

χMCF – Standard zur Beschreibung von Fügeinformationen **χMCF – Standard for Documenting Connection Information**

Dr. **G. Zhang**, Volkswagen AG, Wolfsburg

Dr. **C. Franke**, T-Systems International GmbH, Leinfelden-Echterdingen

P. Nuhn, Siemens Industry Software GmbH & Co KG, Kaiserslautern

Mit zusätzlichen Kapiteln weiterer Autoren.

Kurzfassung

Zur industriellen dauerhaften Verbindung von Bauteilen sind zahlreiche, sehr unterschiedliche Verfahren etabliert. Ständig kommen neue hinzu. Die einheitliche, standardisierte Beschreibung von Bauteilverbindungen aller Art über alle Stufen der CAX-Prozesse hinweg wird gleichzeitig immer dringlicher.

Das unter der Federführung des Arbeitskreises 25 „Fügetechnik“ der FAT/VDA neu entwickelte Format χMCF (Extended Master Connection File) befriedigt diesen Bedarf nachhaltig und hat seinen Weg in die tägliche praktische Anwendung gefunden.

Abstract

A plethora of different methods is established for connecting parts in industrial manufacturing. New methods emerge continuously. Meanwhile, necessity for a standardized description of all connections throughout all CAX process steps increases.

Under the aegis of working group 25 “Fügetechnik” of FAT/VDA, format χMCF (Extended Master Connection File) was new developed. It fulfils this demand and made its way to daily productive use.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Komplexe technische Systeme wie ein Fahrzeug bestehen typischerweise aus tausenden von Komponenten unterschiedlichster Eigenschaften, die durch Fügen (Schweißen, Kleben, Nieten, Schrauben u. a.) zusammengebaut werden. Je nach Teilprozessen in der Entwicklung erfolgt dies physikalisch oder virtuell. Fügen ist ein zentraler Aspekt, der ein Produkt von der Konstruktion, Simulation und Erprobung bis hin zur Produktion ständig begleitet und seine Eigenschaften am Ende entscheidend mitbestimmt. Während des Produktlebenszyklus erlangen Eigenschaften wie z. B. Lebensdauer und Wartbarkeit der Fügestellen oft wesentliche Bedeutung.

Die Information zur Beschreibung eines Fügeelements bzw. Fügeverfahrens (Geometrie, Fügepartner, Zusatzwerkstoffe, Fügeprozesse u. s. w.) kann vielfältig und umfangreich sein. Da die heute üblichen Fügeverfahren sehr verschieden sind, unterscheiden sich die Informationen dementsprechend deutlich. Häufig kooperieren tausende von Ingenieuren gleichzeitig an der Entwicklung eines Produktes, wobei sich jeder Beteiligte meist aber nur für einen gewissen Teil dieser Information interessiert. Erschwerend kommt hinzu, dass Fügeelemente in Teilprozessen unterschiedlich modelliert werden. Für einen Simulationsingenieur im CAE-Prozess könnte ein Schweißpunkt ein Balkenelement, ein Knoten oder ein MPC sein, während der gleiche Schweißpunkt für einen Konstrukteur häufig nur eine Koordinate und eine Zahl (Linsendurchmesser) ist. All diese Umstände können zu einem nicht durchgängigen und ineffizienten Gesamtprozess führen. Mangelnder Informationsaustausch zieht dann Verzögerungen und kostspielige Mehraufwände nach sich.

Unter der Federführung des Arbeitskreises 25 „Fügetechnik“ der FAT/VDA wurde ein Entwurf für einen Standard zur Beschreibung von Fügeinformationen für die Automobilindustrie erarbeitet. χ MCF (Extended Master Connection File, sprich chi-m-c-f) ist so konzipiert, dass alle gängigen Fügeelemente ihrer geometrischen Dimension nach generisch beschrieben werden. χ MCF bildet einerseits die Beziehungen der Fügepartner ab, enthält andererseits aber auch alle relevanten Informationen (geometrisch, verfahrenstechnisch und fertigungstechnisch), die zur vollständigen Beschreibung des jeweiligen Fügeelementes benötigt werden. χ MCF kann daher als Datenbank oder Container betrachtet werden, wobei die klare Architektur von χ MCF Erweiterungen um neue Fügetechnologien und Prozessdaten in einfacher und gut nachvollziehbarer Weise erlaubt.

Jedes einzelne Fügeelement in χ MCF kann von einem Mindestumfang ausgehend ergänzt werden. Dies ermöglicht es, χ MCF individuell in einen dynamischen Entwicklungsprozess zu integrieren. Jeder Prozessbeteiligte erhält effizient die aktuellen Informationen, die für ihn momentan von Interesse sind. Ein Simulationsingenieur für Betriebsfestigkeit z. B. kann dort neben der Angabe zum Verlauf einer Schweißnaht auch detaillierte Auskunft über den Nahttyp, die Nahtquerschnitte und Fertigungsparameter finden, die für die Schwingfestigkeit von essenzieller Bedeutung sind.

Nachdem die Durchgängigkeit der CAD-Geometrie in den CAx-Prozessen mittlerweile gut etabliert ist, ermöglicht χ MCF nun auch bezüglich Fügedaten eine solche Durchgängigkeit. Sie bringt erhebliche Effizienzgewinne mit sich.

Der Umfang der χ MCF-Version 1.1.0 ist in den CAE-Tools „MEDINA“ (FE-Prä- & Postprozessor) sowie „LMS Virtual.Lab Durability“ und „FEMFAT weld“ (jeweils Lebensdauersimulation) implementiert und wird in der technischen Entwicklung z. B. bei Volkswagen eingesetzt.

1.2 Historie von xMCF

xMCF ist nicht auf der „grünen Wiese“ entstanden. Vielmehr wurde einerseits auf Erfahrungen aufgebaut, die Ford mit dem Vorgänger-Format MCF seit 2001 gesammelt hat [1]. Andererseits brachten im Rahmen des AK 25 Vertreter zahlreicher anderer OEMs und Zulieferer der deutschen Automobilindustrie ihre aktuellen Anforderungen ein und entwickelten gemeinsam mit namhaften Herstellern von CAE-Software das neue Format.

Tatsächlich hatte der AK 25 den Bedarf für ein neues Format bereits im Jahr 2005 erkannt, zunächst aber nur im Hinblick auf die Lebensdauersimulation für Schweißnähte. Verschiedene Basis-Technologien wurden evaluiert, bevor im Oktober des Jahres die Entscheidung zugunsten XML fiel. Das bei Ford gerade etablierte Format MCF sollte als Inspiration dienen. Die Ergebnisse mehrerer Abstimmungsrunden fasste MSC.Software im Juni 2006 zusammen [2].

Die Erkenntnis reifte, dass sich ein Format wohl kaum im CAE-Prozess etablieren lässt, wenn es lediglich die relativ kleine Disziplin der Lebensdauersimulation für Schweißnähte adressiert. Es sollte vielmehr idealerweise bereits von der Konstruktion bereitgestellt werden. Um dies zu motivieren, und eine Vielzahl alternativer Formate für andere Anwendungsfälle zu vermeiden, musste das neue Format alle Anwendungen und alle Füge Technologien abdecken [3].

Außerdem musste das „Henne-Ei-Problem“ gelöst werden: Solange xMCF-Daten nicht von Autoren-Systemen erzeugt würden, würde auch kein empfangendes System den Import realisieren. Solange andererseits kein Empfänger existiert, würde kein Autoren-System den Export implementieren.

Daher wurden im AK 25 die Arbeiten am Format ab März 2011 wieder aufgenommen und in Richtung weiterer Anwendungsfälle und Technologien fortgeführt [4]. Der Teufelskreis wurde durchbrochen, als T-Systems im Mai 2012 mit MEDINA 8.3.1 das erste Autoren-System veröffentlichte, das xMCF 1.0.0 exportieren konnte [5]. Nun hatte die Entwicklung deutlich an Schwung gewonnen. Bereits im September 2012 erfolgte ein Update auf xMCF 1.1.0 [6]. Seit April 2014 kann MEDINA xMCF-Dateien auch importieren. Der Brückenschlag CAD – Präprozessor - Solver ist damit in beide Richtungen vollzogen.

