuellen Inbetriebnahme werden anhand des virtuellen Pendants Steuerungsprogramme getestet, Abläufe optimiert und kritische Szenarien nachgestellt. Ein typisches Beispiel aus der Praxis ist eine Anlage mit mehreren Achsen, Greifsystemen und Fördertechnik. In der klassischen Vorgehensweise werden CAD-Daten exportiert, in der Simulation neu aufgebaut und anschließend mit Steuerungssignalen verknüpft. Jede Änderung in der Mechanik führt dabei zu manuellen Anpassungen in der Simulation und Steuerung. Mit einem durchgängigen Datenmodell hingegen bleibt die Struktur unangetastet. Die vorhandene Kinematik, Signale und Komponenten können weiterverwendet werden.

Spezialsysteme verfügbar

Spezialisierte Simulationsanwendungen wie iPhysics kommen dabei zum Einsatz, da diese eine physikalisch konsistente Abbildung der Anlage in Echtzeit ermöglichen. Dabei können mechanische Modelle, Bewegungslogik und Steuerungssignale auf Basis eines gemeinsamen Datenmodells zusammengeführt werden. Entscheidend ist dabei die Fähigkeit, vorhandene Engineering-Daten ohne Medienbrüche nutzbar zu machen und in ein echtzeitfähiges Simulationsmodell zu überführen. Die Steuerung wird dabei früh am virtuellen Modell angebunden und gegen den digitalen Zwilling getestet. Dadurch lassen sich Fehler bereits vor der physischen Inbetriebnahme erkennen und vermeiden. Dies kann zu einer deutlich verkürzten Inbetriebnahmezeit sowie zu einer höheren Anlagenverfügbarkeit führen.

Strukturierte Implementierung notwendig

Die Einführung durchgängiger Datenmodelle erfordert jedoch mehr als nur den Einsatz geeigneter Software. Wichtig sind Modellierungsrichtlinien, Datenstandards und Zusammenarbeit zwischen Disziplinen. Integrierte Prozesse stellen sicher, dass Daten konsistent erzeugt, gepflegt und genutzt werden. Der Weg vom CAD zum digitalen Zwilling ist ein strategischer Transformationsprozess. Unternehmen, die diesen Ansatz konsequent verfolgen, schaffen die Grundlage für eine effiziente virtuelle Inbetriebnahme und eine durchgängig digitale Wertschöpfungskette. Langfristig winken dafür kürzere Entwicklungszeiten, höhere Qualität und einer gesteigerte Flexibilität im Engineering und Betrieb ihrer Anlagen. n

Machineering GmbH & Co. KG
www.machineering.com

High Performance Computing bei Airbus

Infrastruktur für dreifache Simulationskapazität



Bull, ein Anbieter im Bereich Advanced Computing und KI, hat eine Supercomputing-Infrastruktur für das Luft- und Raumfahrtunternehmen Airbus geliefert. Die Umsetzung erfolgt im Rahmen eines mehrjährigen Supercomputing-Vertrags und verdreifacht die Simulationskapazitäten des Flugzeugbauers.

Die steigenden Anforderungen an die HPC-Infrastruktur von Airbus, getrieben durch die dynamischen Entwicklungen der Luft- und Raumfahrt Branche, machten eine leistungsfähigere und flexiblere Lösung erforderlich. Mit einer neuen HPC-Infrastruktur unterstützt die Atos-Tochter Bull den Flugzeugbauer dabei, die Simulationskapazität zu erhöhen. Wie das Unternehmen mitteilt, wurden die Kapazitäten verdreifacht. Dies unterstützt Ingenieurinnen und Ingenieure dabei, bestehende Produkte zu verbessern und zugleich die nächste Generation von Luft- und Raumfahrtsystemen zu entwickeln. Zum Einsatz kommt die neue HPC-Umgebung für kritische Aufgaben wie Strömungssimulation, Akustikberechnungen für Cockpit, Rumpf und Kabine sowie strukturelle Belastungsanalysen.

Als strategischer HPC-Partner von Airbus hat Bull seine Supercomputing-Infrastruktur schrittweise an mehreren Standorten bereitgestellt. Das erste System wurde 2025 in Toulouse geliefert und in Betrieb genommen – nur 14 Monate nach Vertragsunterzeichnung. Mit der Lieferung des Supercomputers in Hamburg im Jahr 2026 ist das Implementierungs-Programm nun abgeschlossen und der Weg für die Einweihung einer vollständig betriebsbereiten, standortübergreifenden Supercomputing-Infrastruktur geebnet.

Im Rahmen dieses mehrjährigen High-Performance-Computing-Vertrags liefert Bull eine schlüsselfertige Gesamtlösung, die Rechensysteme, Speicher und Rechenzentren in einem HPC-as-a-Service-Modell umfasst. Auf Basis eines besonderen Designansatzes vereinen diese modularen Rechenzentren mehrere vorgefertigte und austauschbare Module, in denen das HPC-System bereits im Bull-Werk in Angers, Frankreich, vorintegriert wurde. Anschließend wurden die Module vor Ort montiert und bilden ein vollständiges, schlüsselfertiges Rechenzentrum.

Beim möglichst energieeffizienten Betrieb des HPC-Systems unterstützt Bulls Direct-Liquid-Cooling-Technologie. Damit wird die vom System erzeugte Wärme wiederverwendet, um benachbarte Gebäude zu versorgen. Darüber hinaus haben Bulls in Deutschland ansässige Expertinnen und Experten für industrielles HPC Knowhow in die Entwicklung der Simulationsumgebungen eingebracht, einschließlich Unterstützung bei der Anwendungsoptimierung.

