

3D-CAD-Modelle und deren Implementierung in Kundendokumentationen – Nutzen und Verwendungsmöglichkeiten im Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus (KMU)

eingereicht am 01.04.2015

von

Juliana Munzel | In de Stroot 7 | 21640 Neuenkirchen

Matrikel-Nr.: 212208533

Betreuender Gutachter:

Dr.-Ing. Jens Uwe Jendroßek

DIN-NSMT im DIN e. V.

Frankenstraße 18 b

20097 Hamburg

Zweitgutachterin:

Prof. Dr. Britta Görs

Dorotheenstraße 55

22301 Hamburg

Drittgutachter:

Prof. Dr.-Ing. Bodo Urban

Universität Rostock

J.-Jungius-Straße 11

18059 Rostock

Vorwort der Verfasserin

„Lerne, lerne alles, was dir möglich ist. Bildung ist das Einzige, das dir niemand nehmen kann.“ [Volksmund]

Die vorliegende Masterarbeit habe ich berufsbegleitend erstellt. Ich möchte mich bei meiner Familie und Freunden sowie bei der Geschäftsführung und Kollegen der Gogolin & Co. KG für deren Unterstützung bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Jens Uwe Jendroßek als meinem betreuenden Gutachter und Herrn Prof. Dr.-Ing. Günter Kühnel sowie Herrn Thomas Underberg (Ing.-Büro Underberg, Kiel). Mit ihrer aktiven praxisbezogenen Hilfe konnte ich mich in dem begrenzten Zeitrahmen erfolgreich in das Gebiet der 3D-Konstruktionstechnik einarbeiten.

Frau Prof. Dr. Britta Görs und Herrn Prof. Dr.-Ing. Bodo Urban danke ich für ihre Hinweise zum strukturellen Aufbau und zur wissenschaftlichen Methodik.

Weiterhin bedanken möchte ich mich bei der Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH, TireTech Group. Die Konstruktionsabteilungen der Produktbereiche Reifenaufbauanlagen und Heizpressen ermöglichten mir das Arbeiten mit deren 3D-MCAD-System und ausgewählten 3D-Modellen.

Neuenkirchen (Altes Land), März 2015

Abkürzungen

2D	Zweidimensional (Flächenkoordinaten)
3D	Dreidimensional (Raumkoordinaten)
3DVS	3DViewStation (3D-Viewer)
B-REP	Boundary Representation
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Process Planning
CAX	Computer Aided x (Anwendungen im Rahmen des PLM)
CGM	Computer Graphics Metafile Convergence Geometric Modeller
CNC	Computerized Numerical Control
COLLADA	Collaborative Design Activity
CSG	Constructive Solid Geometry
DIN	Deutsches Institut für Normung
DXF	Drawing Interchange File
EN	Europäische Norm
ERP	Enterprise Resource Planning
HTML	Hypertext Markup Language
IEC	International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission)
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ISO	Internationale Organisation für Normung (aus dem Griechischen ἴσος → <i>isos</i> = gleich)
JT	Jupiter Tessellation
KML	Keyhole Markup Language
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
MCAD	Mechanical CAD
NURBS	Non uniform, rational B-Spline
PDF	Portable Document Format
PDM	Product Data Management (Produktdatenmanagement)
PLM	Product Lifecycle Management (Produktlebenszyklus-Management)
PMI	Product Manufacturing Information

PRC	3D Product Representation Compact Format
SDNF	Steel Detailing Neutral Format
SMM	Shipbuilding, Machinery & Marine Technology
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
STL	Stereolithographie
TD	Technische Dokumentation
tekomp	Gesellschaft für Technische Kommunikation e. V.
U3D	Universal 3D
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDAFS	Verband der Automobilindustrie – Flächen-Schnittstellen
VDAIS	Verband der Automobilindustrie – IGES Subset
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language
XML	Extensible Markup Language

Inhalt

Vorwort der Verfasserin.....	1
Abkürzungen	2
1. Einleitung.....	7
1.1 Problemstellung	7
1.2 Ziel dieser Arbeit.....	9
1.3 Vorgehen in dieser Arbeit	10
2. Technisches Grundwissen.....	14
2.1 TD im Maschinenbau.....	16
2.2 Recherchen (Fragenkataloge)	18
2.2.1 Fragetechniken für Recherchen.....	19
2.2.2 Rechercheinterviews	20
2.3 3D-Konstruktion	22
2.3.1 Modelle in 3D-MCAD-Systemen	23
2.3.2 Werkzeuge für die Bauteilkonstruktion.....	26
2.3.3 Werkzeuge für die Flächenkonstruktion	28
2.3.4 Abhängigkeiten zwischen Features	28
2.3.5 Baugruppenkonstruktion	29
2.4 3D-Modellierkerne	30
2.5 3D-Datenaustausch	33
2.5.1 Produktdatenmanagement (PDM)	34
2.5.2 3D-Datenformate für die Archivierung.....	37
3. Datenaustausch mit 3D-MCAD-Systemen.....	38
3.1 Systemauswahl.....	41
3.1.1 3D-MCAD-Systeme in KMU – Dienstleister, Zulieferer.....	45
3.1.2 3D-MCAD-Systeme in KMU – Hersteller.....	46

3.2	Genutzte 3D-Modellierkerne	46
3.3	3D-(CAD)-Datenformate	49
3.3.1	Vorgehensweise bei der Recherche	50
3.3.2	Aufbereitung der Rechercheergebnisse	52
3.3.3	Native 3D-CAD-Datenformate.....	53
3.3.4	Neutrale 3D-Datenformate (Normen/Standards).....	57
3.3.5	Norm ISO 10303-242 (STEP AP 242).....	73
3.3.6	Norm ISO 14306 (JT)	75
4.	Bearbeitung der 3D-Modelle in der TD	79
4.1	3DViewStation – Import-Datenformate	80
4.2	3DVS – Bauteile selektieren	81
4.3	3DViewStation – Bauteile messen.....	82
4.4	3DVS – Schnitt- und Explosionsdarstellungen	83
4.5	3DVS – Grafiken erzeugen	84
4.6	3DVS – Export-Datenformate (3D)	85
4.7	3DVS – Animationen erzeugen.....	85
5.	Schlussfolgerungen	86
5.1	3D-Datenaustauschformate, nativ oder neutral	86
5.2	Effizienter 3D-Datenaustausch	88
5.2.1	Qualität des 3D-CAD-Modells	88
5.2.2	Datenaustausch Konstruktion – TD	90
5.2.3	Probleme beim Datenaustausch – Erfahrungsbericht	94
5.3	Aufbereiten der 3D-Modelle	98
5.4	Ausblick	99
	Glossar.....	100
	Abbildungsverzeichnis.....	104

Tabellenverzeichnis.....	105
Literaturverzeichnis	106
Erklärung, zur vorliegenden Arbeit.....	110
Anhang.....	111

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) des Anlagen- und Maschinenbaus konstruieren ihre Produkte zunehmend als dreidimensionale Modelle. Die 3D-CAD-Modelle sind nicht nur Basis für Entwicklungs- und Analyseprozesse (→ CAE) sowie die Fertigung (→ CAM). Sie werden zunehmend auch genutzt, um Anlagen und Maschinen für verschiedene Zielgruppen zu beschreiben. 3D-CAD-Modelle bilden eine Grundlage für Grafiken in Betriebsanleitungen. Des Weiteren lassen sich die Modelle nutzen für 3D-Visualisierungen und Animationen in Online-Publikationen.

Die als Produktbestandteil für Maschinen gesetzlich vorgeschriebenen Betriebs- bzw. Gebrauchsanleitungen^A werden von Technischen Redakteuren erstellt. Technische Redakteure sind Spezialisten für das Erstellen Technischer Dokumentation (TD). Sie nutzen u. a. die technischen Unterlagen der zu beschreibenden Anlage bzw. Maschine, um Informationen zu deren technischen Daten, Funktionen oder zu vorgesehenen Arbeiten an und mit der Anlage bzw. Maschine zusammenzutragen.

Die 3D-CAD-Modelle liegen meist in verschiedenen Datenformaten vor. Diese sind vor allem abhängig vom 3D-CAD-System, mit dem die Anlage bzw. Maschine konstruiert wurde. Meist hat der Technische Redakteur keinen direkten Zugriff auf dieses 3D-CAD-System. Die Daten des 3D-CAD-Modells müssen vom Konstrukteur exportiert werden. Der Technische Redakteur importiert die Daten anschließend in ein geeignetes 3D-CAD-Werkzeug – oft einem 3D-Viewer. Grundsätzlich bieten sich für diesen Datenaustausch neutrale Datenformate wie das genormte STEP an.

Mit einem geeigneten 3D-Viewer lässt sich das 3D-CAD-Modell eines zu beschreibenden Produkts durch Drehen, Ausblenden von Produktteilen oder Zoomen grafisch aufbereiten. Dies ist aus Sicht der Verfasserin ein großer Vorteil gegenüber den klassischen 2D- oder auch isometrischen Zeichnungen mit ihren genormten Ansichten. Die Grafiken für die Anleitung können jetzt eine Sicht auf das Produkt wiedergeben, wie sie auch die betreffende Zielgruppe in den zu beschreibenden Handlungssituationen hat.

Ein weiterer Vorteil von 3D-Modellen gegenüber 2D-Zeichnungen ist deren Eindeutigkeit. Ein Produkt wird in einer 2D-Zeichnung durch verschiedene, definiert zueinander angeordnete Ansichten (Vorderansicht, Seitenansichten,

^A Siehe Maschinenrichtlinie MRL 2006/42/EG bzw. Produktsicherheitsgesetz ProdSG

Draufsicht, Untersicht, Rückansicht) dargestellt. Für Innenansichten werden Schnitte gezeichnet. 2D-Zeichnungen weisen einen nicht zu vernachlässigenden Abstraktionsgrad auf. Wenig geübten Nutzern fällt es schwer aus 2D-Zeichnungen die benötigten Informationen herauszulesen. Die Darstellung eines Produkts in einer 2D-Zeichnung über verschiedene Ansichten bedingt, dass Einzelheiten mehrfach in der Zeichnung zu sehen sind.

3D-Datenaustausch

Der Austausch der 3D-CAD-Modelldaten zwischen den Systemen ist nicht immer reibungslos.

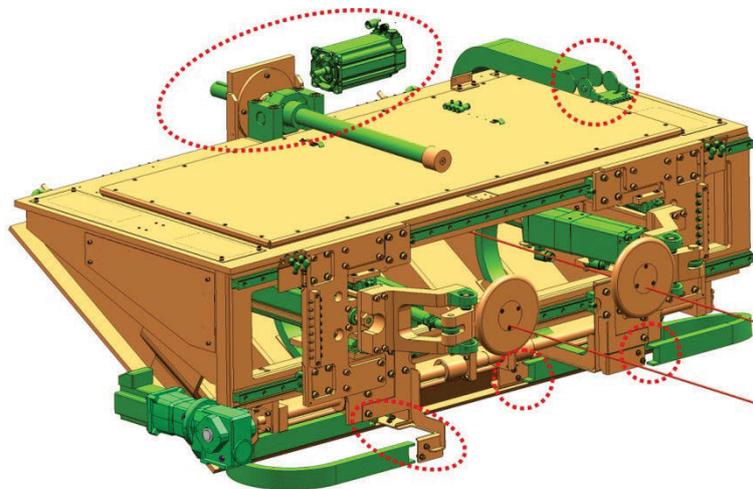


Abbildung 1: Fehlerhafter 3D-Datenaustausch (STEP)^B

In der Praxis können Produktteile im exportierten 3D-Datenformat fehlen, obwohl das originale 3D-CAD-Modell vollständig ist, siehe Abbildung 1.

Für die Verfasserin kamen zu Beginn dieser Arbeit als mögliche Fehlerursachen in Betracht:

- die Exporteinstellungen der 3D-CAD-Software
- fehlerhaft strukturierte 3D-CAD-Modelle

Eine grundlegende Ursache dürfte allerdings auch darin liegen wie der 3D-Datenaustausch für native und neutrale 3D-Datenformate definiert ist und wie die unterschiedlichen 3D-CAD-Systeme den Datenexport generieren.

^B Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH, TireTech Group – Baugruppe „Schulteranroller“

1.2 Ziel dieser Arbeit

Das 3D-Datenaustauschformat muss ein fehlerfreies 3D-CAD-Modell ohne Korrekturläufe liefern. Nur so können Grafiken effizient für Beschreibungen und Handlungsabläufe in Betriebsanleitungen erstellt werden.

Die Verfasserin möchte einen Prozessablauf erarbeiten, wie 3D-CAD-Modelle vor allem durch externe Dienstleister bei deren Kunden angefordert werden können, mit den Zielen:

- Zeiten für die Datenbeschaffung zu reduzieren
- Modellansichten effizient in Grafiken umzusetzen

Das Masterarbeitsthema lässt sich in zwei Themenschwerpunkte unterteilen: *Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation* sowie *Aufbereiten der 3D-CAD-Modelle für Anleitungen*. Beide Themen sind komplex. In welcher Form 3D-Modelle in Anleitungen verwendet werden, hängt in entscheidendem Maße ab:

- von dem Ausgabemedium, in dem diese publiziert werden

Plant der Hersteller seine Produkt begleitende Anleitung ausschließlich in Papierform zu liefern und diese ggf. als PDF-Dokument auf seiner Website bereitzustellen, sind vor allem aussagefähige, in die Dokumentstruktur integrierte Grafiken wichtig.

Erheblich vielfältiger gestaltet sich der Einsatz von 3D-Modellen in Online-Publikationen. So lassen sich 3D-PDF-Modelle in PDF-Dokumente einbinden. Der Nutzer kann sein Produkt individuell von allen Seiten betrachten. Weitere Beispiele sind Produktpräsentationen und Online-Bestellkataloge auf den Hersteller-Websites.

3D-Modelle lassen sich als Basis für Animationen nutzen. Mit 3D-CAD-Animationen können vor allem Handlungsschritte für Wartungs- und Reparaturarbeiten anschaulich visualisiert werden.

Auch Anleitungen als Multimediaanwendungen sind realisierbar.

- von der Zielgruppe

Die Zielgruppe bestimmt, in welchem Maße ein 3D-Modell aufzubereiten ist. Für hochpreisige Produkte oder Produkte mit hohem Sicherheitsaspekt, wie Medizingeräte, sollten gerenderte fotorealistische Modelle eingesetzt werden. Das Gleiche gilt, wenn Anleitungen für die Produktwerbung genutzt werden.

Die Verfasserin hat sich entschieden, ihre Arbeit auf den Themenschwerpunkt *Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation* zu fokussieren. Die effiziente Bereitstellung der 3D-Modelldaten ist eine entscheidende Voraussetzung dafür, dass die 3D-Modelle erfolgreich für Produktdokumentationen aufbereitet und genutzt werden können. Die Verfasserin fand während ihrer ersten Recherchen keine Publikationen, die sich mit dem 3D-Datenaustausch aus redaktioneller Sicht beschäftigen. Das Thema 3D-Datenaustausch hat seinen Schwerpunkt in der Produktentstehung und damit vor allem im Bereich des Maschinenbaus.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick geben, mit welchen 3D-Datenformaten der notwendige 3D-Datenaustausch innerhalb der Produktentwicklung durchführbar ist. Dabei ist für die Verfasserin von zentralem Interesse, welche 3D-Formate sich vor allem für den Austausch der 3D-Modelldaten zwischen der Konstruktion und der Technischen Dokumentation eignen.

1.3 Vorgehen in dieser Arbeit

Um einen optimalen Weg zu erarbeiten, auf dem sich der Technische Redakteur die 3D-Modelldaten bei der Konstruktion beschaffen kann, ist grundlegendes Wissen zu den verfügbaren 3D-Datenaustauschformaten notwendig. Dieses Wissen allein reicht aber nicht.

Wer als Technischer Redakteur den Anspruch hat, gemeinsam mit Konstrukteuren den Prozessablauf für den Datenaustausch festzulegen, muss sich aus Sicht der Verfasserin mit den Grundlagen der 3D-Konstruktion befassen. Modelleigenschaften ergeben sich auch aus angewendeten Modelliermethoden. Vor allem müssen unterschiedliche Modellarten berücksichtigt werden.

Konstrukteure sind seit Jahren mit dem 3D-Datenaustausch zwischen 3D-CAX-Systemen konfrontiert, der aus vielfältigen Gründen fehlerhaft sein kann. Dieses Erfahrungswissen können Technische Redakteure für sich nutzen.

Diesem einleitenden Teil folgt das Hauptkapitel 2 „Technisches Grundwissen“. Es thematisiert Rechercheinterviews und anwendbare Fragetechniken für die Informationsbeschaffung und vermittelt grundlegendes Wissen zur 3D-Konstruktion für Nicht-Konstrukteure.

Abbildung 2 visualisiert die thematische und strukturelle Gliederung dieser Arbeit.

