

## Werkstoffdaten für Stahlanwendungen

# Von der Werkstoffprüfung zum digitalen Zwilling im Produktlebenszyklus

Die Anwendung des Werkstoffs Stahl in anspruchsvollen Produkten setzt voraus, dass Konstrukteure und Produktentwickler digitalen Zugriff auf die richtigen Werkstoffdaten haben. Dies ist jedoch vielfach nicht der Fall – die industrielle Praxis ist gekennzeichnet durch „den Werkstoff als Zeichenkette“ im Schriftfeld einer Zeichnung. Es fehlten bisher vielfach konsistente Werkstoffdaten, die ein „Simultaneous Engineering“ in der Produktentwicklung beim Anwender unterstützen. Ein neuer Ansatz bringt die getrennten Welten der Werkstoffexperten und der Produktentwickler enger zusammen. Dieser digitale Zwilling schafft Wettbewerbsvorteile durch Beschleunigung von Entwicklungsprozessen.

Stahl ist als Strukturwerkstoff unverzichtbarer Bestandteil anspruchsvoller Produkte vieler Branchen. Die Auslegung hoch beanspruchter Strukturen, wie z.B. das in **Bild 1** gezeigte Flugzeugfahrwerk hinsichtlich Festigkeit und Fertigungsprozessen beinhaltet die Nutzung von Werkstoffmodellen und Werkstoffdatenbanken mit entsprechend belastbaren mechanisch-technologischen Materialkennwerten. Die MMPDS-Datenbank ist die Quelle für FAA-freigegebene Werkstoffdaten von Luftfahrtstählen, **Bild 2**, die zusammen mit der Stahldat-SX-Datenbank ([www.stahldaten.de](http://www.stahldaten.de)) von der Matplus GmbH für derart anspruchsvolle Entwicklungsaufgaben bereitgestellt wird.

### Werkstoffdaten am Arbeitsplatz des Anwenders

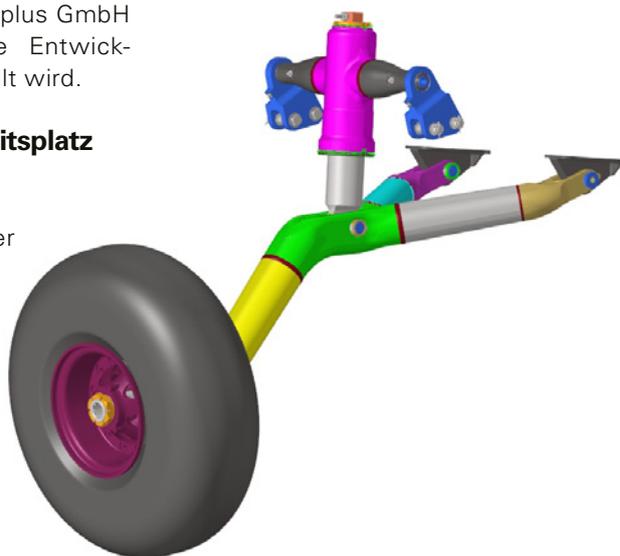
Eine Schlüsselrolle in der digitalen Produktentwicklung nehmen „Product Lifecycle Management“ (PLM)-Systeme ein. Sie steigern die Effizienz bei der Zusammenarbeit von großen Teams durch die Bereitstellung von aktuellen Daten (Konfigu-

rationsmanagement), durch die Abbildung elektronischer Workflows (Änderungs- und Freigabemanagement) und die Integration unterschiedlicher CAD- und FEM-Systeme (Multi-CAE Integration). Ein führendes PLM-System ist das von Siemens angebotene Teamcenter. Das Modul IMM (Integrated Material Management) ist in der Lage, allen Anwendern die benötigten Werkstoffdaten bereitzustellen. Es werden

Schnittstellen zu den unterschiedlichen CAD-Systemen, z.B. Siemens NX, **Bild 3**, Dassault Catia, PTC Creo, bereitgestellt, sodass Konstrukteure in heterogenen Teams auf eine einheitliche Werkstoffdatenbasis zugreifen können.

