

Von der Labor-Prüfdatenspeicherung zum unternehmensweiten Werkstoff-Wissens-Management

Moving on from Laboratory Test Data Storage to a Corporate Materials Knowledge Management

C. Schaak, Matplus GmbH, Wuppertal
B. Koch, Matplus GmbH, Wuppertal
U. Diekmann, Matplus GmbH, Wuppertal

Kurzfassung – Obwohl die Werkstoffprüfung in der industriellen Entwicklung und Qualitätssicherung einen zentralen Stellenwert hat, ist die Verwaltung der entstehenden Daten oft dezentral, ohne Vernetzung zu anderen Unternehmensbereichen und in der Auswertung individualisiert. Die Daten werden so nicht in den vollen Unternehmenskontext gesetzt; Beziehungen zu Herstellprozessen und Lieferzeugnissen sowie Rohdaten gehen verloren oder werden nur unvollständig ausgewertet. Erstellte Berichte enthalten meist nur Auszüge von Datentabellen, die zudem nicht weiter digital verwertbar sind. Mit Hilfe des modernen Werkstoff-Wissens-Management-Systems Matplus EDA® können nicht nur sämtliche Werkstoffdaten des Unternehmens unabhängig von ihrer Quelle zentral verwaltet, sondern auch standardisiert ausgewertet und analysiert werden. Neben Entwicklung und Qualitätssicherung können so auch konsistente Modelle für die CAD/CAE-Umgebung erstellt werden. Erstellte Berichte werden unmittelbar im System generiert und erhalten sämtliche Bezüge zu den Rohdaten, so dass die Nachvollziehbarkeit jederzeit gewährleistet ist. Damit entsteht eine nachhaltige Unternehmens-Wissensbasis zur Sicherung und Erweiterung von Werkstoffkompetenz.

Stichwörter: Werkstoffdatenbank, Prüfungsauswertung, Wissensmanagement, Prüfdokumentation

Abstract – Despite the key role of materials testing for development processes and quality assurance, often a decentralized data storage without connection to other company sectors and individualized analyzing is dominating industrial reality. By this, data is not evaluated in the full context of the company; connections to processing and material certificates are lost or not fully taken into account. If reports are made, they often do contain only excerpts of tables not further usable in a digital environment. Utilizing the modern Materials Knowledge Management System Matplus EDA®, not only all company material data can be maintained in a central location, but consistently analyzed and made available to other corporate functions, like the CAD/CAE engineering. Reports can be generated directly in the system and contain links to all raw data, so full traceability is ensured at all times. As a result, a sustainable corporate knowledge base is established, ensuring safeguarding and enhancing of material competence.

Keywords: Materials database, test evaluation, knowledge management, testing report

1 Einleitung

Die Bedeutung der Werkstoffcharakterisierung insgesamt steigt: immer leistungsfähigere CAD/CAE- und Simulationstools verlangen nach immer spezifischeren und zuverlässigeren Materialdaten mit immer detaillierterer Berücksichtigung der Prozesshistorie. Der „digitale Zwilling“ ist das übergeordnete Ziel der heutigen Aktivitäten der ganzheitlichen Produktentwicklung. Der Werkstoffprüfung zur Beschreibung und Überprüfung zentraler Eigenschaften von Konstruktions- und Funktionsmaterialien kommt hierbei, neben Konstruktion, Werkstoff-, Prozess- und Fertigungssimulation, eine zentrale Bedeutung zu. Auch wenn die Einführung der elektronischen Datenerfassung im Werkstoffprüfungsbereich seit über 30 Jahren Stand der Technik ist führen inkonsistente Datenmodelle, dezentrale Ablagen und Medienbrüche jedoch oftmals zu Problemen bei der Umsetzung einer „volldigitalen“ Prozesskette. Vielfach werden nur lokal Berichte und Zeugnisse über Office-Tools erzeugt und „digital“ abgelegt. Die Berichte sind dazu oft im Projektkontext erstellt und können nicht mit anderen Aktivitäten im Unternehmen verknüpft werden. Teuer ermittelte Rohdaten gehen meist vollständig verloren oder fristen ihr Dasein in lokalen, unnetzten Datensilos.

