

Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung



**10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik
KT2012 | Residenzschloss Dresden | 14.–15. Juni 2012**

Stelzer · Grote · Brökel · Rieg · Feldhusen (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik KT2012

Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

Entwickeln – Entwerfen – Erleben.
Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung
10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT2012)

Herausgeber:

Prof. Dr. Ralph Stelzer (Technische Universität Dresden)
Prof. Dr. Karl-Heinrich Grote (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)
Prof. Dr. Klaus Brökel (Universität Rostock)
Prof. Dr. Frank Rieg (Universität Bayreuth)
Prof. Dr. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen)

Wir bedanken uns für die Unterstützung bei
ma design, Tedata, Continental, xPLM, B.I.M. Consulting und Reiss Büromöbel

ma design
//ENGINEERING

Continental 

B.I.M.
onsulting

TEDATA

xPLM
Solution

REISS

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 987-3-942710-80-0

© 2012 TUDpress
Verlag der Wissenschaften GmbH
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Sandra Olbrich/Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration Audi A6 Limousine © 2012 Audi AG

CAD-Produktmodell – Quelle der Produktbewertung nach Zeit und Kosten

1 Einleitung

Produktentwicklung und Fertigungsplanung innovativer komplexer technischer Produkte sind heute ohne massiven Rechneinsatz gar nicht mehr möglich: Produkteigenschaften wie Funktion, Fertigung, Montage, Bedienbarkeit, dynamisches Verhalten, Reaktion auf Störgrößen, Ästhetik, Instandhaltung bis Recyclings sollten möglichst früh im Entwicklungsprozess durch virtuelle Prototypen technischer Produkte und Verfahren beschrieben und abgesichert werden (Höhne 2009).

Ausgehend von vorgegebenen SOLL-Eigenschaften eines technischen Produktes werden während der Produktentwicklung in mehreren Syntheseschritten die Produktmerkmale (Konstruktionsparameter) festgelegt. Die Ergebnisse der Syntheseschritte werden als virtuelle Prototypen, meist in 3D-CAD Modellen (CAD-Produktmodell), abgebildet (siehe Abbildung 1). Ausgehend von den virtuellen Prototypen lassen sich unter Nutzung von CAE-Werkzeugen die IST-Eigenschaften bei vergebenen Rand- und Umgebungsbedingungen ermitteln (Virtual Engineering). Während der Produktentwicklung möchte der Produktentwickler möglichst schnell Rückmeldungen über die Auswirkungen von Syntheseentscheidungen auf die realisierten Produkteigenschaften (IST-Eigenschaften) haben (Weber 2011). Eine wichtige Anforderung hierfür ist, dass die virtuellen Prototypen und die enthaltenen Produktinformationen kontinuierlich genutzt werden können.