Parallel dazu arbeitete der AK 25 weiter am Ausbau des Standards. xMCF Version 2.0 erschien im September 2014 mit vielen Verbesserungen [7]. Für Version 3.0 ist geplant, weitere oft benötigte Verbindungsarten hinzuzufügen. Weniger oft eingesetzte Verbindungsarten sollen dann in einer nachfolgenden Aktualisierung berücksichtigt werden.

Folgende Teilprozesse werden momentan adressiert:

- Übernahme von Daten aus CAD an CAE.
- Rückgabe validierter Daten aus CAE an CAD.
- Datenaustausch zwischen CAE-Systemen unterschiedlicher Hersteller.
- Datenaustausch zwischen CAD / CAE und Versuch.
- Datenaustausch zwischen CAD und Fertigung.

Für den Fall, dass alle diese Prozesse über ein PDM-System koordiniert werden, ergibt sich beispielhaft folgende Abbildung 1:

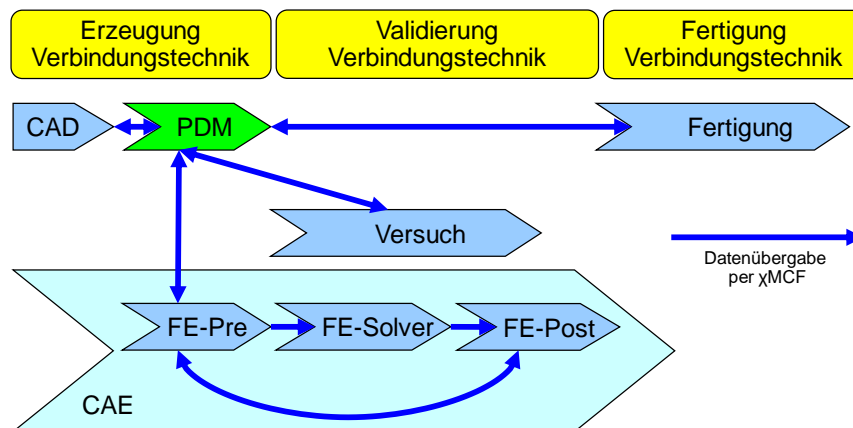


Abbildung 1: Datenaustausch zwischen CAX-Prozessen

2 Grundgedanken von xMCF

Die Welt des CAD, CAE und CAM umfasst gegenwärtig eine große Vielfalt unterschiedlicher Software-Systeme, die jeweils ihre meist untereinander inkompatiblen Datenformate mitbringen.

Selbst die Anwendung ein und desselben Systems (z. B. CATIA V5 für CAD) impliziert nicht, dass sich Daten jenseits der reinen Geometrie verlustfrei zwischen OEMs austauschen lassen: Zu verschieden sind die Prozesse und Vorschriften zur Darstellung von Meta-Daten und Fügeinformationen in den einzelnen Häusern.

Insbesondere auch für gemeinsame Zulieferer der OEMs erwachsen daraus vervielfachte Aufwände bei der Schulung der Mitarbeiter und beim Daten-Management.

Und selbst innerhalb einer Abteilung eines Unternehmens geraten die Prozesse schnell ins Stocken, wenn Systeme verschiedener Lieferanten mit denselben Daten arbeiten sollen.

2.1 Von der Praxis zum Standard

In einer Umgebung von N verschiedenen Datenformaten gibt es Bedarf an $N \times (N-1)$ verschiedenen Format-Konvertern. Schon für relativ kleine N ist die eigenständige Implementation so

vieler Konverter nicht wirtschaftlich. Durch ein gemeinsames Zwischenformat lässt sich die Zahl der nötigen Konverter auf $2N$ reduzieren.

Das Zwischenformat muss allerdings in der Lage sein, möglichst alle Details aller anderen Datenformate darzustellen — und dabei mit der Entwicklung und Erweiterung aller relevanten Systeme Schritt zu halten. Es ist daher notwendig, dass sich das Zwischenformat auch in Zukunft leicht und unmissverständlich erweitern lässt. Nicht nur für Archivierungszwecke sind dabei Auf- und Abwärtskompatibilität wichtige Eigenschaften.

So erwächst aus dem Zwischenformat ein geeigneter Kandidat für einen allgemeinen Standard. Die Lieferung geeigneter Ein- und Ausgabekonverter fällt den jeweiligen Software-Herstellern anheim. Die Aufwände dafür werden fair verteilt.

2.2 Charakteristika von Fügeinformationen

Fügeinformationen beinhalten die Angaben,

- welche Bauteile¹
- mit welchem Dimensionscharakter (punkt-, linien-, flächenförmig)
- wo und ggf. in welcher Richtung
- mit welcher Technik

verbunden werden.

Jedes dieser Attribute kann noch angereichert werden, z. B. durch die Angabe

- einer Tangential-Richtung von Robscans,
- von Materialien (Nahtfüllstoff, Kleber, Schrauben- oder Niet-Norm),
- von Baugruppen oder Mengen von Bauteilen.

Im Lauf der CAx-Prozesse werden immer mehr Informationen hinzugefügt, z. B.

- die Richtung, in der eine Naht geschweißt wird,
- das Anzugsdrehmoment einer Schraube,
- Qualitätsangaben zur Fertigung, z. B. A-Maß, Standard der Überprüfung einer Naht, Naht-Nachbearbeitung (Glättung, Oberflächenvergütung) u. s. w.

Viele solcher Daten sind nur für bestimmte Teilprozesse von Bedeutung. Trotzdem sollen alle Teilprozesse nach Möglichkeit mit demselben Datensatz arbeiten, ohne sich gegenseitig zu behindern.

¹ Die Gesamtheit der vorkommenden Bauteilkombinationen kann man als „Topologische Struktur“ der Fügeinformationen eines Modells bezeichnen.

2.3 Grundanforderungen

Eine Analyse der Situation vor dem Hintergrund der bereits gesammelten Erfahrungen führt zur folgenden Liste von Anforderungen:

1. *Alle Verbindungsarten* müssen darstellbar sein:
 - a. 0d – Schweißpunkt, Schraube, Niet, ...
 - b. 1d – Schweißlinie, Klebelinie, Hemming Flange, ...
 - c. 2d – Klebefläche
2. *Alle Prozesse* müssen unterstützt werden: CAD, CAE, CAM, mitsamt spezieller Teilprozesse, z. B. Lebensdauerabschätzung durch FE-Simulation, Programmierung der Fertigungsroboter, Einbindung von Lieferanten, ...
3. Entsprechend darf eine xMCF-Datei *nicht auf spezifische Inhalte anderer Dateien verweisen*, da in der Regel z. B. ein Geometrie-Label im FE-Postprozessor unbekannt ist und umgekehrt eine Knoten-ID im CAD-System.
4. *Unvollständige Informationen* müssen weitestgehend erlaubt sein (s. Abbildung 2).
5. Informationen werden im Prozessablauf *im selben Format* angereichert.
6. Jedes Verbindungsobjekt ist durch XML-Daten *vollständig definiert*. Es lässt sich eindeutig, ohne Interpretationsspielraum und ohne Datenverlust gemäß seines Entwicklungsgrades in der Prozesskette wiederherstellen.
7. Das Format muss *leicht erweiterbar* sein. (Vgl. Abbildung 3.)
8. Die *Ablösung* möglichst *aller anderen*, proprietären Formate muss möglich sein.
9. Eine Möglichkeit zur Aufnahme *Software-spezifischer Informationen* muss vorhanden sein. Andere Systeme ignorieren diese Kennung bzw. schleifen sie möglichst unverändert durch.
10. Die Eignung zur *Archivierung* muss gegeben sein.
11. Das Format muss *leicht lesbar* sein – insbesondere auch für das menschliche Auge. Dafür wird auch ein höheres Datenvolumen in Kauf genommen.
12. Die Verbindungsobjekte sollen gemäß *gemeinsamer Verbindungspartner* gruppiert sein.
13. Je nach Ausgestaltung der Prozesse beim OEM sollen die Daten einzelner *Baugruppen*, die von *Gesamtfahrzeugen* oder gar von allen *Varianten* einer Baureihe in einer einzelnen Datei enthalten sein können.