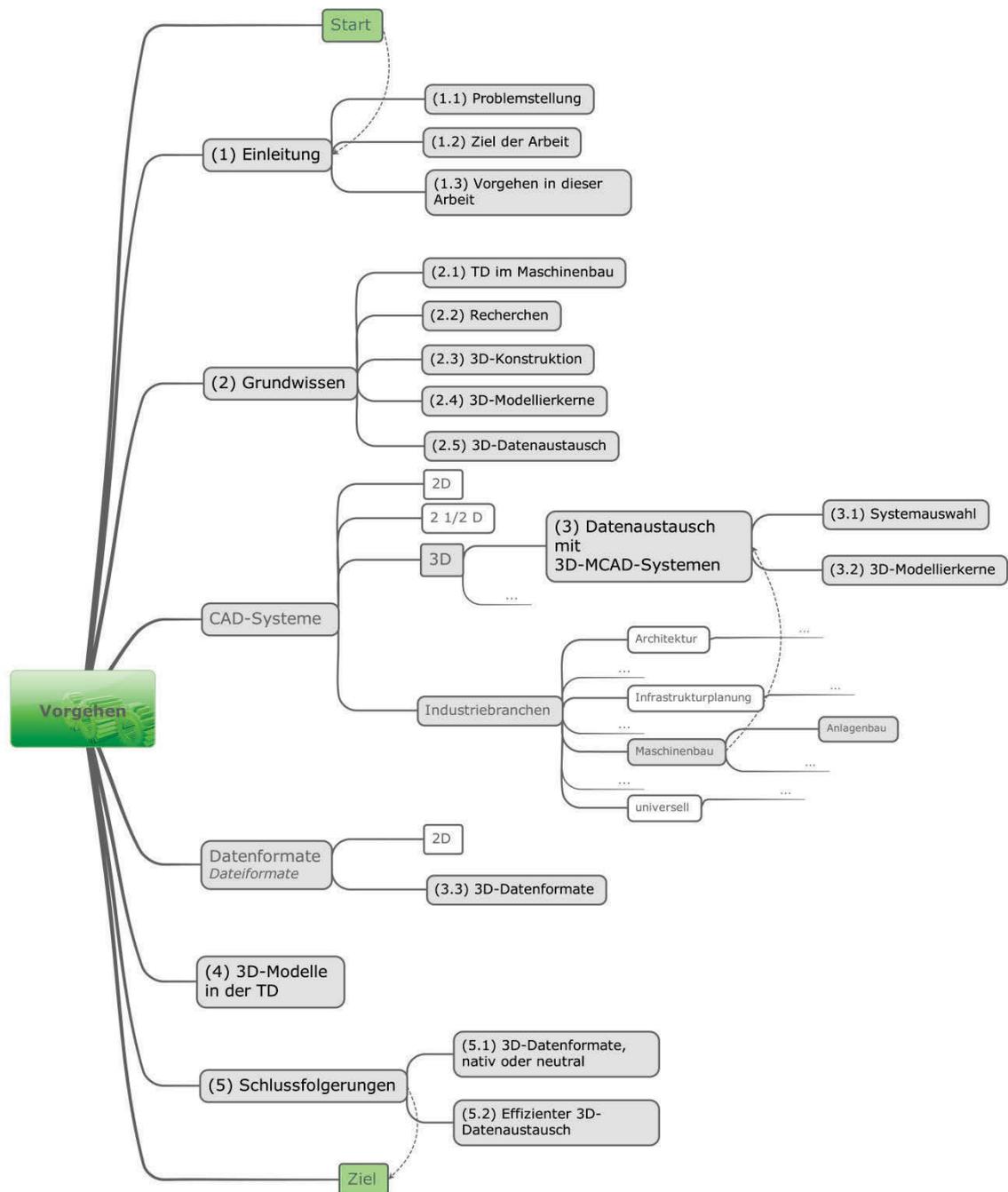


Abbildung 2: Chronologische Gliederung dieser Arbeit^C

^C Die MindMap illustriert, wie sich der Inhalt dieser Arbeit aus Sicht der Verfasserin in die beiden Themengebiete *CAD-Systeme* und *Datenformate* einordnen lässt. Betrachtet werden *3D-Datenformate*, die mechanische 3D-CAD-Systeme (3D-MCAD-Systeme) für den 3D-Datenaustausch nutzen. Die weiß hinterlegten Felder werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

Die vorliegende Arbeit ist chronologisch gegliedert. Sie bildet auf diese Weise das Vorgehen der Verfasserin ab, ausgehend von der Problemstellung über die eingeschlagenen Wege bis zu den Ergebnissen.

Das Vorgehen in dieser Arbeit ist auf die Anwendung ausgerichtet^D. Ein Ist-Zustand liegt vor. Ein Soll-Zustand ist das Ziel. Um das gewünschte Ziel zu erreichen, müssen Wege dorthin systematisch erarbeitet werden.

Ist-Zustand: Jedes native bzw. neutrale Datenformat ist für einen bestimmten Zweck konzipiert. Zu Beginn dieser Arbeit ergeben sich für die Verfasserin verschiedene Fragen:

STEP ist eine ISO-Norm^E. Worin liegen die Ursachen, wenn dieses genormte 3D-Datenaustauschformat fehlerhafte 3D-CAD-Modelle liefert?

Lassen sich weitere neutrale Datenformate für den 3D-Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation nutzen?

Welche Rolle spielen die nativen Datenformate der 3D-CAD-Systeme beim Datenaustausch?

Aus den gestellten Fragen ergibt sich für die Verfasserin notwendiges, zu erarbeitendes Wissen:

- vorwiegend in KMU des Anlagen- und Maschinenbaus eingesetzte 3D-CAD-Systeme
- unterstützte Export-Datenformate der 3D-CAD-Systeme
- nutzbare neutrale Datenformate
- STEP-Datenformat: Verwendungszweck, Konzept, übermittelte Daten, Pflege des Standards, Verbreitung

Konstrukteure und Technische Redakteure arbeiten mit unterschiedlichen Entwicklungsumgebungen. 3D-CAD-Systeme sind die konstruktive Entwicklungsumgebung für virtuelle Produkte. Mit modularen Erweiterungen lassen sich auch Simulationen und Analysen am virtuellen Produkt durchführen. Entsprechend komplex sind die Systeme in ihrer Handhabung.

Der Technische Redakteur möchte das produktive Ergebnis des Konstrukteurs für seine redaktionelle Arbeit nutzen: das 3D-Modell für das zu beschreibende Produkt. Er benötigt dafür eine Entwicklungsumgebung, mit der Nicht-Konstrukteure 3D-Modelle hinsichtlich ihrer Produktdarstellung

^D Wissenschaftliche Arbeitsmethode.

^E ISO 10303 „Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Produktdatendarstellung und -austausch“

bearbeiten, virtuelle Produkte vermessen und ggf. die Lage von Bauteilen oder Zwischenbaugruppen manipulieren können.

Oft sind für Technische Redakteure 3D-Viewer ausreichend, um 3D-Modelle für die Produktbeschreibung aufzubereiten. Etliche Hersteller von 3D-CAD-Systemen bieten kostenlose 3D-Viewer für ihre eigenen nativen Datenformate an. Universeller nutzbar und leistungsfähiger sind die käuflich zu erwerbenden 3D-Viewer.

Im Hauptkapitel 3 „Datenaustausch mit 3D-MCAD-Systemen“ ab Seite 38 beschreibt die Verfasserin ihr Vorgehen, um aussagefähige, belastbare Informationen für die wichtigsten von 3D-MCAD-Systemen unterstützten nativen und neutralen 3D-Datenaustauschformaten zu beschaffen. Die Ergebnisse aus den umfangreichen Recherchen sind visuell aufbereitet und beschrieben.

Im Hauptkapitel 4 „Bearbeitung der 3D-Modelle in der TD“ ab Seite 79 zeigt die Verfasserin an Hand einiger Beispiele, wie ein Technischer Redakteur ein 3D-Modell für seine redaktionellen Zwecke aufbereiten kann.

Im abschließenden Hauptkapitel 5 „Schlussfolgerungen“ ab Seite 86 bewertet die Verfasserin ihre theoretischen und praktischen Erkenntnisse aus den vorangehenden Hauptkapiteln und ordnet ihre Ergebnisse ein.

Die Verfasserin verwendet in dieser Arbeit bei nicht direktem Personenbezug die männliche Form der Berufsbezeichnungen.

2. Technisches Grundwissen

Der theoretische Teil dieser Arbeit vermittelt technisches Grundwissen aus dem Bereich der Konstruktionstechnik. Dieses Wissen ist aus Sicht der Verfasserin notwendig, um als Technischer Redakteur den Datenaustausch zwischen der Konstruktion und der Technischen Dokumentation aktiv mit festzulegen. Abbildung 3 stellt die Themen schematisch dar.

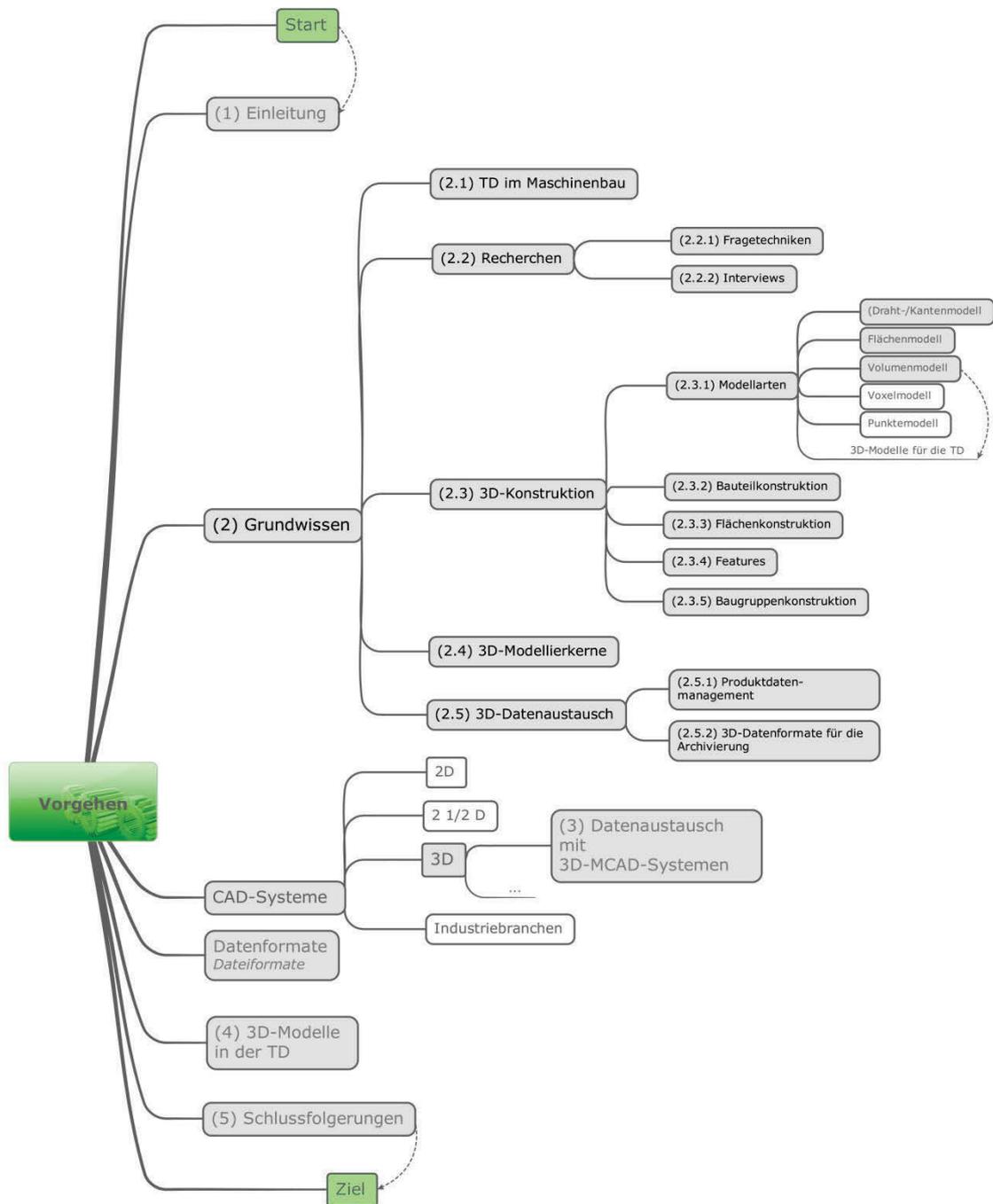


Abbildung 3: Hauptkapitel 2 „Technisches Grundwissen“

Zunächst beschreibt die Verfasserin mit welchen Herausforderungen Technische Redakteure konfrontiert werden, wenn sie Technische Dokumentationen (TD) in bzw. für KMU des Anlagen- und Maschinenbaus erstellen, siehe Kapitel 2.1 „TD im Maschinenbau“ ab Seite 16.

Das Gewinnen von Informationen über das zu beschreibende Produkt gehört zu den Kernkompetenzen Technischer Redakteure. Die Verfasserin führt im Kapitel 2.2 „Recherchen“ ab Seite 18 aus, welche Fragetechniken angewendet werden können, um einen Gesprächspartner zu interviewen. Ihre mehr als fünfzehnjährige redaktionelle Erfahrung, sich Wissen geplant, strukturiert und systematisch zu erarbeiten, ist vor allem für den praktischen Teil dieser Arbeit von Nutzen.

Die Erfahrung der Verfasserin ist: Wenige Technische Redakteure, die für KMU des Anlagen- und Maschinenbaus Technische Dokumentation erstellen, haben eine maschinenbauliche Ausbildung, vor allem nicht im Bereich der Konstruktionstechnik. Dies ist aus Sicht der Verfasserin auch nicht notwendig. Wichtig sind technisches Verständnis, regelmäßiges Lernen im Kontext einer konkreten Aufgabenstellung und vor allem das Wissen wie eine Technische Dokumentation professionell und effizient erstellt wird. Insbesondere Technische Redakteure externer Dienstleister sind herausgefordert, den 3D-Datenaustausch mit der Konstruktion des Auftraggebers für die eigene Arbeit festzulegen. Hier ist ein Grundwissen zum Entstehungsprozess virtueller Produkte hilfreich. Das Kapitel 2.3 „3D-Konstruktion“ ab Seite 22 liefert grundlegende Informationen zur Volumen- und Flächenmodellierung.

Wer sich mit 3D-CAD-Systemen beschäftigt, setzt sich auch mit deren strukturellem Aufbau auseinander. Die Verfasserin erkannte in ihren Recherchen schnell, dass 3D-Modellierkerne auch hinsichtlich des 3D-Datenaustausches von Bedeutung sind. Im Kapitel 2.4 „3D-Modellierkerne“ ab Seite 30 werden Grundkenntnisse zu diesem Thema wiedergegeben.

Um Daten auszutauschen, müssen diese gespeichert werden. Diese Tatsache gilt natürlich auch für die komplexen geometrischen und nichtgeometrischen Daten sowie zugehörigen Strukturinformationen der 3D-Modelle. 3D-CAD-Daten können autark von 3D-CAD-Systemen verwaltet werden oder die CAD-Systeme sind in PDM-Systeme eingebunden, siehe Kapitel 2.5 „3D-Datenaustausch“ ab Seite 33.

2.1 TD im Maschinenbau

Dieses Kapitel gibt einen Überblick, welche konkreten Kenntnisse und Fähigkeiten kleine und mittlere Unternehmen (KMU) des Anlagen- und Maschinenbaus mehrheitlich von Technischen Redakteuren erwarten. Die Aussagen basieren vor allem auf der langjährigen redaktionellen Tätigkeit der Verfasserin.

Erstellen Technische Redakteure Betriebsanleitungen für Anlagen oder Maschinen, müssen sie sich fundierte Grundkenntnisse aus Kernbereichen des Maschinenbaus aneignen. Nur so sind sie in der Lage, sich weitgehend selbstständig Informationen aus den technischen, produktbegleitenden Unterlagen zu erarbeiten. Zu den relevanten technischen Unterlagen gehören:

- 2D-(Zusammenbau-)Zeichnungen mit Stücklisten
- elektrische, pneumatische, hydraulische Schaltpläne

Technische Redakteure, die nicht im Bereich des Maschinenbaus oder der Elektrotechnik ausgebildet sind, haben meist Schwierigkeiten, wenn sie sich aus Schaltplänen Informationen beschaffen sollen. Die Verfasserin kennt dies aus ihrer beruflichen Praxis. Das Erkennen funktionaler Zusammenhänge in Schaltplänen lässt sich nicht nebenbei erlernen. Mögliche Lernhilfen sind hier Softwareanwendungen, mit denen elektrische, pneumatische, hydraulische Schaltpläne gezeichnet und simuliert werden. Beispielfhaft soll hier die CAD- und Simulationssoftware OFT2 des Unternehmens OMEGON Teachware genannt werden. Die zum Lernen notwendigen Schulungsunterlagen sind Bestandteil dieses Softwarepakets.

Konstrukteure und Techniker sind Hauptansprechpartner, wenn Technische Redakteure notwendige Grundlagen- und Detailrecherchen durchführen. Ohne maschinenbauliche Grundkenntnisse haben Technische Redakteure Schwierigkeiten, zielführende Fragenkataloge für ihre Recherchen auszuarbeiten und deren Verlauf in ihrem Sinne zu gestalten. Fehlendes technisches Wissen führt dazu, dass Informationen weder effektiv gewonnen noch effektiv in beschreibenden oder handlungsanweisenden Text umgesetzt werden können.

Benutzerfreundliche Betriebsanleitungen zeichnen sich u. a. dadurch aus, dass:

- deren Inhalt zielgruppenorientiert und klar gegliedert ist
- eine professionelle Textgestaltung das Lesen und Verstehen unterstützt
- das Textverständnis mittels integrierter Grafiken / Illustrationen optimiert ist

Technische Redakteure sind nicht nur Spezialisten für das Strukturieren und Schreiben technischer Texte. Dokumentationsabteilungen in KMU des Anlagen- und Maschinenbaus und externe Dienstleister, die Technische Dokumentation für diese Industriebranche erstellen, verfügen nicht immer über ausreichende Personalkapazitäten, um Grafiken ausschließlich von Illustratoren erstellen zu lassen. In diesen Unternehmen müssen Technische Redakteure in der Lage sein, die für ihre Anleitungen notwendigen Grafiken selbst zu generieren.