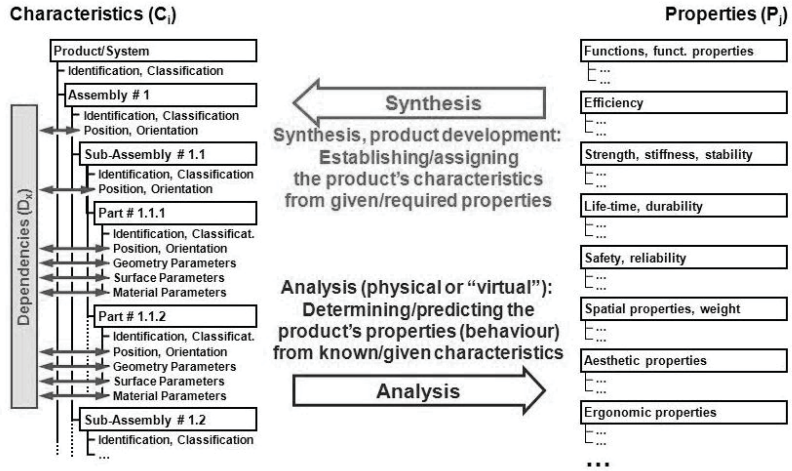


Abbildung 1 : Produktmerkmale und -eigenschaften sowie deren Beziehungen

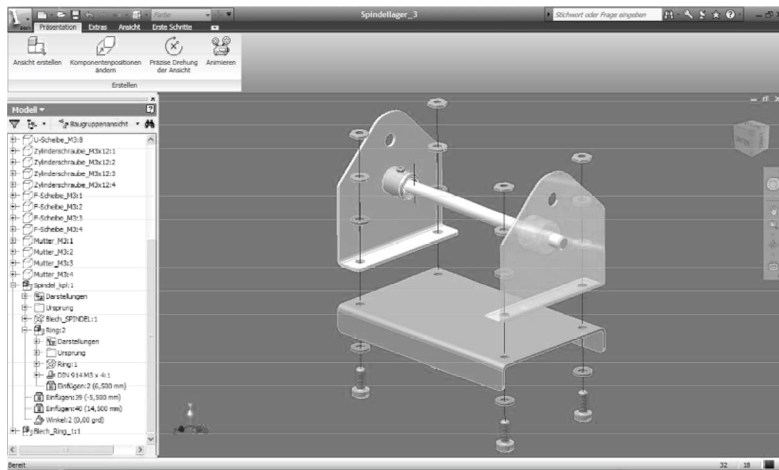


Abbildung 2 : Modell eines Spindellagers im parametrischen 3D-CAD-System

In der Produktentwicklung bestimmt der Konstrukteur im Wechselspiel von Ganzheit und Detail, Funktion und Gestalt, Einzelteil und Produkt u.a. auch die fertigungs-/montagerelevanten und zeitwirksamen Faktoren auf Teilefertigung und Montage und legt sie »nebenbei« in den Datensätzen zum virtuellen Prototypen ab. Dem Produktentwickler sind jedoch die Auswirkungen auf die Fertigungs- und Montagezeiten und -kosten meist nicht direkt bekannt. In dem vorliegenden Paper wird ein Werkzeug (AssCE1) vorgestellt, welches dem Produktentwickler direkt in der CAD-Umgebung (vgl. Abbildung 2) ausgehend von den festgelegten Produktmerkmalen die zu erwartenden Montagezeiten und -kosten unter Nutzung des MTM2-Verfahrens ermittelt und darstellt. Somit kann der Produktentwickler über kurze Iterationsschleifen das Produktmodell anpassen und technologische Produkteigenschaften optimieren.

2 Technologisch relevante Informationen im CAD-Produktmodell

Der Umfang an technologisch relevanten Informationen in einem virtuellen Prototypen ist so umfassend vorhanden, dass in Verbindung mit verfahrenstechnischem Wissen bereits in der Entwicklungsphase eine Bewertung konstruktiver Lösungen auf Fertigungs-/Montagezeit und Fertigungs-/Montagekosten z.B. für einen Variantenvergleich möglich ist. Um diese Möglichkeit zu erschließen, sind technologisches Wissen und gezielte Bewertungen in AssCE (Hilmer 2010) so abgelegt, dass sie dem Konstrukteur in seiner Entwicklungsumgebung bereitstehen. Dazu werden für die Montage Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ)³ in unterschiedlichen Ausprägungen gemeinsam mit den Relationen von Primär- und Sekundärmontagen als methodische Ansätze genutzt. Diese methodischen Ansätze werden in dem hier beschriebenen Programm aufgenommen und in das CAD-System Autodesk INVENTOR eingebettet.

Es steht die Aufgabe, den Montageprozess konstruktionsbegleitend (Simultaneous Engineering) zu berücksichtigen, das Ergebnis der Produktentwicklung frühzeitig zu beurteilen und die erhaltenen Daten später auch in den Informations- und Datenfluss der Prozesskette Montageplanung einzubinden.