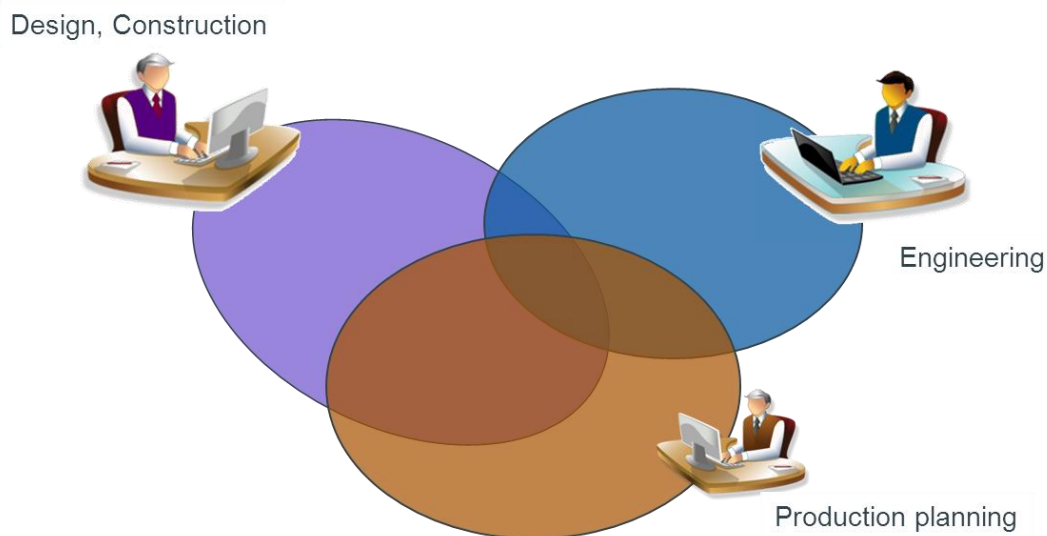


Abbildung 2: Nur die gemeinsame Schnittmenge ist Pflicht. Die Obermenge ist Kür.

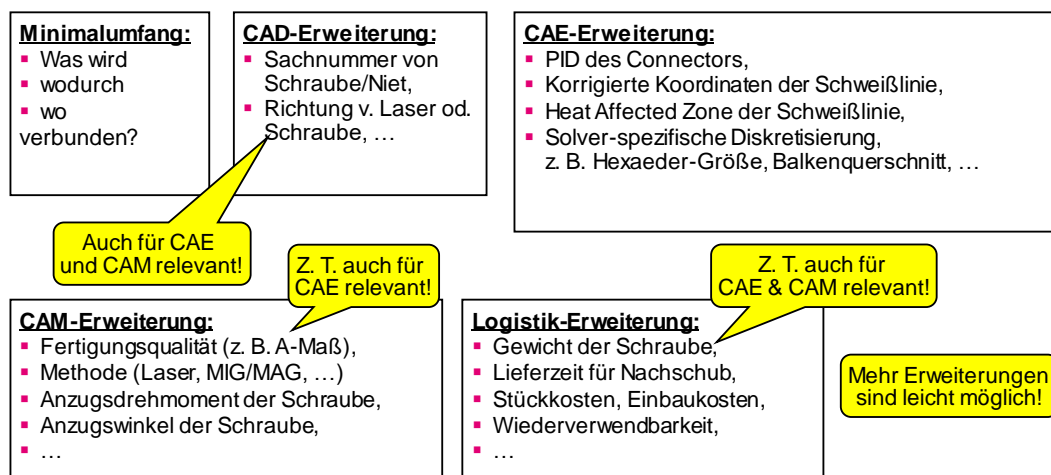


Abbildung 3: Erweiterungspotential von xMCF – Nützlich für viele CAx-Prozesse

2.4 Design-Prinzipien

Aus den Anforderungen ergeben sich wenige, aber sehr wirkungsvolle Design-Prinzipien:

1. Einsatz von XML.
2. Als semantische Kennungen sollen möglichst wenige XML-Elemente und XML-Attribute definiert werden, die so weit als möglich einheitlich wiederverwendet werden.
3. Externe Bezüge sollen nur auf möglichst „abstrakte“ Entitäten verweisen, z. B. Koordinaten im Raum, Sachnummern etc., aber nicht auf „spezielle“ Entitäten, z. B. Knoten- / Element-IDs der FE-Netze, Solver-spezifische Hilfs-Properties etc.

4. Genau die Daten der Verbindung sind enthalten (Schraubendurchmesser, A-Maß & Material der Schweißnaht, ...), nicht aber Bauteildaten wie z. B. Blechdicke oder Werkstoff des Bauteils.
5. Es wird nicht angegeben, in welchen Baugruppen die Verbindungselemente selber angeordnet sind. Dementsprechend sind auch keine Informationen über Produktstruktur oder gar Spiegel- und Wiederholteile enthalten.
6. Die flanschweise Gruppierung der Fügeelemente spiegelt sich in der internen Struktur der XML-Datei.

3 Aufbau einer xMCF-Datei

Als XML-Datei ist jede xMCF-Datei hierarchisch in einer Baum-Struktur gegliedert. Es gibt genau ein „Wurzel-Element“ <xmcf/>, das im Wesentlichen nur Gruppen von Connectoren und Meta-Daten enthalten kann:

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1" standalone="no"?>
<xmcf xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <version> 3.0.0 </version>
  [...]
  <connection_group id="1">
    [...]
  </connection_group>
  <connection_group id="2">
    [...]
  </connection_group>
</xmcf>
```

3.1 Gruppierung der Bauteilverbindungen in xMCF

Jedes Fügeelement befindet sich in xMCF immer im Kontext einer Flansch-Situation, die mit dem Element <connection_group/> beschrieben wird:

```
<connection_group id="2">
  <connected_to>
    [...]
  </connected_to>
  <connection_list>
    <connection_0d label="1000535">
      [...]
    </connection_0d>
    <connection_1d label="1544256">
      <loc_list>
        [...]
      </loc_list>
      <adhesive_line base="2" width="1" thickness="1"/>
    </connection_1d>
  </connection_list>
</connection_group>
```


Jede <connection_group/> darf in ihrer <connection_list/> Verbindungselemente beliebiger Art enthalten, hier z. B. eine Punktverbindung und eine Klebelinie.

3.2 Angabe der verbundenen Bauteile in xMCF

Zu jeder <connection_group/> müssen mittels <connected_to/> die zu verbindenden Bauteile angegeben werden. Dies geschieht vorzugsweise als Liste von Sachnummern:

```
<connected_to>
  <part label="A321.100.9057M" index="1"/>
  <part label="A321.100.9058G" index="2"/>
</connected_to>
```

Da Modelle im CAE-Umfeld sehr gerne immer noch mit Property-IDs strukturiert werden, dürfen auch PIDs zur Flanschdefinition herangezogen werden:

```
<connected_to>
  <part pid="1009057" index="1"/>
  <part pid="1009058" index="2"/>
</connected_to>
```

Allerdings liegt hier ein gewisser Widerspruch zur Grundanforderung 3 „eine xMCF-Datei darf nicht auf spezifische Inhalte anderer Dateien verweisen“ vor, da PIDs normalerweise in CAD oder CAM nicht bekannt sind.

Die Angaben mittels Sachnummer und PID dürfen in einem <connected_to/> auch gemischt vorkommen. Es ist zusätzlich möglich, mehrere Sachnummer oder PIDs *auf einer Ebene* des Flansches zu gruppieren. So können z. B. Tailored Blanks auch mittels PIDs präzise beschrieben werden.

3.3 Darstellung einzelner Fügeelemente in xMCF

Fügeelemente werden in xMCF generell nach ihrer Dimension unterschieden. Dementsprechend kennt xMCF die Elemente <connection_0d/>, <connection_1d/> und <connection_2d/>). Alle Fügeelemente dürfen eine alphanumerische Bezeichnung tragen, an Hand derer sie sich in jeder Prozessstufe eindeutig wiedererkennen lassen.

Die einzige Pflichtangabe für ein <connection_0d/> ist seine Koordinate. Darüber hinaus kann optional noch sein Typ (Schweißpunkt, Schraube, ...) mit dessen Zusatzattributen (Schweißpunktdurchmesser, Schraubenrichtung) angegeben sein:

```
<connection_0d>
  <loc> 501.0 1.0 3.3 </loc>
  <spotweld diameter="5.4"/>
</connection_0d>
```

Die einzige Pflichtangabe für ein **<connection_1d/>** ist sein Polygonzug. Wieder können darüber hinaus sein Typ (seamweld, adhesive_line), Sub-Typ (butt_joint, ..., y_joint) und Zusatzattribute (Technologie, Querschnitt, Füllmittel, Werkzeugrichtung, A-Maß, ...) angegeben sein:

```
<connection_1d>
  <loclist>
    <loc v="0"> 501 1.03333 3.33332 </loc>
    <loc v="0.5"> 502 1.03333 3.33332 </loc>
    <loc v="1"> 503 1.03333 3.33332 </loc>
  </loclist>
  <seamweld>
    <y_joint technology="resistance" filler="yes">
  </seamweld>
</connection_1d>
```

Die einzige Pflichtangabe für ein **<connection_2d/>** sind die Koordinaten der Drei- und Vierecke seiner Fläche. Wieder können darüber hinaus sein Typ (adhesive_face) und Zusatzattribute (Klebstoff, Dicke, ...) angegeben sein:

```
<connection_2d>
  <loclist>
    <loc i="1"> 2001.557 14.435 1736.898 </loc>
    <loc i="2"> 1994.802 14.435 1734.247 </loc>
    <loc i="3"> 1994.790 0.0436 1734.256 </loc>
    <loc i="4"> 2001.547 0.0545 1736.911 </loc>
    <loc i="5"> 2008.298 14.435 1739.550 </loc>
  </loclist>
  <face_list>
    <face> 1 2 3 4 </face> <!-- Viereck -->
    <face> 1 2 5 5 </face> <!-- Dreieck -->
  </face_list>
  <adhesive_face height="2"/>
</connection_2d>
```

3.4 Darstellung Software-spezifischer Informationen in xMCF

Zur Darstellung Software-spezifischer Informationen in xMCF dient das Element **<appdata/>**.

Solche Informationen lassen sich auf drei Ebenen anordnen:

- auf Ebene der Gesamt-Datei bzw. des gesamten Modells innerhalb des Elements **<xmcf/>**,

```
<xmcf>
  <appdata name="MEDINA">
    <version MEDINA="MEDINA 8.3.0.10 (64 Bit)" />
  </appdata>
</xmcf>
```

- auf der Ebene einer einzelnen Flansch-Situation innerhalb des Elements <connection_group/> (erst ab xMCF Version 2.0)

```
<mcf>
  <connection_group id="1">
    <appdata name="MEDINA">
      [...]
    </appdata>
  </connection_group>
</mcf>
```

- und auf der Ebene einer einzelnen Verbindung innerhalb der Elemente <connection_Xd/> (für $X := 0, 1, 2$).