Bruno Lecointe, Head of HPC, AI and Quantum Computing bei Bull, betont: „Unsere Zusammenarbeit mit Airbus zur Bereitstellung einer schlüsselfertigen HPC-Lösung ist ein wichtiger Meilenstein für Bull und unser High-Performance-Computing-Geschäft. Von einem weltweit renommierten Industrieunternehmen als strategischer HPC-Partner anerkannt zu werden, ist eine große Auszeichnung für unsere Teams." n

Bull
www.bull.com

Bild: ©Funtap/stock.adobe.com

Faktor 2 entsteht durch Architektur

Warum Programmlaufzeiten nicht durch bessere Tools, sondern durch strukturelle Integration halbiert werden

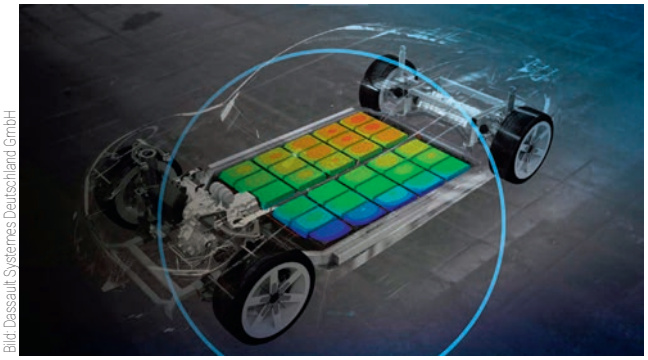


Bild: Dassault Systemes Deutschland GmbH

EV-Chassis mit gekoppelter Batterie-Thermik- und Struktursimulation

Entwicklungsprogramme verzögern sich nicht durch langsame Simulationstools, sondern weil Datenübergaben den Organisationsablauf aufhalten und Simulation zu spät einsetzt. Auch beste Tools und mehr Rechenleistung halbieren keine Programme. Der Hebel liegt in der Zusammenarbeit von Organisation und Disziplinen: Wer Simulation früh integriert und plattformbasiert orchestriert, verkürzt Programme statt Iterationen.

Tool-Optimierung reicht nicht mehr

Die CAE-Werkzeugkette wurde beschleunigt: GPU-Solver, ML-Surrogate, KI-Assistenz. Rechenzeit ist selten der Engpass. Der Grund ist strukturell: Mechanik, Elektronik, Strömung, Software, Datenhaltung arbeiten in getrennten Systemen. Geometrieübergaben, Lastfall-Synchronisation, PLM-Rückführung - jede Schnittstelle kostet Stunden bis Tage und summiert sich auf Monate. Hinzu kommen wiederholte Simulationen aus veralteten Datenständen: Es ist nicht mehr klar, was zu welchem Stand gehört. Lastfälle werden gerechnet, die nicht mehr relevant oder bereits abgesichert sind, ohne dass es im Moment präsent wäre.

Modeling & Simulation — MODSIM: Architektur statt Tool-Kette

MODSIM ist keine Tool-Sammlung, sondern eine durchgängige Architektur. Konstruktion, Simulation, Prozesssteuerung, Datenhaltung greifen auf der 3DEXPERIENCE-Plattform auf ein gemeinsames Datenmodell zu: eine zentrale Single Source of Truth über den gesamten Lebenszyklus. Kein Geometrieexport, keine FEM/CFD-Konvertierung, kein separater PLM-Abgleich.

- Multiphysik nativ in einem Modell
- Optimierung über Disziplingrenzen hinweg
- vollständige Versions- und Konfigurationssicherheit
- automatisierte Workflows für Frontloading

KI und Surrogatmodelle wirken als integrierte Bausteine basierend auf validierter Physik, nachvollziehbar und auditierbar.

Multi-Physik in der Praxis: Der elektrische Antrieb

Wie weit das trägt, zeigt der elektrische Antrieb, ob Fahrzeug, Industrieanlage oder Roboter. Strukturmechanik, Thermik, Elektromagnetik, Elektrochemie, Regelungstechnik treffen im Bauteilverbund aufeinander. Eine E-Antriebs-Auslegung durchläuft 50-100 Konfigurationswechsel: andere Wickelvariante, geänderte Kühlstrategie, neue Steuerlogik. In einer klassischen Tool-Landschaft löst jeder Wechsel eine Kaskade aus Geometriekonvertierung, Lastfall-Synchronisation, PLM-Abgleich aus, verbunden mit ein bis zwei Tagen Aufwand. Pro Programm summiert sich das auf Monate Übergabezeit. In einer durchgängigen Architektur entfällt dieser Block: Änderungen propagieren automatisch durch alle Disziplinen, automatisierte Workflows liefern binnen Stunden eine vollständige Multi-Physik-Bewertung.

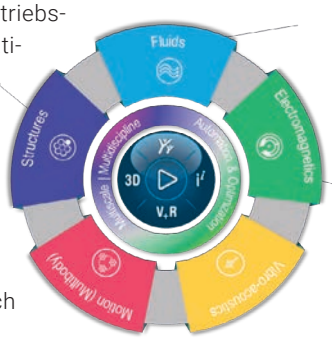


Bild: Dassault Systemes Deutschland GmbH

SIMULIA Multi-Physics-Wheel mit den fünf Disziplin-Segmenten Structures, Fluids, Electromagnetics, Vibro-acoustics, Motion (Multibody)

Die Halbierung entsteht nicht in den Rechnungen, sondern in den Übergängen dazwischen.

Was das für die Industrie bedeutet

Die Logik gilt branchenübergreifend für Elektronikfertigung, Automobilbau, Sondermaschinenbau. Bei konfigurierbaren Produkten lassen sich Varianten direkt aus dem Plattformmodell ableiten und Variantenvielfalt skaliert ohne proportionalen Zeitaufwand.