Der Produktentwickler wird von AssCE in seiner Arbeit unterstützt; die traditionelle Arbeitsvorbereitung oder die Vor- und Nachkalkulation werden nicht ersetzt. AssCE stellt jedoch eine frühzeitige Bewertung konstruktiver Lösungsvarianten zu gleichen Maßstäben bereit und ermöglicht so eine qualifizierte Entscheidung zu Lösungen und Varianten während der Entwicklung.

Wenn der Montageplaner systematisch arbeitet, denkt er in Handlungszyklen für jedes Einzelteil bzw. für jede Baugruppe. Das FÜGEN von Einzelteilen und Baugruppen steht – meist in Verbindung mit ergänzenden technologischen Verfahren – als Handlungselement im Zentrum planerischer Arbeit und wird in der MTM-Nutzung (Antis 1969) und in produktorientierten Betrachtungen explizit behandelt (Holle 2002). Den Zyklus kann man – in Anlehnung an B. LOTTER – in PRIMÄR- und SEKUNDÄR-Montage gliedern (Lotter 1992; Lotter 1994).

Im MTM-Verfahren existieren 18 bewertete Ausprägungen des FÜGENs als PRIMÄR-Montage, mit denen sich die Fügestellen schlüssig auf Basis von virtuellen Prototypen bewerten und zur weiteren Planungsarbeit aus ihm extrahieren lassen. Die Vielzahl und Vielfalt zeitwirksamer Einflüsse auf den zentralen Vorgang FÜGEN wie:

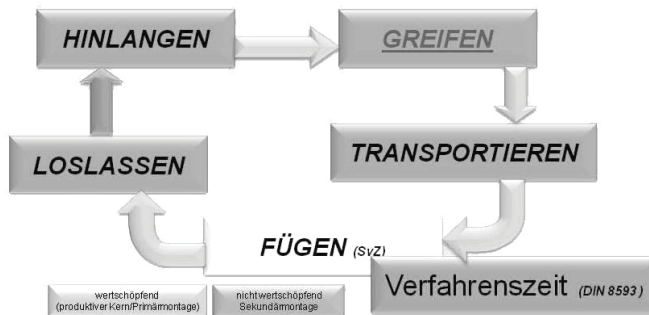


Abbildung 3 : Montagevorgänge nach Holle in Rechnerunterstützte Montageplanung S. 91

- Nennmaße
- Passungen
- Toleranzen
- Oberflächenqualitäten, Rauheit
- Adhäsion
- Reibungskoeffizienten

werden in der MTM-Bewertung durch empfundene – also nicht exakt quantifizierbare – Beurteilungskriterien (kein Druck, leichter Druck, starker Druck) und die Klassifizierung von Faktoren (Symmetrie über Winkel, Erschwernisse über Häufigkeit, Maße und Masse) in FÜGE-Symbole und Zeitbedarf überführt.

Eine Möglichkeit zu einer direkten Übernahme der Konstruktionsparameter ergibt sich aus den Grundlagen der Bemaßung und Tolerierung aus der Konstruktionslehre (Krause 2004), aus Festlegungen zur Oberfläche, aus Materialkombinationen, usw. (siehe Abbildung 4). Äquivalenzlisten zwischen den Passungsklassen der Konstruktion und den Passungsklassen des MTM-Verfahrens wurden als Erweiterung abgestimmt und autorisiert (MTM-Institut Zeuthen 2004).