Mögliche Grafikquellen sind Fotos, 2D-Zeichnungen, isometrische Zeichnungen und 3D-CAD-Modelle.

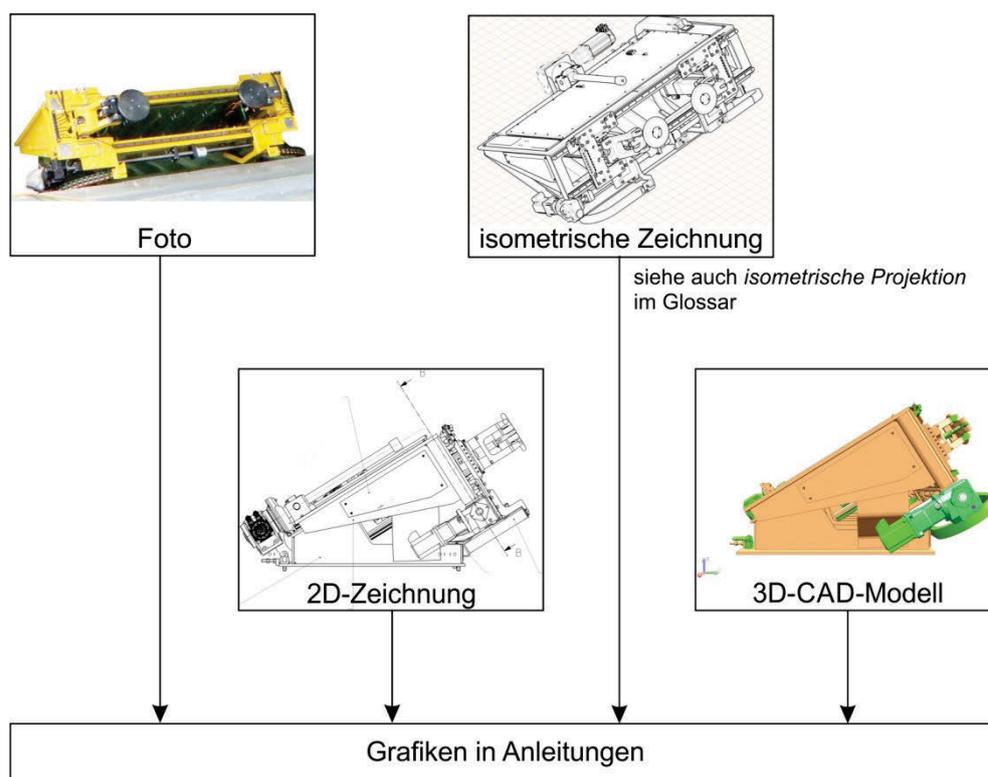


Abbildung 4: Mögliche Grafikquellen für Anleitungen^F

Um Grafiken aus den verschiedenen Datenquellen für redaktionelle Zwecke aufzubereiten, muss der Bearbeiter Kenntnisse haben über die

^F Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH, TireTech Group – Baugruppe „Schulteranroller“

unterschiedlichen Eigenschaften von Pixelgrafiken und Vektorgrafiken. Während Fotos ausschließlich als Pixelgrafiken vorliegen, können Zeichnungen sowohl als Vektor- als auch als Pixelgrafiken vorliegen. Dies hängt davon ab, wie die Zeichnungsdaten aus dem generierenden Programm exportiert wurden. Das jeweils vorliegende Datenformat gibt meist einen Hinweis, welcher Grafiktyp vorliegt. Im Originalformat sind 2D-Zeichnungen und isometrische Zeichnungen Vektorgrafiken. Aus den Eigenschaften von Pixelgrafiken und Vektorgrafiken ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten Grafiken für die Technische Dokumentation zu erstellen.

3D-CAD-Modelle stellen Technische Redakteure vor neue Herausforderungen. Mit einem geeigneten 3D-CAD-Werkzeug bieten sie dem Redakteur ein deutlich erweitertes Spektrum an Möglichkeiten. 3D-CAD-Modelle sind einerseits Ausgangspunkt, um Grafiken für redaktionelle Zwecke zu generieren. Sie lassen sich aber auch für Online-Publikationen aufbereiten und beispielsweise in PDF-Dokumente einbinden. 3D-CAD-Modelle können genutzt werden, um 3D-Animationen für Handlungssequenzen zu generieren. Aus den wenigen Beispielen ist bereits erkennbar: Wer 3D-CAD-Modelle für redaktionelle Zwecke aufbereiten möchte, muss nicht nur mit dem teilweise komplexen Funktionsumfang des 3D-CAD-Werkzeugs umgehen können. Notwendig sind auch Kenntnisse über den strukturellen Aufbau eines 3D-CAD-Modells und über die 3D-Datenformate, in denen diese von der Konstruktion bereitgestellt werden.

2.2 Recherchen (Fragenkataloge)

In diesem Kapitel werden einige Aspekte des vielschichtigen Themas Recherchen und Recherchetechniken vorgestellt.

Recherchen sind ein zentraler Bestandteil wissenschaftlicher Arbeiten. Das Recherchieren zählt auch zu den Kernkompetenzen Technischer Redakteure. Verschiedene Informationsquellen lassen sich dabei nutzen, wie Fachbücher, Fachzeitschriften, veröffentlichte wissenschaftliche Abschlussarbeiten oder im Internet publizierte Fachberichte. Nicht zu vergessen sind Normen und Richtlinien. Neben den Publikationen sind die Fachspezialisten selbst als Interviewpartner wichtige Informationsquellen.

Die Verfasserin nutzte Fachliteratur, um sich in die Themen 3D-MCAD-Systeme, 3D-Konstruktion und 3D-Datenaustausch zwischen den Systemen einzuarbeiten. Letzteres ist für diese Arbeit von zentraler Bedeutung.

Um zu erfahren welche konkreten Datenformate verschiedene 3D-MCAD-Systeme für den Datenimport und Datenexport unterstützen, nutzte die Verfasserin ausschließlich die Angaben der Systemhersteller. Dieses

Vorgehen stellt sicher, dass die Verfasserin aus ihrem Recherchematerial belastbare Erkenntnisse gewinnen und daraus Schlussfolgerungen für geeignete 3D-Datenaustauschformate zwischen der Konstruktion und der Technischen Dokumentation ziehen kann.

Erste Informationsquelle waren die Websites der Systemhersteller. In etlichen Fällen waren deren Online-Publikationen allerdings zu allgemein. Hier wandte sich die Verfasserin auf schriftlichem Weg an die Systemhersteller und bat um Auskunft.

Für die Einordnung und Bewertung des erarbeiteten Grundlagenwissens war es wichtig, dieses Wissen den praktischen Erfahrungen langjährig im Bereich der Entwicklung und Konstruktion tätiger Spezialisten gegenüber zu stellen. Die Verfasserin führte Recherchegespräche u. a. auf einer Fachmesse und einer Fachtagung^G.

Recherchegespräche müssen sorgfältig vorbereitet werden. Die Verfasserin informierte sich vorab über Ihre Interviewpartner, zum Beispiel über das Unternehmensprofil und mögliche Ansprechpartner. Mit dem zum Zeitpunkt der Recherchevorbereitung vorliegenden Grundlagenwissen stellte die Verfasserin einen kleinen Fragenkatalog zusammen.

2.2.1 Fragetechniken für Recherchen

Um Informationen bei einem Interviewpartner zu erfragen, gibt es verschiedene Fragetechniken. BAUMERT und REICH beschreiben diese ausführlich in ihrem Buch „Interviews in der Recherche“^H.

Grundsätzlich unterschieden werden offene und geschlossene Fragen. Bei offenen Fragestellungen kann der Interviewpartner seine Antworten recht frei und umfassend geben. Sie werden u. a. für qualitative Erhebungen genutzt. Offene Fragen bergen die Gefahr, dass der Interviewte vom Thema abweicht, die Interviewzeit abläuft und der Fragesteller seine Informationen unvollständig oder gar nicht bekommt. Zu bedenken ist auch, dass die Antworten oft umfangreich sind und vom Interviewer mit entsprechendem Aufwand ausgewertet werden müssen. Offene Fragen sind daher nur sinnvoll für kleine Interviews mit wenigen Gesprächspartnern.

Bei geschlossenen Fragestellungen kann sich der Interviewte nur zwischen den in der Frage angebotenen Antworten entscheiden. Er kann den Antworten zustimmen, diese ablehnen oder sich auch nicht festlegen. Geschlossene

^G SMM (Shipbuilding, Machinery & Marine Technology) in Hamburg am 12.09.2014 und tekomp-Jahrestagung in Stuttgart am 13.11.2014

^H BAUMERT, Andreas; REICH, Sabine: Interviews in der Recherche – Redaktionelle Gespräche zur Informationsbeschaffung. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer VS, 2012

Fragen werden u. a. für quantitative Befragungen über Formulare genutzt. Auf diese Weise können Informationen von vielen zu interviewenden Personen standardisiert beschafft werden. Die standardisierten Antworten lassen sich einfach auszählen. Bei geschlossenen Fragen hat der Interviewte keine Möglichkeit seine Antwort zu begründen oder aus seiner Sicht notwendige Informationen zu ergänzen. Diese Tatsache kann nachteilig sein.

Aus der praktischen Erfahrung bieten sich für die Verfasserin zu Recherchebeginn vor allem eingeschränkt offene Fragen an. Die Frage sollte das relevante Thema eingrenzen. Wenn sich die Interviewpartner nicht kennen, sollte der Interviewer vorab seinen eigenen Wissensstand kurz zusammenfassen. Dies gibt dem Interviewten die Möglichkeit, sich besser auf das Interview einzustellen und seine Antworten dem Wissen seines Gesprächspartners anzupassen. Im Gesprächsverlauf kann der Interviewer mit geschlossenen Fragen noch einmal prüfen, ob er das Gesagte richtig verstanden hat.

Der Rechercheur kann Fragen auch nutzen, um sein Recherchegespräch zu steuern. BAUMERT und REICH stellen in ihrem Buch diverse steuernde Frageformen¹ vor, erläutern deren Vorteile und Nachteile. Beschrieben werden u. a. Alternativfragen, emotionale Fragen, Motivationsfragen, Prüffragen, Zustimmungfragen oder Sekundärfragen (ergeben sich während des Gesprächs).

Die Rechercheinterviews der Verfasserin dienten dem Zweck ihr Grundlagenwissen zu erweitern und mit Hilfe der Erfahrungen ihrer Gesprächspartner Entscheidungen treffen zu können. Hier verbietet sich jede Frageform, die den Interviewten in irgendeiner Weise unter Druck setzt oder gar beleidigt. Höflichkeit ist oberstes Gebot.

2.2.2 Rechercheinterviews

Die Verfasserin verzichtete bei den mündlichen Rechercheinterviews auf einen Gesprächsmitschnitt. Die Gesprächspartner auf Messen oder Tagungen sind im Voraus meist unbekannt. Die verfügbare Gesprächsdauer ist nicht planbar. Auch der Gesprächsrahmen ist aus Sicht der Verfasserin für einen Mitschnitt ungeeignet.

Die Verfasserin hatte die Möglichkeit ein mehrstündiges Gespräch mit einem seit vielen Jahren selbstständig arbeitenden Konstrukteur zu führen. Hier verzichtete sie auf einen Audiomitschnitt. Sie weiß aus Erfahrung, dass Interviewte häufig verunsichert sind, wenn der Rechercheur sie darum bittet,

¹ BAUMERT, REICH; 2012. S. 83 - 89

das Gespräch für die spätere Auswertung aufzeichnen zu können. Der Interviewte hat ohnehin das Recht, den Recherchemitschnitt abzulehnen.

Informationsquellen im Kleinen waren und sind auch verschiedene Ansprechpartner, mit denen die Verfasserin beruflich zu tun hat.

In jedem Fall wurden im Anschluss an die Recherchegespräche die gesammelten Informationen aus den Notizen sowie aus der Erinnerung heraus aufbereitet und in Rechercheprotokollen schriftlich festgehalten. Bezieht sich die Verfasserin in dieser Arbeit auf Informationen, die sie aus den Rechercheinterviews bezogen hat, sind die Quellenangaben anonymisiert.

Fragenkatalog mündliche Rechercheinterviews

Konstruktionsdienstleister

- Welche 3D-MCAD-Systeme werden in Ihrem Haus eingesetzt?
- Wie realisieren Sie Ihren 3D-Datenaustausch mit den Kunden?
- Welche 3D-Datenaustauschformate werden intern bzw. extern genutzt?

Softwareanbieter für den automatisierten Datenaustausch von der Konstruktion zur Fertigung

- Wie realisieren Sie den 3D-Datenaustausch vom CAD-System zur Fertigung?
- Welche 3D-Datenaustauschformate werden genutzt?

Hersteller 3D-MCAD-Systeme (Schiffbau)

- Welche 3D-Datenaustauschformate unterstützen Ihre Software-Pakete?
- Wie werden die 3D-Daten zwischen den beiden Systemen ausgetauscht?

Ingenieurbüro

- Gibt es einen visuellen Unterschied zwischen einem Volumenmodell und einem Flächenmodell?
- Die großen Systemhäuser scheinen eher den direkten Datenaustausch untereinander mit den nativen 3D-Datenformaten zu verfolgen. Können Sie dieses Erkenntnis aus Ihrer langjährigen Erfahrung bestätigen?
- Wie lassen sich der Datenimport und Datenexport bei den verschiedenen 3D-MCAD-Systemen beeinflussen?
- Wie sind Ihre Erfahrungen beim Einsatz neutraler 3D-Datenaustauschformate?

Websites der Hersteller bzw. schriftliche Anfragen an die Hersteller für die betrachteten 3D-MCAD-Systeme, siehe auch Tabelle 1 „Ausgewählte 3D-MCAD-Systeme“ ab Seite 42.

- Für welche Betriebssysteme ist das 3D-MCAD-System konzipiert?
- Auf welchem 3D-Modellierkern basiert das 3D-MCAD-System?
- Welche Dateiformate unterstützt das 3D-MCAD-System beim Datenimport bzw. Datenexport?

2.3 3D-Konstruktion

Das Kapitel „3D-Konstruktion“ soll dem nicht konstruktionserfahrenen Leser einen Überblick geben zum komplexen Thema der dreidimensionalen CAD-Konstruktion. Körper und Flächen lassen sich im dreidimensionalen virtuellen Raum durch unterschiedliche Modelle abbilden. Diese 3D-Modelle sind im ersten Unterkapitel beschrieben.

Die vier sich anschließenden Unterkapitel geben einen grundlegenden Einblick in den konstruktiven Entwicklungsprozess dreidimensionaler Volumenmodelle und Flächenmodelle. Sie basieren auf den Ausführungen von VOGEL in „Einführung in CAD“.^J

Das computergestützte Konstruieren im dreidimensionalen virtuellen Raum unterscheidet sich vom 2D-CAD zunächst durch eine dritte Koordinate im Koordinatensystem. Beim kartesischen Koordinatensystem^K ist dies die Höhe Z. Hier bilden X und Y die zugehörige ebene Fläche.

Der Konstrukteur konstruiert ein Bauteil bzw. eine Baugruppe in 2D-CAD, indem er die für die Darstellung notwendigen Ansichten zeichnet. Dazu zählen die Vorderansicht, Seitenansicht(en) und die Draufsicht sowie Schnitte für Details. Diese Ansichten setzen sich zusammen aus Polygonen, Linien, Kreisen und Bögen.

Im Gegensatz zu zweidimensionalen Zeichnungen werden Bauteile bzw. Baugruppen in 3D-CAD als Modelle erstellt. Die auf die Besonderheiten des Maschinenbaus zugeschnittenen 3D-CAD-Systeme werden in dieser Arbeit, wie auch in der Literatur, als 3D-Mechanical-CAD-Systeme bezeichnet, kurz 3D-MCAD.

^J VOGEL, Harald: Einstieg in CAD. 2. Aufl. München Wien: Carl Hanser Verlag, 2004

^K vgl. sphärisches Koordinatensystem und zylindrisches Koordinatensystem

2.3.1 Modelle in 3D-MCAD-Systemen

Grundsätzlich werden bei der Modellierung mit 3D-MCAD-Systemen unterschieden: Kantenmodelle, Flächenmodelle und Volumenmodelle. Werden die geometrischen Daten der Konstruktionsobjekte über variable Parameter beschrieben, spricht man von Parametrischen Modellen.

Neben diesen Modellarten gibt es zwei weitere 3D-Modelle, die mit Flächenmodellen bzw. Volumenmodellen in Beziehung stehen: Voxelmodelle und Punktemodelle. Sie werden aus Gründen der Vollständigkeit im Rahmen dieses Kapitels kurz beschrieben, sind jedoch für diese Arbeit nicht von Bedeutung.