„IMM ermöglicht die simultane Bearbeitung technischer Fragestellungen zusammen mit den Überprüfungen für Substance-Compliance und Produktnachhaltigkeit und schafft allein dadurch Effizienzvorteile

Udo Mathee, Coesfeld, Kontakt: [mail@mathee.de](mailto:mail@mathee.de)



**Bild 1.** CAD-Modell einer geschweißten Hauptfahrwerksstruktur (MLG) aus hochfesten luftfahrtzugelassenen Stählen für ein modernes Allzweck-Zubringerflugzeug (N219), entwickelt und gefertigt bei der Heggemann AG. Die Heggemann AG mit Sitz am Flughafen Paderborn-Lippstadt ist Entwicklungs- und Fertigungspartner für metallische Leichtbaustrukturen in den Bereichen Aerospace und Automotive (Quelle: Heggemann AG)



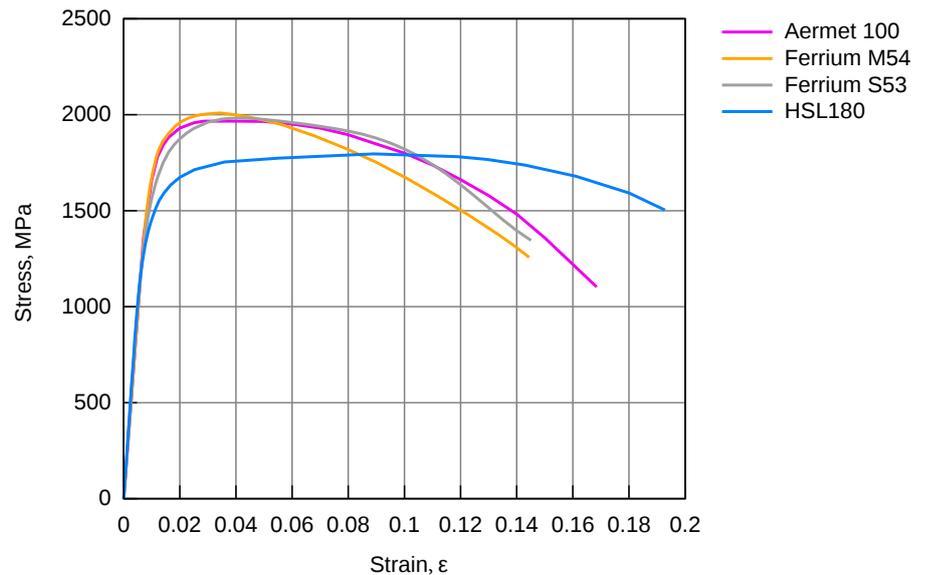
le“, erläutert Lucas Dann (thinkstep AG), Produktmanager Siemens Integrated Material Management und ergänzt: „Es kommt darauf an, dem Anwender für seine Spezialaufgaben abgesicherte und freigegebene Werkstoffdaten in seiner Arbeitsumgebung bereitzustellen.“

### Die Integration anspruchsvoller Werkstoffdaten

Die in IMM vorhandenen Möglichkeiten versorgen den Anwender von Stahl zwar mit Werkstoffdaten – allerdings ist die Erstellung der Werkstoffdaten selbst nicht integriert: Werkstofftechnologien und Produktentwickler leben IT-technisch bisher in getrennten Welten.

Klassische Werkstoffdatenbanken speichern das Endergebnis von zum Teil komplexen Workflows zur Kennwertermittlung – die Auswertungen selbst erfolgen vielfach mit externen Werkzeugen, z.B. Excel. Dadurch ergeben sich eine ganze Reihe kritischer Medienbrüche, die zu inkonsistenten und potenziell fehlerhaften Daten führen können:

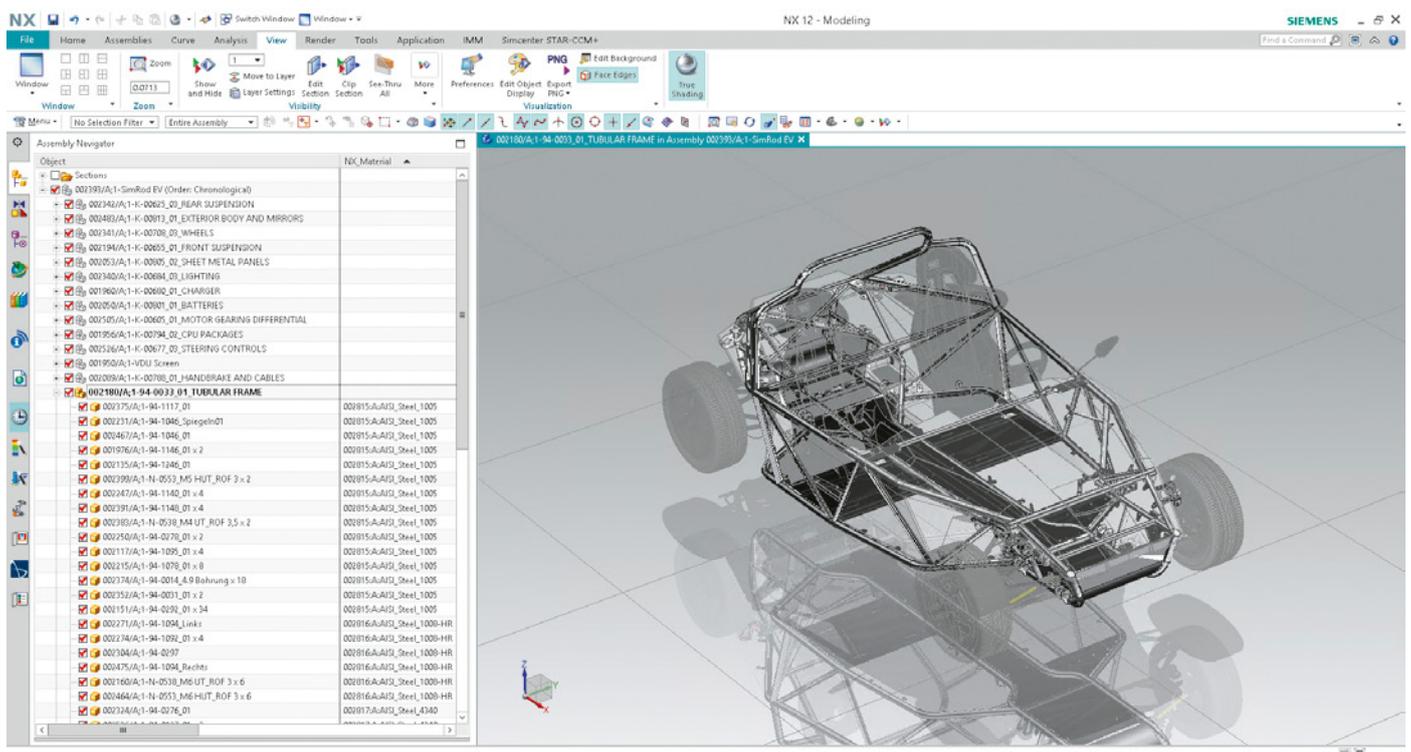
- Rohdaten liegen in Dateisystemen mit unzureichenden Metadaten und Verknüpfungen.
- Die Datenverdichtung und Auswertung erfolgt mit nicht formal freigegebenen Werkzeugen außerhalb eines Systems,



