

# Entwicklung von Material-Mastermodellen für die Nutzung in CAE- und PLM-Systemen

René Ufer<sup>1</sup>, Thies Marwitz<sup>1</sup>, Uwe Diekmann<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida  
<sup>2</sup> MATPLUS GmbH, Hofaue 55, 42103 Wuppertal

Im Produktlebenszyklusmanagement (PLM) spielt die Möglichkeit der breiten Abbildung von Daten über diverse Systeme, welche ähnliche softwaretechnische Funktionen und Inhalte abdecken, eine große Rolle. Zwischen den Systemen für die Materialmodellierung und -visualisierung, die einen Beitrag zur Erstellung digitaler Zwillinge leisten, ergeben sich große Differenzen in der Ausführung der Modelle bei ähnlichen Kategorien (Plastizität, Schäden, Temperatur etc.). Angefangen mit der unterschiedlichen Interpretation von allgemeinen Materialmodell-Ansätzen bis hin zur Bezeichnung und Definition von notwendigen Parametern, gilt es, eine Übertragbarkeit und Kompatibilität der spezifischen Modelle systemübergreifend zu ermöglichen. Dieser Beitrag verdeutlicht eine Methodik zur Erstellung und Entwicklung von Material-Mastermodellen, welche die benötigten physikalischen Eigenschaften, Korrekturparameter und Konstanten zur Abbildung diverser Materialmodelle unterschiedlicher Systeme abbilden. Auf Basis herkömmlicher (bspw. Zugversuch) und fortschrittlicher (bspw. DIC) Werkstoffprüfungen, sowie Werkstoffdatenbanken wird dafür ein Datengerüst erstellt. Der konzipierte digitale Material-Zwilling ist in Hinblick auf unterschiedliche Anwendungen im PLM nutzbar.

## 1. Einleitung

Um Materialien und ihre Eigenschaften digital und als Digitalen Zwilling nutzen zu können, benötigt man Materialmodelle, welche physikalische Änderungen durch unterschiedliche Einwirkungen abbilden können. Im Rahmen des Projektes „AMMICAL – Advanced Materials Model Integration for CAE-Applications“ werden Werkstoffdaten in die Industrie 4.0 Wertschöpfungsketten integriert und ein generisches Materialmodell für die Prozess- und Systemsimulation abgeleitet. Dafür wird ein Prototyp geschaffen, welcher die Datenerfassung, -verdichtung, -auswertung, Modellbildung und -distribution entlang der gesamten Prozesskette von fortschrittlichen Werkstoffprüfungen unterstützt. [1][2]

Die Materialmodellierung bedingt aufgrund ihrer Vielzahl an möglichen Modellarten und Anwendungsgebieten sowie deren Ausprägungen einen großen Datensatz

an Ausgangswerten und -parametern. In Anbetracht diverser Software zur Erstellung von Materialmodellen und deren unterschiedlichen Auslegungen von Format, Anordnung der Materialkarten und Anwendung der Basisformel zur Berechnung des Modells werden, um Parameter zu mappen und einen Zusammenhang zwischen den Modellen zu erstellen, sogenannte Mastermodelle benötigt.

Folgend wird anhand der Abbildung 1 das Umfeld der Mastermodelle für die Kategorien Plastizität, Schaden und Temperatur beschrieben.

## 2. Umfeld des Mastermodells

Das Mastermodell bildet die Verknüpfung von der Datenerfassung und -verarbeitung auf Basis von bspw. Werkstoffprüfungen oder Werkstoffsimulationswerk-