Kantenmodelle

Die Technische Regel VDI 2209 beschreibt Kantenmodelle wie folgt: „Ein Objekt wird [...] durch seine Kanten repräsentiert, die als Linienelemente [...] gespeichert werden. Kantenmodelle lassen sich aufgrund des minimalen Datenvolumens am Bildschirm schnell darstellen und bewegen [...]. Dieser Vorteil verliert allerdings mit der steigenden Leistung der Rechnersysteme an Bedeutung. Kantenmodelle sind in ihrer bildlichen Darstellung nicht eindeutig und in ihrer geometrischen Beschreibung nicht vollständig. Die Orientierung im Modell wird durch die „nicht flächige“ Darstellung erschwert. Im Gegensatz zu den beiden anderen Modellklassen [Flächenmodelle, Volumenmodelle] erschweren Kantenmodelle bei der Bildschirmdarstellung die eindeutige Identifizierung von „vorn“ und „hinten“ sowie von „innen“ und „außen“.“^L

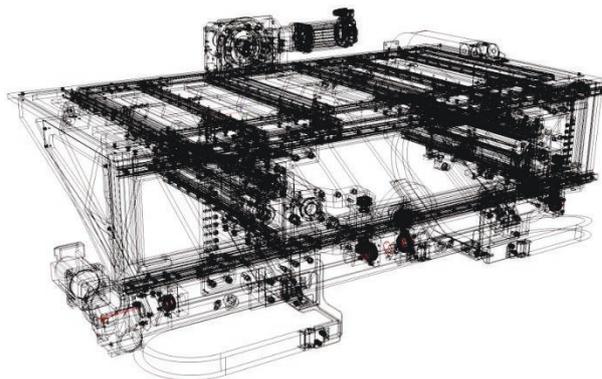


Abbildung 5: Beispiel für ein 3D-MCAD-Kantenmodell^M

Obige Abbildung illustriert das 3D-Modell einer Baugruppe als Kantenmodell.

^L Technische Regel VDI 2209:2009-03: 3-D-Produktmodellierung - Technische und organisatorische Voraussetzungen - Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen - Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis. S. 23/24

^M Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH, TireTech Group – Baugruppe „Schulteranroller“

In der Abbildung 5 sind real verdeckte Kanten als volle Linien dargestellt. Der Betrachter kann nur schwer den Vorder- und Hintergrund der Baugruppe erkennen. Bei dieser zusammengesetzten Baugruppe lassen sich Bauteile und Zwischenbaugruppen teilweise nicht zuordnen, da Informationen zu gefüllten Flächen fehlen.

CAD-Systeme und auch 3D-Viewer bieten für Kantenmodelle die Funktion *Hidden Line*. Für den Betrachter unsichtbare Kanten werden berechnet und ausgeblendet.

Flächenmodelle und Volumenmodelle

Für den Betrachter gibt es zwischen einem Flächen- und einem Volumenmodell keine visuellen Unterschiede. Die nachfolgende Abbildung kann das 3D-Modell einer Baugruppe sowohl als Flächen- als auch als Volumenmodell illustrieren.

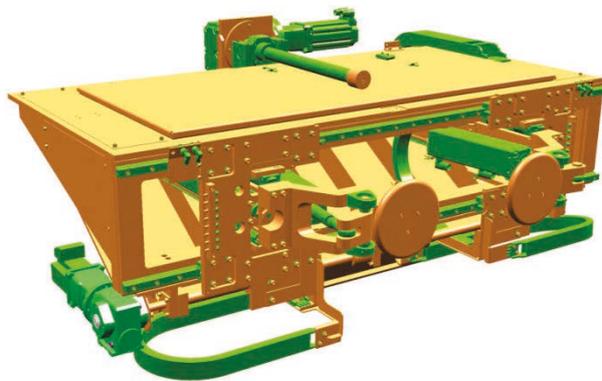


Abbildung 6: Beispiel für ein 3D-MCAD-Volumenmodell^M

Beim *Volumenmodell* liegen konstruktiv Körper vor, z. B. Quader. Diese sind durch einen Mittelpunkt gekennzeichnet, dessen Koordinaten die Lage des Volumenkörpers definieren. Beim *Flächenmodell* liegen konstruktiv Flächen vor. Ein Quader setzt sich aus sechs Flächen zusammen. Die Flächen haben jeweils einen eigenen Mittelpunkt, dessen Koordinaten die Lage der zugehörigen Fläche definieren.

Die Technische Regel VDI 2209 führt zu Flächenmodellen aus, dass sich „aufgrund der Randkurven- bzw. Isolinien-Darstellung [...] bei umfangreichen flächigen Gebilden die Orientierung im Modell“^N verschlechtert. „Auch wenn die Information über „vorn“ und „hinten“ gegeben ist, fehlt den Flächenmodellen [sic!], wie den Kantenmodellen, eine Information zu „innen“ und „außen“. Die Flächenmodellierung wird vorwiegend dort eingesetzt, wo

- eine volumenorientierte Modellierung nicht sinnvoll ist (z.B. Blechteile, Karosseriebau),
- einzelne Flächen aufgrund ihrer geometrischen Komplexität zumindest zeitweilig separat vom Volumen modelliert werden müssen (z.B. bei Guss- und Schmiedeteilen) und
- fertigungstechnische Aspekte im Vordergrund stehen (z.B. separate Modellierung der Fräsflächen im Formen- und Werkzeugbau).“^O

Zu Volumenmodellen schreibt die VDI 2209: „Volumenmodelle bestehen aus topologisch geschlossenen Flächenverbänden (Oberflächen). Sie erfassen nicht nur die „Hülle“ von Objekten, sondern sie besitzen darüber hinaus auch Volumen und – sofern eine Dichte zugeordnet wird – Materialinformationen. Sie können damit neben den geometrischen auch physikalische Informationen eines Produkts erfassen. In Bezug auf geometrische Toleranzen gibt es aber durchaus noch Defizite, da in allen Modellen in der Regel die ideale Sollgeometrie gespeichert wird.“^P

Voxelmodelle

Voxelmodelle setzen sich aus Voxeln zusammen. „Ein Voxel ist, analog zum Pixel eines Bildschirms, ein kleines würfelförmiges Volumenelement ohne weitere Eigenschaften. Objekte werden durch eine definierte Ansammlung von Voxels modelliert, die selbst aber nicht in Beziehung zueinander stehen. [...] [Man kann] aus einem Flächen- oder einem Volumenmodell ein Voxelmodell hinreichend genau ableiten [...], nicht aber umgekehrt. Voxelmodelle spielen eine Rolle bei der virtuellen Produktentwicklung und dort im Wesentlichen beim Digital Mock-Up [...].“^Q

^N VDI 2209:2009-03, S. 24

^O an derselben Stelle

^P an derselben Stelle

^Q VDI 2209:2009-03, S. 24/25

Punktemodelle

Wenn real existierende Objekte über 3D-Scanner digitalisiert werden, entstehen als deren Ergebnis 3D-Punktwolken.

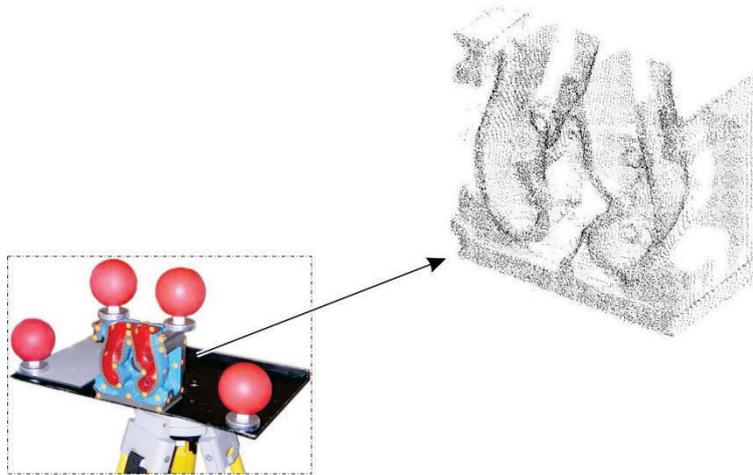


Abbildung 7: Beispiel für ein generiertes Punktemodell^R

Auf Basis von Punktemodellen lassen sich mit spezieller CAD-Software über mehrere Zwischenschritte Flächenmodelle generieren.

2.3.2 Werkzeuge für die Bauteilkonstruktion

Um einen virtuellen Körper zu konstruieren, stellen die 3D-MCAD-Systeme dem Konstrukteur diverse Werkzeuge zur Verfügung. Die verschiedenen 3D-MCAD-Systeme nutzen grundsätzlich die gleichen Konstruktionsverfahren. Ihre Ausrichtung kann mehr im Bereich der Volumenmodellierung oder Flächenmodellierung liegen.

Basis eines neuen Bauteils ist eine 2D-Skizze. Die 2D-Skizze bildet eine Fläche des zu konstruierenden Bauteils. Skizzen definieren sich über ihre Bemaßungen sowie über geometrische Beziehungen der Skizzenelemente zueinander.

Die nachfolgende Abbildung stellt die Schritte zum Konstruieren eines 3D-Modells schematisch dar.

^R KÜHNEL, Günter: Lehrbrief Konstruktionslehre/CAD. Universität Rostock (Hrsg.), Zentrum für Qualitätssicherung in Studium und Weiterbildung, 2013. Abb. 66/67 auf S. 98/99

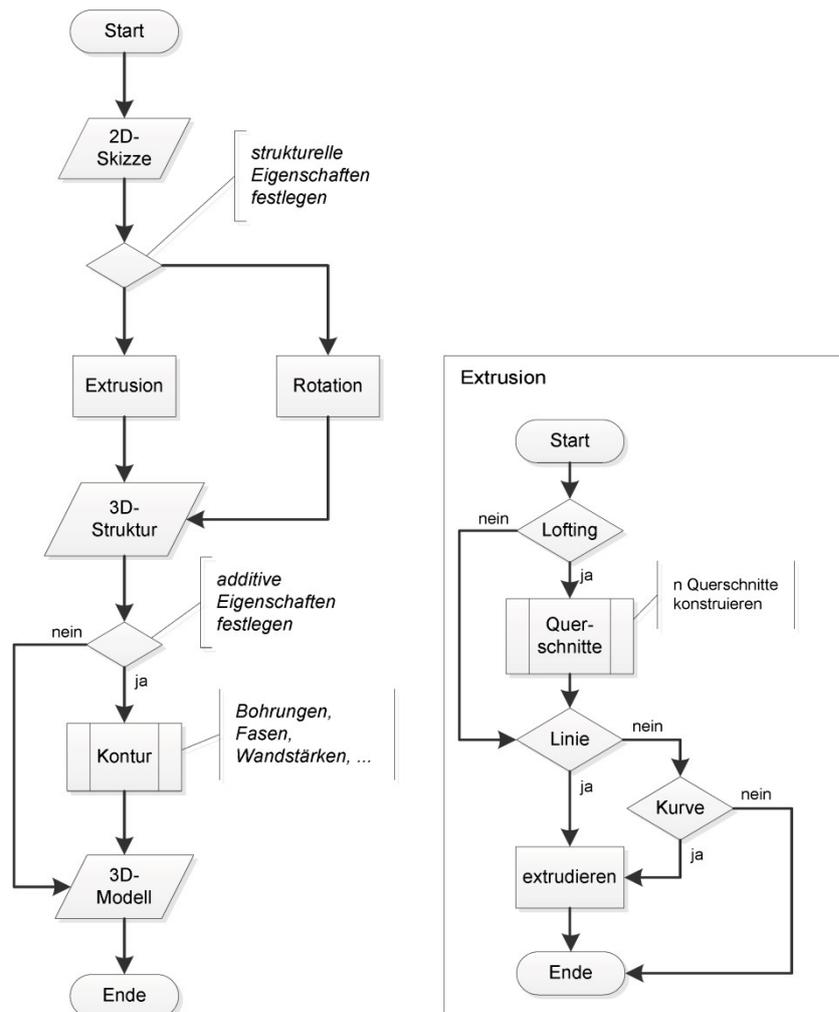


Abbildung 8: Arbeitsschritte für eine 3D-Volumenmodellierung

Um aus der 2D-Skizze ein 3D-Bauteil zu generieren, sind für die Skizze strukturelle Eigenschaften (features) zu definieren. Dazu zählen die *Extrusion* und die *Rotation*. Die Extrusion kann sowohl einer Linie als auch Kurven (splines) folgen. Weiterhin ist es möglich, den in der Skizze konstruierten Bauteilquerschnitt entlang der Leitkurve(n) zu ändern. Dazu werden weitere Querschnitte für die Extrusionsstrecke konstruiert. Dieses Verfahren wird *Lofting* genannt.

Liegt das 3D-Bauteil strukturell vor, kann es über *additive Features* im Detail verändert werden. Zu nennen sind hier insbesondere das Abrunden der Körperkanten, das Definieren von Fasen und Bohrungen. Auch die Wandstärke ist ein additives Feature.

Ein Feature lässt sich über eine *Anordnung* n-fach über das Bauteil verteilen. Die Anordnung der Kopien kann polar, linear oder auch kurvengesteuert ausgeführt werden.

Das *Spiegeln* einzelner Bauteil-Features oder des gesamten Körpers ist eine weitere Variante konstruktiver Anpassungen. Auch die Booleschen Operationen *Vereinigung*, *Differenz* und *Schnittmenge* stehen als Features für die Bauteilkonstruktion zur Verfügung.^S

2.3.3 Werkzeuge für die Flächenkonstruktion

Ein wesentliches Merkmal von Flächen ist das im Gegensatz zu Körpern nicht definierte Volumen. Unterschieden werden offene und geschlossene Flächen. Geschlossene Flächen können ein Volumen umschließen.

Flächen bieten dem Konstrukteur eine große gestalterische Vielfalt. Basierend auf Skizzen und geführt durch Leitlinien lassen sich Flächen wie auch die Bauteile *extrudieren*, *rotieren* und *loften*.

Mit Flächen können Volumenkörper geschnitten werden. Resultat ist ein Körper mit einer *Ersatzfläche* entsprechend den Konturen der schneidenden Fläche. Überstände der schneidenden Fläche werden entfernt. Erreicht die schneidende Fläche einen Körperperrand nicht, wird sie bis zu diesem extrapoliert.

Als weitere Features lassen sich *parallele Flächen* und *Schnittflächen* generieren. Flächen können *verlängert*, *getrimmt* oder auch *kopiert* werden. Zum Schließen von Flächen dient das Feature *Ausfüllen*.^T

Freiformflächen – NURBS (Non uniform, rational B-Spline)

Bei den Freiformflächen werden Punktflächen und kontrollpunktgesteuerte Flächen unterschieden. Punktflächen werden geformt, indem einzelne auf der Fläche liegende Punkte verschoben werden. Kontrollpunktgesteuerte Flächen werden geformt, indem einzelne außerhalb der Fläche liegende Kontrollpunkte verschoben werden.^U

2.3.4 Abhängigkeiten zwischen Features

Der Konstrukteur kann Skizzen mit festen Werten oder über Variablen bemaßen. Ist eine Skizze über Variablen bemaßt, lassen sich deren Abmessungen mit wenig konstruktivem Aufwand zu einem späteren Zeitpunkt ändern. Die 3D-MCAD-Systeme bieten dem Konstrukteur die Möglichkeit, die definierten Variablen über Gleichungen in Beziehung zu setzen.

^S vgl. VOGEL, 2004, S. 87-131

^T vgl. VOGEL, 2004, S. 133-143

^U vgl. VOGEL, 2004, S. 143-146

Der Konstrukteur konstruiert ein Bauteil in einer von ihm gewählten Reihenfolge. Die Konstruktionsschritte bauen aufeinander auf und werden als Hierarchiebaum visualisiert. Ändert der Konstrukteur ein Feature, werden dadurch alle nachgeordneten Features beeinflusst. Das Übertragen der Eigenschaften auf in der Hierarchiestufe nachfolgende Konstruktionselemente wird *Vererbung* genannt. Dieses Verhalten muss der Konstrukteur vorausschauend berücksichtigen. Bei späteren konstruktiven Änderungen besteht sonst die Gefahr, dass fehlerhafte Bauteile generiert werden.

In der Praxis wird die parametrische Definition der Features unter anderem für die Variantenkonstruktion genutzt.^V

2.3.5 Baugruppenkonstruktion

Maschinen setzen sich meist aus vielen Bauteilen und Baugruppen zusammen. Baugruppen sind Zusammenbauten von Bauteilen. Bauteile und Baugruppen werden in den 3D-MCAD-Systemen in separaten Dateien konstruiert.

Konstruktionselemente in einer Bauteildatei sind hierarchisch strukturiert und über ihre Features fest miteinander verbunden. Werden Bauteile in eine Baugruppendatei geladen, behalten diese ihr eigenes Bezugssystem. Alle importierten Bauteile sind zunächst in drei translatorischen und drei rotatorischen Richtungen frei beweglich. Um die Bauteile konstruktiv zu einer Baugruppe zusammenzufassen, legt der Konstrukteur ein Basisbauteil fest und ordnet die Bauteile nacheinander an. Dabei muss er während des Zuordnens die kinematischen Freiheitsgrade zwischen den jeweiligen Bauteilen für seine konstruktiven Ziele einschränken.

Beim Zusammenbau von Baugruppen kann es passieren, dass Bauteile miteinander kollidieren. Oft unterstützen 3D-MCAD-Systeme den Konstrukteur dabei, Kollisionen optisch oder akustisch zu erkennen. Der Konstrukteur kann dann notwendige konstruktive Änderungen am Bauteil in der Baugruppendatei durchführen.

Viele 3D-MCAD-Systeme bieten dem Konstrukteur die Möglichkeit, eine Bewegungsanalyse für eine Baugruppe durchzuführen. So kann er Fehler frühzeitig korrigieren und bei Bedarf sein konstruktives Konzept ändern.^W Neben der Bewegungsanalyse lassen sich am virtuellen Produkt zunehmend auch strömungstechnische Vorgänge simulieren oder Betriebsfestigkeiten prüfen.