Die Frage ist nicht, welches Tool die schnellsten Einzelberechnungen liefert, sondern: **Optimieren Sie noch einzelne Prozesse - oder verkürzen Sie bereits Ihre Programme?**

Mehr dazu auf dem SIMULIA Regional User Meeting EuroCentral · 3DEXPERIENCE Week · 16.–18. Juni 2026 · Darmstadt

Kontakt

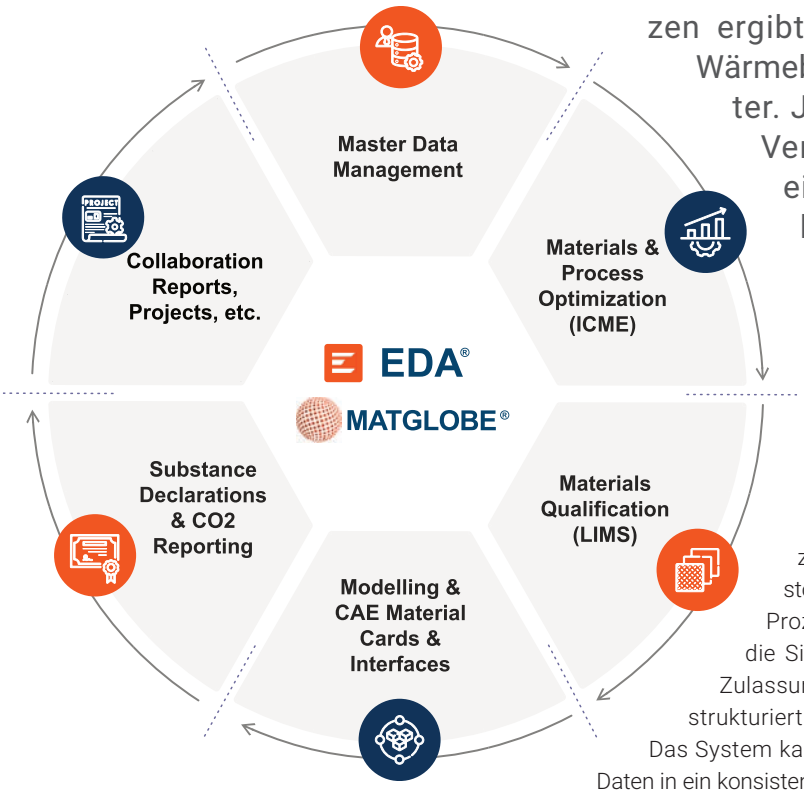
Christian Barthel • christian.barthel@3ds.com
SIMULIA Sales Director EuroCentral
Dassault Systèmes Deutschland GmbH
linkedin.com/in/christian-barthel-3ds
3ds.com/de

Artikel anhören

Von Hypercubes zur Materialkarte für Simulationen

Werkstoffe wirklich verstehen

Ein Werkstoff wie AA7075 oder 1.4310 ist nicht einfach eine Zeichenkette in einem CAD-System. Er steht vielmehr für einen Hypercube aus Variabilität, die sich allein aus der chemischen Zusammensetzung innerhalb der Normtoleranzen ergibt. Unterschiedliche Fertigungswege und Wärmebehandlungen erhöhen die Variabilität weiter. Jede dieser Dimensionen beeinflusst das Verhalten – und jede Kombination erzeugt eine eigene Eigenschaftslandschaft. So kann der Werkstoff vom statischen Parameter zu einem dynamischen, multidimensionalen Lösungsraum werden.



Matplus EDA als digitaler Zwilling für Werkstoffe.

Informationssystem für Werkstoffwissen

Doch genau hier liegt die Herausforderung: Die Angabe eines Werkstoffnamens allein beinhaltet einen großen Lösungsraum. Für welche Bereiche in diesem Lösungsraum gelten die Materialkarten? Wie zuverlässig sind Simulationen, wenn sie den Lösungsraum nicht abdecken und dann Chargenschwankungen in der Fertigung zu Ausfällen führen? Wie kann überhaupt etwas optimiert werden, wenn die Eingangsparameter ein sehr breites Streuband haben?

Hier setzt ein neuer Ansatz an: Matplus EDA ist als zentrales Wissenssystem für die Werkstoffe eines Unternehmens ausgelegt. Es ist kein klassisches LIMS oder lediglich eine Datenbank, sondern ein Governance-basiertes Informationssystem über den gesamten Lebenszyklus, das Werkstoffwissen von der Prozesshistorie über die Simulation bis zur Zulassung zentralisiert, strukturiert und verknüpft. Das System kann fragmentierte Daten in ein konsistentes, versioniertes und semantisch verstandenes Wissensnetzwerk transformieren – um den Hypercube berechenbar zu machen.