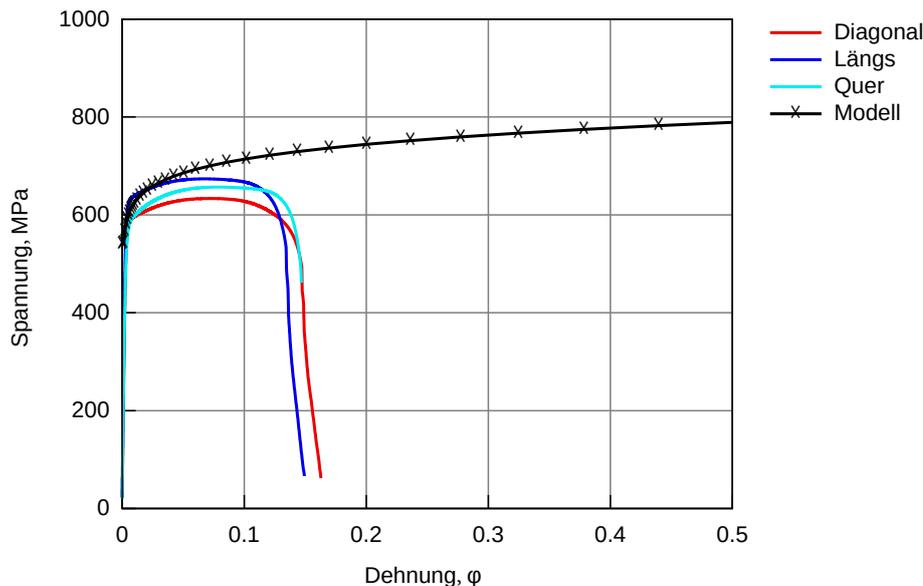
**Bild 2. Ausgewählte Spannungs-Dehnungs-Kurven für einige Luftfahrtstähle aus der MMPDS-Datenbank (www.mmpds.org) im Matplus-System EDA. EDA konvertiert die US-amerikanischen Einheiten und Bezeichnungen automatisch (Quelle: Matplus GmbH)**

- Daten verlassen während der Auswertung das System und möglicherweise auf diesem Weg auch das Unternehmen.
- Rohdaten, Werkzeuge und Auswertungen sind nicht miteinander verknüpft, der Zugriff ist nicht systemtechnisch abgesichert. Im Zweifelsfall gibt es keine Nachvollziehbarkeit und Wiederholbarkeit von Auswertungen.

- Unterschiedliche Versionen von Auswertungsständen für verschiedene CAE-Systeme führen zu inkonsistenten Materialkarten und somit auch widersprüchlichen Berechnungsergebnissen in der Anwendung.
- Das System EDA der Matplus GmbH unterstützt den gesamten werkstoffwissenschaftlichen Workflow. Ausgehend



**Bild 3. Produktstruktur in Siemens NX mit Werkstoffzuweisungen über Teamcenter IMM (Quelle: thinkstep AG)**



**Bild 4.** Übersicht einer Datenaufbereitung für eine Versuchsserie eines S550MC in EDA – systemgestützt von Rohdaten zum Werkstoffmodell. Ziel ist eine Reduktion der Datenmenge sowie eine Extrapolation zu höheren Umformgraden (Quelle: Matplus GmbH)

## thinkstep AG

Die thinkstep AG mit Sitz in Leinfelden-Echterdingen/Stuttgart ist als Softwarehaus ein strategischer Partner der Siemens Industry Software GmbH und das IMM-Modul ist vollständig in das weltweit führende PLM-System Siemens Teamcenter integriert. Darüber hinaus richtet das Unternehmen einen weiteren Fokus auf Nachhaltigkeit und Ökobilanzen. Dabei begleitet es Organisationen und andere Unternehmen, um weltweit ihre Geschäftsabläufe zu optimieren, Innovationspotenziale zu nutzen und rechtliche Vorgaben zu erfüllen.

von der Werkstoffprüfung bis zum Modell wird eine abgesicherte Datenbank mit integrierten Werkzeugen zur Datenkonsolidierung und -verdichtung bis hin zur Kurvenanpassung (Curve-Fitting) an Werkstoffmodelle (konstitutive Gleichungen) zur Verfügung gestellt. Eine bereits vordefinierte Bibliothek aus Werkstoffmodellen, z.B. Johnson Cook, Zerilli-Armstrong, Hensel-Spittel, Voce-Kocks, kann dazu vom Benutzer beliebig erweitert werden und auf Prüfdaten angewendet werden. Hervorzuheben ist die Erweiterbarkeit des offenen Systems in Python.