Das Ziel der Digitalisierung ist aber nicht nur die die digitale Ablage von Berichten und Zeugnissen mit dem einzigen Vorteil der Volltextsuche gegenüber der Papierform, sondern der kontinuierliche Aufbau und die Nutzung einer Wissensbasis. Damit wird „Materials Analytics“ möglich: Erarbeiten von Erkenntnissen und Wissen aus auftrags- und projektübergreifenden Informationen, z.B. durch Zusammenführung von Daten aus der Werkstoffprüfung mit Daten aus den Prozessketten der Herstellung von Bauteilen, Werkstoffen und Proben. Die so entstehende Wissensbasis lässt eine umfassende, personenunabhängige Kernkompetenz eines werkstoffverarbeitenden Unternehmens entstehen, die nachhaltig Wertschöpfung durch Innovation sichert und ausbaut.

In **Bild 1** ist der Aufbau einer solchen Kernkompetenz in Form einer „Wissenspyramide“ dargestellt. Ermittelte Daten sind das unverzichtbare Fundament – sie müssen für alle Verarbeiter möglichst vollständig und umfassend zur Verfügung stehen. Echte Informationen entstehen daraus aber nur durch Analyse und Verknüpfung, z.B. von Material- und Prozessdaten. Diese Informationen müssen verdichtet und als Bericht für die unternehmensweite Entscheidungsfindung verarbeitet werden – im Idealfall können aber alle Daten aus den Berichten auch ohne Medienbrüche „bis zur Quelle“ jederzeit zurückverfolgt und weiterverarbeitet werden. Je solider diese Bausteine sind, desto zuverlässiger werden Innovationen aus tiefem Verständnis der Vorgänge in und um das eigene Produkt entstehen.



Bild 1: Wissenspyramide – von „Datenflut“ zur Kernkompetenz Materialwissen [1]

Figure 1: Knowledge Pyramid – from “Data Lakes” to Corporate Material Wisdom [1]

Der folgende Beitrag zeigt, wo eine Softwareunterstützung in Form einer integrativen Werkstoffprüfungsumgebung und Modellierungsplattform am Beispiel von Matplus EDA® den Prozess des Verständnisgewinns für Werkstoffe unterstützen kann. EDA® kann als webbasierte Anwendung sowohl im Intranet als auch in der Cloud genutzt werden.

2 Werkstoffdaten: speichern, finden, analysieren

2.1 Import und Ablage aus verschiedenen Quellen

Digitalisierte Prüfmaschinen erfassen weit mehr Daten als die zeugnisrelevanten Kennwerte. Neben den unterschiedlichen Metadaten/Kopfdaten einer Prüfung werden eine Vielzahl von zeitabhängigen Datenfeldern über unterschiedliche Kanäle aufgezeichnet, z.B. Kraft, Zeit, Weg, Temperatur, Spannung und Dehnung. Im Kontext der zunehmend wichtigen Verwendung von optischen Extensometern oder DIC (Digital Image Correlation) ist eine Zusammenführung dieser Signale mit den Signalen der Prüfmaschine erforderlich. Zudem entstehen oftmals auch simulierte Materialdaten über Programme wie ThermoCalc® oder JMatPro®, welche mit Versuchsdaten zusammengeführt und anhand dieser verifiziert werden können – oder diese sinnvoll ergänzen. In **Bild 2** ist der grundsätzliche Workflow eines solchen Vorge-

hens dargestellt. Die aggregierten Daten können mittels EDA® bearbeitet und analysiert werden und entweder, wie hier dargestellt, zu Datenmodellen für eine CAD/CAE-Umgebung zusammengefasst oder aber durch Entwickler-Teams auf vielfältige Weise ausgewertet werden.