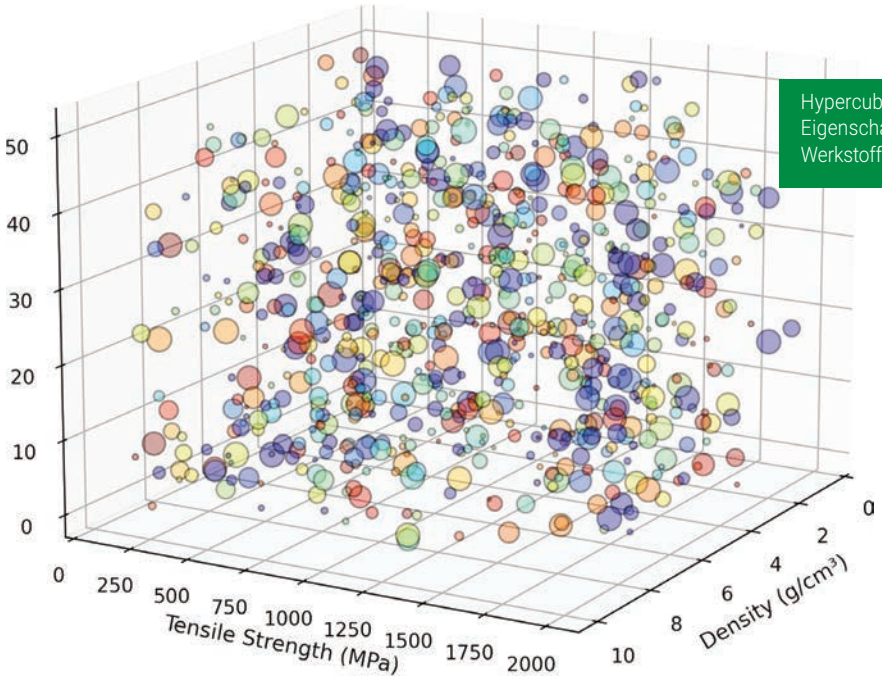
Den Hypercube beherrschen

Traditionell wurde der Hypercube mit empirischen Tests und tabellarischen Normdaten approximiert – oft mit groben Sicherheitsfaktoren und einem hohen Anteil an ‚Wissen im Kopf'. Doch in Zeiten von Digital Twins und KI-gestützter Materialentwicklung ist diese Herangehensweise nicht mehr skalierbar. Die Zukunft gehört nicht mehr dem Durchschnittswerkstoff, sondern der abgesicherten, kontextualisierten Materialkarte – einer digitalen, nachverfolgbaren und simulierbaren Repräsentation, die den gesamten Hypercube mit seiner Variabilität und Unsicherheit abbildet. Um diesen Hypercube nutzbar zu machen, bedarf es einer systematischen Integration von Methoden. 1. Design of Experiments (DoE) ermöglicht es, den vollfaktoriellen Lösungsraum gezielt zu verkleinern und damit die Anzahl von Simulationsrechnungen oder praktischen Prüfungen deutlich zu reduzieren. 2. Integrated Computational Materials Engineering (ICME) mit JMatPro verknüpft dabei seriöses CalPhaD (Calculation of Phase Diagrams) mit zusätzlich berechneten Eigenschaften und liefert physikalisch konsistente Vorhersagen. 3. Die explorative Datenanalyse (OLAP) nutzt Daten aus Wissensgraphen und ICME, um Muster, Ausreißer und Korrelationen aufzudecken und so die Lücke zwischen Simulation und Realität zu schließen. 4. Ergänzend identifizieren Optimierungsalgorithmen, etwa Multi-Objective Genetic Algorithms, Pareto-optimale Werkstoffzustände, die Leistung, Kosten und Fertigungstauglichkeit balancieren.

Nutzen aus der Varianz ziehen

Damit wird eine gezielte, risikoarme und effiziente Werkstoffnutzung ermöglicht, ohne mit pauschalen Sicherheitsabschlägen oder konservativen Annahmen zu arbeiten. Statt einen Werkstoff als durchschnittlich zu behandeln, wird seine tat-

Bilder der Doppelseite: Matplus GmbH



Hypercube schematisch: Eigenschaftsräume statt Werkstoffbezeichnungen.

sächliche Variabilität erfasst und genutzt. Die zu erwartenden Vorteile:

- Präzisere Simulationen: Die reale Streuung von Eigenschaften kann abgebildet werden – durch stochastische Analysen oder Robustheitsbewertungen – was zu realistischeren Ergebnissen führt.
- Gezieltere Entwicklung: Mit Methoden wie DoE und ICME lassen sich bestmögliche Parameterkombinationen identifizieren, ohne jeden möglichen Zustand testen zu müssen.
- Reduzierter Prüfaufwand: Statt umfangreicher Full-Scale-Tests reicht oft eine gezielte Kombination aus Modellierung und Schlüsselprüfungen.
- Höhere Bauteilsicherheit: Ausreißer und kritische Randbedingungen können systematisch erfasst werden – nicht erst im Betrieb entdeckt.
- Innovationsspielraum: Neue Werkstoffzustände oder Fertigungsverfahren können sicher bewertet und schneller in die Anwendung gebracht werden.
- Wer den Hypercube im Griff hat, nutzt Werkstoffe nicht nur nach Toleranzfeld – sondern nach Verständnis. Es winken Leichtbauvorteile, verlängerte Lebensdauer und beschleunigte Innovationen, ohne Kompromisse bei Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Digitale Workflows aufsetzen

Die Beherrschung des Werkstoff-Hypercubes ist der Startpunkt, um konsistente, nutzbare Materialmodelle für die Simulation zu generieren. Mit BPMN 2.0-basierten digitalen Workflows lassen sich komplexe Prozesse – von der Prüfdatenaufbereitung bis zur Freigabe – agil und Low-Code-basiert implementieren. Jeder Schritt ist dabei nachvollziehbar dokumentiert und auditierbar.

Python-basierte Script Tasks können auch anspruchsvolle mathematische Aufgaben übernehmen, z.B. automatisiertes Curve Fitting auf Basis gemessener Stauchversuche an Johnson-Cook- oder Zerilli-Armstrong-Modellen. Diese Skripte können als wiederverwendbare Plugins qualitätsgesichert in das Gesamtsystem integriert werden – unabhängig von späteren Systemupdates und ohne Anfälligkeit gegenüber veralteten VBA-Makros.

CAE-neutrale Materialkarten

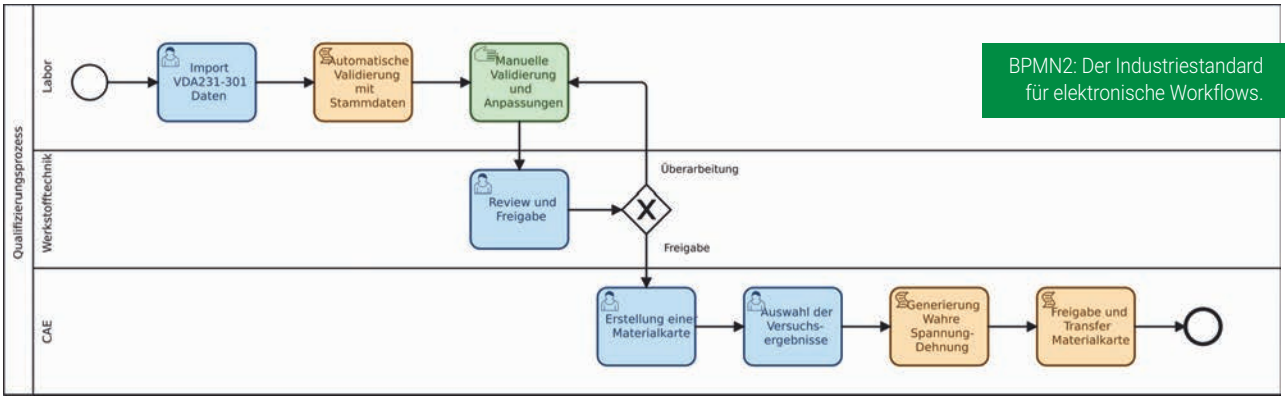
Ein zentraler Nutzen dieser Digitalisierung: die Erstellung CAE-neutraler Materialkarten. Unabhängig vom Ziel-CAE-System (Abaqus, LS-Dyna, Ansys) wird der Werkstoff einmalig definiert und dann konvertiert – anstatt in jedem Tool separat und fehleranfällig neu parametriert zu werden.