^V vgl. VOGEL, 2004, S. 157-162

^W vgl. VOGEL, 2004, S. 167-178

2.4 3D-Modellierkerne

Wer sich mit dem strukturellen Aufbau der 3D-CAD-Systeme auseinandersetzt stellt sehr bald fest:

- die Systeme sind meist modular aufgebaut
- einige Systeme nutzen die gleichen 3D-Modellierkerne

Aus der Tatsache, dass unterschiedliche 3D-CAD-Systeme gleiche Modellierkerne nutzen, ergab sich für die Verfasserin sehr früh eine logische Konsequenz: Der Datenaustausch zwischen Systemen mit gleichen Modellierkernen müsste in der Praxis mit wenig Datenverlusten realisierbar sein. Diese Annahme wurde während der Literaturrecherche bestätigt. ENGELKEN schreibt zu Modellierkern-Schnittstellen: „Die meisten CAD-Systeme nutzen 3D-Geometriekerne in Lizenz, die von spezialisierten Unternehmen angeboten und weiterentwickelt werden, die beiden bedeutendsten sind der ACIS-Kernel und der Parasolid-Kernel. Die Datenformate dieser 3D-Geometriekerne sind eine zunehmend beliebte Alternative zur Nutzung neutraler Schnittstellen.“^X

Im Kapitel 3.2 „Genutzte 3D-Modellierkerne“ ab Seite 46 sind verschiedene 3D-MCAD-Systeme nach den von ihnen genutzten Modellierkernen sortiert.

In den nachfolgenden Absätzen sind die Aufgaben eines Modellierkerns in einem 3D-CAD-System kurz beschrieben.

Der 3D-Modellierkern repräsentiert neben der Datenbank die Basis der 3D-CAD-Systeme. Der Modellierkern verwaltet die geometrischen und topologischen Daten und führt die im Konstruktionsprozess notwendigen mathematischen Berechnungen durch. Die heute in den 3D-MCAD-Systemen genutzten 3D-Modellierkerne vereinen zwei Modelliermethoden: Constructive Solid Geometry (CSG) und Boundary Representation (B-REP).^Y

Ein *CSG-Modell* entsteht aus Primitiva^Z, die mit Hilfe Boolescher Operationen zu neuen Körpern geformt werden. Rechnerintern werden die entstehenden Körper in einer Baumstruktur gespeichert. Der Konstruktionsweg ist somit bekannt. In einem *B-REP-Modell* werden Körper über die sie begrenzenden

^X ENGELKEN, Gerhard: SolidWorks 2010 – Methodik der 3D-Konstruktion. München: Carl Hanser Verlag, 2010. S. 228-229

^Y vgl. BERTHOLD, Axel: Der fertigungsorientierte Modellierer FERMOD als Erweiterung des Konstruktionssystems WISCON. Kassel: kassel university press GmbH, 2002. S. 5-6 und S. 54

^Z Grundkörper wie Quader, Ellipsoid, Zylinder, Kegel und Torus

Flächen beschrieben. Das Modell nutzt den parametrischen Ansatz der Freiflächenmodellierung.^{AA}

Pro/ENGINEER, das 1988 auf den Markt kam, war das erste 3D-MCAD-System, in dessen 3D-Modellierkern *GraniteOne* das CSG-Modell und das B-REP-Modell zu einem hybriden Modell zusammengefasst wurden.^{BB}

Wie bereits erwähnt, entwickeln nicht alle Hersteller der 3D-MCAD-Systeme ihre Modellierkerne selbst. Unternehmen wie die Spatial Corporation^{CC} sind seit mehr als zwei Jahrzehnten u. a. spezialisiert auf die Entwicklung von Geometrie-Modellierern. Die Modellierkerne CGM (Convergence Geometric Modeller) und ACIS sind zwei ihrer bekannten Produkte.

Beispielhaft für alle 3D-Modellierkerne sind nachfolgend die wesentlichen Funktionen des ACIS-Modellierkerns aufgeführt.

Die Spatial Corporation beschreibt die Funktion ihres 3D-Modellierkerns wie folgt: „ACIS features an open, object-oriented C++ architecture that enables robust, 3D modeling capabilities. ACIS is ideal for constructing applications with hybrid modeling features, since it integrates wireframe, sheet, and solid modeling functionality with both manifold and non-manifold topology, and a rich set of geometric operations. With ACIS, you get a sound base of 3D modeling functionality, plus the flexibility to meet individual application requirements.“^{DD} Drei Kernfunktionen werden unterschieden: „3D Modeling“, „3D Model Management“ und „3D Model Visualization“.

Zur Kernfunktion „3D Modeling“ gehören im Detail:

- “Extrude/revolve/sweep sets of 2D curves into complex surfaces or solids.
- Fillet and chamfer between faces and along edges in surface and solid models.
- Fit surfaces to a closed network of curves.
- Generate patterns of repetitive shapes.
- Hollow solids and thicken surfaces.
- Interactively bend, twist, stretch, and warp combinations of curves, surfaces, and solids.

^{AA} vgl. BERTHOLD, 2002, S. 54-55

^{BB} vgl. BRÖKEL, Klaus: Pro/ENGINEER – Effektive Produktentwicklung. München: Pearson Studium, 2008. S. 18

^{CC} Gehört mittlerweile zu Dassault Systèmes

^{DD} SPATIAL Product Documentation: 3D ACIS Modeler.
http://doc.spatial.com/articles/3/d/_/3D_ACIS_Modeler_9aee.html (2014-12-21)

- Intersect/subtract/unite any combination of curves, surfaces, and solids.
- Loft surfaces to fit a set of profile curves.
- Taper/offset/move surfaces in a model.”^{EE}

Zur Kernfunktion „3D Model Management“ gehören im Detail:

- “Attach user-defined data to any level of a model.
- Track geometry and topology changes.
- Calculate mass and volume.
- Model sub-regions of a solid using cellular topology.
- Unlimited undo/redo with independent history streams.”^{FF}

Zur Kernfunktion „3D Model Visualization“ gehören im Detail:

- “Tessellate surface geometry into polygonal mesh representation.
- Create advanced surfacing capabilities with the optional Deformable Modeling component.
- Generate precise 2D projections with hidden line removal using optional PHL V5 component.
- Develop graphical applications easily using Tech Soft 3D's HOOPS 3D Application Framework, available from Spatial and integrated with ACIS.”^{GG}

^{EE} an derselben Stelle

^{FF} an derselben Stelle

^{GG} an derselben Stelle

2.5 3D-Datenaustausch

Das Bereitstellen von 3D-Modelldaten für die Technische Dokumentation widerspiegelt nur einen Teil des notwendigen 3D-Datenaustausches im Lauf der Produktentwicklung. Bevor Produkte im Detail konstruiert werden, entstehen in der Entwurfsphase Produktskizzen. Viele Produkte sind sehr komplex. Ihre 3D-Modelle werden im Unternehmen durch mehrere Konstrukteure mit einem *Multi-User*-fähigen 3D-MCAD-System konstruiert. Teile des Produkts werden aber auch zunehmend extern konstruiert. Das Unternehmen gibt das 3D-MCAD-System und dessen Version sowie die 3D-Modellstruktur vor. Dies stellt sicher, die externen 3D-Modelldaten ohne Datenverlust zu migrieren.

Einige Produkte verlangen den Einsatz verschiedener 3D-Modellarten, vgl. Volumenmodelle für die Verrohrung im Schiff und Flächenmodelle für dessen Hülle. Hier werden verschiedene 3D-MCAD-Systeme genutzt. Das eine System hat seine Stärken in der Volumenmodellierung, das andere ist auf die Flächenmodellierung spezialisiert. Lassen sich 3D-Modelldaten zwischen verschiedenen 3D-MCAD-Systemen über Direktschnittstellen austauschen, sind diese *Multi-CAD*-fähig.

Sind die Bauteile eines Produkts konstruiert, können diese virtuell zusammengebaut werden, vgl. Digital Mock-Up und Virtual Reality Systeme. Kollisionen zwischen Bauteilen werden frühzeitig erkannt. Simulierte Montageabläufe mit dem virtuellen Produkt ermöglichen, den Herstellungsprozess im Voraus zu optimieren.

Volumenmodelle besitzen ein Gewicht. Ihnen lassen sich diverse spezifische Eigenschaften zuordnen, die für Simulationen am virtuellen Produkt genutzt werden, vgl. Untersuchungen zur Festigkeit und zum Strömungsverhalten. 3D-MCAD-Systeme sind häufig modular aufgebaut. Hier ist der Datentransfer zwischen Konstruktionsmodul und Analysemodul problemlos. Manchmal ist es notwendig ein Fremdsystem für die Analyse zu nutzen. Dann stellt sich die Frage des verlustfreien Datenaustausches zwischen den Systemen.

3D-Modelle sind auch Datenbasis für die Fertigung. Die 3D-Modelldaten müssen für Fertigungsmaschinen aufbereitet und an diese übertragen werden. Mittlerweile werden in der Fertigung nicht nur aus dem 3D-Modell abgeleitete 2D-Zeichnungen genutzt sondern zunehmend auch die 3D-Modelle selbst. Ein Hauptgrund hierfür ist die eindeutige und verständliche Darstellung des virtuellen Produkts. Fehlinterpretationen durch den Fertigungsmitarbeiter und daraus resultierende fehlerhaft gefertigte Bauteile für das Produkt werden vermieden.

Abbildung 9 veranschaulicht, in welchen Bereichen des Produktentstehungsprozesses sich 3D-Modelle nutzen lassen.

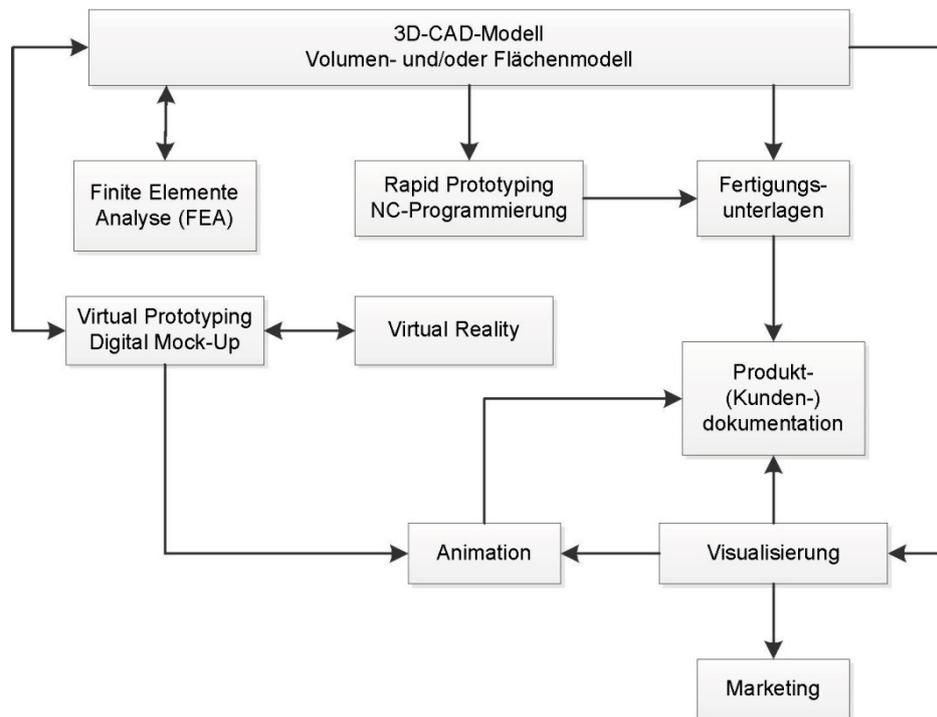


Abbildung 9: 3D-CAD-Modelle im Produktentstehungsprozess^{HH}

Die Ausführungen zu Beginn dieses Kapitels geben einen ersten Einblick in das komplexe Thema des 3D-Datenaustausches innerhalb eines Unternehmens sowie zwischen dem Unternehmen und Zulieferern bzw. Dienstleistern.

Die folgenden Abschnitte liefern grundlegende Informationen, wie sich 3D-Modelldaten in kleinen und mittleren Unternehmen verwalten lassen und welche Aspekte bei deren Archivierung zu berücksichtigen sind.

2.5.1 Produktdatenmanagement (PDM)

Die umfangreichen Daten zu fertiger Produkte müssen effizient verwaltet werden. Dafür setzen die KMU zunehmend Produktdatenmanagement-Systeme (PDM-Systeme) ein. „PDM ist ... nicht nur ein Instrument für die bessere und effizientere Organisation der Entwicklungsprozesse, sondern eine Drehscheibe, die es erlaubt, die Produktdaten als Wissensressource dem gesamten Unternehmen bereitzustellen.“^{II}

^{HH} vgl. VDI 2209, 2009, Bild 35 auf S. 100

^{II} SENDLER, Ulrich; WAWER, Volker: Von PDM zu PLM – Prozessoptimierung durch Integration. 3. überarb. und erw. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2011, S. 22

Abbildung 10 zeigt den Einsatzbereich eines PDM-Systems im Rahmen des Produktlebenszyklus-Managements.

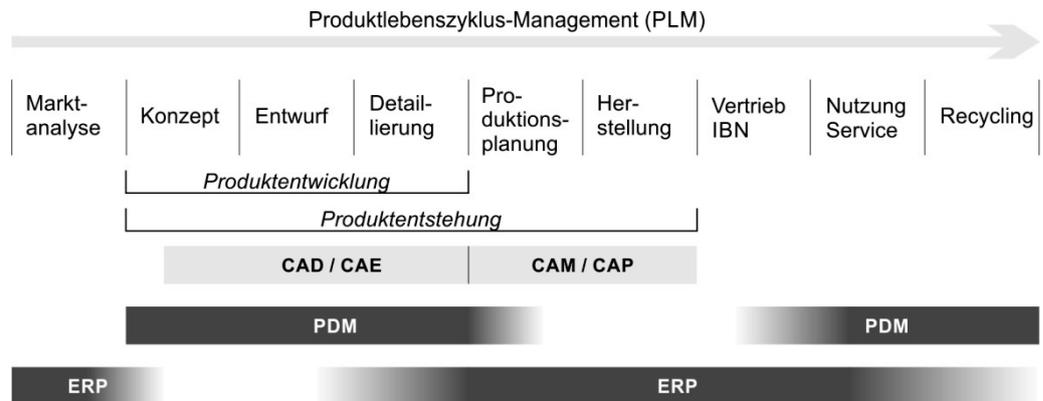


Abbildung 10: Einsatz PDM-System innerhalb des Produktlebenszyklus^{JJ}

Die Daten aus der Konstruktion, insbesondere die 3D-Modelle, repräsentieren bei PDM-Systemen einen Schwerpunkt der Datenverwaltung. „Produktmanagement hatte seinen Ursprung in der Aufgabenstellung der Verwaltung von Konstruktionszeichnungen, später 2D- und 3D-Daten unterschiedlichster CAD-Systeme. PDM ist ein Werkzeug, das sehr stark in der Konstruktion, im Maschinenbau, in der Mechanik verwurzelt ist. Es war nicht zuletzt die Entwicklung der 3D-Modellierung zur Standardmethode in der Konstruktion, die den Run auf PDM in den letzten Jahren mit ausgelöst hat.“^{KK}

PDM-Systeme unterstützen die Produktentwicklung in mehrerer Hinsicht:^{LL}

- die CAD-Daten sind geschützt gespeichert
- die CAD-Daten werden versioniert, die durchgeführten Änderungen lassen sich protokollieren
- die Nutzung von CAD-Daten ist durch festgelegte Zugriffsrechte steuerbar → Multi-User-Anwendungen
- die Daten mehrerer CAD-Systeme lassen sich unter dem Dach eines PDM-Systems verwalten → Multi-CAD-Anwendungen
- zwischen den CAD-Daten können Beziehungen hergestellt werden

^{JJ} vgl. Technische Regel VDI 2219:2014-10 (Entwurf): Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Betrieb von PDM-Systemen, Bild 2 auf S. 6

^{KK} SENDLER, WAWER., 2011, S. 117

^{LL} vgl. SENDLER, WAWER., 2011, S. 136-137

Abbildung 11 zeigt schematisch wie Daten zwischen einem CAD-System und einem PDM-System ausgetauscht werden.

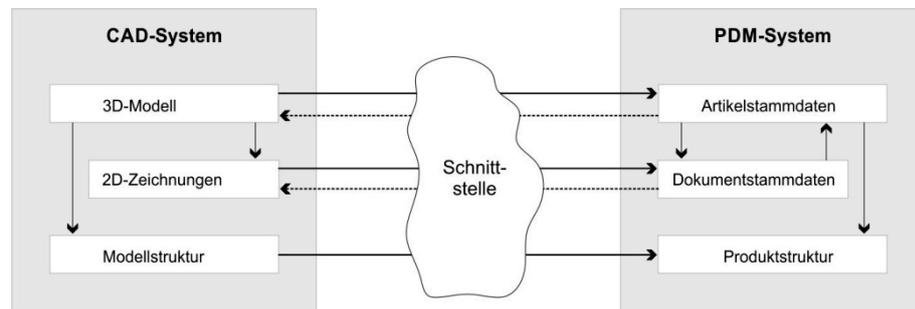


Abbildung 11: Datenaustausch CAD-System – PDM-System^{MM}

Das PDM-System gibt dem CAD-System Stammdaten für das zu konstruierende Bauteil bzw. die zu konstruierende Baugruppe vor, wie Teilenummern oder Benennungen. Die Daten des 3D-Modells, daraus abgeleitete 2D-Zeichnungen und Strukturinformationen werden vom CAD-System an das übergeordnete PDM-System geschickt. Das PDM-System verwaltet die geometrischen Daten und Metadaten des virtuellen Produkts. „Problematisch in diesem Zusammenhang ist, dass die verschiedenen CAD-Systeme die Zusammenbaustrukturen unterschiedlich handhaben.“^{NN}

Die Verwaltung der Konstruktionsdaten ist ein Schwerpunkt von PDM-Systemen aber nicht der Kern. Für SENDLER und WAWER ist dieser „das Management des gesamten Produktentwicklungsprozesses von der ersten Anforderung über Konzept und Detaillierung, Werkzeug- und Formenbau bis hin zu Prototypen und Versuchsreihen, und zwar einschließlich der vollständigen Entwicklungshistorie mit Versionierung, Änderungsaufträgen und Workflows.“^{OO}

^{MM} vgl. VDI 2219:2014-10 (Entwurf), Bild 7 auf S. 10

^{NN} VDI 2219:2014-10 (Entwurf), S. 10

^{OO} SENDLER, WAWER., 2011, S. 179

2.5.2 3D-Datenformate für die Archivierung

PDM-Systeme verwalten Daten über etliche Jahre. In Bezug auf alle verwalteten Daten muss gewährleistet werden, dass die genutzten Datenformate langfristig lesbar sind. Native Datenformate können dies im Allgemeinen nicht garantieren.