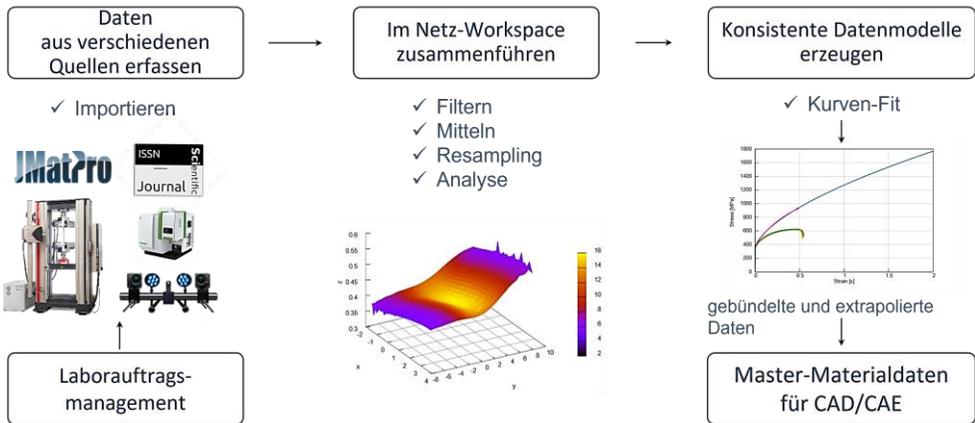


Bild 2: Schematischer Workflow zur Integration verschiedenartiger Werkstoffdaten, Analyse und Modellbildung im EDA®-System [2, 3]

Figure 2: Schematic workflow for importing materials data of different types, analysis and modeling in the EDA® system [2, 3]

Es ist eine gute Praxis, die erzeugten Daten nachhaltig in archivierungsfähigen Formaten zu speichern, anstatt prüfmaschinenspezifische Binärformate zu verwenden. JSON (Javascript Object Notation) ist eine universelle Technologie, die für Daten aus der Werkstoffprüfung besonders geeignet ist. Auch anspruchsvolle parametrische Datenfelder mit hoch aufgelösten, zeitabhängigen Daten können effizient als strukturierte Textdokumente menschen- und maschinenlesbar gespeichert werden.

In EDA® stehen eine Vielzahl von Importfiltern zur Verfügung, welche Daten aus unterschiedlichen Formaten, z.B. auch SEP1240, in die interne JSON-Repräsentation überführen. Diese Importer können flexibel erweitert und angepasst werden, um die Prüfmaschinen unterschiedlicher Labore und Hersteller sowie Fremdformate zu unterstützen. Das JSON-Schema ist frei anpassbar, so dass auch Sonderprüfungen mit speziellen Kanälen integriert werden können.

Die Speicherung der Daten erfolgt in der NoSQL-Datenbank MongoDB, die sich durch eine sehr gute Skalierbarkeit auszeichnet, so dass auch große Datenmengen im Multi-GB Bereich effizient verarbeitet werden können. Im Fall umfangreicher Werkstoffqualifikationsprojekte können darüber hinaus jeweils separate Datenbanken definiert werden.

Prüfungsergebnisse erhalten im System mehrere unterschiedliche Tags/Bezeichner, so dass eine Darstellung und Auswertung sowohl auftragsbezogen als auch übergreifend möglich ist. Dazu können über frei definierbare Eingabemasken die Aufträge, Prüfserien und Einzelprüfungen definiert werden. Darüber hinaus können derartige Metadaten sowie die Prüfdaten selbst auch automatisiert über eine REST-Schnittstelle aus externen Systemen übertragen werden.

2.2 Auswerten und Bearbeiten

Die erfassten Daten werden im Webbrowser je nach Wunsch als Tabellen, 2D oder 3D Graphiken visualisiert. Die Achsen der graphischen Ausgabe sind frei definier- und skalierbar. Aus dem Webbrowser sind diese Daten auch unmittelbar als ASCII oder Excel-Datei wieder zu exportieren.

Für die unterschiedlichen Prüfungen stehen spezifische Apps zur Verfügung oder können vom Benutzer neu definiert werden; das System EDA® gestattet ausdrücklich auch die eigene Programmierung und Integration von Python-basierten Erweiterungen seitens des Kunden. Diese Apps können z.B. Kennwerte entweder automatisch aus Rohdaten ableiten oder diesen Prozess zumindest unterstützen. Der Vorteil der systemintegrierten Apps liegt in der Unabhängigkeit von den Algorithmen der Hersteller – die Auswertung von Kennwerten aus Rohdaten unterschiedlicher Prüfmaschinen verläuft dann in einer gemeinsamen Plattform nach einheitlichen Richtlinien.