- Konsistenz – Einheitliche Werkstoffdefinition über Simulationstools hinweg
- Vergleichbarkeit – Direkter Vergleich von Modellen und Ergebnissen, mit grafischer Analyse möglicher Abweichungen
- Konsolidierung – Zusammenführung mehrerer Materialkarten aus unterschiedlichen Systemen, z.B. PamCrash und LS-Dyna

Digitaler Zwilling des Werkstoffs

So entsteht ein verlässlicher, wiederverwendbarer Werkstoff-Digital Twin, der sich nahtlos in bestehende Engineering-Prozesse integrieren kann. Als Grundlage für schnelle, sichere und transparente Simulationen. Die Integration in Systemumgebungen wie Teamcenter PLM und CAE erfolgt dann klassisch über REST-Schnittstellen. ■

Matplus GmbH
www.matplus.eu/de



BPMN2: Der Industriestandard für elektronische Workflows.

25 JAHRE IT&Production



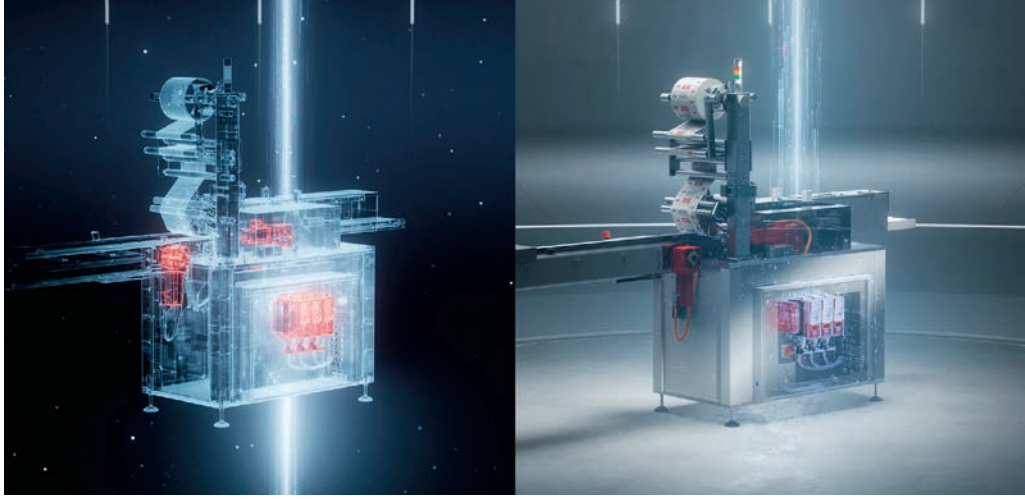
Ein Wert in Zeiten der Veränderung

25 Jahre – wenn das kein Grund zum Feiern ist! Wir von GFT gratulieren der IT&Production sehr herzlich zu diesem besonderen Meilenstein. Seit einem Vierteljahrhundert begleitet sie die industrielle Wertschöpfung auf ihrem Weg in die digitale Zukunft. Mit hoher journalistischer Kompetenz, fachlicher Tiefe und einem klaren Gespür für relevante Trends gelingt es der Redaktion, komplexe Technologien verständlich zu vermitteln und Entscheiderinnen und Entscheidern Orientierung zu geben – gerade in Zeiten tiefgreifender und schneller Veränderung ist das von unschätzbarem Wert. Damit leistet die Zeitschrift einen wesentlichen Beitrag zur erfolgreichen Transformation der Industrie, von den ersten Ansätzen der Automatisierung bis hin zu Strategien rund um künstliche Intelligenz, Cloud-Architekturen, nachhaltige Produktionsprozesse oder der intelligenten und vernetzten Fabrik der Zukunft.

Für uns als Unternehmen war und ist das Magazin eine wertvolle Informationsquelle, die gekonnt den Bogen schlägt zwischen fundierten Fachinformationen und inspirierenden Insights. Wir gratulieren dem gesamten Team zu 25 Jahren erfolgreicher journalistischer Arbeit und wünschen weiterhin viel Energie, Kreativität und Freude daran, die Zukunft der Industrie mitzugestalten.

Dr. Markus Müller
Managing Director
Industry Germany

GFT Technologies



Ein digitaler Zwilling (li.) ermöglicht es, die SPS-Automatisierungslogik vor dem Einsatz zu testen, zu verfeinern und zu validieren. So lassen sich in einer frühen Phase des Planungsprozesses Fehler vermeiden und die Projektlaufzeit reduzieren.

Digitale Zwillinge im Planungsprozess von Maschinen

Virtuelles Rollenspiel statt echter Fehler

Maschinen und Anlagen bei einer virtuellen Inbetriebnahme in einer Simulationsumgebung zu testen und zu implementieren, kann Projektlaufzeiten und Fehler reduzieren und Kosten sparen. Ein dafür erstelltes digitales Modell lässt sich zudem zum digitalen Zwilling erweitern, der vom ersten Kundengespräch über die Projektierung bis zum Betrieb Nutzen stiftet.

Artikel anhören

Die Grundidee der virtuellen Inbetriebnahme ist es, eine Produktionsanlage bereits zu testen, wenn sich die reale Maschine noch im Aufbau befindet. So können bereits in einer frühen Phase des Planungsprozesses Fehler vermieden und die Projektlaufzeit reduziert werden. Die virtuelle Inbetriebnahme ist allerdings nur eine Einsatzmöglichkeit eines digitalen Modells: digitale Zwillinge bieten für alle Beteiligten im Planungsprozess Potenzial.