Dieser Fakt ist auch entscheidend, wenn es darum geht 3D-Modelldaten längerfristig zu verwalten. Die nativen Datenformate der 3D-MCAD-Systeme stellen diesbezüglich kein optimales Format dar. Für die Archivierung über einen langen Zeitraum, vgl. gesetzlich vorgeschriebene Aufbewahrungsfristen für Produktdokumentationen, müssen diese als ungeeignet angesehen werden.

Bei der Wahl eines geeigneten 3D-Datenformats für die Langzeitarchivierung ist auch ein möglicher notwendiger Wechsel des 3D-MCAD-Systems zu bedenken. Kein CAD-Hersteller wird garantieren, dass native Datenformate eines Fremdsystems überhaupt und falls ja fehlerfrei importiert werden.

Der Entwurf der VDI 2219 definiert die Langzeitarchivierung als „Verfahren zur möglichst verlustfreien Aufbewahrung von Daten auf dafür geeigneten Medien in einem Rechnersystem unter Nutzung von Standardformaten (z. B. STEP, IGES, TIFF), da Archivinhalte in der Regel wesentlich länger existieren als die Systeme, mit denen sie erstellt wurden.“^{PP} Aus dieser Definition geht hervor, dass sowohl für 2D- als auch für 3D-Daten geeignete neutrale Datenformate zu nutzen sind.

^{PP} VDI 2219:2014-10 (Entwurf), S. 3

3. Datenaustausch mit 3D-MCAD-Systemen

Der praktische Teil dieser Arbeit thematisiert die Möglichkeiten des 3D-Datenaustausches zwischen 3D-MCAD-Systemen. Für die Verfasserin ist wichtig, die von 3D-MCAD-Systemen unterstützten 3D-Dateiformate zu kennen. Aus diesem Wissen lassen sich Schlussfolgerungen ziehen für den 3D-Datenaustausch zwischen der Konstruktion und der Technischen Dokumentation. Die nachfolgende Abbildung 12 gibt die Themenstruktur dieses Hauptkapitels wieder.

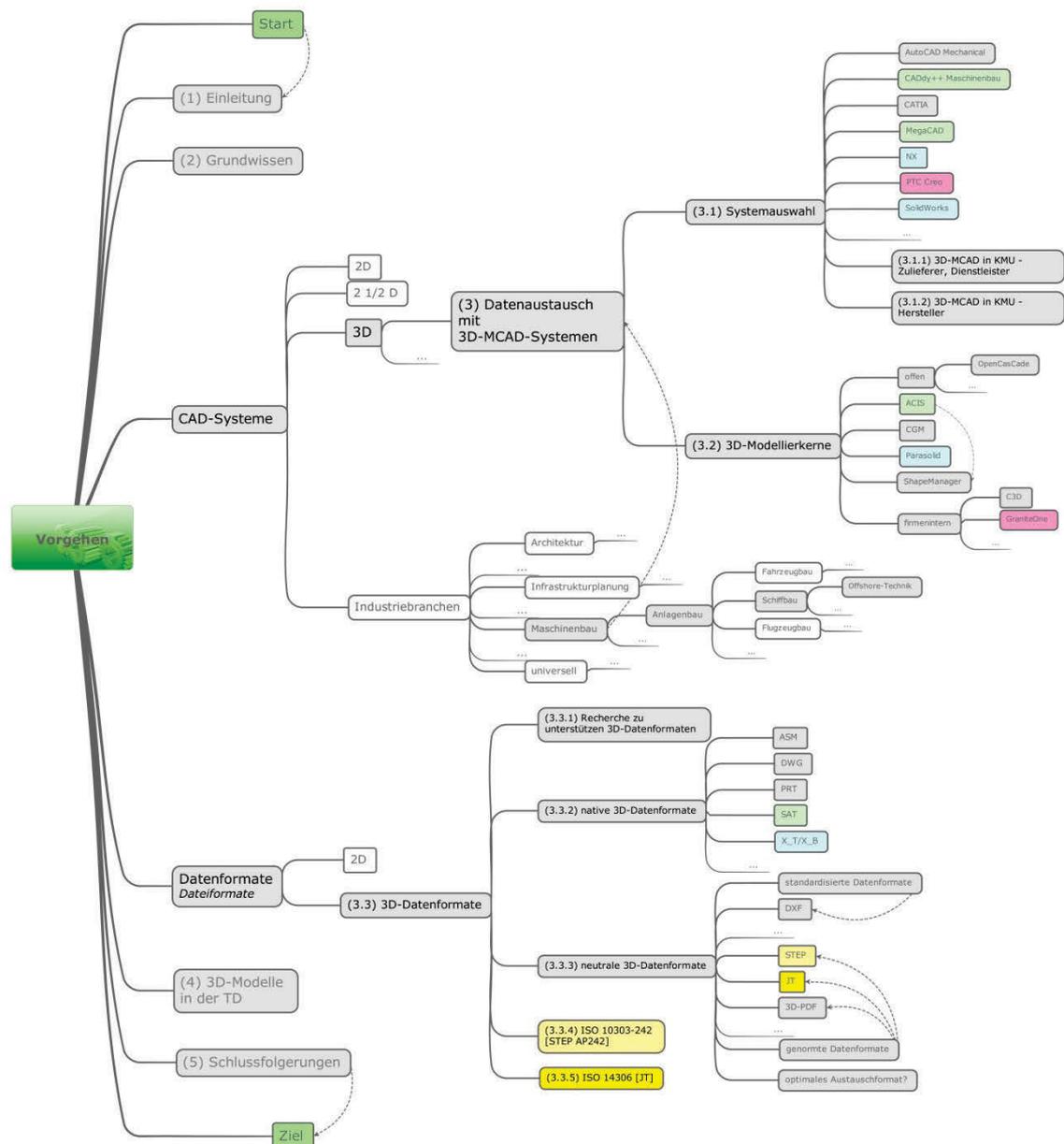


Abbildung 12: Hauptkapitel 3 „Datenaustausch mit 3D-MCAD-Systemen“^{QQ}

^{QQ} Die in der MindMap farbig hervorgehobenen Felder veranschaulichen Zugehörigkeiten.

Die Kapitel sind eingebettet in die komplexen Themengebiete *CAD-Systeme* und *Datenformate*.

Für diese Arbeit sind von Interesse:

- CAD-Systeme, die für die mechanische Konstruktion konzipiert wurden: 3D-MCAD-Systeme, siehe auch Kapitel 2.3 „3D-Konstruktion“ ab Seite 22.
- 3D-Datenformate, die systemspezifisch (nativ) sind oder die herstellernerneutral (standardisiert bzw. normiert) sind.

Ausgangssituation

Die Verfasserin arbeitet seit Jahren als Technische Redakteurin bei einem kleinen Dienstleister für Technische Dokumentation und Übersetzungen. Die 3D-Modelle der von ihr zu beschreibenden Maschinenbauprodukte werden kundenseitig in verschiedenen 3D-MCAD-Systemen konstruiert, wie Solid Edge, NX und Inventor.

Die Verfasserin fordert die für die Grafikerstellung benötigten 3D-Modelle als STEP-Dateien an. Ihre Erfahrungen mit diesem genormten Datenaustauschformat sind grundsätzlich positiv. In der Praxis kommt es allerdings vor, dass Teile im Modell fehlen, siehe Abbildung 1 auf Seite 8, oder das Modell wird gar nicht dargestellt:

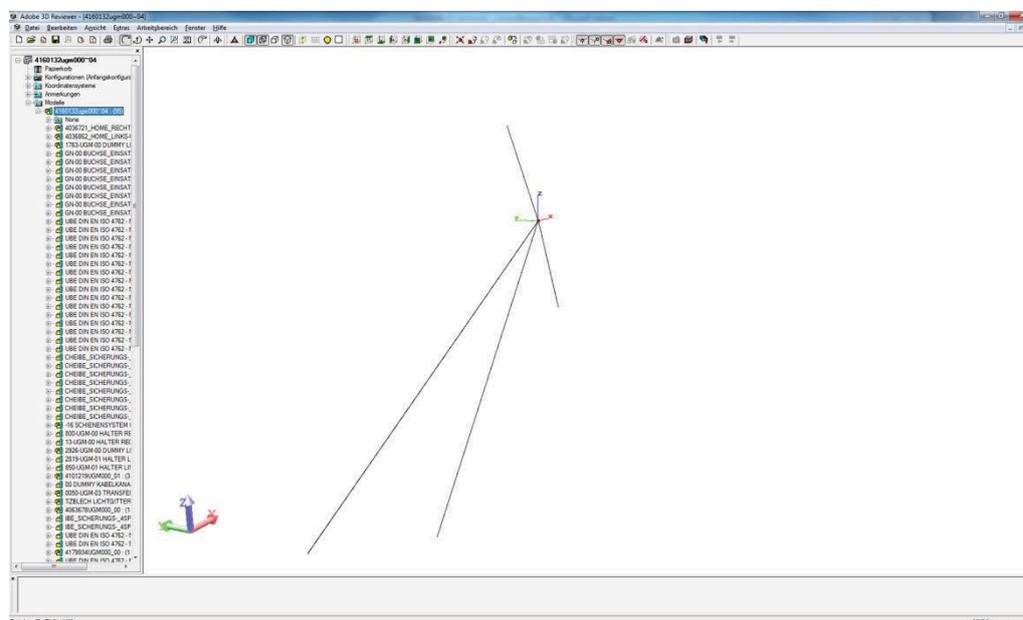


Abbildung 13: Beispiel fehlerhafter 3D-Datenexport (STEP)

Bei einem fehlerhaften 3D-Datenexport erstellt die Verfasserin einen Screenshot der 3D-Viewer-Anzeige, siehe Abbildung 13. Diesen sendet sie an

den Konstrukteur. Liefert der erneute 3D-Datenexport kein fehlerfreies 3D-Modell, muss ein alternatives 3D-Datenaustauschformat gewählt werden.

Abbildung 14 stellt die wesentlichen Schritte der bisherigen Arbeitsweise noch einmal schematisch dar.

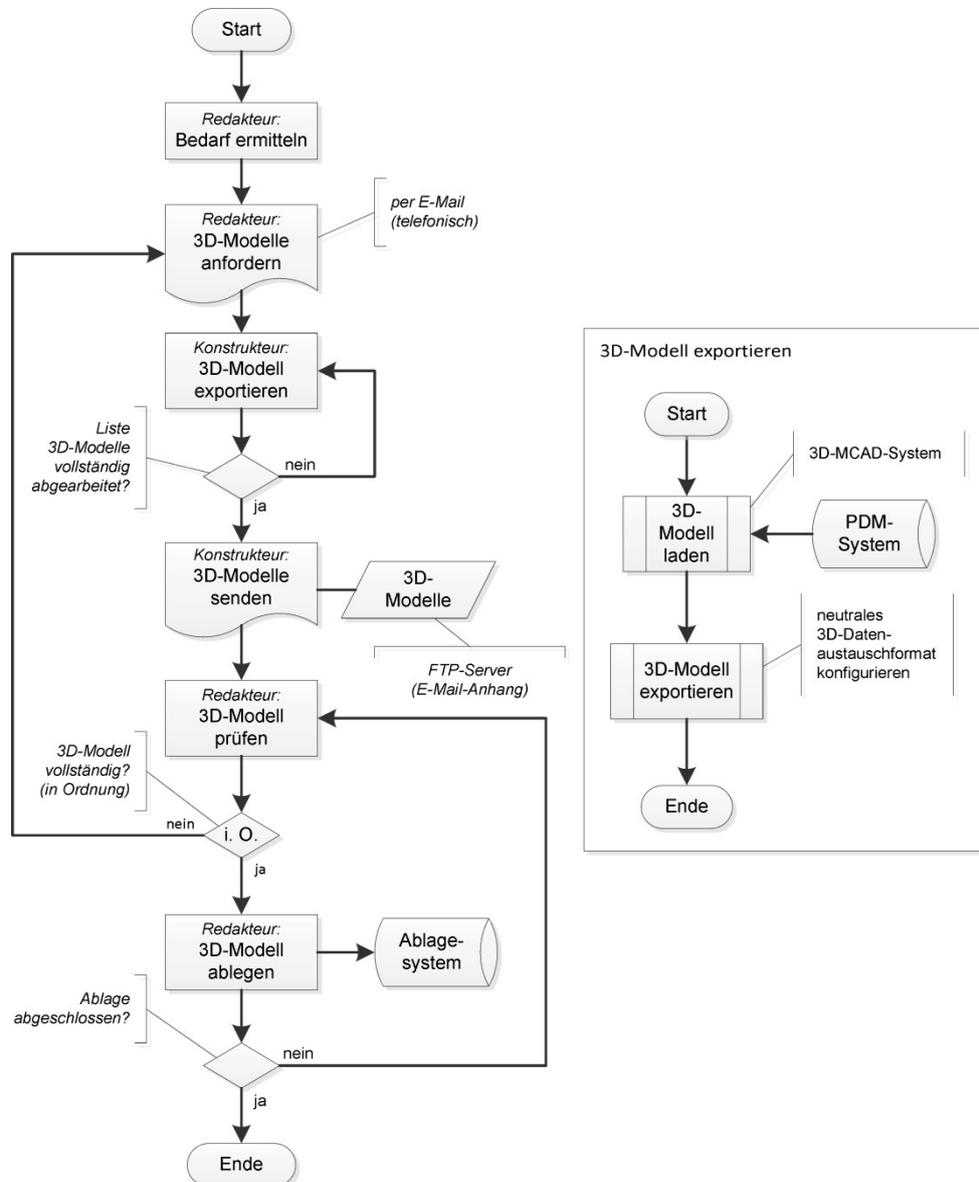


Abbildung 14: Beschaffen eines 3D-Modells – Handlungsschritte (1)

Alternativen zu STEP

Für das 3D-MCAD-System NX 7.5 nutzte die Verfasserin zunächst als Alternative^{RR} das Datenaustauschformat Parasolid. Nun war das 3D-Modell in der 3D-Viewer-Anzeige vollständig. Dafür fehlten aussagefähige Stücklisteninformationen. Es fehlten die Strukturinformationen. Dadurch ließen

^{RR} Die Alternativvorschläge kamen zuerst immer vom Konstrukteur.

sich Bauteile und Zwischenbaugruppen nicht mehr gezielt wählen. Dieses Austauschformat war für die Verfasserin bisher akzeptabel, wenn außer dem Blickwinkel auf das virtuelle Produkt keine weiteren Anpassungen vorzunehmen sind.

Gibt die STEP-Datei das 3D-Modell unvollständig wieder und Bauteile bzw. Komponenten müssen wählbar sein, bedarf es eines anderen 3D-Datenaustauschformats: JT. Für dieses Datenformat bietet der Hersteller Siemens PLM Software einen kostenlosen 3D-Viewer an: JT2Go. Mit JT2Go lassen sich die aus dem 3D-MCAD-System exportierten 3D-Modelle zufriedenstellend für die spätere Grafikerstellung aufbereiten.

3D-MCAD-Systeme in KMU des Anlagen- und Maschinenbaus

Für die Verfasserin stellte sich zu Beginn dieser Arbeit die Frage, welche 3D-MCAD-Systeme KMU des Anlagen- und Maschinenbaus vorwiegend einsetzen. Lassen sich 3D-MCAD-Systeme überhaupt nach diesem Kriterium einteilen?

3.1 Systemauswahl

Im Kapitel 2.3 „3D-Konstruktion“ ab Seite 22 ist der grundlegende Konstruktionsprozess im dreidimensionalen virtuellen Raum beschrieben. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Systeme, mit denen 3D-Modelle für Produkte konstruiert werden. Ziel der Verfasserin ist, eine Liste mit 3D-MCAD-Systemen zusammenzustellen. Diese Liste soll die verschiedenen von den Unternehmen genutzten 3D-MCAD-Systeme möglichst umfassend wiedergeben.

Die Verfasserin nutzte die „Liste von CAD-Programmen“^{SS} der freien Enzyklopädie Wikipedia zu Recherchebeginn als erste Informationsbasis. Mit Hilfe dieser Liste näherte sie sich dem Thema der 3D-CAD-Systeme von einem allgemeinen Standpunkt. Von den annähernd einhundertfünfzig gelisteten CAD-Systemen^{TT} sind viele auf eine oder wenige Industriebranchen spezialisiert, wie Infrastrukturplanung, Architektur, Fabrikplanung und Maschinenbau. Typische maschinenbauliche Einsatzgebiete sind der Anlagenbau, der Formenbau, der Werkzeugbau oder die Blechbearbeitung. Zum Anlagenbau gehören der Stahl- und Metallbau, der Fahrzeugbau, der Flugzeugbau und der Schiffbau.

^{SS} Wikipedia: Liste von CAD-Programmen. – http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_CAD-Programmen (06.10.2014)

^{TT} Die Verfasserin verwendet in vorliegender Arbeit die Benennung *CAD-Systeme*, um die Komplexität der Software-Pakete und deren meist modularen Aufbau hervorzuheben.