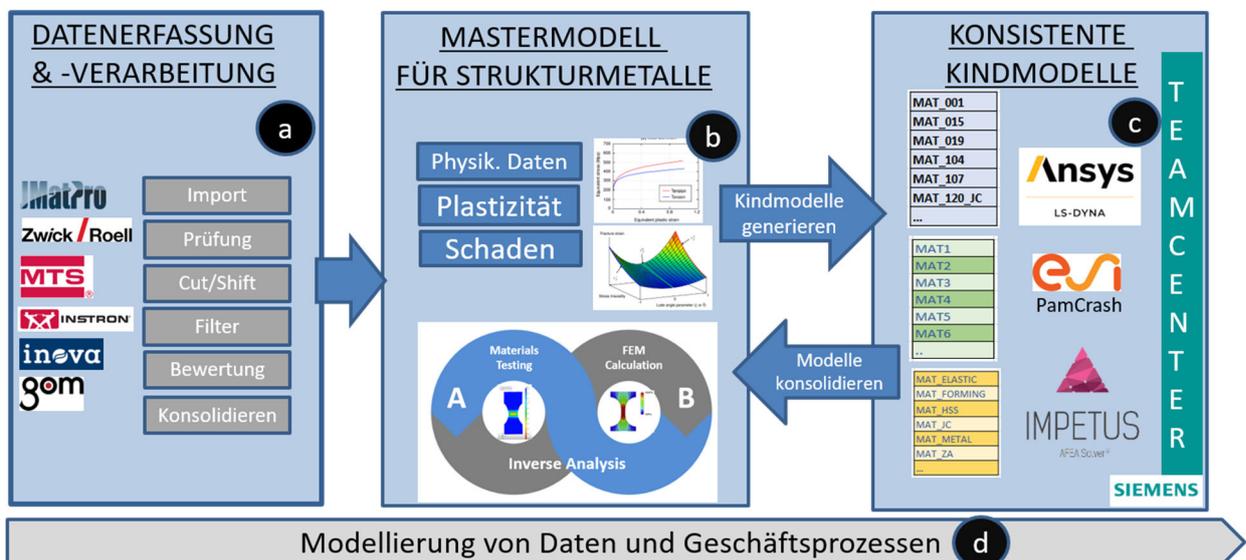


Abbildung 1: Prozessmodellierung Mastermodell/Kindmodell (Erstellt von der Matplus GmbH)

zeugen **(a)** und der möglichen Generierung verschiedener Materialmodelle von FEM-Simulationsprogrammen (Anwendungssoftware), wie bspw. *Ansys LSDyna*, *PamCrash* und *Impetus Afea*, auf Basis des gleichen Datensatzes **(c)**. Das Mastermodell basiert auf verschiedenen Modellkategorien (Physikalische Daten, Plastizität und Schaden). Aufgrund einer Inversen Analyse können die jeweiligen Variationen der zerstörenden und zerstörungsfreien Prüfverfahren genauer nachvollzogen und aufeinander abgestimmt werden, was ökonomische und ökologische Folgewirkungen hat **(b)**.

## 2.1 Datenerfassung und -verarbeitung

Die Datenerfassung und -verarbeitung bildet den Anfang des Prozesses der „Modellierung von Daten und Geschäftsprozessen“ (Abbildung 1). Der Datensatz kann neu erstellt, importiert oder verändert werden. Darüber hinaus werden temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften, wie thermische Ausdehnung und Wärmekapazitäten, mithilfe des Werkzeuges „MatPro“ [3] ermittelt und dem Mastermodell hinzugefügt. Chemische Zusammensetzungen der Materialien werden über Datenbanken dem Datensatz zugeordnet. Des Weiteren werden die Output-Dateien der Werkstoffprüfmaschinen per Kurvenanpassung komprimiert, in dem die Messdaten geglättet, vermindert und angeglichen werden. Damit wird für die spätere Verwendung eine schnellere Datenverarbeitung bei komplexen und umfangreichen Materialmodellen ermöglicht.

## 2.2 Erstellung bzw. Ableitung der Kindmodelle mit dem AMMICAL-Prototypen

Die Kindmodelle und deren Verwendung in CAE-Applikationen und PLM-Systemen bilden im abgebildeten Prozess, abgesehen von einer möglichen Weiterentwicklung und Revisionierung der Modelle, das Prozesskettenende.

Grundsätzlich hat ein Materialmodell (Kindmodell) mehrere Materialkarten, welche verschiedene Parameter und Informationen enthalten. Zwischen den Softwares zur Erstellung von Materialmodellen gibt es Unterschiede in der Ausführung der Materialkarten, so sind es beispielsweise bei *LSDyna* acht Parameter pro Materialkarte, wohingegen es bei *PamCrash* mehr als acht sein können.

Der Ablauf zum Erstellen eines Kindmodells beginnt mit den Werkstoffprüfdaten, die zusammengefasst und validiert werden. Die reale Werkstoffprüfung ist notwendig, um Eigenschaftskennnisse der Werkstoffe zu gewinnen. Die Auswahl des Materialmodelles bzw. Kindmodelles richtet sich nach dem Zeitpunkt der zu untersuchenden Belastung. Ist die Versuchsdurchführung stoß- oder ruckartig, so kommt ein Modell in Betracht, das plastische bzw. elastisch-plastische Eigenschaften widerspiegelt. Bei monoton und langsam ansteigenden Belastungen der Werkstoffprüfung hingegen werden hauptsächlich elastische Eigenschaften in den Vordergrund der

Modellierung gestellt [4]. Die Anwendungsbereiche können sich jedoch überschneiden, bspw. wenn der elastische Bereich bei einer stoß- bzw. ruckartigen Belastung untersucht werden soll.