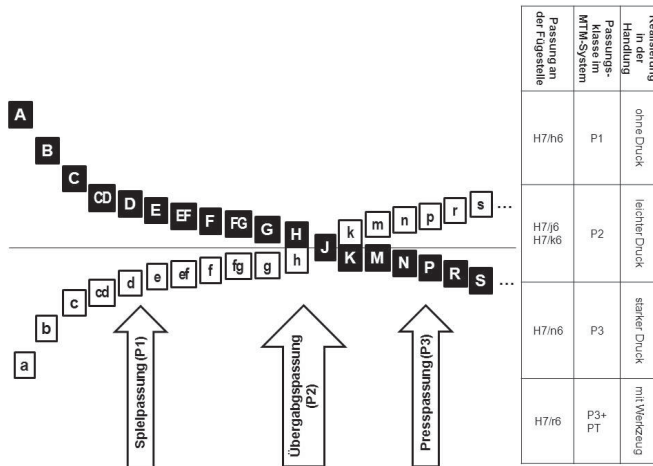


Abbildung 4: Äquivalenz zwischen Passungen an der Fugestelle und im MTM-System

3 Ermittlung der MTM-Parameter

Ausgehend vom erweiterten MTM-Verfahren müssen die notwendigen Eingangs-Informationen aus dem CAD-Modell ermittelt werden. Dies sind:

- Alle Fügestellen (Kontaktflächen während des Montageprozesses) inkl. der vorliegenden Passungen
- Montageunterstützungen (z.B. Montagefasen)
- Montagerichtung
- Montage-Drehwinkel
- Masse der bewegten Komponenten.

Die Informationen über die Fügestellen, die Montageunterstützungen und die Masse der bewegten Komponente liegen – wenn auch teilweise implizit – im CAD-Modell vor. Die Toleranzen müssen an den Flächenpaarungen ermittelt und in die MTM-Passungen übertragen werden. Nicht in den CAD-Modellen enthalten sind die Informationen über die Montage-richtung und den Drehwinkel, da die CAD-Modelle nur den Zustand nach dem Zusammenbau abbilden.

Eine wesentliche Aufgabe ist die Ermittlung der Fügestellen und der zugehörigen Parameter. Dabei ist zu beachten: Eine Fügestelle wird nicht durch eine einzelne Kontaktflächenpaarung zwischen zwei Komponenten definiert. Eine Fügestelle ist vielmehr die Gesamtheit aller Kontaktflächenpaarungen zwischen zwei Komponenten (siehe Abbildung 5). An der so definierten Fügestelle, also dem Verbund der Kontaktflächenpaarungen, können gleichzeitig mehrere Passungen vorliegen. Für die Ermittlung der MTM-Passungsklasse wird jeweils die »strengste« Passung verwendet. Liegen im CAD-Modell an der Fügestelle keine Passungen vor, so wird eine unternehmens- bzw. produktspezifische MTM-Passungsklasse »Px« verwendet und der Anwender aufgefordert, die Passung ggf. nachzutragen.

Voraussetzung zur Ermittlung der Fügestellen ist das Auffinden der Kontaktflächenpaarungen an den Kopplungen der Komponenten sowie der dort vorliegenden Toleranzen. Die Kontaktflächenpaarungen in den CAD-Modellen ergeben sich implizit aus der Nominalgeometrie der Komponenten und deren Anordnung (Position

und Orientierung). Die Flächenpaarungen liegen nicht explizit im CAD-Modell vor. Zur Ermittlung der Flächenpaarungen gibt es unterschiedliche Konzepte. Die vielversprechendste Methode ist der direkte Flächenvergleich (Vergleich, ob die Flächen unterschiedlicher Komponenten sich an mindestens einer Stelle berühren), da so alle – richtig modellierten – Flächenpaarungen erkannt werden können. Diese Methode ist für das gesamte CAD-Modell aufgrund der unterschiedlichsten Flächentypen (siehe Tabelle 1) und der unterschiedlichen Modellierungsstrategien der Konstrukteure jedoch sehr zeitaufwändig. Durch eine Vorauswahl der potentiellen Flächenpaarungen mittels Bounding-Box-Analyse, Skalierung der Bauteile mit Kollisionsanalyse (siehe Abbildung 6) oder über eine Auswertung der Komponentenverknüpfungen (Husung 2008, Kirchner 2007) kann die Analysezeit erheblich reduziert werden.