```
<connection_1d type="seamweld">
  <appdata name="MEDINA">
    <original_loclist>
      <loc u="0"> 501 1.03333 3.33332 </loc>
      <loc u="0.5"> 502 1.03333 3.33332 </loc>
      <loc u="1"> 503 1.03333 3.33332 </loc>
    </original_loclist>
  </appdata>
</connection_1d>
```

3.5 xMCF im CAE-Prozess

Im Detail kann der CAE-Teil aus Abbildung 1

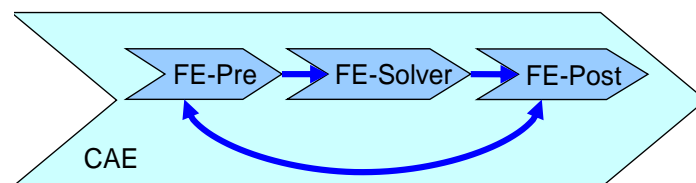


Abbildung 4: xMCF im CAE-Prozess

wie folgt gestaltet werden:

1. Der FE-Präprozessor führt das FE-Netz und die xMCF-Daten zusammen.
Es spielt dabei keine Rolle, ob das Netz soeben auf einer CAD-Geometrie erzeugt, oder ob es aus einem bestehenden Solver-Deck importiert wurde.
Wenn sich die xMCF-Daten auf Sachnummern beziehen, sollten die finiten Elemente allerdings in die entsprechenden Bauteile eingruppiert sein.
2. Der FE-Präprozessor prüft, ob sich die Bauteile mit den entsprechenden Verbindungselementen verbinden lassen, also ob z. B. Abstände nicht zu groß, Füge-richtungen nicht tangential und Schraublöcher vorhanden sind. Ggf. ergänzt oder korrigiert der Anwender entsprechende Daten.

Die vorigen Schritte erfolgen unabhängig von der Berechnungsdisziplin und dem geplanten Solver. In einer „Multiphysics Situation“ fallen sie also nur einmal an.

3. Erst nun werden die Solver-spezifischen Objekte erzeugt, also z. B. Hexaeder, Balken, RBEs, Kontakte, CWELDs, PLINKs, TIEDs, SWBEAMs, etc., ggf. inkl. ihrer Properties und Materialien.

In der Regel werden die dafür notwendigen Daten nicht von CAD / PDM geliefert, sondern müssen vom Berechnungsingenieur hinzugefügt werden. Mit Vorlagen, die von der Disziplin und vom Verbindungstyp abhängen, lässt sich dieser Schritt weitgehend automatisieren.

4. Nach dem Solver-Lauf erfolgt die Auswertung im FE-Postprozessor. Verbindungen, die versagt haben, lassen sich an Hand ihres Labels im Präprozessor wiederfinden und modifizieren. Verwenden Prä- und Postprozessor dabei unterschiedliche proprietäre Datenformate, so lässt sich die Zuordnung der Solver-Objekte zu den Verbindungselementen im Postprozessor trotzdem mittels des <femdata/> aus xMCF 2.0 wiederherstellen.

Im Fall von Lebensdauer-Simulationen sind hier oft mehrere Solver beteiligt: Der Fatigue-Solver benötigt die Ergebnisse einer vorherigen statischen Analyse.

Evtl. stammen auch die anzunehmenden zyklischen Lasten aus einer Simulation.

5. War der Solver-Lauf zufriedenstellend, können die modifizierten Verbindungsdaten mittels xMCF zurück an CAD / PDM gegeben werden. Wieder an Hand des Labels lassen sich die Änderungen dort genau zuordnen.

4 Neuerungen aktueller xMCF Versionen

4.1 xMCF Version 1.1.0

Die vorhergehende xMCF-Version umfasste bereits die Schweißnahtformen Butt-, Corner-, Cross-, Edge-, Overlap, I-, K- und Y-Naht (ein und zweiseitig geschweißt). Die Definition von Schweißpunkten war dem alten MCF-Format entnommen.

4.2 xMCF Version 2.0

Mit xMCF 2.0 wurden etliche Elemente und Attribute neu geschaffen, umstrukturiert, in andere XML-Elemente verschoben oder auch umbenannt. Dadurch lassen sich die logischen Zusammenhänge, die sich aus den physikalischen oder fertigungstechnischen Eigenschaften der einzelnen Verbindungsarten ergeben, exakter wiedergegeben. Außerdem kann nun präziser auf Bedürfnisse der verschiedenen FEA-Systeme eingegangen werden.

4.3 xMCF Version 3.0

Die nächste xMCF-Version soll bereits Anfang 2015 veröffentlicht werden. Folgende Verbindungsarten sollen durch sie erstmals unterstützt werden:

- 0D:
 - Stanznieten
 - Robscans
 - Schrauben – mit Mutter oder auch mit geschnittenem Gewinde
 - Klebepunkte
- 1D:
 - Klebelinien
 - Crimp- oder Flared Schweißnaht
 - Falzflansche
 - Schweißpunktserien
 - Step-Nähte
- 2D:
 - Klebeflächen

4.4 xMCF Version 3.1

Für die darauffolgende xMCF-Version sind folgende Punktverbindungen geplant:

- Weitere Arten von Nieten
- Fließlochformende Schrauben
- Clinche
- Wärmekontaktieten
- Klipse und Schnappverbindungen
- Nägel

4.5 Weitere Zukunft von xMCF

Auch damit ist die Evolution des xMCF-Formats noch lange nicht beendet – und das nicht nur, weil ständig neue Verbindungsverfahren entwickelt werden. Deren Aufnahme in den Standard wird auf Grund der bereits vorhandenen Beispiele voraussichtlich sehr gradlinig und unkompliziert sein.

Künftige strukturelle Weiterentwicklungen könnten zum Beispiel die Prozessintegration in Richtung CAD und CAM weiter ausbauen. Sie könnten sogar die Bereiche Logistik und Wartung der Produkte anbinden, wie in Abbildung 3 bereits angedeutet.

5 Status von χ MCF in der Praxis

Dieses Kapitel bietet *zusätzlichen* Autoren mit unterschiedlichem Hintergrund Gelegenheit, χ MCF aus ihrer Perspektive zu beschreiben.

5.1 LMS Virtual.Lab Durability

Der Einsatz des χ MCF-Formats ist ein entscheidender Schritt bei der Definition und Datenablage von Fügungen in der Automobilindustrie. Siemens PLM Software unterstützt diesen Schritt in Datendefinition und -ablage.

5.1.1 Schweißnähte

Die Entwicklung des χ MCF-Formats hatte für die Entwicklung des Schweißnahtmoduls in LMS Virtual.Lab Durability eine entscheidende Bedeutung. Die Spezifikation des Standards wurde nicht nur implementiert, sondern bildet auch die Grundlage der Beschreibung von Schweißnähten von der Datenablage bis ins Benutzerinterface.

Der Prozessfluss von Definition in CAD, Pre-Prozessor und Betriebsfestigkeitstool wird dabei komplett unterstützt. Die χ MCF-Dateien werden vollständig interpretiert und können auch für Variantenrechnungen eingesetzt werden.

Zusätzlich wird auch die Definition der χ MCF-Datei unterstützt: Eine automatische Schweißnahterkennung und die Möglichkeit, die χ MCF spezifischen Parameter anzupassen, bilden die Grundlage der Schweißnahtdefinition, die dann wieder im χ MCF-Ablageformat abgespeichert werden kann.

Die für die Betriebsfestigkeit relevanten Parameter der Schweißnaht werden dann in der Berechnung ausgewertet.

5.1.2 Andere Fügungen

