

xMCF zur Dokumentation von Fügeinformationen im PLM

Dr. Carsten Franke, PROSTEP AG

Dr. Genbao Zhang, Volkswagen AG

Dr. Matthias Weinert, Ford Germany

1 Einleitung

Technische Systeme enthalten Einzelteile, die durch Fügen (Schweißen, Kleben, Nieten, Schrauben u. a.) verbunden werden. Die Eigenschaften des Systems und seiner Komponenten werden davon maßgeblich mitbestimmt. Entsprechende Daten müssen im Lebenszyklus (Konstruktion, Simulation, Erprobung, Produktion, Service, Entsorgung) durchgängig und konsistent gehalten werden.

Die wachsende Vielzahl etablierter Fügeverfahren und deren Optimierung bedingen zunehmend vielfältigere und umfangreichere Informationen zu ihrer Beschreibung (Geometrie, Fügepartner, Zusatzwerkstoffe, Prozesse u. a.). Mit der Arbeitsteilung steigt parallel dazu die Zahl der Mitwirkenden. Je nach Teilprozess und Methode benötigen sie aber oft nur einen Bruchteil der Gesamtinformation.

Im krassen Gegensatz zu dieser steigenden Komplexität steht, dass Fügeinformationen heutzutage oft noch von zahlreichen inkompatiblen, teils selbst erstellten Software-Tools oder gar manuell verarbeitet werden. Neben unnötigem Arbeitsaufwand und Zeitverlust erwächst daraus auch das Risiko inkonsistenter Daten und entsprechender Fehler.

Zur Abhilfe wurde und wird unter der Federführung des Arbeitskreises 25 „Fügetechnik“ der FAT/VDA der Standard xMCF entwickelt. Mit ihm können alle gängigen Fügeelemente gemäß ihres Reifegrades im Entwicklungsprozess vollständig und eindeutig beschrieben werden. Neue Fügetechnologien und spezifische Daten für Prozesse, Methoden, Tools und Anwendergruppen lassen sich mit wenig Aufwand hinzufügen.

Mit Hilfe von xMCF entsteht auch bezüglich Fügedaten eine durchgängige Prozesskette, die erhebliche Effizienzgewinne bietet. Die jüngste Version wird voraussichtlich im März 2016¹ veröffentlicht und umfasst erhebliche Neuerungen.

2 Was ist das Besondere an Verbindungsdaten?

Bei der Analyse ausgereifter Prozessketten bei großen OEMs erkennt man immer wieder, dass Verbindungsdaten einen deutlich abgegrenzten dritten Datenpfad bilden. Er verläuft parallel und gleichrangig zum Datenpfad für Produktstruktur und Meta-Daten sowie zu dem für CAD-Daten, vgl. Abb. 1. Dafür gibt es gute Gründe:

- Die Funktion der Bauteilverbindungen dominiert über ihre Form: Nur wenige Menschen sind daran interessiert, wie ein Schweißpunkt wirklich aussieht. Sie wollen einfach nur wissen, wie stabil er ist.
- Bauteilverbindungen werden mit ganz anderen Tools oder Plugins erstellt, bearbeitet und optimiert. Dies erfolgt in separaten Prozessschritten und bedarf speziellen Expertenwissens.
- Bauteilverbindungen gehören zu den inneren Knoten, nicht zu den Blättern der Produktstruktur.²
- Das Datenvolumen der Verbindungsdaten ist um Größenordnungen kleiner als der CAD-Daten, so dass für PDM und SDM andere Strategien und eine intensivere Nutzung (Suchen, Filtern, Prüfen) in Betracht kommen.
- Einige Verbindungstechniken verwenden Normteile (Schrauben, Nieten, Clips u. s. w.), die in der Regel auch als solche in PDM-Systemen behandelt werden. CAD-Details sind dann in Normteilkatalogen zu finden. Ihr funktionaler Charakter ist dort aber nicht dargestellt. Üblicherweise sind solche Kleinteile für CAE-Prozesse nicht relevant. Sie werden meist gleich beim Download aus

¹ Erwarteter Veröffentlichungstermin während der Entstehung dieses Papers.