Unterstützung in der Entwicklung

Die physische Simulation der Maschine unterstützt den Konstrukteur und die Programmiererin bei der die Optimierung des Bewegungsablaufs. Dabei wird die Bewegung im Millisekunden-Takt berechnet und in gleichen Zeitabständen deterministisch ausgeführt. Die berechneten Positionen werden an das 3D-Modell übergeben, die Bewegung sichtbar gemacht. Es wird ersichtlich, an welchen Stellen die Mechanik noch optimiert und welche Parameter im Programm gegebenenfalls verändert werden müssen. In der Produktwelt des Antriebsspezialisten SEW Eurodrive werden für diese Simulation die Prozessdaten von einem Test-PC über den Feldbus an den Controller UHX65A des Herstellers übermittelt, in den Movikit-Softwaremodulen verarbeitet und in Positionsdaten umgesetzt. Weil die Antriebselektronik noch nicht angeschlossen ist, laufen die Movikits im Simulationsmodus. Dabei simuliert der Controller die Bewegung so, als ob echte Antriebshardware angeschlossen wäre und schickt die virtuellen Positionsdaten an die Software auf dem PC, um dem dreidimensionalen Modell Richtung und Weg zu weisen.

Hilfe bei der Projektierung

Ein digitales Modell unterstützt auch den Auswahlprozess der Antriebe. So können Betriebe verschiedene Motor-Getriebe-Kombinationen testen, um die für sie bestmögliche Kombination zu ermitteln – etwa ob ein hochdynami-

Bilder der Doppelseite: SEW-Eurodrive GmbH & Co KG

scher Servomotor, eine Wasserkühlung oder eine Kombination mit höherer Massenträgheit verwendet werden sollte. Dazu gehört auch die Frage, ob ein Zwischenkreisverbund erforderlich ist. Das Planungs- und Projektierungstool Workbench steht auf der SEW-Homepage zum freien Download bereit. Es verfügt über eine Datei-Import-Funktion für die Simulationsdaten. Drehmomente, Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg werden in Diagrammen dargestellt und fließen in die Antriebsauslegung ein. Für die energetische Auslegung, z.B. die Verwendung von Energiespeichern im Zwischenkreis, stehen weitere Optionen zur Verfügung. Der Automatisierungstechnik-Hersteller unterstützt bei der Optimierung dieser Auslegung. Um zu prüfen, ob die Antriebe in die Maschine passen, können Anwender CAD-Modelle der Motoren, Getriebe und Elektronikkomponenten im Online-Support generieren und in verschiedenen 3D- und 2D-Formaten herunterladen.

Werkzeug auch für Programmierer

SPS-Programmierer sind daran interessiert, ob Prozessablauf und Bewegungen funktionieren. Hierzu wollen sie den Ablauf der Steuerung im Quellcode beobachten, während sie Einblicke in die Bewegungsfunktionen haben. Movikit-Softwaremodule ermöglichen, ein- und ausgehende Feldbusdaten über eine grafische Oberfläche anzuzeigen. Damit lässt sich überprüfen, ob alles korrekt umgesetzt wird, auch im Simulationsmodus. Die Fertigstellung des SPS-Programms kann erfolgen, bevor es in die Antriebselektronik geladen wird. Sogar der simulierte Roboterarm lässt sich mit dem RobotMonitor auf dem Bedienteil oder am PC steuern und die Bewegungen überprüfen. Da alle Tests in einer simulierten Umgebung stattfinden, besteht kein Risiko, physische Geräte beschädigt werden.



Mit dem RobotMonitor lässt sich ein simulierter Roboterarm am PC steuern und seine Bewegungen überprüfen.

Vereinfachte Schulung

Zukünftige Maschinenbediener können zusammen mit den Entwicklern der Bedienoberfläche die Einrichtung und Bedienung der Anlage erlernen. Dazu ist die Maschine beispielsweise mit Touchdisplays ausgestattet, die über ein Ethernetkabel mit der Steuerung verbunden sind. Die Anordnung der Informationen und Schaltflächen auf den Displays entspricht exakt der späteren Anordnung an der Anlage. Die Unterweisung kann komplett ohne eine reale Maschine erfolgen.

Model Based Monitoring

Prozesstechniker möchten vor dem Echtzeitbetrieb sicherstellen, dass ihre Annahmen zur Maschine und dem Prozess korrekt sind. Dafür wird ein detailliertes Modell der Realität im Simulationsprogramm abgebildet. Es verarbeitet die eingehenden Prozessdaten und verhält sich so, wie es der Prozess mit den entsprechenden Parametern tun würde. Durch den Abgleich der realen Betriebsdaten mit vorher im Digitalmodell berechneten Daten, dem sogenannten Model Based Monitoring, können Fehler im Betrieb frühzeitig erkannt werden, damit die Anzahl defekter Teile sinkt. Auch ein erhöhter Energiebedarf, z.B. aufgrund von Maschinenverschleiß, lässt sich so erkennen.

Performante Steuerungen

Eine wichtige Anforderung ist, dass der Prozess dabei nicht gestört wird. Die Steuerungen UHX65A und UHX86A von SEW-Eurodrive können zwei Betriebssysteme parallel ausführen. Somit kann der Programmcode für die Prozess- und Bewegungssteuerung auf einem Echtzeitbetriebssystem laufen, während das Modell auf einem Windows-Betriebssystem ausgeführt wird. Die Daten der Steuerung werden verarbeitet, verglichen und über das Netzwerk auf einem externen Datenspeicher abgelegt. Standardisierte Schnittstellen und Simulationsmodi befähigen Anwender zu vielen Arbeiten ohne die Hardware der Elektromechanik. Das neue Hypervisor-Konzept der Steuerungsgeneration UHX86A und UHX65A eröffnet weitere Anwendungsmöglichkeiten, auch während des Maschinenbetriebs. Die 3D-Simulation kann dabei unabhängig auf dem Windows-Betriebssystem ausgeführt werden, sodass ein Vergleich zur realen im Betrieb befindlichen Maschine möglich ist. Echte Physik-Simulationen mit dem digitalen Zwilling sind möglich, ohne dass zusätzliche Hardware in die Maschine eingebracht werden muss. ■

Das Konzept der neuen Controllergeneration UHX86A eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten auch während des Maschinenbetriebs. Echte Physik-Simulationen mit dem digitalen Zwilling sind möglich, ohne dass zusätzliche Hardware in die Maschine eingebracht werden muss.