Standardisierungen für Fügungen spielen in allen Simulationen aber auch schon in der Definition eine große Rolle. Siemens PLM unterstützt dies durch offene Schnittstellen, die beispielsweise den automatischen Import von Schweißpunktdefinitionen aus χ MCF-Dateien in Siemens NX CAE erlaubt. Dadurch erreicht man wiederum Prozesssicherheit für die folgenden Simulationsschritte.

Die generische Definition von Fügungen erlaubt eine zunächst applikationsunabhängige Definition, die dann durch applikationsspezifische Vernetzungen realisiert werden kann.

Autor dieses Kapitels:

Dr. Michael Hack
Product Line Manager Durability Solutions
Simulation and Test Solutions
Siemens Industry Sector
Siemens Industry Software GmbH & Co KG
Luxemburger Straße 7
67657 Kaiserslautern
Tel. +49 631 303 22 175
michael.hack@siemens.com
www.siemens.com/plm/lms

5.2 FEMFAT

Schon seit Mitte der 90er Jahre ist eine zuverlässige Lebensdauervorhersage von Schweißnähten mit dem Software-Modul *FEMFAT weld* möglich. Sie hat sich in vielfältigen Anwendungsbereichen vom Automobil- über Schienenfahrzeugbau bis hin zum Großmaschinenbau bewährt. Während anfangs die Definition von Schweißnähten per Hand noch eine mühsame und zeitraubende Angelegenheit war, konnte ab Version 4.7 (2007) mit dem *FEMFAT visualizer* eine deutliche Komfortsteigerung erzielt werden, indem automatisiert mögliche Schweißnahtverläufe in der FE-Struktur gesucht und vorgeschlagen werden und durch wenige Mausklicks Lage und Typ der Schweißnaht einfach festgelegt werden können.

Durch die jüngst erfolgte Implementation einer Import-Schnittstelle zum xMCF-Format 1.1.0 im *FEMFAT visualizer* in der neuen Version 5.1 kann nun die Schweißnahtdefinition rein geometriebasiert und unabhängig von der vorliegenden FE-Struktur auch außerhalb von *FEMFAT* erfolgen. Auf Basis der xMCF-Geometriedaten erfolgt im *FEMFAT visualizer* eine automatische Suche des Schweißnahtverlaufes in der vorliegenden FE-Struktur. Sowohl der Schweißnahtverlauf als auch die Detailgeometrie können visualisiert werden und für eine anschließende *FEMFAT weld* Berechnung in Form eines *WELD*-Definitions- bzw. *wdf*-Files aufbereitet werden, siehe Abbildung 5. Bei der erstmaligen Anwendung ist es erforderlich, den jeweils vorliegenden xMCF-Schweißnahttypen eindeutig einen in der *FEMFAT weld*-Datenbank definierten Typ zuzuordnen. Diese Zuordnungstabelle kann in einem sogenannten *xat*-File (XML Assignment Table) für die spätere Verwendung abgelegt werden.

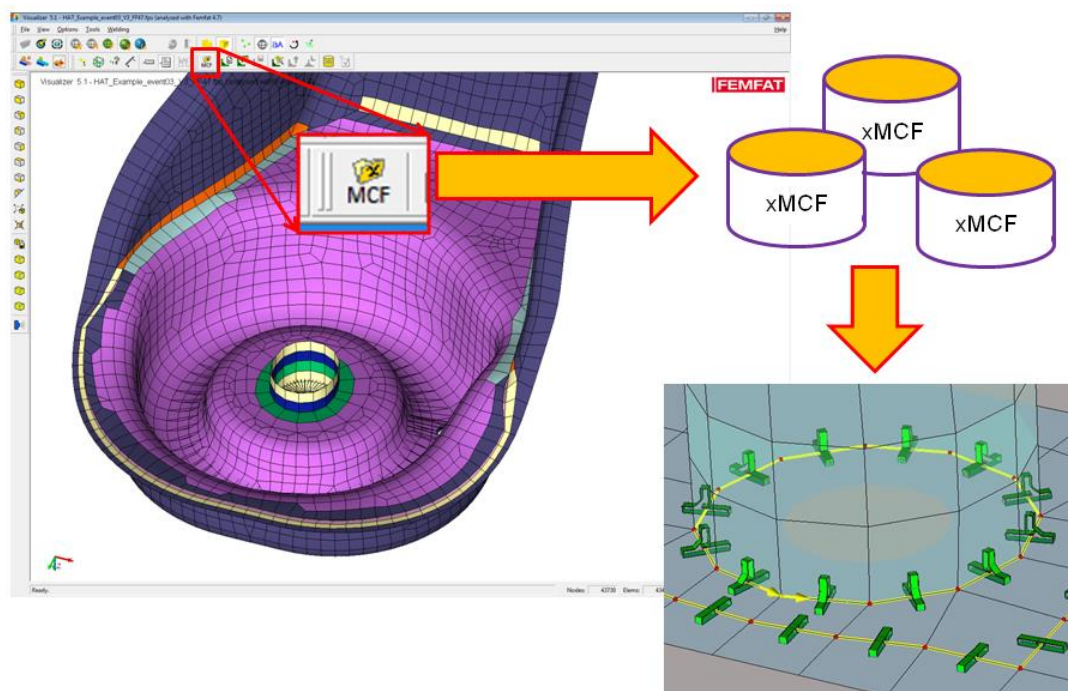


Abbildung 5: Import der Schweißnahtdefinition aus xMCF im *FEMFAT visualizer*

Autor dieses Kapitels:

Dr. Christian Gaier
 Group Leader FEMFAT Development
 Magna Powertrain, Engineering Center Steyr GmbH & Co KG
 Steyrer Straße 32
 4300 St. Valentin
 Österreich
 Tel. +4374355012344
Christian.Gaier@ecs.steyr.com
www.femfat.com

5.3 ANSA

Der ANSA Präprozessor bietet eine breite Palette von semi- und vollautomatischen Funktionen für das Erzeugen der FE-Modelle von Verbindungstechniken. Diese Verbindungen können innerhalb der Software definiert werden oder über die integrierte PDM-Schnittstelle eingelesen werden (xMCF, VIP, VIP2 und andere Formate werden diesbezüglich unterstützt). Der Connection Manager, das zentrale Tool für das Bearbeiten von Verbindungstechnik in ANSA, ermöglicht die komplette Definition von mehrfachen Verbindungsarten mit nur einer Anwenderaktion, und bietet gleichzeitig:

- ein breites Spektrum von Verbindungstypen wie Schweißpunkte, Robscans, Kleber, Schweißnähte, Schrauben oder Falzen
- konkrete Positionierung der finiten Elemente einer Verbindung

- entsprechende Element-Definition mit kontrollierbaren Eigenschaften
- Identifikation & Behandlung von mangelhafter Verbindungstechnik

Besonders für Schweißnähte werden viele FE-Repräsentationsarten unterstützt. Deren Realisierung beinhaltet eine automatisierte Neuvernetzung an den verschweißten Bauteilen, um die notwendigen Wärmeeinflusszonen abzubilden, je nach Art des Schweißens (T-Stoß, Stumpfstoß, Überlappstoß etc.). Deren Definition wird erleichtert mit interaktiven Kontrollen, die gleichzeitig kompatibel sind mit dem xMCF Format.

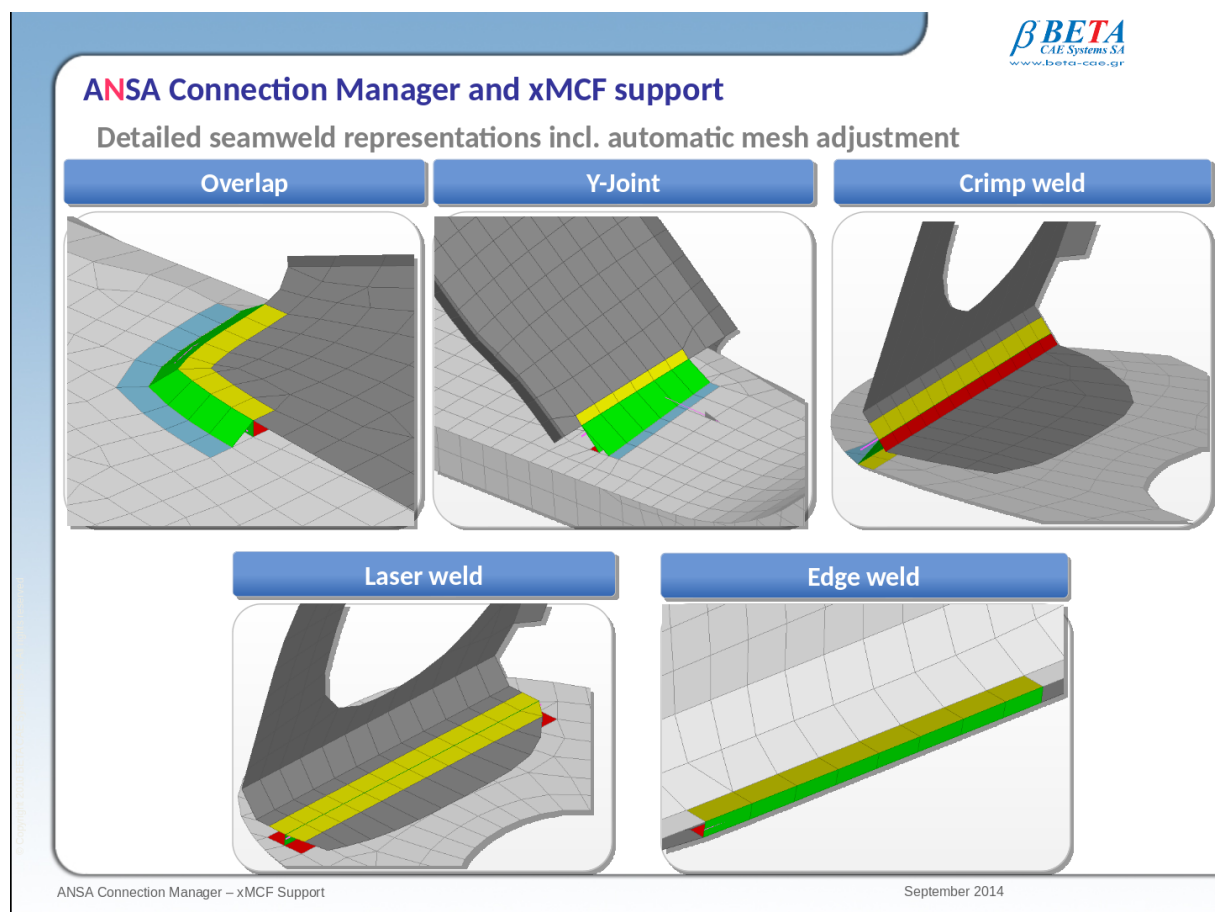


Abbildung 6: ANSA Connection Manager

Autor dieses Kapitels:

Dipl.-Ing. Michael Tryfonidis
 Customers Service, Supervisor
 BETA CAE Systems S.A.
 Kato Scholari, Thessaloniki, GR-57500, Epanomi, Griechenland
 Tel. +30-2392-021420
ansa@beta-cae.gr
www.beta-cae.gr

5.4 MEDINA

Bereits im Jahr 2001 führte MEDINA als Vorreiter Solver-unabhängige Connector-Elemente ein. MEDINA unterstützt dabei Schweiß- und Klebelinien sowie Schweißpunkte, Robscans, Stanznieten und Schrauben. Robscans und Stanznieten lassen sich sehr spezifisch für die beim OEM verwendeten Varianten parametrisieren.

Die Diskretisierung dieser Connector-Elemente durch tatsächliche Solver-Elemente findet erst sehr spät im Prozessablauf statt. Sie wird durch die Property der Connector-Elemente gesteuert. Dadurch lässt sich ein vorhandenes FE-Modell sehr effizient für verschiedene Berechnungsdisziplinen und –varianten nutzen. Templates für solche Properties steuern Diskretisierungsparameter auf effiziente und dokumentierte Weise in den Prozess ein.

Über eine Plug-in Schnittstelle wird ein FEMSITE-Bestandteil integriert, der spezifische Diskretisierungen erzeugt. LMS-Virtual.Durability und FEMFAT sind über χ MCF angebunden. Abaqus, LS-DYNA, NASTRAN, Pam-Crash und PERMAS unterstützt MEDINA direkt.

MEDINA lässt sich sehr flexibel in unterschiedliche CAE-Prozesse einfügen. Neben dem eigenen, CSV-basierten Format ConnFile können VIP 2 und χ MCF 1.1.0 Dateien im- und exportiert werden. Diese Dateien können nicht nur Gesamtmodell-bezogen verarbeitet werden, sondern auch im Assembly-Kontext bei Spiegel- und Wiederholteilen. Dann werden die enthaltenen Connectoren automatisch platziert. Auf der gespiegelten Seite werden die gespiegelten Bauteile referenziert. Auf diese Weise lassen sich Connectoren aus MEDINA auch PDM-konform zurück an CAD geben, falls z. B. dort ein Meilenstein nicht erreicht wurde.