² Dies ist zumindest dann zwangsläufig, wenn eine Unterkomponente in anderen Oberkomponenten wiederverwendet werden soll. Sie sollte dann ihre *internen* Bauteilverbindungen mit sich in jede Verbauung einbringen. Die Verbindungen der Unterkomponente nach *außen* hin gehören hingegen jeweils den Oberkomponenten. Dieses Prinzip setzt sich bis hinauf zum Gesamtfahrzeug bzw. Produkt fort. *Offene* Verbindungen der Unterkomponente nach außen sollten generell vermieden werden: Die Schweißpunkte z. B., die die Komponente an der aktuellen Version ihres Flanschpartners befestigen, werden zu einem anderen Flanschpartner in einem anderen Kontext (Version, Variante) nicht mehr passen. Meist wird auch dessen Sachnummer eine andere sein. So wird die Wiederverwendbarkeit der Unterkomponente kontrahiert.

dem PDM-System herausgefiltert. Dann aber muss ihre Verbindungsfunktion zu einem späteren Zeitpunkt erneut hinzugefügt werden. So werden zum Beispiel FE-Präprozessoren häufig mit der Anforderung konfrontiert, alle Schraubenlöcher einer Baugruppe automatisch zu erkennen. Diese Praxis steht im krassen Widerspruch zu den Grundsätzen der Prozesssicherheit, weil Informationen wie tatsächlich zu verbindende Bauteile, Schraubendurchmesser, Länge u. s. w. verloren gehen.

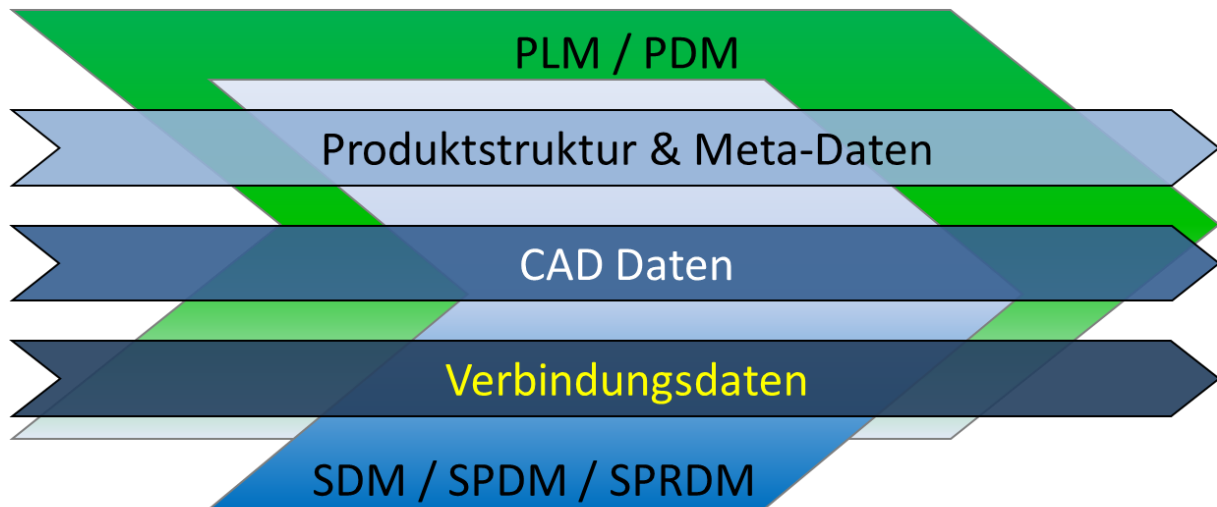


Abb. 1: Die drei wesentlichen Datenpfade im PLM

Austauschformate für die ersten beiden Datenpfade haben eine lange Tradition und sind gut etabliert: Für Produktstruktur und Meta-Daten sind dies z. B. STEP AP 214 [11], PLM XML [13], FATXML [10] oder künftig STEP AP 242 XML [12]. Im Gegensatz dazu wird CAD-Geometrie in der Regel in nativen Formaten transportiert oder in Standardformaten wie z. B. VDA-FS oder JT, falls deren Leistungsumfang den Anforderungen gerecht wird.

Für Verbindungsdaten jedoch ist die Situation schwieriger und vielfältig.