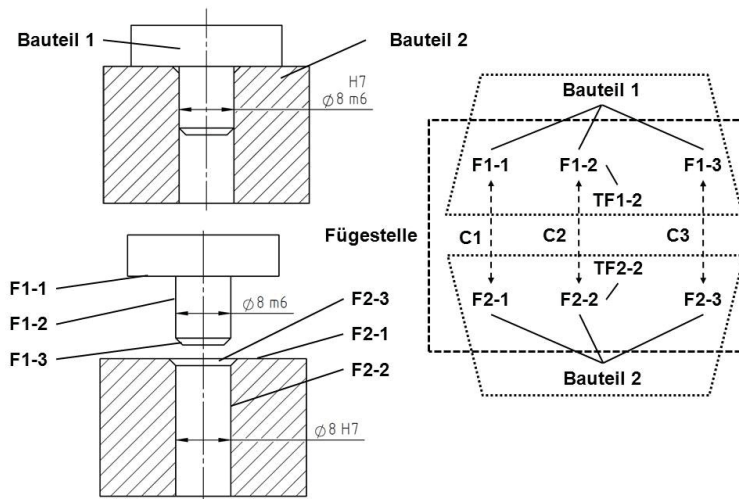


Abbildung 5: Fügestelle zwischen zwei Bauteilen, bestehend aus mehreren Kontaktflächenpaarungen (mit C – Kopplung, F1-1 – Kontaktfläche 1 von Bauteil 1, TF – Toleranz an der Kontaktfläche 1)

Die Montagerichtung und der -drehwinkel können derzeit nur aus den vorliegenden Freiheiten an der Fügestelle im eingebauten Zustand (abgebildeter Zustand im CAD-Modell) abgeschätzt werden. Eine genauere Betrachtung würde eine komplette kinematische Simulation des Montagepfades ausgehend von einem Startpunkt unter Berücksichtigung der Kollisionen mit den anderen Komponenten verlangen.

4 Einbindung in den Entwicklungsprozess

Der Produktentwickler durchläuft viele Synthese-Analyse-Bewertungs-Schleifen, damit alle relevanten Soll-Produkteigenschaften hinreichend realisiert werden. Dabei ist zu beachten, dass eine Veränderung von Produktmerkmalen zur Verbesserung irgendeiner anderen Eigenschaft sofort auch Einfluss auf den Montageaufwand und damit auf die Montagekosten haben kann. Eine frühzeitige und schnelle – im Sinne von wenig Aufwand für den Produktentwickler – Rückmeldung über die mit den festgelegten Produktmerkmalen verursachten Montagekosten wäre daher sehr hilfreich. Damit der Produktentwickler seine Konstruktionsumgebung nicht verlassen muss, ist eine Einbindung des Analyseprogramms in das CAD-System sinnvoll.

Damit die Änderungen an den Produktmerkmalen in den Iterationsschleifen erfasst werden, sollte das Analyse-Programm zwei Modi besitzen. Neben einer kompletten Analyse des gesamten Modells sollte eine partielle Analyse für veränderte Komponenten (bei Veränderung der Produktmerkmale) durchgeführt werden. Hierfür kann das »Event«-Management der CAD-Systeme eingesetzt werden. Vor und nach einer Änderung werden sogenannte »Callback«-Funktionen aufgerufen, sodass die Änderungen erfasst werden können (siehe Abbildung 7).

Für eine Bewertung der Montagekosten müssen diese dem Produktentwickler geeignet präsentiert werden. Die Präsentation darf den Entwicklungsprozess aber auch nicht behindern. In der ersten Umsetzung wurde hierfür ein kleiner Dialog geschaffen, welcher die wesentlichen Informationen über die Montagezeiten, kosten und die

	Kegel	Zylinder	Ebene	Kugel	Torus
Kegel					
Zylinder					
Ebene					
Kugel					
Torus					

Tabelle 1: Auswertbare Flächenpaarungen (grau)