Aufgrund der Vielzahl von Software zur Erstellung und Bearbeitung von Materialmodellen, haben die notwendigen Parameter diverse Bezeichnungen und Positionen. Daher ist es notwendig, die Parameter auf Basis der Variablen und Definition zwischen den Anwendungen zu mappen. In Tabelle 1 ist dieser Sachverhalt exemplarisch dargestellt. Am Beispiel des „Young’s Modulus“ wurden die Parameterbezeichnungen zusammengefasst und erkennbar gemacht, dass diese sich in den verschiedenen FEM-Simulationsprogrammen überschneiden.

Tabelle 1: Parameterbezeichnungen der FEM-Simulationsprogrammen

Parameter	FEM-Simulationsprogramm		
	LSDyna	PamCrash	ImpetusAfea
Young’s Modulus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EL</li> <li>• YMRT</li> <li>• YM</li> <li>• EA – EC</li> <li>• E</li> <li>• E1-E3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ec</li> <li>• Eswi</li> <li>• Et</li> <li>• E</li> <li>• E1-E3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E</li> <li>• E1-E3</li> </ul>

Im AMMICAL-Prototypen werden die Parameter mit ihren möglichen Bezeichnungen gemappt und gespeichert, sodass diese per Programmierung angesprochen werden können.

## 2.3. Mastermodell und dessen Parameter sowie Einheitensystem

Das Mastermodell ermöglicht die Ableitung aller integrierten Kindmodelle verschiedener Anwendungssoftwares [5] auf Basis eines gleichen Datensatzes. Somit setzen sich die Mastermodell-Parameter aus den Kindmodell-Parametern zusammen und werden mit ihren unterschiedlichen Bedeutungen für eventuell gleiche Bezeichnungen gemappt. Es gibt zwei Herangehensweisen für die Erstellung des Mastermodells: Zum einen auf Basis der Werkstoffprüfdaten und zum anderen durch Auflösung mehrerer bzw. verschiedener Materialmodelle für gleiche Materialien und Umstände. Die abgeleiteten Kindmodelle können weiterbearbeitet bzw. optimiert oder für andere Umstände angepasst werden. In dem Fall werden diese dann versioniert oder Varianten je nach Anwendungsfall gebildet. Das Mastermodell kann aktualisiert und ebenfalls versioniert werden. Der Ablauf kann in Abbildung 2 nachvollzogen werden.

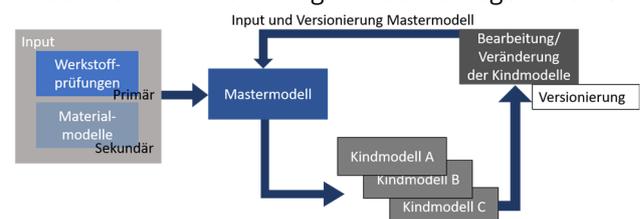


Abbildung 2: Verarbeitungsprozess zur Erstellung der Mastermodelle

Die Materialmodelle bzw. die verschiedenen Anwendungssoftwares geben nicht die Einheiten der Modellparameter an. Anhand von Werten/Angaben für bspw. Dichte und der Art des geprüften Materials lassen sich die Einheiten von vorhandenen Materialmodellen ermitteln. Stellt man ein Mastermodell anhand geprüfter Werkstoffinformationen auf, so ist die Angabe eines konsistenten Einheitensystems notwendig und ermöglicht in weiterer Bearbeitung leichte Umrechnungen. Wird jedoch das Mastermodell durch die Auflösung der Materialmodelle aufgestellt, so ist eine Einheitszuordnung meist nicht gegeben. Durch Betrachtung der Größenordnung der Werte für die Dichte und den „Young's Modulus“ lassen sich für eine Vielzahl an metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe die genutzten Einheiten konsistent zuordnen. Die Dichte (Masseneinheit\*Längeneinheit<sup>3</sup>) umfasst die Masse- und die Längeneinheit, wobei der „Youngs Modulus“ (Masseneinheit/(Längeneinheit\*Zeiteinheit<sup>2</sup>)) noch die Zeiteinheit enthält. In Kombination kann ein konsistentes Einheitensystem (Masse – Länge – Zeit) den Modellen zugeordnet werden [6]. Analog dazu können die Einheiten für die Kindmodelle zugeordnet werden.