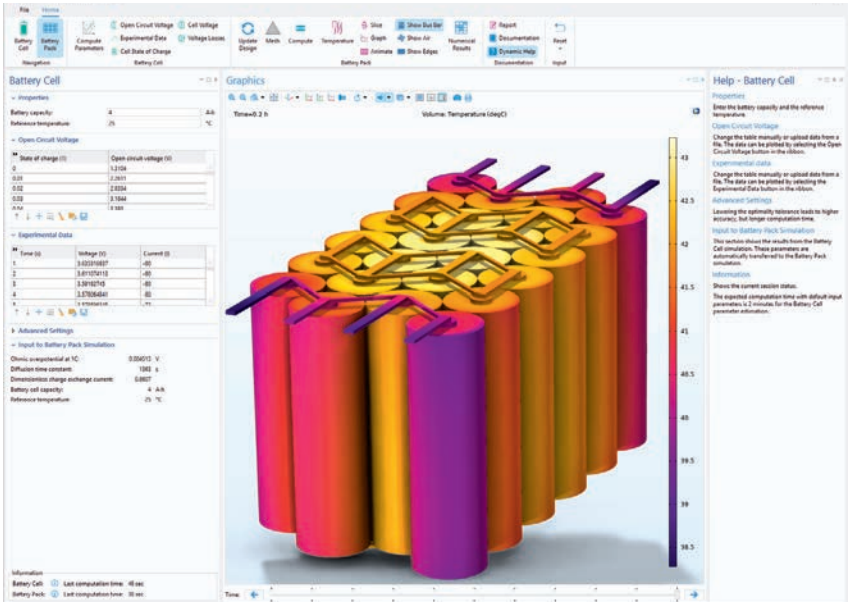
Hans-Joachim Müller
Marktmanager
SEW-Eurodrive GmbH & Co KG
www.sew-eurodrive.de

Multiphysik-Simulation und
digitale Zwillinge im Engineering

Mit wenig Aufwand die Effizienz erhöhen

Jetzt anhören!

In der Produktentwicklung wird der Einsatz digitaler Zwillinge immer wichtiger. Diese virtuellen Abbilder realer physischer Systeme erlauben es Ingenieuren und Wissenschaftlerinnen, komplexe Probleme zu erkennen, zu analysieren und zu lösen, bevor sie in der realen Welt auftreten. Die Multiphysik-Simulation ermöglicht noch umfassendere Analysen. Durch die Integration physikalischer Phänomene erlangen Nutzende ein tieferes Verständnis der Wechselwirkungen eines Systems, was Vorhersagen und eine robusteres Design ermöglicht.



Die Comsol-Plattform ermöglicht die Entwicklung verschiedener Apps für spezifische Anwendungen. So kann man mit dem Lithium-Akkupack-Designer ein Temperaturprofil des Akkus auf der Grundlage der thermischen Masse und der erzeugten Wärme in Verbindung mit den Spannungsverlusten des Akkus zu berechnen.

Anbieter von Simulationssoftware wie Comsol Multiphysics bieten umfangreiche Software-Plattformen, um digitale Zwillinge zu erstellen und zu verwalten. Damit lassen sich verschiedene physikalische Phänomene, wie Elektromagnetik, Wärmeübertragung, Fluiddynamik und mechanische Spannungen innerhalb eines einzigen Multiphysik-Modells koppeln und untersuchen. Diese Fähigkeit, komplexe, gekoppelte Probleme innerhalb einer einheitlichen Umgebung zu modellieren und zu simulieren, stellt einen entscheidenden Vorteil gegenüber herkömmlichen Simulationslösungen dar. Die Vorteile der Multiphysik-Simulation liegen dabei vor allem in der umfassenden Analyse: Durch die Integration verschiedener physikalischer Phänomene erlangen Ingenieure ein tieferes Verständnis komplexer Wechselwirkungen innerhalb eines Systems. Dies führt zu genaueren Vorhersagen und einem robusteren Design. Zudem verkürzt das frühzeitige Erkennen von möglichen Fehlern bereits im Designprozess die Entwicklungszeit und reduziert so zugleich die Kosten. So sparte das Industrial Technology Research Institute (ITR) durch den Einsatz einer Simulations-App zur Vorhersage von Verformungen und Spannungen beim Laser-Pulverbett-Schmelzen bis zu 83% der Kosten und 99% der Zeit beim 3D-Druck von Raketeninjektoren für Taiwan Innovative Space ein.

Einen digitalen Zwilling erstellen

Um aufzuzeigen, mit wie wenig Aufwand die Nutzung digitaler Zwillinge die übergeordnete Effizienz erhöht, soll im Folgenden der Prozess der Entwicklung eines solchen nachvollzogen werden. Die einzelnen Phasen bieten Einblicke, die branchenübergreifend Gültigkeit haben und den strategischen Abwägungen von Entscheidern zugrunde liegen sollten.