Mit Hilfe der Kurzbeschreibungen in der „Liste von CAD-Programmen“ sowie der Herstellerbeschreibungen zu ihren 3D-CAD-Systemen auf den Websites ordnete die Verfasserin aus der Liste über zwanzig CAD-Programme den 3D-MCAD-Systemen zu. Dazu zählen die im deutschen Wirtschaftsraum stark vertretenen Systeme^{UU} wie CATIA, Pro/ENGINEER (Creo), AutoCAD und SolidWorks, aber auch Geomtric (Alibre) Design, KOMPAS-3D, MegaCAD und Rhinoceros. Auch ein kostenloses 3D-MCAD-System, FreeCAD, ist in der Auswahl enthalten.

In der nachfolgenden Tabelle sind die für die Auswertung herangezogenen 3D-MCAD-Systeme alphabetisch gelistet:

Tabelle 1: Ausgewählte 3D-MCAD-Systeme^{VV}

Nr.	3D-MCAD-Programm	Geometrie-Modellierkern	zugehörige kostenlose 3D-Viewer
1	ARES Commander Edition Gräbert GmbH http://www.graebert.com/de/	ACIS	---
2	AVEVA Bocad™ AVEVA Group plc. http://www.aveva.com/de-DE.aspx	eigener Modellierkern	---
3	AVEVA EVERYTHING 3D™ AVEVA Group plc. http://www.aveva.com/de-DE.aspx	eigener Modellierkern ^{WW}	---
4	CADdy++ Maschinenbau DataSolid GmbH http://www.datasolid.com/	ACIS	---
5	CATIA Dassault Systèmes http://www.3ds.com/de/	CGM	3DVIA Composer Player
6	FreeCAD Open-Source-Programm Jürgen Riegel, Werner Mayer http://www.freecadweb.org/index-de.html	Open CasCade	---
7	FRIENDSHIP-Framework FRIENDSHIP SYSTEMS GmbH https://www.caeses.com/	eigener Modellierkern (keine gesicherte Information)	CAESES® Free
8	Geomtric (Alibre) Design CADTEC Schweiz GmbH http://www.alibre.ch/	ACIS	---

^{UU} Marktstudie: Selbstständige Konstrukteure – <https://www.gulp.de/kb/mk/chanpos/Marktstudie-Konstrukteure.html> (29.10.2014)

^{VV} Auswahl stellt keine Wertung der 3D-MCAD-Systeme dar. Die Verfasserin verfolgte das Ziel sowohl größere als auch kleinere Systeme zu erfassen.

^{WW} lt. Hersteller kein 3D-Volumenmodell sondern ein Referenzmodell mit Attributen

Nr.	3D-MCAD-Programm	Geometrie-Modellierkern	zugehörige kostenlose 3D-Viewer
9	HiCAD ISD Software und Systeme GmbH https://www.isdgroup.com/de/	eigener Modellierkern	---
10	I-DEAS Siemens PLM Software GmbH http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/	Master Modeler	Publisher for the I-DEAS Viewer
11	Inventor® Autodesk Inc. http://www.autodesk.de/	ShapeManager (basiert auf ACIS)	Autodesk Inventor View 2014
12	IRONCAD™ IronCAD LLC http://www.ironcad.com/	PARASOLID + ACIS	IRONCAD COMPOSE™
13	KEYCREATOR Kubotek Corporation http://kubotek3d.com/	ACIS	Spectrum Lite
14	KOMPAS-3D ASCON Gruppe http://ascon.net/de/main/	C3D	KOMPAS-3D Viewer
15	MegaCAD 3D Megatech Software GmbH http://www.megacad.de/	ACIS	MegaCAD 2D/3D Viewer
16	NX Siemens PLM Software GmbH http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/	Parasolid	JT2Go
17	PowerSHAPE Delcam Ltd http://www.powershape.com/de/	Parasolid	PowerSHAPE-e Exchange ...
18	PTC Creo Parametric Parametric Technology Corporation http://de.ptc.com/	eigener Modellierkern: GraniteOne	PTC Creo View Express PTC Creo View Mobile
19	Rhinoceros (Rhino) Robert McNeel & Associates http://www.rhino3d.com/de/	eigener Modellierkern	---
20	RUKON® 2D/3D TACOS GmbH http://www.tacos-gmbh.de/	eigener Modellierkern	---
21	Shark FX Encore Software, Inc. http://www.punchcad.com/	ACIS	---
22	Solid Edge Siemens PLM Software GmbH http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/	Parasolid	JT2Go Solid Edge Viewer

Nr.	3D-MCAD-Programm	Geometrie-Modellierkern	zugehörige kostenlose 3D-Viewer
23	SolidWorks Dassault Systèmes SolidWorks Corp. http://www.solidworks.de/	Parasolid	eDrawings® Viewer
24	ThinkDesign DPT (Design Power Tools) SARL http://www.think3.eu/en/ (thinkline Solution GmbH) (http://thinkline.de/)	eigener Modellierkern	thinkview webview
25	variCAD VariCAD s.r.o. http://www.varicad.de/de/home/	eigener Modellierkern	VariCAD Viewer
Recherchiert, in die Bewertung nicht einbezogen:			
26	AutoCAD Mechanical Autodesk Inc. http://www.autodesk.de/	ShapeManager (basiert auf ACIS)	Design Review (DWF) DWG TrueView AutoCAD 360
27	MEDUSA4 ^{XX} CAD Schroer GmbH http://www.cad-schroer.de/		MPDS4 REVIEW

FreeCAD nimmt für die Verfasserin bei den 3D-MCAD-Systemen eine Sonderstellung ein, da es ein Open Source System ist. Ansonsten sind die Hersteller der 3D-MCAD-Systeme mittelständische Unternehmen, aber auch Systemhäuser^{YY}. Die Systemhäuser verfolgen die Philosophie den gesamten Produktlebenszyklus vom ersten Konzept über die Produktentwicklung, die Fertigung bis zum Service und am Ende das Recycling aus einer Hand zu unterstützen. Dafür bieten sie für die verschiedenen Prozessphasen aufeinander abgestimmte Systeme an. Die zunehmend modular konzipierten 3D-MCAD-Systeme lassen sich mit CAE-/CAM-Modulen erweitern. Sie decken als komplexe Werkzeuge den Produktentwicklungsprozess ab, siehe auch Abbildung 10 auf Seite 35.

^{XX} kein echtes 3D-MCAD-System → 2 ½ -MCAD-System

^{YY} Autodesk, Dassault Systèmes, Siemens PLM Software und Parametric Technology Corporation

3D-MCAD-Systeme in KMU

Eine grundlegende Aussage welche 3D-MCAD-Systeme vorwiegend in KMU des Anlagen- und Maschinenbaus zum Einsatz kommen, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht getroffen werden. Recherchegespräche der Verfasserin mit erfahrenen Konstrukteuren^{ZZ} bestätigen, dass Konstruktionsbüros als Dienstleister und auch Zulieferer von Baugruppen konkrete Vorgaben vom Auftrag gebenden Maschinenbauunternehmen erfüllen müssen.

3.1.1 3D-MCAD-Systeme in KMU – Dienstleister, Zulieferer

Der Auftraggeber gibt das 3D-MCAD-System und dessen Version vor.^{AAA} Hinzu kommen die notwendigen Ausbaustufen modular aufgebauter 3D-MCAD-Systeme. Optionale Konverter sind im Falle gleicher 3D-MCAD-Systeme nicht notwendig. Der Auftraggeber gibt ebenfalls den strukturellen Aufbau der Konstruktionsunterlagen vor. Dazu händigt er Zeichnungs- und Modellvorlagen aus. Die darin enthaltenen Vorgaben sind für den Auftragnehmer bindend. Der Auftraggeber stellt auf diese Weise sicher, dass die extern erstellten Konstruktionen in das eigene System migriert werden können.

Teilweise kommen auftraggeberseitig auch Prüfprogramme^{BBB} zum Einsatz. Sie prüfen, ob die extern erstellten 3D-Modelle die strukturellen Vorgaben einhalten. Fehlerhafte Konstruktionen werden vom Auftraggeber abgelehnt und müssen vom Konstruktionsbüro bzw. Zulieferer überarbeitet werden. Die Ergebnisse der Prüfprogramme werden auch herangezogen, wenn neue Konstruktionsaufträge oder Lieferungen von Baugruppen extern zu vergeben sind. Liefert ein Konstruktionsbüro bzw. Zulieferer häufiger 3D-Modelle, die nicht den auftraggeberseitigen Vorgaben entsprechen, kann dies zu einem Ausschluss bei späteren Auftragsvergaben führen.

Auftraggeber und Auftragnehmer nutzen bei gleichen 3D-MCAD-Systemen für den 3D-Datenaustausch die nativen 3D-Datenformate.

Arbeiten KMU als Dienstleister oder Zulieferer für Maschinenbauunternehmen so müssen sie die vorgegebenen 3D-MCAD-Systeme anschaffen. Sie können Versionen nicht eigenständig erhöhen. Grundsätzlich gilt, dass 3D-CAD-Datenformate nicht abwärts kompatibel sind.^{CCC}

^{ZZ} siehe auch „Fragenkatalog mündliche Rechercheinterviews“ auf Seite 20

^{AAA} Inklusive Hotfixes

^{BBB} Insbesondere Großunternehmen wie die Automobil- und Flugzeughersteller setzen Prüfprogramme ein. Die Verfasserin geht davon aus, dass die meisten KMU vor allem aus wirtschaftlichen Gründen bisher keine automatischen Prüfprogramme nutzen.

^{CCC} Rechercheinterview mit einem Konstruktionsdienstleister auf der SMM (12.09.2015)

3.1.2 3D-MCAD-Systeme in KMU – Hersteller

Ist ein Maschinenbauunternehmen in der Wahl seines 3D-MCAD-Systems weitgehend unabhängig von äußeren Einflüssen, wird es aus Sicht der Verfasserin unter anderem folgende Kriterien untersuchen und bewerten:

- für die eigene Branche laut Herstellerangaben und Referenzen besonders geeignete 3D-MCAD-Systeme
- Systemeinbindung in den eigenen Produktionsprozess
- eigene IT-Ressourcen
- leichtes Erlernen des Systemhandlings
- qualifizierter Support des 3D-MCAD-Systems im Inland
- Migration von Altdaten^{DDD}
- Datenaustausch mit anderen 3D-MCAD-Systemen, vgl. Multi-CAD
- Multi-User-Fähigkeit des 3D-MCAD-Systems
- Anschaffungs- und Wartungskosten

Das Maschinenbauunternehmen wird sich basierend auf den Ergebnissen seines Kriterienkatalogs für ein 3D-MCAD-System entscheiden. Der Markt bietet hier ein breites Angebot.

3.2 Genutzte 3D-Modellierkerne

Die Kenntnis über den jeweils verwendeten 3D-Modellierkern eines 3D-MCAD-Systems ermöglicht dem Anwender erste Schlussfolgerungen hinsichtlich der Datenkompatibilität zwischen den Systemen. Details hierzu siehe auch Kapitel 2.4 „3D-Modellierkerne“ ab Seite 30. Aus diesem Grund recherchierte die Verfasserin für die in Tabelle 1 auf Seite 42 gelisteten 3D-MCAD-Systeme auch deren 3D-Modellierkerne.

Dieses Kapitel stellt die ausgewählten 3D-MCAD-Systeme aus Sicht der genutzten 3D-Modellierkerne gegenüber. Nutzen mehrere Systeme den gleichen Geometriekern, müssten sich aus Sicht der Verfasserin die 3D-Modelldaten zwischen diesen strukturell ähnlichen Systemen mit vergleichsweise geringem Aufwand austauschen lassen.

^{DDD} Komplexes, schwierig zu lösendes Thema. Meist ist es besser zunächst nur Neukonstruktionen mit einem neuen System zu planen und die vorhandenen Konstruktionen mit dem bestehenden System weiter zu pflegen. Bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt sukzessive Migration benötigter Altdaten.

ENGELKEN schreibt, dass „... im Zuge der historischen Entwicklung der CAD-Technologie ... eine Spezialisierung im Bereich der Handhabung und Speicherung von 3D-Geometrie ... [stattfindet und] heute nur noch wenige CAD-Anbieter ... diese Kernfunktionalität in Eigenentwicklung herstellen“.^{EEE}

Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt das Rechercheergebnis für die betrachteten 3D-MCAD-Systeme. In der MindMap sind die Systeme nach ihren genutzten 3D-Modellierkernen gruppiert.

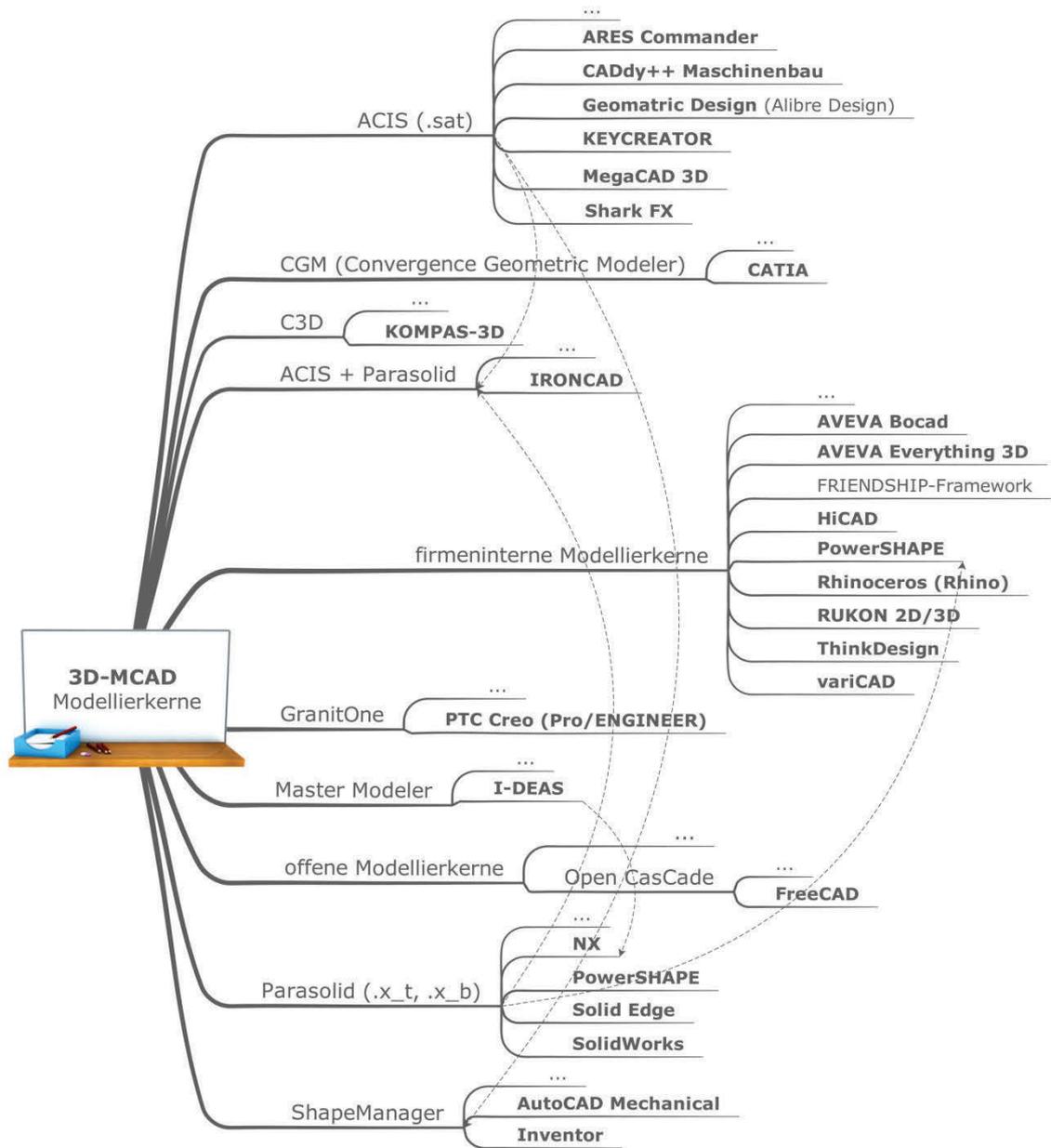


Abbildung 15: Modellierkerne in 3D-MCAD-Systemen

^{EEE} ENGELKEN, Gerhard: SolidWorks 2010 – Methodik der 3D-Konstruktion. München: Carl Hanser Verlag, 2010. S. 228-229

Die gestrichelten Linien in obiger Abbildung zeigen Abhängigkeiten: So ist der Modellierkern *ShapeManager* eine Weiterentwicklung des *ACIS*-Modellierkerns. Das System *IRONCAD* verwendet *ACIS* und *Parasolid* als Geometriekerne.

Die Erkenntnis der Verfasserin ist: Etwa die Hälfte der ausgewählten 3D-MCAD-Systeme nutzen kommerzielle 3D-Modellierkerne. Die beiden größten Gruppen sind hier, wie erwartet, Anwender der Modellierkerne *ACIS* und *Parasolid*. Von den 27 berücksichtigten Systemen nutzen neun den *ACIS*-Modellierkern und vier den *Parasolid*-Modellierkern.

C3D ist ein weiterer kommerzieller 3D-Modellierkern. Er wird von der Firma *ASCONE* entwickelt und vertrieben. Von den in dieser Arbeit berücksichtigten 3D-MCAD-Systemen basiert *KOMPAS-3D* auf diesem Modellierkern.

Das 3D-MCAD-System *CATIA* nutzt den 3D-Modellierkern *CGM*. Der *Convergence Geometric Modeler* ist neben *ACIS* der zweite von der Firma *Spatial Corporation* entwickelte 3D-Modellierkern.