3 CAE im Kontext der PLM Prozesskette

Eine typische PLM-Prozesskette besteht aus mehreren sehr verschiedenen Teilprozessen. Im Laufe der Jahre wurde der CAE-Prozess darin immer wichtiger, komplexer und unverzichtbarer. Früher einmal nach dem Testen angesiedelt, nähert er sich immer weiter dem Beginn der Prozesskette. Heutzutage wird die numerische Simulation bereits während der Konzeptphase genutzt, teilweise bevor CAD-Daten vorhanden sind. Dieser Trend wird sich in den kommenden Jahren fortsetzen.

3.1 Dimensionen der zunehmenden Komplexität von CAE

3.1.1 Mehr Fragen

Eine erste Dimension der Komplexität ergibt sich aus der breiten und ständig wachsenden Palette von Fragen, die beantwortet werden sollen. Für jede Art von Fragen scheint eine spezielle Methode zu existieren und für jede Methode wiederum oft mehrere spezialisierte Solver. Verschiedene Pre- und Post-Prozessoren komplettieren die Werkzeugkiste. Diese Komplexität wird durch die Unterteilung des CAE in eine Anzahl von Teilprozessen adressiert, von Datenbeschaffung bis zur Berichtserstellung. Bauteilverbindungen müssen bei jedem Durchlauf mehrfach berücksichtigt werden, vgl. Abb. 2.

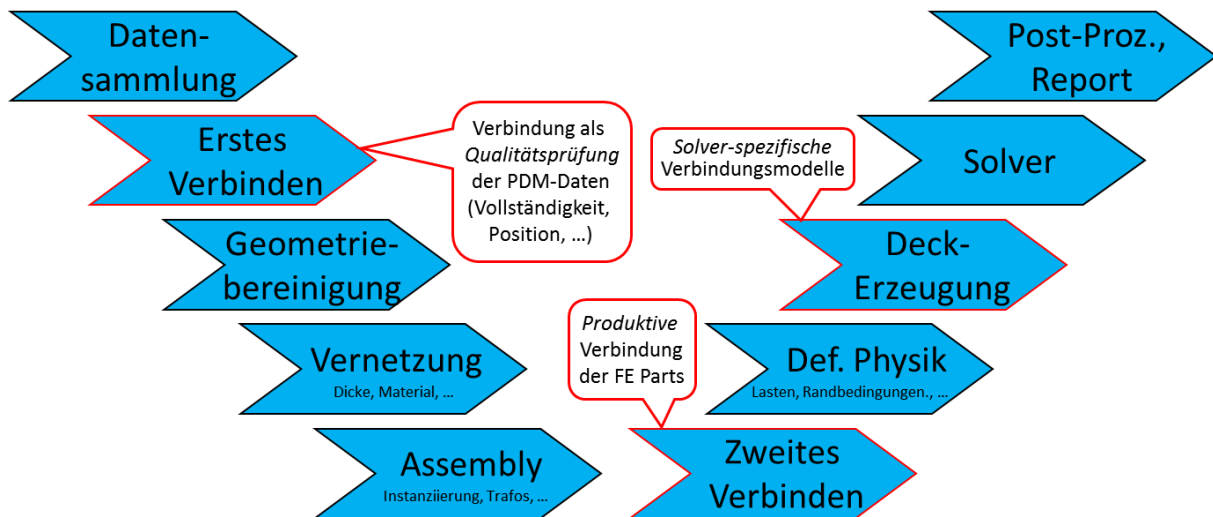


Abb. 2: Fügen im CAE-Prozess

Obwohl diese Teilprozesse oft ähnlich erscheinen, sind sie bei den verschiedenen OEMs unterschiedlich ausgeprägt. Dies spiegelt sich auch bei den eingesetzten Werkzeugen wieder: Sie reichen von einfachen handgestrickten Skripten bis hin zu sehr anspruchsvollen SPDM Lösungen. Häufig findet man Simulationsteams bei großen OEMs dementsprechend substrukturiert.