Die Auswertung im System verändert weder die ermittelten Kennwerte aus der Maschine, noch die Daten selbst – es entstehen zusätzliche Informationen, die für Vergleiche genutzt werden können.

In **Bild 3** ist die automatisierte Auswertung eines Zugversuchs dargestellt. Das System EDA® erkennt automatisch die elastische Gerade und konstruiert die entsprechende 0,2%-Gerade zur Ermittlung der Streckgrenze; liegt wie im gezeigten Fall eine obere und untere Streckgrenze mit Lüdersdehnung vor, wird auch dies vom System zuverlässig erkannt und beide Kennwerte entsprechend ermittelt. Analog werden Zugfestigkeit und Bruchdehnung ermittelt; zudem erfolgt eine automatische Fließkurvenbestimmung in wahrer Spannung und Dehnung (hierfür wird im System ein weiteres Diagramm erzeugt; hier nicht dargestellt).

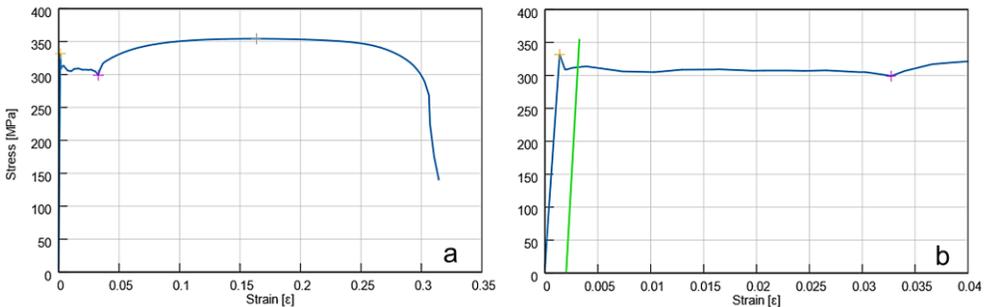


Bild 3: Beispiel einer automatisierten Auswertung von Zugversuchskennwerten: a) Rohdaten mit ermittelter oberer und unterer Streckgrenze sowie Zugfestigkeit; b) Vergrößerung des Lüdersdehnungsbereichs mit vom System erzeugter 0,2%-Gerade

Figure 3: Example of an automated evaluation of tensile properties: a) raw data with detected upper and lower yield as well as tensile strength; b) enlarged Lüders strain area with 0,2% straight generated by the system

Eine komplexere Auswertung der CMOD-Kurve eines Bruchzähigkeitsversuchs nach ASTM E399 / EN13674-1 ist auszugsweise in **Bild 4** dargestellt. Für die Ermittlung der notwendigen Kenngrößen zur Bestimmung des K_{IC} -Werts werden in diesem speziellen Fall vom System diverse Fallunterscheidungen anhand des Verlaufs der Kurve mit ebenfalls automatisch ermittelten „pop-ins“ vorgenommen, die vom Benutzer aber auch im Bewertungsprozess manuell geändert werden können. Die Gültigkeitsüberprüfung anhand der in der Norm genannten Kriterien wird transparent gemacht; eventuelle Nichterfüllungen können unmittelbar anhand eines „Mouse-Overs“ angezeigt werden. Zudem erfolgt eine Abfrage für benutzergesteuerte Eingaben, die nicht aus den Maschinendaten ermittelt werden können.

Weitere systemintegrierte Funktionen zur Auswertung sind beispielsweise das Mitteln von beliebigen Kurvenscharen mit variabler Parametrierung und das Resampling von hoch aufgelösten Kurvendaten. Eine Besonderheit hierbei ist die Möglichkeit des „peak resampling“: auch bei einer geringen Anzahl von angestrebten Stützstellen werden Spitzen vom System zuverlässig erkannt und so z.B. obere und untere Streckgrenze nicht unzulässig geglättet.