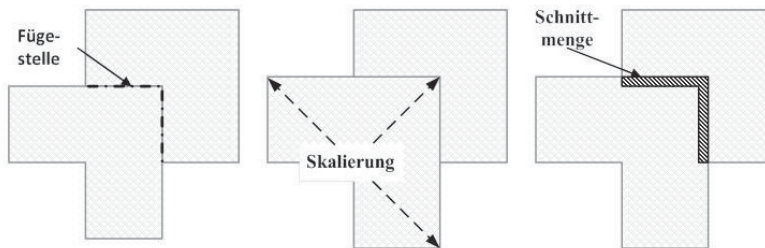


Abbildung 6: Ermittlung der Kontaktflächenpaarungen

notwendigen Montagestationen beinhaltet (siehe Abbildung 8 (a)). In vielen Fällen ist es jedoch sinnvoll, sich die Analyseergebnisse detaillierter anzusehen. Sind beispielsweise Passungen im CAD-Modell nicht hinterlegt oder werden diese falsch erkannt, so werden die darauf aufbauenden Montagezeiten und -kosten verfälscht. Daher hat es sich als sinnvoll erwiesen, neben einem kompakten Dialog für die kontinuierliche Präsentation der Analyseergebnisse zusätzlich einen erweiterten Dialog einzuführen, in welchem die einzelnen Analyseergebnisse detailliert dargestellt werden. Der Dialog zeigt zu jeder erkannten Fügestelle die ermittelte MTM-Passungsklasse (siehe Abbildung 9). Der Produktentwickler kann die Passungsklassen bei Bedarf – vorerst ohne Rückwirkung auf das virtuelle CAD-Modell – auch manuell editieren.