3.1.2 Mehr Daten

Die zweite Dimension der Komplexität resultiert aus den verschiedenen Arten von Daten, die entlang der PLM Prozesskette durchgereicht werden müssen. Neben den ersten beiden Datenpfaden werden die Verbindungsdaten hier häufig unterschätzt. Sie stehen aus mehreren Richtungen unter Wachstumsdruck:

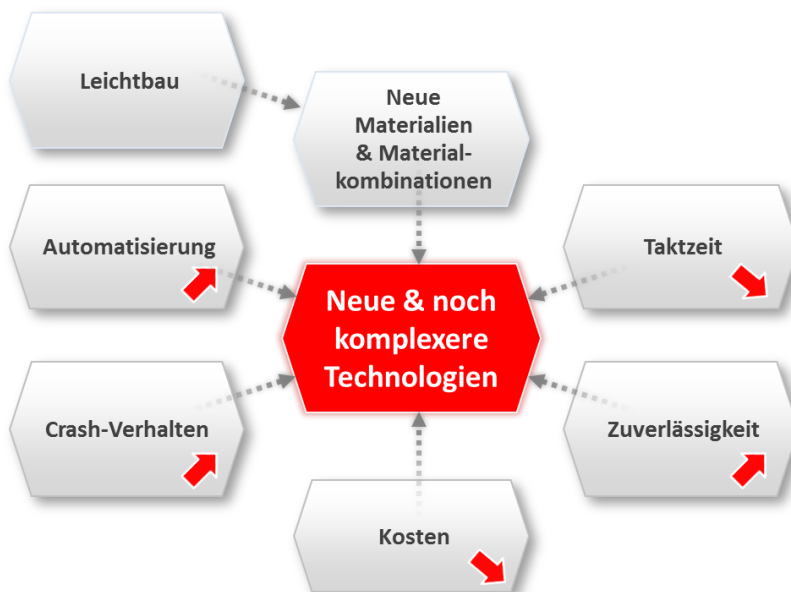


Abb. 3: Komplexität der Verbindungsdaten und Ursachen ihres Wachstums

3.1.3 Mehr Schleifen, mehr Erkenntnisse

Eine dritte Dimension der Komplexität ergibt sich aus der Forschungsnatur der Simulation: Sie entfaltet ihren vollen Nutzen, wenn sie für die Lösung technischer Probleme eingesetzt wird, die anderen Methoden nicht zugänglich sind. Dies aber erfordert zahlreiche Schleifen mit verschiedenen Ansätzen, Versuch, Irrtum und Optimierung. In jedem Durchlauf erlangt man neue Erkenntnisse, die in geeigneter Weise dokumentiert und beim nächsten Schritt berücksichtigt werden müssen.

4 Wachsende Herausforderungen an Fügetechnik und deren Management

Zwei große Trends betreffen die gesamte Automobilindustrie:

1. Die Zahl neuer Produkte oder Varianten steigt mit jedem Jahr.

2. Ökologie und Ökonomie erzwingen die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs, während neue Komfortfunktionen und Antriebskonzepte eine höhere Masse betreffender Komponenten erfordern.

Die Antworten auf diese Trends sind bekannt:

1. Nicht designrelevante Komponenten müssen so weit wie möglich wiederverwendet werden. Dies führt zu modularen Baukasten- oder Plattformstrategien und zu verteilter Entwicklung an den einzelnen Standorten. Und ganz plötzlich müssen Teams mit unterschiedlichen Prozessen und Software-Tools eng zusammenarbeiten.
2. Leichtbau erfordert den Einsatz neuer Materialien. Entsprechend neue Materialkombinationen verlangen neue und komplexere Verbindungstechnologien.

Und es gibt noch weitere Aspekte, die eine bessere Handhabung von Verbindungen erfordern:

3. "Evergreen Anforderungen" wie zunehmende Automatisierung, reduzierte Zykluszeit, Kostensenkung, Crash-Sicherheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit führen stetig dazu, dass Verbindungstechnologien mehr Prozessparameter erhalten und mehr Qualitätskriterien erfüllen müssen.
4. Darüber hinaus geht die zunehmende Produktkomplexität mit einer wachsenden Anzahl von Bauteilen und damit von Bauteilverbindungen einher.