Sehr umfangreiche Funktionalitäten zum Erzeugen, Prüfen und Korrigieren von Connectoren stehen jederzeit zur Verfügung. So lässt sich z. B. eine Qualitätssicherung von Connector-Daten sehr früh im Prozessablauf realisieren. Verwendet man dafür Tesselierungsnetze aus JT-Dateien, so muss man nicht auf FE-Netze warten.

Autor dieses Kapitels:

Dr. Carsten Franke
Projektleiter
T-Systems International GmbH, Systems Integration
Abt. Product & Process Creation Solutions (PPCS)
Fasanenweg 5
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel. +49 711 999 7655
Carsten.Franke@t-systems.com
<https://servicenet.t-systems.de/medina>

5.5 nCode DesignLife

Betriebsfestigkeitsanalysen können mit dem modernen, prozessorientierten Programm nCode DesignLife durchgeführt werden. Das CAE-basierte Programm ist Bestandteil der Software Suite nCode von der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.

nCode beinhaltet neben nCode DesignLife das Programm nCode GlyphWorks (ein leistungsfähiges Datenverarbeitungssystem für die Analyse von Messdaten). Sie können sich die gleiche graphische Oberfläche teilen und besitzen aufgrund des prozessorientierten Aufbaus und der Struktur einen hohen Automatisierungs- und Anpassungsgrad.

Die Anbindung vom χ MCF als Erweiterung der Datendurchgängigkeit innerhalb der CAx Prozesskette, bestehend aus CAD, CAE und CAM, erfolgt an die in nCode DesignLife implementierten Lebensdaueranalysen von Fügeverbindungen. Die Prozessstruktur ist in Abbildung 7 prinzipiell dargestellt, wobei einzelnen Prozesskomponenten als Bausteine (engl. Glyphs) in nCode realisiert sind.

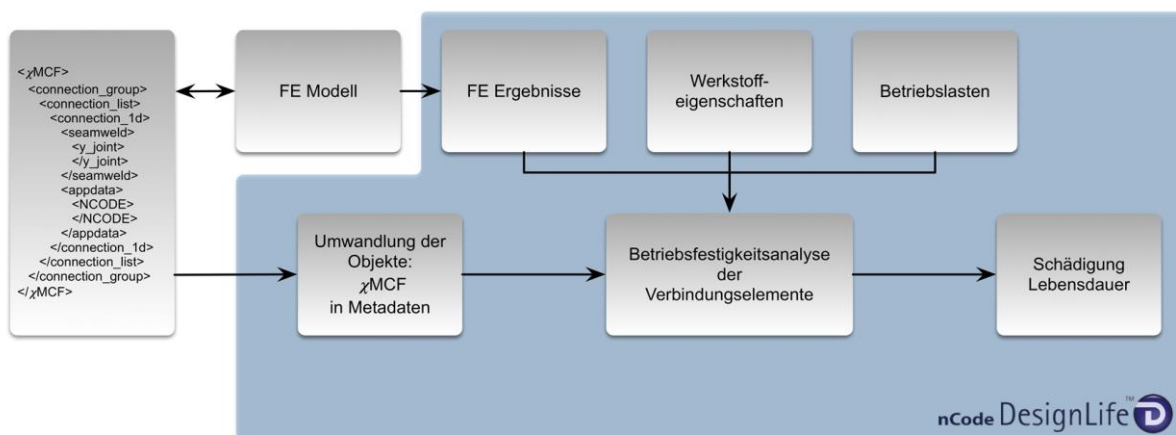


Abbildung 7: Prozess für die Lebensdauerabschätzung in nCode DesignLife unter Berücksichtigung des χ MCF

nCode verwendet ein integriertes Metadatenkonzept, das es ermöglicht, im Programm definierte Parameter mit anwenderspezifischen Werten zu überschreiben und für diesen Fall automatisiert aus dem χ MCF einzulesen.

In der Software werden Metadaten-Kennwörter für die erforderlichen Parameter definiert und mit den aus dem χ MCF zur Verfügung gestellten Informationen assoziiert.

Da der χ MCF nur Information zu den Fügeverbindungen und Fügeverbindungstypen liefert, müssen für die Lebensdauerberechnung andere Informationen als Standardeingangsgrößen

zur Verfügung stehen. Dabei handelt es sich um Berechnungsergebnisse eines unterstützten, kommerziellen FE Solvers, ermüdungsspezifische Werkstoffparameter und schwingende Belastungen.

In der aktuellen Version 2.0 enthält der χ MCF nur charakteristische Information für Schweißtypen, die für die in nCode DesignLife implementierten Lebensdaueranalysen von Schweißverbindungen verwendet werden. Nach der in Zukunft geplanten Erweiterung des χ MCF um zusätzliche Verbindungsarten, wie z. B. Klebeverbindungen, werden zusätzliche, bereits implementierte Methoden aus nCode DesignLife an den χ MCF angebunden.

Autor dieses Kapitels:

Dr.-Ing. Stephan Vervoort
Senior Application Engineer
Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
- nCode Produkte -
Carl-Zeiss-Ring 11-13
D-85737 Ismaning
Tel. +49 89 9605372 0
stephan.vervoort@hbmncode.com
www.hbm.com/ncode

5.6 Volkswagen

Aus der Sicht des Anwenders ist die Verwendung eines standardisierten Formates zur Definition der Eigenschaften von Modellkomponenten jeglicher Art sehr attraktiv. Besondere Bedeutung kommt dabei aber den Verbindungselementen zu, da sich einerseits ihre Modellierung verhältnismäßig aufwändig darstellt, sie aber andererseits in fast allen Disziplinen der Simulation eine wichtige Rolle spielen. Nun werden in unterschiedlichen Disziplinen auch oft verschiedene Simulationsverfahren zum Einsatz gebracht, was dann in der Regel auch eine neue Definition der Verbindungsinformationen erfordert. Die Zeitersparnis sowie der Zugewinn an Datensicherheit bei der Verwendung eines einheitlichen Formates liegen hier klar auf der Hand.

Der im Folgenden beschriebene Anwendungsfall bezieht sich auf die rechnerische Betriebsfestigkeitsanalyse von geschweißten Bauteilen im Fahrwerk. Bei der Mehrzahl dieser Bauteile kommen fast ausschließlich Linienschweißverbindungen, also 1d-Verbindungen, zum Einsatz. Aber gerade diese Art von Verbindungen stellt hinsichtlich der Bewertung ihrer Lebensdauer auch heute noch eine große Herausforderung dar. Verschiedene Softwareprodukte favorisieren dabei unterschiedliche Ansätze. Will man etwa zur Erhöhung der Prognosesicherheit unterschiedliche Produkte zum Einsatz bringen, ist die Verwendung eines einheitlichen

Beschreibungsschemas wie χ MCF eine enorme Erleichterung. Am Prozess der Betriebsfestigkeitsanalyse mit zwei unterschiedlichen Ansätzen zur Bewertung einer Schweißnaht soll dargestellt werden, wie χ MCF zum Einsatz kommen kann.

Für die Bewertung der Schweißnähte kommen hier das Produkt FEMFAT-Weld sowie ein in Hause Audi entwickeltes Tool namens SuperWeld, das auf der Verwendung von Superelementen basiert, zur Anwendung. Als Preprocessor wurde ANSA gewählt, da hier einerseits die Ein- und Ausgabe des ursprünglichen MCF Formats gegeben ist und andererseits mit Python als Makrosprache verschiedene bereits vorhandene Tools direkt übernommen werden konnten. Darüber hinaus steht eine spezielle Funktionalität zur Verfügung, die es erlaubt, eine FEMFAT-spezifische Realisierung der Schweißnahtverbindung durchzuführen. In der eingesetzten Version war allerdings noch nicht der neue Standard χ MCF 2.0 verfügbar, so dass verschiedentlich anders als vorgesehen verfahren werden musste. An dieser Stelle sei noch einmal betont, wie wichtig die Implementierung des χ MCF-Formates in den verschiedenen Processoren ist. Im Kontext der Berechnung ist der Preprocessor das Kerninstrument zur Definition nahezu sämtlicher Modelleigenschaften, die in irgendeiner Form mit Geometrie verknüpft sind. Sicherlich wird dies auch auf absehbare Zeit der Ort sein, wo die Schweißnahtinformationen der jeweiligen geometrischen Repräsentation zugeordnet werden.