**Bild 4** zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Fließkurvenauswertung für Datensätze eines S550MC:

■ Zunächst werden in diesem Beispiel die Rohdaten von neun Zugversuchen in das

System geladen. Dabei speichert das System alle Informationen mit Metadaten strukturiert in der Datenbank.

- Integrierte Funktionalitäten ermöglichen eine Neubastung (Re-sampling) und Mittelwertbildung, sodass die Datenmenge deutlich reduziert werden kann. Rohdaten aus der Werkstoffprüfung enthalten deutlich mehr Messpunkte, als übliche CAE-Anwendersysteme verarbeiten können.
- Systemgestützt wird aus der technischen Spannungs-Dehnungs-Kurve die wahre Spannungsdehnungskurve (bis zur Gleichmaßdehnung) abgeleitet.
- Resultierende wahre Spannungs-Dehnungs-Kurven (als Funktion von Temperatur und Umformgeschwindigkeit) werden anschließend an konstitutive Gleichungen

angepasst. In diesem Fall wurde mit einem integrierten Wizard über ein leistungsfähiges Curve-Fitting an das Johnson-Cook-Modell angepasst.

- Das Modell erlaubt dann die Inter- und Extrapolation der Daten, z.B. für höhere Umformgrade und/oder andere Temperaturen/Geschwindigkeiten.
- Dieser gesamte Workflow wird im System lückenlos und nachvollziehbar dokumentiert.
- Das ermittelte Modell wird anschließend mit dem Auslegungsdatensatz S550MC verknüpft, sodass der Werkstoff mit Zusammensetzung, Normwerten und weiteren thermophysikalischen Werten vollständig und konsistent beschrieben ist. „Trotz seiner Leistungsfähigkeit ist EDA ein schlankes webbasiertes System geblieben, das auf die speziellen Anforderungen von Werkstoffexperten zugeschnitten ist – wir nutzen es intern auch intensiv für die Auswertung großer Datenmengen aus der Werkstoffsimulation mit JMatPro“, charakterisiert Dr. Uwe Diekmann, Geschäftsführer der Matplus GmbH das System.

## Konsistente Werkstoffdaten im PLM-Umfeld

Im Rahmen einer Kooperation zwischen der thinkstep AG und der Matplus GmbH ist eine Integration des werkstoffwissenschaftlichen Workflows und dem integrierten Materialdatenmanagement IMM in Teamcenter vorgenommen worden. EDA wurde dabei als sogenannte IMM-Laborerweiterung vollständig in Teamcenter integriert.

Dies bietet für beide Anwendergruppen deutliche Vorteile:

- CAE-Nutzer und Konstrukteure nutzen alle Werkstoffdaten in ihrer gewohnten Umgebung. Primär bekommen sie durch die EDA-Integration konsistente und abgesicherte Werkstoffdaten und Modelle maßgeschneidert für ihre Bedürfnisse. Optional und bei entsprechender Berechtigung können sie in die werkstofftechnischen Tiefen vordringen und beispielsweise per Mausclick die Rohdaten der Werkstoffprüfungen nachsehen.
- Werkstoffanbieter und Werkstoffexperten können ihre Daten und Modelle nahtlos den Konstrukteuren und Produktentwicklern zur Verfügung stellen. Die EDA-Architektur ist dabei auch für größere Mengen an Rohdaten aus

unterschiedlichsten Prüfungen in unterschiedlichen Einheiten ausgelegt. Die umfangreichen integrierten Funktionalitäten sichern die systemgestützte Konsistenz der Ergebnisse.

- Die Freigaben der Werkstoffdaten werden durch integrierte Teamcenter-Workflows abgesichert. Damit verbunden ist eine revisions sichere Speicherung der Werkstoffdaten, sodass Anwender stets auf die richtige Version der Daten zugreifen können.