5 Was ist das Problem?

Eine Ursache der Probleme liegt höchstwahrscheinlich in der unzureichenden Funktionalität bzgl. Bauteilverbindungen begründet, die die gängigen CAD-Systeme in ihren frühen Jahren kennzeichnete. Dies zwang die OEMs, ihre eigenen Lösungen zu suchen. Und so erstellte jeder von ihnen seine eigene CAD-Makros oder investierte in proprietäre Software.

Das Fehlen jeglichen Standards zum Datenaustausch entlang der PLM-Prozesskette führte zur Entwicklung vieler Partikulärlösungen, oft in der Form "selbstgebrauter" Skripte etc. Die Pflege dieser vielen Tools ist aber teuer. Der Einsatz kann fehleranfällig sein, wenn nicht eine sehr aufwändige Qualitätssicherung betrieben wird. Oft sind diese Tools auch unvollständig, da nur ein Bruchteil der Füge-techniken und der Prozessparameter unterstützt wird. Neue Parameter der Fertigungsprozesse oder gar neue Verbindungstechniken können nur mit hohem Aufwand integriert werden. Unter diesen Rahmenbedingungen entsteht auch ein gewisses Risiko für den Ablauf etablierter Prozesse.

Beim Einsatz proprietärer Kauf-Software führt jeder Wechsel des Software-Anbieters unweigerlich zu hohen Investitionskosten. Der daraus resultierende "vendor-lock-in Effekt" behindert den Wettbewerb und damit den Fortschritt. **Lösung durch Standardisierung**

Die vorangehenden Überlegungen legen nahe, die Probleme durch den Einsatz eines standardisierten Austauschformats für Bauteilverbindungsdaten zu lösen. Dieser Weg wurde ja auch bereits vor Jahrzehnten für die Produktstruktur und CAD-Geometrie erfolgreich eingeschlagen.

Welche Eigenschaften muss ein solcher Standard für Bauteilverbindungsdaten nun mitbringen?

- Der Standard muss in Bezug auf neue Technologien oder Parameter leicht erweiterbar sein, um zügig dem Fortschritt der Verbindungstechnologien zu folgen.
- Vor dem Hintergrund der "dritten Dimension der Komplexität" muss es der Standard ermöglichen, Daten in jeder Weiterentwicklungsschleife und entlang der Prozesskette schnell und einfach zu ergänzen.
- Andererseits muss er das einfache Überspringen oder Ignorieren solcher Daten unterstützen, die zwar enthalten sind, aber im aktuellen Prozessschritt noch nicht benötigt werden.
- Etablierte und ausgereifte Prozessketten der OEMs müssen unmittelbar vom Standard profitieren, anstatt Schaden zu nehmen. Daher muss der Standard dort in Bezug auf bewährte Skripte oder die Migration von anderen Werkzeugen leicht implementierbar sein.
- Der Standard muss für Langzeitarchivierung geeignet sein.
- Er sollte für Menschen lesbar sein und damit eine Notfallstrategie ermöglichen.

Dies alles erwägend, scheint ein XML-basierter Standard eine gute Wahl zu sein.

7 xMCF etabliert sich

Von der Notwendigkeit her kommend, lebensdauerrelevante Attribute von Schweißlinien zu beschreiben, entschied sich die FAT / VDA-Arbeitsgruppe 25 "Fügetechnik" vor gut zehn Jahren, das von Ford stammende MCF-Format [1] zu ergänzen. Damit wurde der Standard xMCF aus der Taufe gehoben. Als im Lauf der Arbeiten die oben geschilderten Probleme immer offensichtlicher wurden, begann man, xMCF zu einem allgemein nutzbaren Standard mit folgenden Eigenschaften weiterzuentwickeln:

- Alle relevanten Verbindungsarten mit jeder geometrischen Dimension lassen sich darstellen:

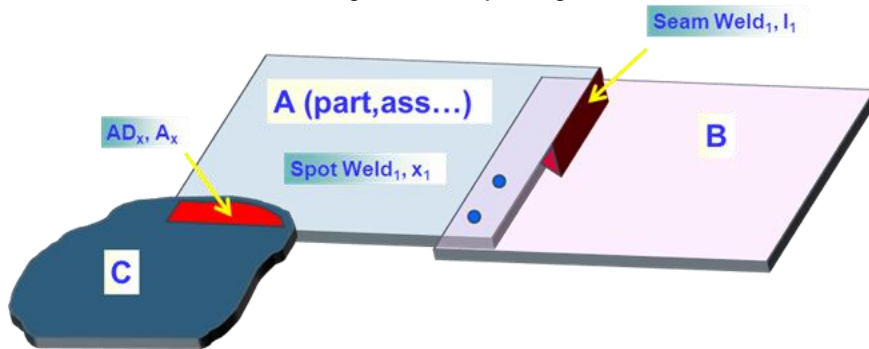


Abb. 4: Schematische Darstellung 0-, 1- und 2-dimensionaler Verbindungen

- Alle PLM-Prozesse werden unterstützt: CAD, CAE, CAT, CAM, einschließlich spezieller Teilprozesse wie z. B. Lebensdauersimulation, Roboterprogrammierung und Lieferantenanbindung.
- Eine χ MCF-Datei enthält entweder die Daten einer Baugruppe, eines einzelnen Fahrzeugs oder aller Varianten einer Serie. Dies ermöglicht jedwede OEM-spezifische Prozessgestaltung.
- Zusätzliche Daten, die für den OEM, bestimmte Prozesse oder Software spezifisch sind, können auf genau definierte Art und Weise eingebettet werden. So bleibt auch hier kein Spielraum für unterschiedliche Interpretationen.
- χ MCF erfüllt alle im Abschnitt 6 aufgeführten Anforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Ergänzung von Daten im Verlauf der Prozesse:

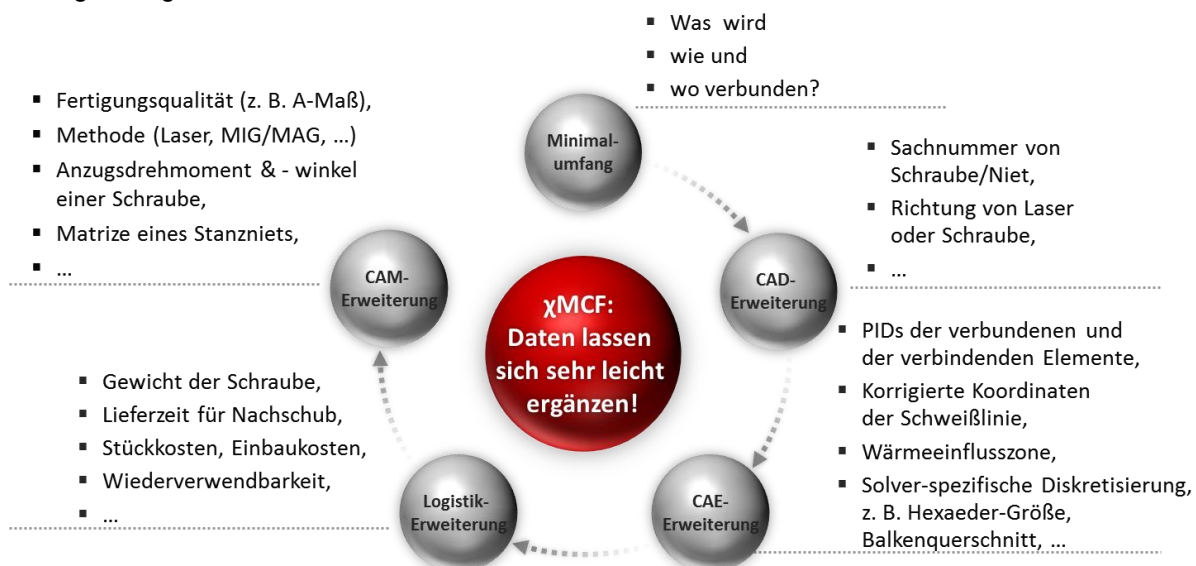


Abb. 5: Ergänzung von Daten im Verlauf der Prozesse

Die χ MCF Version 1.1 wird von mehreren CAE-Tools unterstützt, z. B. MEDINA®, LMS.Virtual Lab Durability® und FEMFAT®. Bei ANSA® arbeitet man bereits an χ MCF 3.0. Das proprietäre XML-Format von SyncroFIT® (einem Plugin zu CATIA® und NX®) lässt sich verlustlos nach χ MCF 3.0 und zurück wandeln.