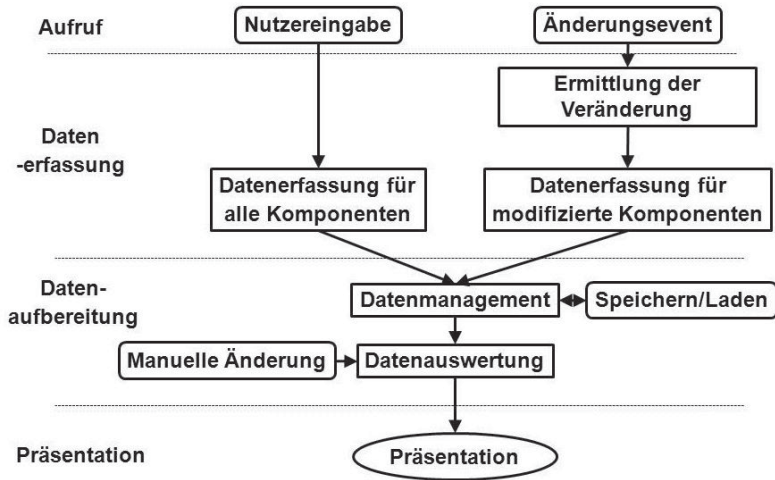


Abbildung 7: Programmablauf mit Datenerfassung und -auswertung

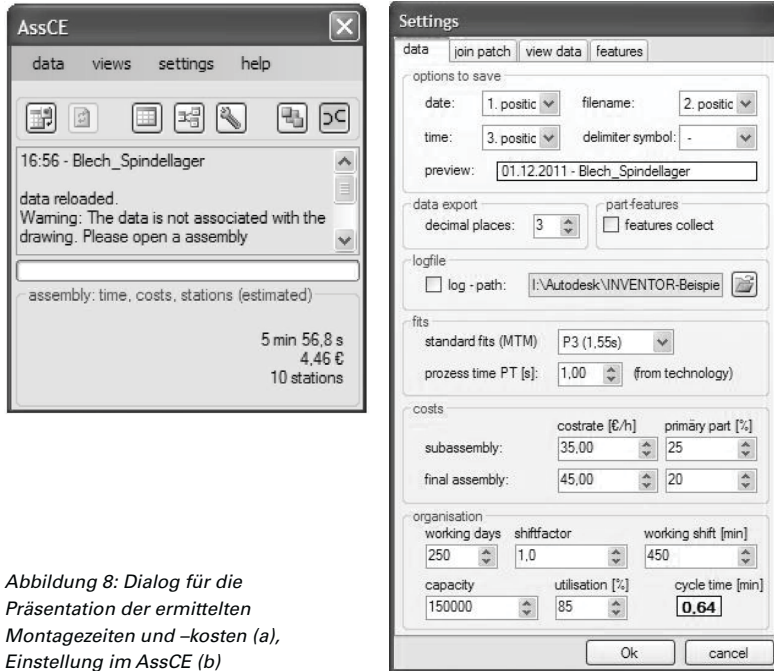


Abbildung 8: Dialog für die Präsentation der ermittelten Montagezeiten und -kosten (a), Einstellung im AssCE (b)

Zur Justierung der Analyseparameter wird ein Dialog bereitgestellt (siehe Abbildung 8 (b)), in dem unter anderem unternehmens- und produktspezifische Werte für die Standardpassung, die Kostensätze sowie die für die Abschätzung der notwendigen Montagestationen notwendigen organisatorischen Daten festgelegt werden.

Anwendungsbeispiel

Abbildung 9 zeigt die Anwendung des entwickelten Programms AssCE am Beispiel eines Spindellagers, welches unter anderem zur Verifikation des Programms verwendet wurde. Bei dem Modell handelt es sich um ein natives Autodesk INVENTOR-Modell. Das Modell ist parametrisch voll definiert und fast alle Toleranzen sind als semantische Informationen mit dem Modell abgelegt. Mit dem Programm AssCE können 44 der 46 Fügstellen automatisch erkannt und die Parameter ermittelt werden. Abbildung 9 zeigt weiterhin den kompakten Dialog für die dauerhafte Präsentation der Analyseergebnisse sowie den erweiterten Dialog für die Auswertung der einzelnen Fügstellen. Über den erweiterten Dialog kann der Konstrukteur die ermittelten Fügstellenparameter bei Bedarf manuell anpassen, sodass die Ermittlung der Montagezeiten und -kosten genauer wird.

Zusammenfassung

Ausgehend vom erweiterten MTM-Verfahren wurde das Programm AssCE entwickelt. Innerhalb des methodischen und programmtechnischen Werkzeugs für den Prozess der Montageplanung IL-MOPLAN (Interaktive Layout- und Montageplanung in Holle 2002) wurden die Parameter und Einflüsse aus dem Produktentwurf (vor allem Toleranzen und Passungen, aber auch Masse, Zielkoordinaten und Fügerichtungen) für die MTM-Codierung und Zeitableitung genutzt und ein direkter Bezug zum Produktentwurf geschaffen. Aus den vorbestimmbaren Zeiten für die PRIMÄR-Montage (aus dem FÜGEN nach MTM) wird über eine Relation zur SEKUNDÄR-Montage eine wahrscheinliche Gesamtzeit errechnet. Die Zuordnung von Prozessdaten (Arbeitszeitfonds, Fertigungsmenge, ...) lässt die Abschätzung der benötigten Montagestationen zu. Die

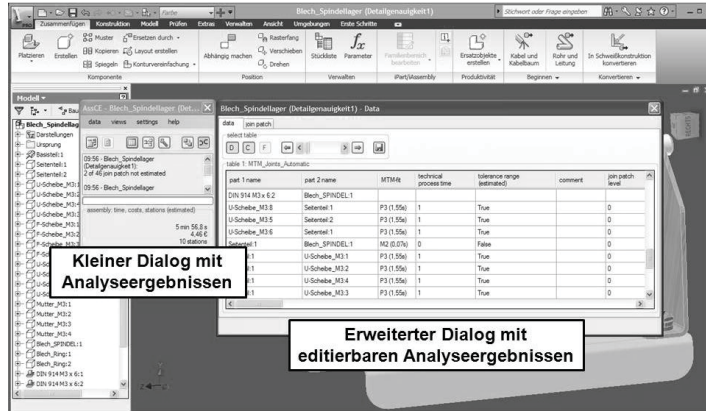


Abbildung 9: Analyseergebnisse für das Spindellager (Konstruktorsfassung)