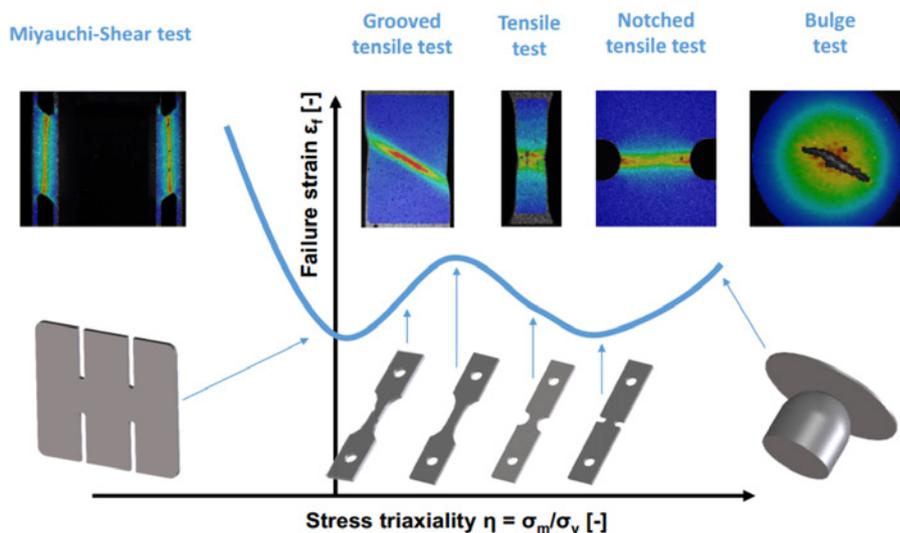
„Die nahtlose Integration unserer Lösungen in das thinkstep IMM überwindet die bisherigen Medienbrüche“, erläutert Uwe Diekmann und ergänzt: „Damit können die bisher getrennten Wissensinseln in Werkstofftechnik und Produktentwicklung zusammengeführt und letztendlich Entwicklungsprozesse beschleunigt werden.“

## Fazit und Ausblick

In der Zusammenarbeit zwischen Werkstoffentwicklung, Werkstoffprüfung und Produktentwicklung liegt ein hohes Potenzial für den Einsatz von Stahl bei anspruchsvollen Produkten. Die Integration von Teamcenter und EDA ist ein pragmatischer Schritt auf dem Weg zum „digitalen Zwilling aus Geometrie- und Werkstoffmodell“, der nicht Selbstzweck, sondern letztlich „nur“ ein Werkzeug für die Absicherung und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ist.

Gerade bei immer anspruchsvolleren Produkten reichen die üblichen Werkstoffdatenbanken mit klassischen Zeugniskennwerten nicht aus. Zudem werden Werkstoffprüfungen durch neue Prüftechniken und Datenerfassungen zunehmend komplexer, **Bild 5**.

Gemeinsam mit der Nordmetall GmbH und der TU Chemnitz sowie weiteren Part-



**Bild 5. Beispielhafte Werkstoffprüfungen für die Modellierung der Eigenschaften bei mehrachsigen Beanspruchungen** (Quelle: Nordmetall GmbH)

## Matplus GmbH

Die Matplus GmbH mit Sitz in Wuppertal ist Anbieter von Software und Services für praktische Werkstoffinnovationen. Der Schwerpunkt des Unternehmens sind metallische Strukturwerkstoffe mit einem Fokus auf der Werkstofftechnik für hochfeste Stähle. Das Angebot reicht von Software für die Berechnung und Auslegung neuer Werkstoffe (JMatPro® und EDA®) über spezifische Datenbanken (StahlDat und MMPDS) bis zur Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

nern arbeitet die Matplus deshalb zukünftig an einer deutlichen Erweiterung der bisherigen Möglichkeiten, um z.B. die Ergebnisse optischer Werkstoffprüfungen und inverser Analysen systemgestützt zu integrieren. Darüber hinaus wird an ver-

besserten Methoden zur Generierung CAE-übergreifender Master-Modelle gearbeitet. Diese Arbeiten werden aktuell vom BMBF und TACR im Rahmen der deutsch-tschechischen Kooperation gefördert.