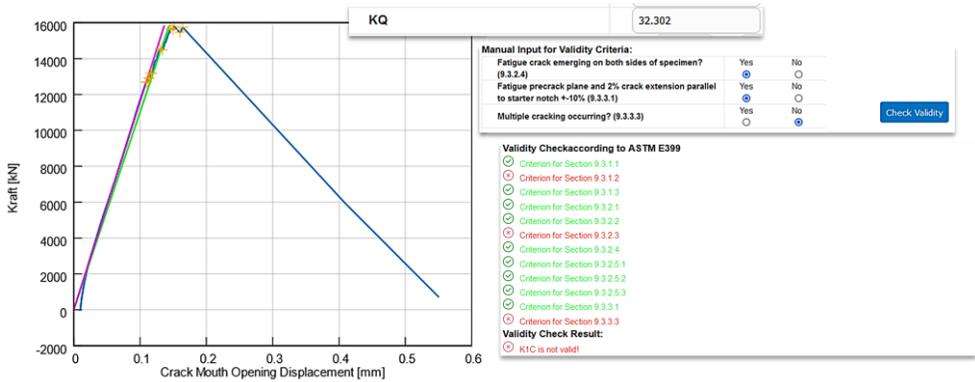


Bild 4: Automatisierte Auswertung einer CMOD-Kurve eines KIC-Versuchs nach ASTM E399 inklusive Gültigkeitsprüfungen

Figure 4: Automated evaluation of a CMOD curve including validity checks

Eine übergreifende, nicht nur im Auftragskontext stehende Auswertung von Versuchsergebnissen ist standardmäßig möglich. Die systemintegrierte „Materials Analytics“ fasst dazu die gewünschten Werte aus den Einzelversuchen in Analysetabellen zusammen – dies können attributive Kennwerte, aber auch beliebige skalare Werte aus den Kurven sein. Beispielsweise kann das System automatisiert auch ungewöhnliche Daten, wie Prüfzeit bis Rm oder Spannung bei 5% Dehnung, aus einer Vielzahl (> 100.000) von Kurven automatisch extrahieren. Diese Analysetabellen können statistisch und graphisch ausgewertet werden.

2.3 Modellbildung

Werkstoffmodelle unter Verwendung konstitutiver Gleichungen werden vielfach in der FEM-Simulation verwendet. Diese mathematischen Modelle erlauben eine Inter- und Extrapolation von Daten. Modelle für die Beschreibung der Plastizität von Werkstoffen als Funktion von Temperatur und Umformgeschwindigkeit werden beispielsweise für die Umformsimulation und die Verzugssimulation bei Wärmebehandlungen benötigt. In der Praxis wird eine ganze Reihe unterschiedlicher Modelle/Gleichungen verwendet [4], die teilweise eine rein empirische oder physikalische Grundlage haben, z.B. Johnson Cook oder Zerilli-Armstrong.

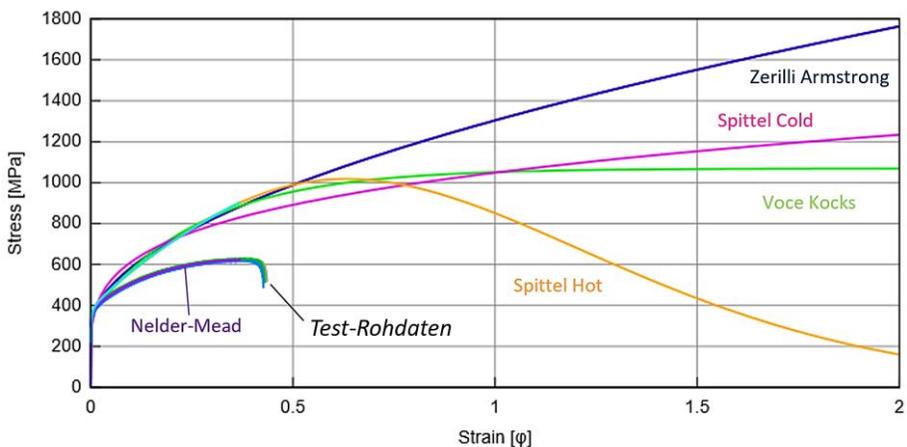


Bild 5: Anwendung von Curve Fitting und Modellbildung mit Extrapolation nach verschiedenen Algorithmen auf einen Versuchsdatensatz