Bei Volkswagen wird χ MCF im Tagesgeschäft der technischen Entwicklung verwendet. Man beabsichtigt, den Einsatz auf eine umfassendere Prozesskette von CAD bis CAT auszuweiten.

8 Zusammenfassung

Mit der wachsenden Komplexität von Technologien, Produkten und damit verbundenen PLM-Prozessen (einschließlich CAE) steigt auch der Bedarf an verstärkter Prozessintegration. Bei der Reife der Datenpfade hinken die Bauteilverbindungsdaten häufig weit hinter Produktstruktur / Metadaten und CAD-Geometrie hinter her.

Zur Abhilfe ist insbesondere ein Standard zum Austausch von Bauteilverbindungsdaten notwendig. Für ihn gibt es eine Reihe von Anforderungen, von denen wahrscheinlich die Flexibilität die wichtigste ist.

Das XML-basierte Format χ MCF adressiert diese Anforderungen in optimaler Weise: Es wurde genau für diesen Zweck entwickelt und enthält keinerlei Ballast aus Rücksicht auf z. B. veraltete oder proprietäre Formate und Werkzeuge.

Es bildet die ideale Basis für jedwede Tool-Integration und besitzt die Kraft, bestehende proprietäre Formate nachhaltig zu ersetzen.

Daher ist davon auszugehen, dass χ MCF zur "Lingua franca" der Bauteilverbindungsdaten wird – in derselben Art und Weise, wie JT dies für CAD-Geometrie geworden ist.

9 Literatur

- [1] *Managing Connections using the Master Connection File*
Brian E. Huf, Ford Motor Company, **2001**
- [2] *The Extended Master Connection File χ MCF as a Transfer Standard of Seamweld Connection Definition (Slide set)*
Peter Mikolaj†/Carsten Franke, MSC Software/T-Systems, 19. Juni **2006**
- [3] *First Proposal for The Extended Master Connection File (χ MCF) as a Transfer Standard of Seamweld Connection Definition (Proposal for FAT AK 25 Fügetechnik), Revision 2*,
Peter Mikolaj†, MSC Software, Alzenau, 27. Juni **2006**.
- [4] *The χ MCF Format and its Possible Impact on CAE Connection Processes*,
Tom Herrmann, T-Systems International GmbH, Leinfelden-Echterdingen, 8. März **2011**.
- [5] *χ MCF Extended Master Connection File Version 1.0.0*,
Peter Nuhn, LMS Deutschland GmbH, Kaiserslautern, 26. April **2011**.
- [6] *χ MCF Extended Master Connection File, Version 1.1.0 pre*,
Peter Nuhn, LMS Deutschland GmbH, Kaiserslautern, 30. September **2011**.
- [7] *χ MCF Extended Master Connection File: A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, Version 2.0*
FAT(VDA)-AK 25 Fügetechnik, Berlin, 22 September **2014**.
- [8] *χ MCF Extended Master Connection File: A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, Version 2.1*
FAT(VDA)-AK 25 Fügetechnik, Berlin, 28. April **2015**.
- [9] *χ MCF Extended Master Connection File: A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, Version 3.0*
FAT(VDA)-AK 25 Fügetechnik, Berlin, März **2016**³.
http://www.vda.de/de/publikationen/publikationen_downloads/index.html
- [10] *FATXML-Format Version V1.2*
Schulte-Frankenfeld, FAT(VDA)-AK 27, 1. März **2016**
http://www.vda.de/de/publikationen/publikationen_downloads/index.html
- [11] *ISO 10303-214:2010: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 214: Application Protocol: Core data for automotive mechanical design processes*
ISO - International Organization for Standardization, Genf, Mai 2010.
- [12] *ISO 10303-242:2014: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 242: Application Protocol: Managed model-based 3D engineering*
ISO – International Organization for Standardization, Genf, Dezember 2014.
- [13] *PLM XML White Paper: Open product lifecycle data sharing using XML*
Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., **2011**.
https://www.plm.automation.siemens.com/de_de/products/open/plmxml

³ Erwarteter Veröffentlichungstermin während der Entstehung dieses Papers.