Lebenszyklus-Phase 1: In der Design- und Herstellungsphase eines digitalen Zwillings werden anhand gesammelter realer Daten des physischen Objekts virtuelle Modelle entwickelt. In dieser Phase geht es um Trial & Error: Die Konzepte werden getestet, modifiziert und optimiert. Auf diese Weise entsteht mittels 3D-Simulation unter nahezu realen Bedingungen ein digitaler Prototyp - die

Bilder der Doppelseite: Comsol Multiphysics GmbH

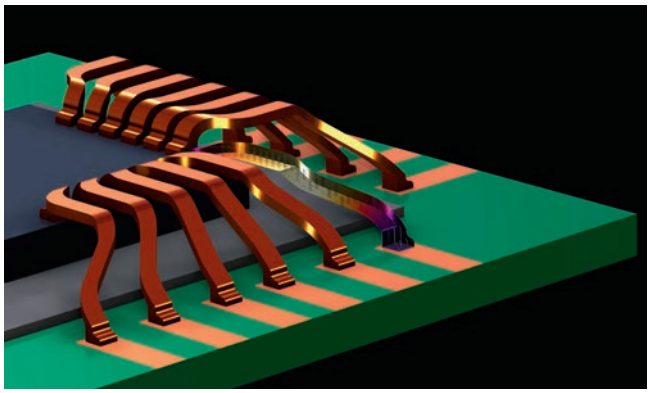
ideale Grundlage für umfassende Analysen und gelingendes Engineering.

Lebenszyklus-Phase 2: In der operativen Phase wird die Maschine in der realen Welt in Betrieb genommen; ihr gegenüber steht der entsprechende digitale Zwilling, der Messungen und die Überwachung während der Inbetriebnahme übernimmt. Optimierungen und Modifikationen lassen sich dabei problemlos umsetzen.

Lebenszyklus-Phase 3: Die gewonnenen Daten aus dem Betrieb des digitalen Zwillings werden zur Weiterentwicklung neuer Maschinen verwendet. Das Simulationsmodell steht dem Maschinenhersteller zur Verfügung, um alle geplanten Erweiterungen vorab sicher zu testen. Das Ergebnis: Bei Um- oder Aufrüstungen sind nur minimale Stillstandzeiten erforderlich, was wiederum Kosten und Zeit einspart.

In der Praxis

Durch die Datenanalyse eines digitalen Zwillings können Ressourcen für physische Prototypen und Testverfahren reduziert und die Lebensdauer von Anlagen signifikant verlängert werden. Design- und Prozessanpassungen lassen sich virtuell durchführen und prüfen, bevor sie in der realen Welt angewendet werden. Im Bereich der Simulation ist es zudem möglich hochresponsive Ersatzmodelle, die auf neuronalen Netzwerken basieren, mit den Resultaten aus den Multiphysikmodellen zu trainieren. Solche Modelle sind in der Lage, innerhalb von Sekunden neue Ergebnisse für stark nichtlineare und komplexe Systeme mit hoher Genauigkeit zu liefern und eignen sich daher hervorragend für den Einsatz in digitalen Zwillingen. Multiphysics ist die Plattform von Comsol für die Erstellung physikbasierter Modelle und Simulations-Apps. Sie umfasst den Model Builder, den Application Builder sowie den Model Manager. Der Model Builder enthält alle Funktionen und Operationen zum Erstellen, Lösen, Visualisieren und Auswerten von Modellen. Mit dem Application Builder, lassen sich Add-On-Module direkt in die Simulationsplattform integrieren. Der Model Manager ist ein Workspace für das Management von Modellen und Apps. Um sowohl Einzel- als auch Multiphysik zu modellieren, lassen sich Add-On-Module direkt in die Multiphysics-Plattform integrieren. Mit der Comsol-Software wurde beispielsweise in der Automobilbranche die Entwicklung eines digitalen Zwillings für die Thermomanagementsysteme eines Elektrofahrzeugs erfolgreich umgesetzt. Hierbei wurden Strömungs-, Wärme- und Elektrochemiesimulationen kombiniert, um die Kühlung von Batterien während unterschiedlicher Belastungsszenarien präzise zu analysieren. Ingenieurinnen konnten durch den digitalen Zwilling die Effizienz des Kühlsystems optimieren und gleichzeitig die physische Prototyping-Phase erheblich verkürzen. Comsol ermöglicht es zudem maßgeschneiderte Simulationslösungen für digitale Zwillinge zu entwickeln, welche zur Überwachung und Optimierung von Wärmeabfuhrstrategien in Echtzeit dienen. Dies ist entscheidend, um die Zuverlässigkeit und Lebensdauer elektronischer Komponenten zu verbessern.



Das Semiconductor Module bietet spezielle Funktionen für die Analyse der Funktionsweise von Halbleiterbauelementen auf der Ebene der grundlegenden Physik.

Fazit

Digitale Zwillinge und Multiphysik-Simulationen sind entscheidende und leistungsstarke Werkzeuge, die die Zukunft moderner Engineering-Prozesse bestimmen. Sie ermöglichen es Ingenieuren und Entwicklern, durch die Einbindung dieser Technologien in die Konstruktionsabläufe die Qualität und Verlässlichkeit ihrer Produkte zu verbessern, Entwicklungszeiten zu verkürzen und Kosten zu optimieren. Die präzise Modellierung und Simulation physikalischer Phänomene macht Simulationsanbieter zu unverzichtbaren Partnern, um Engineering-Prozesse zu optimieren. ■

Dr. Phillip Oberdorfer
Technology Communication Manager
Comsol Multiphysics GmbH
www.comsol.de

- Anzeige -

FEE software for INDUSTRY

NEXT LEVEL SIMULATION WITH AI

Digitale Zwillinge automatisch generieren und intelligent steuern: Mit der neuen **MCP-Schnittstelle** öffnet sich fe.screen-sim als eines der ersten Simulationstools direkt für **KI-Systeme, LLMs** und **Workflow-Tools** wie Claude, n8n oder Cursor – für maximale **Effizienz in der virtuellen Inbetriebnahme.**

www.fescreen-sim.de



Weitere neue Features in fe.screen-sim Version 5:

GIVE ME V5

// Web client: Simulation direkt im Browser
// Mehr als 30 Schnittstellen: Offenheit für jede Systemwelt
// Analytics-Modul: Präzise Kennzahlen in Echtzeit
// MIL designer: Schnelle Planung und Optimierung von Fördertechniksystemen