Figure 5: Application of curve fitting and extrapolation models of different kinds on a test data set

Das System EDA® unterstützt die Modellbildung durch Bereitstellung einer Sammlung werkstofftechnisch relevanter Modellbeschreibungen mit Literatur und Gleichungen in der internen Dokumentation mit der Möglichkeit zur Modifikation und Erweiterung durch den Anwender. Die in EDA® vorhandenen SciPy Bibliotheken bieten Algorithmen zur Kurvenanpassung der Modelle an experimentelle Daten [5] (z.B. für Minimierer wie Nelder-Mead, BFGS). Zusätzlich kann der Anwender die gefitteten Modelle mittels Parametrisierung und Visualisierung leicht anpassen.

Bild 5 zeigt beispielhaft die Extrapolation unter Verwendung verschiedener Modelle für einen Satz Zugversuche bei Raumtemperatur – in der weiteren Analyse können diese Modelle durch Anpassen der Parametrierung noch optimiert werden.

3 Integriertes Berichtswesen

Alle ermittelten Auswertungen, Datentabellen und Bilddateien können in vom System erzeugte Berichte integriert werden. Hierfür steht die komplette LaTeX-Bibliothek zur Verfügung, so dass professionelle, druckreife Dokumente entstehen. Der Hauptvorteil ist jedoch, dass alle enthaltenen Datensätze aus dem Bericht heraus ansprechbar sind – wird der Bericht über das System zugänglich gemacht, was über ein fein granular anpassbares Berechtigungssystem einfach möglich ist, können alle Datensätze und Auswertungen zur Datenquelle mit einem Klick zurückverfolgt werden, sofern die Berechtigung des Lesers dies gestattet. Berichte werden so zu einem echten Wissensspeicher; Daten aus Berichten können schnell für weiterführende Auswertungen verwendet werden.

Für die Verwaltung von Bestandsdokumenten stehen umfangreiche Literaturdatenbank-Funktionen zur Verfügung, wie z.B. die Volltext-Suchbarkeit von indizierten pdf-Dateien. Ein bestehendes Berichtswesen kann so nahtlos in die EDA®-Umgebung integriert werden.

4 Schlussfolgerungen

Das System Matplus EDA® ermöglicht die Integration der Informationen aus der Werkstoffprüfung in eine übergreifende Wissensbasis und verknüpft diese mit Werkstoff- und Prozessdaten. Wertvolles Kern-Know-How wird so unternehmensweit mit vertikaler und horizontaler Integration über Projekt- und Abteilungsgrenzen hinweg verfügbar. Daten- und Wissensinseln werden aufgelöst und die einheitliche Verwendung von konsistenten, verifizierten Modellen ermöglicht. Neben der Vereinfachung von Abläufen gewährleistet das System eine einheitliche Datenstruktur in allzeit lesbaren Formaten ohne proprietäre Binärobjekte und somit eine bestmögliche Nachhaltigkeit.

Literatur

- [1] F. Lehner: Wissensmanagement: Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung, Hanser Verlag, München, 2021 (7. Auflage)
- [2] U. Diekmann, A. Miron, und A. Trasca: Hybrid Modeling of Materials Properties for Improved CAE-Simulations. Mater. Sci. Forum, Bd. 854 (2016), S. 163-166
- [3] U. Diekmann, P. Becker, A. Miron: Modellgestütztes Wissensmanagement für metallische Strukturwerkstoffe. In: Dialog Materialwissenschaften und Werkstofftechnik, Hrsg: DGM e.V. 1/2018, S.186.
- [4] R. Liang and A. S. Khan: A critical review of experimental results and constitutive models for BCC and FCC metals over a wide range of strain rates and temperatures, Int. J. Plast., vol. 15, no. 9, pp. 963–980, 1999.
- [5] F. J. Blanco-Silva: Learning SciPy for numerical and scientific computing. Packt publishing Birmingham, 2013.