Das Ziel ist es, einen Prozess abzubilden, der die beiden benannten Vorgehensweisen so unterstützt, dass sich zum einen möglichst wenige Unterschiede im Prozess selbst ergeben und zum anderen der Prozess mit einer möglichst großen Schnittmenge der jeweiligen Verbindungsdaten arbeitet. Abbildung 8 stellt den Prozess schematisch dar. Aus dieser Sichtweise unterscheiden sich die beiden Berechnungsansätze nur dadurch, dass beim Einsatz von SuperWeld noch zusätzlich drei Positionen hinzukommen. Es handelt sich dabei um Aufrufe der hausinternen Programme WLPRe und WLPPost zum Handling spezieller Daten, die im Zusammenhang mit SuperWeld benötigt werden beziehungsweise entstehen. In beiden Fällen kommt zur Berechnung der FE-Modelle der Solver Abaqus und zur Schadensakkumulation die Basisfunktionalität von FEMFAT zum Einsatz. Die zugrundeliegenden Spannungen in den Schweißnähten werden dagegen nach unterschiedlichen Verfahren berechnet.

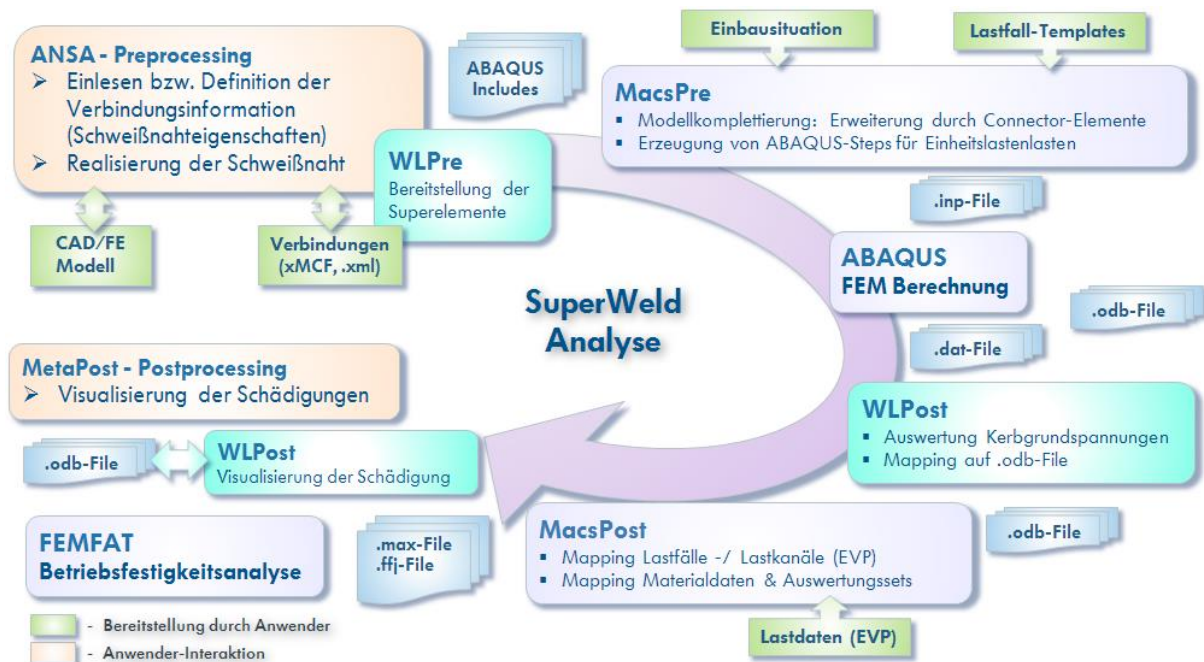


Abbildung 8: Prozess Lebensdaueranalyse mit SuperWeld und FEMFAT-Weld

(MacsPre und MacsPost sind hausinterne Tools zur Modellierung und Auswertung fahrwerksspezifischer FE-Modelle.)

In der aktuellen Ausführung ist der Einsatz von xMCF noch nicht durchgängig. Die eingesetzte Version von SuperWeld und auch FEMFAT 5.0 sind nicht in der Lage, xMCF Eingabedaten zu verarbeiten. Im Fall von SuperWeld konnte diese Hürde sehr leicht umgangen werden, indem ein Filter entwickelt wurde, der die xMCF Inhalte in die SuperWeld-spezifische Eingaben umwandelt. In der in ANSA derzeit verfügbaren Version von MCF ist die Abgrenzung von applikationsspezifischen Daten durch das <appdata>-Tag, wie sie in xMCF 2.0 beschrieben ist, noch nicht vorhanden. Dafür stehen aber sogenannte User-Attribute zu jeder Verbindung bereit, die bei der Ausgabe als MCF mit Hilfe eines <info>-Tags abgebildet werden. Sein Inhalt besteht aus einem Item „user_attribute“, gefolgt vom Namen des User-Attributes wiederum gefolgt durch dessen Werte. Damit können alle applikationsspezifischen Daten bequem definiert und entsprechend im Filter umgesetzt werden. Der Filter ist im Modul WLPPre integriert und bleibt dem Anwender vollständig verborgen.

Bei FEMFAT-Weld stellt sich die Situation anders dar. Hier wurde darauf verzichtet, einen Filter zu konstruieren, zum einen weil dieser sehr viel komplexer wäre als der für SuperWeld und zum anderen sieht FEMFAT-Weld in der kommenden Version 5.1 xMCF 1.1.0 als Eingabeformat vor. In der Zwischenzeit wird die oben genannte Funktionalität von ANSA genutzt, um auf Basis der im MCF definierten Verbindungsinformationen FEMFAT-kompatible Modelle zu erzeugen. Nachteilig ist dabei, dass dieser Prozessabschnitt bei komplexeren Schweiß-

verbindungen nicht komplett ohne manuelle Nacharbeit abgearbeitet werden kann. Dies erweist sich besonders dann als störend, wenn verschiedene Schweißverbindungskonfigurationen betrachtet werden sollen, etwa im Zusammenhang mit Optimierungsstrategien, welche die Schweißnahtparameter als Variablen beinhalten. Mit der Verfügbarkeit der χ MCF-Unterstützung in FEMFAT-Weld ist dann dieses Defizit beseitigt.

Die Erfahrungen, die im Zusammenhang mit χ MCF bei der Implementierung des beschriebenen Prozesses gemacht wurden, lassen sich im Wesentlichen wie folgt zusammenfassen: χ MCF erweist sich mit seinem XML-Format als sehr flexibel. Aufgrund der Tatsache, dass für verschiedene Programmiersprachen zahlreiche Parser verfügbar sind, ist der Zugriff auf die gespeicherten Daten im Anwenderprogramm sehr bequem und sicher realisierbar. Das Potenzial von χ MCF kann aber erst dann voll ausgeschöpft werden, wenn alle in der Prozesskette eingesetzten Werkzeuge, die Verbindungsinformationen umsetzen, in der Lage sind, χ MCF einzulesen. Dabei ist es außerordentlich wichtig, dass dies mit der Fähigkeit einer Abarbeitung im Batchbetrieb einhergeht. Nur so kann gewährleistet werden, dass sich die Interaktion mit dem Anwender wie in dem skizzierten Prozess ausschließlich auf das Pre- und Postprocessing beschränkt, und somit der Prozess auch als Schleife in einem Optimierungsverfahren fungieren kann.

Sobald die neuen Standards (χ MCF 2.0 bzw. 3.0) für alle Prozessschritte verfügbar sind, ist geplant, die Prozesskette daraufhin anzupassen. Die Durchgängigkeit zu anderen im Haus eingesetzten Tools wie LMS Virtual.Lab Durability auf der Simulationsseite sowie MEDINA im Preprocessing wird dann möglich werden. Mit den letztgenannten Produkten wurden bereits verschiedene Anwendungsfälle abseits der oben beschriebenen Prozesskette mit Erfolg behandelt.

Autor dieses Kapitels:

Dr. Georg Tröndle
PKW Fahrwerk Vorentwicklung, Berechnung
Volkswagen Aktiengesellschaft
Brieffach 1710
38436 Wolfsburg
Tel. +49 5361 9-31722
georg.troendle@volkswagen.de

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich sehr herzlich bei den Mitgliedern des Arbeitskreises 25 „Füge-technik“ der FAT/VDA, die sich permanent und sehr konstruktiv, teilweise über viele Jahre

hinweg, an den Diskussionen zum Thema χ MCF beteiligt haben. Nur so konnte der aktuelle Reifegrad erlangt werden, der einen produktiven Einsatz des Standards erlaubt.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Ford Motor Company, "Managing Connections using the Master Connection File", Detroit, 2001.
- [2] MSC.Software, "First Proposal for The Extended Master Connection File (χ MCF) as a Transfer Standard of Seamweld Connection Definition (Proposal for FAT AK25 Fügetechnik), Revision 2", Alzenau, 2006.
- [3] T-Systems International GmbH, "The χ MCF Format and its Possible Impact on CAE Connection Processes", Leinfelden-Echterdingen, 2011.
- [4] LMS Deutschland GmbH, " χ MCF Extended Master Connection File Version 1.0.0", Kaiserslautern, 2011.
- [5] T-Systems International GmbH, "Software Requirements Specification χ MCF-Support", Leinfelden-Echterdingen, 2011.
- [6] LMS Deutschland GmbH, " χ MCF Extended Master Connection File, Version 1.1.0 pre", Kaiserslautern, 2011.
- [7] FAT(VDA)-AK25 Fügetechnik, " χ MCF Extended Master Connection File: A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, Version 2.0", Berlin, 2014.
http://www.vda.de/de/publikationen/publikationen_downloads/index.html