Übergabe der Produktinformationen aus AssCE in die spätere Montageplanung geht erheblich weiter als bei der üblichen Vermittlung von Ergebnissen aus dem Konstruktionsprozess an den Planer z.B. durch Zeichnungen, weil eine direkte rechnergeführte Analyse der Rechnerinterne Darstellung (RID) als Quelle der Planungsinformationen für den Planungsprozess genutzt wird. Damit wird auch eine weiterführende feste Anbindung der Planungsarbeit für Montagen an die Konstruktionsergebnisse geschaffen.

Die Daten aus AssCE werden für die rechnerunterstützte Montageplanung in Dateien bereitgestellt und dann einfach in ILMOPLAN übernommen. Der Datenfluss führt dadurch aus der RID über die Montageplanung bis hin zur automatischen Generierung von Dokumentationen als Listen, Prozessmodelle/Zeichnungen und Unterweisungsvideos. Die direkte Kopplung der Planungsarbeit an CAD-Systeme und die Entwicklungs- und Konstruktionsarbeit erfordert bereits in der Produktentwicklung konsequente 3D-Modellierung im CAD-System sowie eine möglichst weitgehende Beschreibung der konstruktiven Lösung. Leider fehlen in der Praxis oft Toleranzen und Passungen, Materialzuordnungen oder korrekte Komponentenverknüpfungen.

Literaturverzeichnis

- Antis, William; jr., John M. Honeycutt; Koch, Edward N. 1969:
Die MTM-Grundbewegungen. Bd. 1. Düsseldorf: H.B. Maynard & Co.,
- Hilmer, Florian 2010: Ermittlung technologischer Informationen auf Basis
parametrischer 3D-CAD-Modelle. Thesis, Medienproduktion
- Höhne, Günter; Husung, Stephan; Lotter, Eberhard; Weber, Christian 2009:
Virtuelle Produktentwicklung unter Nutzung eines audiovisuellen VR-Systems.
In: Konstruktion 10/2009 Nr. 61, S. 52–58
- Holle, Wolfgang 2002: Rechnerunterstützte Montageplanung, Montageplanung und
Simultaneous Engineering. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Husung, Stephan; Sander, Martin; Weber, Christian; Höhne, Günter 2008:
Optimierung der CAD-VR Datenaufbereitung zur Erzeugung funktionsrelevanter
Modellstrukturen, In: Jürgen Gausemeier, Michael Grafe (Hrsg.) 7. Paderborner
Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, S. 79–93
- Kirchner, Annegret; Husung, Stephan; Krömker, Heidi; Metag, Sebastian 2007:
Functional Investigations of Mechanisms using CAD-modeled Constraints,
Proceedings of 10th International Conference on Humans and Computers,
Düsseldorf, 2007, University of Aizu, Japan, 13. -15. 12.2007, S. 59–64
- Krause, Werner 2004: Konstruktionselemente der Feinmechanik.
3., stark bearb. Aufl. Ed. München: Hanser.
- Lotter, Bruno 1992: Wirtschaftliche Montage. Ein Handbuch für Elektrogerätebau und
Feinwerktechnik. 2., erw. Aufl. Ed. Düsseldorf: VDI-Verlag
- Lotter, Bruno; Schilling, Werner 1994: Manuelle Montage. Planung –
Rationalisierung – Wirtschaftlichkeit. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Weber, Christian; Husung, Stephan 2011: Virtualisation of product development/
design – seen from Design Theory and Methodology, Proceedings of 18th
International Conference on Engineering Design (ICED'11), S. 226–235

Kontakt

Dipl.-Ing. Stephan Husung
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Konstruktionstechnik
stephan.husung@tu-ilmenau.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Holle
modest Montage-Design-Studio
holle@modest-suhl.de