#### **2.4 Import/Export Kindmodelle mit dem AMMICAL-Framework**

Mit dem AMMICAL-Prototyp lassen sich Material- bzw. Kindmodelle von den Anwendungssoftwares importieren, bearbeiten, versionieren und wieder exportieren. Der Import wird durch das Einlesen der Ausgangsdatei und die Umwandlung in eine JSON-Datei ermöglicht. Bei dem Export wird die JSON-Datei ausgewertet, die Werte den jeweiligen Materialmodellparametern zugeordnet und per *Django* Template in ein HTML-Output mit Download-Link im Zielformat gewandelt.

#### **3. Materialmodelle als wichtiger Bestandteil für den Digitalen Zwilling**

Materialmodelle leisten einen erheblichen Beitrag zum digitalen Zwilling, welcher alle relevanten Informationen zu Prozessen und Objekten enthält [7]. Im Grunde sind Materialmodelle ein Teil des digitalen Zwillings, da sie Dinge, in dem Fall Eigenschaften von Materialien, aus der realen Welt repräsentieren. Bei der Materialmodellierung werden die Ergebnisse bspw. einer durchgeführten oder noch durchzuführenden Werkstoffprüfung simuliert.

Der Zusammenhang zwischen Materialmodell und einem umfassenden digitalen Zwilling liegt im Lebenszyklusverhalten von Produkten, welches aufgrund verschiedener Materialeigenschaften beeinflusst wird. Über die Materialmodelle können bspw. Druck- und Zugbeanspruchungen simuliert und der mögliche Einfluss auf Form oder Funktionsfähigkeit untersucht werden.

#### **4. Materialmodelle im PLM-System**

Mithilfe von PLM-Systemen ist eine strukturierte Übersicht von Materialmodellen möglich. Es lassen sich Variantenräume, für bspw. ähnliche Materialmodelle, wie die Johnson-Cook-Modelle der Anwendungssoftwares, erstellen bzw. zuordnen. Durch die fortlaufende Optimierung und Entwicklung der Materialmodelle, auf Basis gleicher Werkstoffprüfungsvoraussetzungen, werden Versionen bzw. Revisionen erzeugt. Somit wird der zeitliche Entwicklungsprozess, die Reproduzierbarkeit sowie die Nachvollziehbarkeit der Modelle ermöglicht.

#### **5. Zusammenfassung**

Zusammenfassend ist es mit dem AMMICAL-Prototyp erstmalig möglich, die Prozesse und Schritte zur Werkstoffdatenbearbeitung und -verarbeitung in einem Werkzeug zu vereinen. Dadurch wird eine Reduzierung der Fehlerquellen und Inkonsistenzen im Vergleich zu derzeitigen Bearbeitungsprozessen erzielt. Der Umgang mit Materialmodellen für diverse Softwares wird vereinfacht und durch die Implementierung des Mastermodells vereinheitlicht. So ist es für den Anwender möglich mit wenig Aufwand verschiedene Modelle auf Basis eines Datensatzes zu generieren.

Materialmodelle sind im PLM-Umfeld und im Rahmen des Digitalen Zwillings zur Abbildung physikalischer Eigenschaften oder auch für die Entstehungsprozesse von Produkten ein wichtiger Bestandteil. Im Produktlebenszyklus können sich die Materialmodelle ändern. Mittels Konfigurationsmanagement in PLM-Systemen sind diese Modelle zu jedem Zeitpunkt reproduzierbar.

#### **Danksagung**

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (FKZ: 02P17W503) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Dank gilt außerdem den Kooperationspartnern im Rahmen des AMMICAL-Projektes.

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

## Literaturverzeichnis

- [1] [Online]. Verfügbar unter: <https://mat-plus.de/de/ammical/>
- [2] [Online]. Verfügbar unter: <https://www.inw.hs-mittweida.de/webs/kt/forschung/digitale-produkt-entwicklung/>
- [3] Matplus: „JMatPro – Werkstoffsimulation“, abgerufen am 05.01.2021 unter: <https://mat-plus.de/de/jmatpro/>
- [4] M. Stommel, M. Stojek, W. Korte: „FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen“, Hanser Verlag, 2018
- [5] U. Diekmann, N. Herzig, J. Boll, R. Ufer, P. Rostami, I. Alperovich, T. Alder, S. Rzepa: „Towards Integration of Advanced Material Models into PLM“, MEFORM 2020, 2020
- [6] LS-DYNA Support: „Consistent units“, abgerufen am 18.01.2021 unter: <https://www.dynasupport.com/howtos/general/consistent-units>
- [7] T. Kuhn: „Digitaler Zwilling“, Springer-Verlag, 2017