Der kostenlose, frei verfügbare 3D-Modellierkern *Open CasCade* kommt im ebenfalls kostenfrei nutzbaren 3D-MCAD-System *FreeCAD* zum Einsatz.

Eine große Gruppe mit neun Systemen bilden allerdings auch die 3D-MCAD-Systeme mit firmeninternen 3D-Modellierkernen. Die Modellierkerne *CGM* und *GranitOne* werden im jeweils gleichen Systemhaus^{FFF} wie die zugehörigen 3D-MCAD-Systeme entwickelt, nur von diesen genutzt und lassen sich als firmeninterne Geometriekerne werten. Bezogen auf 3D-MCAD-Systeme relativiert dieses Ergebnis aus Sicht der Verfasserin die Aussage von ENGELKEN, dass „... [die] meisten CAD-Systeme ... 3D-Geometriekerne in Lizenz [nutzen], die von spezialisierten Unternehmen angeboten und weiterentwickelt werden ...“^{GGG} Der Einsatz von 3D-Modellierkernen im Bereich der mechanischen 3D-CAD-Systeme lässt sich als heterogen einstufen.

^{FFF} Dassault Systèmes für *CGM* + *CATIA* und Parametric Technology Corporation (PTC) für *GraniteOne* + *Creo* (bzw. *Pro/ENGINEER* als dessen Vorgängersystem)

^{GGG} ENGELKEN, 2010, S. 228-229

Die drei kommerziellen Modellierkerne ACIS, Parasolid und C3D unterstützen aktiv Formate für den Datenaustausch. ACIS und Parasolid ermöglichen den 3D-Datenaustausch mit eigenen 3D-Datenformaten. CAX-Systeme mit dem ACIS-Modellierkern können das Format *.sat* nutzen. Anwendungen mit dem Parasolid-Modellierkern stehen mehrere 3D-Datenformate zur Verfügung: *.x_t*, *.x_b*, *.xmt_txt* und *.xmt_bin*. Diese Datenformate „... sind eine zunehmend beliebte Alternative zur Nutzung neutraler Schnittstellen“.^{HHH}

C3D unterstützt einige genormte bzw. standardisierte 3D-Datenformate. CAX-Systeme mit dem C3D-Modellierkern können 3D-Daten importieren und exportieren in den Formaten STEP, IGES, Parasolid und ACIS. Für den Export lassen sich zusätzlich STL und VRML als Austauschformate nutzen^{III}.

3.3 3D-(CAD)-Datenformate

Für die in Tabelle 1 auf Seite 42 gelisteten 3D-MCAD-Systeme recherchierte die Verfasserin die jeweils unterstützten Datenformate. Die Rechercheinformationen sind für die vorliegende Arbeit von zentraler Bedeutung. Ziel der Verfasserin ist, einen umfassenden Überblick zu unterstützten 3D-Datenformaten zu gewinnen. Aus Sicht der Verfasserin genügt es nicht, den Datenaustausch weniger 3D-MCAD-Systeme zu bewerten, die den deutschen Wirtschaftsraum dominieren.

Ein Ziel vorliegender Arbeit ist, 3D-Datenformate zu ermitteln, die von möglichst vielen 3D-MCAD-Systemen unterstützt werden. Von besonderem Interesse sind dabei neutrale 3D-Datenaustauschformate. Das Wissen zu normierten bzw. standardisierten Formaten ist vor allem hilfreich, wenn Daten zwischen heterogenen Anwendungen auszutauschen sind. Dies betrifft u. a. den 3D-Datenaustausch zwischen der Konstruktion und der Technischen Dokumentation.

Der 3D-Datenaustausch zwischen CAX-Systemen ist seit deren Bestehen ein zentrales Thema. Daten aus der Entwurfsphase dienen als Ausgangspunkt für die Konstruktion. Die Konstruktionsdaten werden genutzt, um mit dem virtuellen Produkt Simulationsprozesse durchzuführen. Die Eigenschaften des Produkts lassen sich auf diese Weise analysieren bevor dieses gefertigt wird. Der Datentransfer zwischen den Systemen muss auch umkehrbar sein. Während der Analyse festgestellte Produktmängel müssen konstruktiv behoben werden. Ist der Produktentwicklungsprozess abgeschlossen, dienen die 3D-Daten des Produkts als Fertigungsgrundlage. Die Daten müssen für Fertigungsmaschinen aufbereitet werden.

^{HHH} an derselben Stelle

^{III} ASCON Gruppe: C3D Kernel – http://ascon.net/de/solutions/c3d_kernel/ (29.11.2014)

Die 3D-Modelle werden in der Fertigung zunehmend als optimaler Zeichnungsersatz genutzt. Auch der Service greift für die Kundenbetreuung auf die 3D-Daten zurück.

Um 3D-Daten im gesamten Produktentstehungsprozess nutzen zu können, müssen die CAx-Systeme beim Datentransfer durchlässig sein. „Das Problem liegt indessen darin, dass jedes ... [CAx-System] nur eine begrenzte Menge von Dateiformaten schreibt und liest, und dass diese Menge sich nicht immer mit derjenigen des ... [Zielsystems] schneidet.“^{JJJ}

VOGEL nennt drei Strategien der Softwarehersteller für den Datenaustausch^{KKK}:

- Im- und Exportprogramme, die mehrere Datenformate unterstützen, konvertieren die Daten zwischen den Systemen
- neutrale, vorzugsweise genormte, Datenformate werden definiert und geeignete Schnittstellen in den Systemen implementiert
- Zusatzprogramme, sogenannte *Plug-Ins*, werden eingesetzt

3.3.1 Vorgehensweise bei der Recherche

Für die im Recherchezeitraum September bis November 2014 jeweils aktuelle Softwareversion eines 3D-MCAD-Systems wurden die unterstützten Dateiformate ermittelt und gelistet, siehe Dokument *3D-MCAD_Datenformate*^{LLL}. Die Verfasserin entschied sich, *Dateiformate* zu recherchieren und nicht nur die *Datenformate* bzw. die *Namen unterstützter Systeme*. Diese Methode verdeutlicht aus ihrer Sicht den tatsächlichen Umfang unterstützter Formate in den einzelnen Systemen.

Wenig erfahrene Anwender können nicht ohne weiteres die mit Systemnamen oder Datenformaten verbundenen Dateiformate zuordnen. Die Angabe eines Dateiformats ist meist eindeutig^{MMM}. Die Angabe eines Systemnamens oder Datenformats ist nicht eindeutig, da sowohl zu Systemen als auch zu Datenformaten meist mehrere Dateiformate zählen. Diese werden nicht zwingend vollständig von den 3D-MCAD-Systemen unterstützt.

Als Informationsquellen dienten die Hersteller-Websites bzw. die Hersteller wurden schriftlich um Auskunft gebeten.

^{JJJ} VOGEL, 2004, S. 255

^{KKK} an derselben Stelle

^{LLL} Die Tabelle *3D-MCAD_Datenformate* ist dieser Arbeit als separate Excel-Datei beigelegt.

^{MMM} Die nativen Dateiformate .prt und .asm repräsentieren Dateien der Systeme ProENGINEER/Creo, NX und Solid Edge, siehe Tabelle 3 auf Seite 53.

Folgende Informationen sind von Interesse:

- unterstützte Betriebssysteme
- systemeigene native Dateiformate
- importierte und/oder exportierte native Dateiformate anderer 3D-MCAD-Systeme
- importierte und/oder exportierte neutrale Dateiformate (Standards)

Für einen möglichst vollständigen Überblick sind neben den 3D-Dateiformaten auch 2D-Dateiformate (Vektorformate, Pixelformate) erfasst.

Sowohl bei der Angabe der vom 3D-MCAD-System unterstützten Betriebssysteme als auch bei den Datenformaten hat die Verfasserin darauf verzichtet, deren Versionen anzugeben.

Das Wissen um die unterstützten Betriebssysteme ist für die Themenstellung dieser Arbeit nicht von zentraler Bedeutung. Die Nennung der jeweils unterstützten Plattformen für die 3D-MCAD-Systeme vervollständigt die Recherche.

Die Zahl unterstützter Datenformate ist *sehr* umfangreich. Ein zusätzliches Ausarbeiten der jeweiligen Datenformat-Versionen hätte das Erfassen und Vermitteln der Information eher behindert. Die Kenntnis der jeweils unterstützten Versionen ist aus Sicht der Verfasserin auch nicht notwendig. Zielsetzung ist eine aussagefähige Übersicht zu den Dateiformaten zu erarbeiten, die die ausgewählten 3D-MCAD-Systeme unterstützen. Aus dieser Übersicht sollen sich Schlüsse ziehen lassen, ob und welche 3D-Datenformate grundsätzlich im Bereich der Technischen Dokumentation bevorzugt nutzbar sind.

Soll hingegen der konkret mögliche Datenaustausch zwischen zwei oder wenigen 3D-MCAD-Systemen realisiert werden, müssen die Datei- bzw. die Datenformate im Rahmen eines detaillierten Prüfprozesses miteinander verglichen werden. Die im Dokument *3D-MCAD_Datenformate* festgehaltenen Ergebnisse können dann aus Sicht der Verfasserin eine gute Basis für weiterführende Detailrecherchen sein.^{NNN}

^{NNN} Die Software-Pakete werden regelmäßig reversioniert. Im Rahmen dieser Überarbeitungen passen die Hersteller bei Bedarf auch die unterstützten Datenformate an.

Erfahrungsberichte der 3D-MCAD-Experten haben gezeigt, dass der 3D-Datenaustausch zwischen Systemen immer vorab mit realen Dateien zu testen ist. Für den Datenimport und -export bieten die 3D-MCAD-Systeme Standardeinstellungen an. Meist lassen sich diese individuell anpassen. Die für die eigene Anwendung optimale Einstellung muss durch Tests gefunden werden.

Damit die 3D-Modelldaten zwischen Systemen fehlerfrei ausgetauscht werden können, müssen die 3D-Modelle grundsätzlich qualitativen Anforderungen genügen. Diese Anforderungen sind von den beteiligten Interessengruppen festzulegen.

Zu berücksichtigen ist, dass die Software-Unternehmen und Systemhäuser einen Teil der Austausch-Datenformate optional anbieten, diese in den Grundversionen also nicht enthalten sind. Die Datenformat-Konverter sind dann als Module erhältlich. Der Anwender kann auf diese Weise seinen Datenaustausch selbst konfigurieren.

3.3.2 Aufbereitung der Rechercheergebnisse

Die Zahl unterstützter Dateiformate ist erheblich größer als zu Recherchebeginn angenommen.

Ausgewertet sind die Dateiformate für fünfundzwanzig 3D-MCAD-Systeme. Dabei stellt die Systemauswahl der Verfasserin keine Systemwertung dar. Kriterien waren:

- das Softwarepaket ist ein echtes 3D-CAD-System
- die im deutschen Wirtschaftsraum genutzten 3D-MCAD-Systeme möglichst vollständig erfassen
- hochpreisige und niedrigpreisige 3D-MCAD-Systeme berücksichtigen

Der zeitlich begrenzte Rahmen dieser Arbeit ließ einen noch größeren Umfang recherchierter Softwarepakete nicht zu. Die gewählten 3D-MCAD-Systeme repräsentieren eine deutliche Mehrheit, bezogen auf den deutschen Wirtschaftsraum. Die Liste der 3D-MCAD-Systeme mit deren Dateiformaten ist aussagefähig und bewertbar. Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt in einem Auszug den strukturellen Aufbau der umfangreichen Excel-Liste.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1																							
2	neutrale Dateiformate und Standards - 3D, und 2D (eingegräute Felder)																						
3	3dm	cgm	dwg	dxf	htm?	igs	iges	it?	kmj/kmz	pdf	sat	sdwg	sti	stp/step	u3d	vda	wri/x3dv	x_b	x_b	x3d	xmi	xnc/xmi	
4	native Dateiformate																						
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							

Abbildung 16: 3D-MCAD_Datenformate.xlsx – Auszug

Pos.	Beschreibung
1	laufende Nummer für ein 3D-MCAD-System
2	laufende Nummer für ein Dateiformat
3	Kürzel des Dateiformats
4	betreffendes 3D-MCAD-System importiert das Datenformat
5	vorhandener Kommentar zum Eintrag
6	betreffendes 3D-MCAD-System exportiert das Datenformat

Die Dateiformate sind in der tabellarischen Übersicht als Spalten in drei Kategorien alphabetisch sortiert: neutrale Dateiformate (Normen, Standards), native Dateiformate und Pixelformate. 2D-Dateiformate sind mit grauer Schrift eingetragen.

3.3.3 Native 3D-CAD-Datenformate

Native Dateiformate haben vorrangig den Zweck, die mit dem CAD-System erzeugten Daten zu speichern. Bei den 3D-MCAD-Systemen werden folgende Datenspeicherungen unterschieden:

- Skizzen (2D)
- Zeichnungen (2D)

- Bauteile (3D)
- Baugruppen (3D)

Die Softwarepakete der ausgewählten 3D-MCAD-Systeme enthalten teilweise auch Schnittstellenkonverter für native 3D-Dateiformate ihrer Mitbewerber. Dies betrifft vor allem den Datenimport, aber auch den Datenexport. Siehe auch *3D-MCAD_Datenformate.xlsx*. Das Rechercheergebnis bestätigt die Aussage von ENGELKEN, dass „... [wegen] der grundsätzlichen Unzulänglichkeiten bei der Nutzung neutraler Datenformate für den Datenaustausch“^{OOO} CAD-Systeme auch den direkten Datenaustausch über sogenannte Direktschnittstellen mit ihren Mitbewerbern unterstützen. „Mit der Nutzung der Direktschnittstellen lassen sich häufig bessere Ergebnisse erzielen als bei der Übertragung mit neutralen Datenformaten.“^{PPP}

Die Konstruktion der Bauteile und Baugruppen für komplexe Produkte kann den Einsatz mehrerer 3D-MCAD-Systeme erfordern. Hauptursachen sind die zunehmend dezentrale Vergabe von Konstruktionsaufträgen und die unterschiedlichen Systemspezialisierungen, vgl. Flächenmodellierer und Volumenmodellierer. Die daraus resultierende notwendige Multi-CAD-Fähigkeit der Systeme, fördert den Trend zu Direktschnittstellen.

Die Implementierung einer Direktschnittstelle in ein 3D-MCAD-System kann ihre Ursache auch in der notwendigen Übernahme der Altbestände von CAD-Daten für neue Konstruktionsaufgaben haben.

Dem Vorteil, dass der 3D-Datenaustausch zwischen 3D-MCAD-Systemen über Direktschnittstellen quasi verlustfrei realisierbar ist, steht der Nachteil gegenüber, dass Direktschnittstellen mit einem hohen Kostenaufwand verbunden sind. Direktschnittstellen sind individuell. Sie müssen system- und versionsspezifisch programmiert werden. Für neue Systemversionen sind die Direktschnittstellen oft nicht sofort verfügbar und müssen nachträglich installiert werden.^{QQQ}

Die im Dokument *3D-MCAD_Datenformate* erfassten 3D-MCAD-Systeme unterstützen deutlich mehr als einhundert 2D- und 3D-Dateiformate^{RRR}. Etliche 3D-Dateiformate werden von weniger als fünf Systemen unterstützt. Die Verfasserin bezieht diese Dateiformate nicht weiter in die Auswertung ein. Ebenfalls nicht weiter berücksichtigt werden 2D-Dateiformate. Mit diesen Eingrenzungen reduziert sich die Zahl zu bewertender nativer 3D-

^{OOO} ENGELKEN, 2010, S. 228

^{PPP} an derselben Stelle

^{QQQ} vgl. VDI 2209:2009-03, S. 119/120

^{RRR} Zu einem nativen 3D-CAD-Datenformat gehören u. a. Formate für Teile und Baugruppen.

Dateiformate auf dreizehn. Sie sind in der nachfolgenden Tabelle 2 alphabetisch gelistet.

Tabelle 2: Bewertete native 3D-Dateiformate

3D-Dateiformat	Export (ex)	Import (im)	bidirektional (ex/im)	Summe
.asm	---	10	3	13
.CATpart	---	3	10	13
.CATproduct	---	3	10	13
.cgr	1	1	3	5
.dwg	---	1	15	16
.exp	---	3	4	7
.iam	---	10	1	11
.ipt	---	11	1	12
.model	---	2	10	12
.obj	1	1	6	8
.prt	---	12	2	14
.sldasm	---	6	3	9
.sldprt	---	6	3	9

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die in die Bewertung einfließenden 3D-Dateiformate kurz beschrieben.

Tabelle 3: Beschreibungen native 3D-Dateiformate aus Tabelle 2

3D-Dateiformat	Kurzbeschreibung
.asm	Assembly. – Natives Dateiformat für Baugruppen. Das Dateiformat nutzen mehrere 3D-MCAD-Systeme: Pro/ENGINEER und Creo, Solid Edge.
.CATpart	Natives CATIA V5 Dateiformat für Bauteile.
.CATproduct	Natives CATIA V5 Dateiformat für Baugruppen.
.cgr	C ATIA G raphical R epresentation. – Natives CATIA V5 Dateiformat. Das cgr-Dateiformat wird genutzt, wenn 3D-Modelle hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften in Simulationen getestet werden, vgl. Digital Mock-Up (DMU).
.dwg	Drawing. – Natives AutoCAD-Dateiformat.
.exp	Natives CATIA V4 Dateiformat für eine Exportdatei. Eine EXP-Datei kann mehrere 3D-Modelle beinhalten. Modelle können Bauteile oder Baugruppen sein.
.iam	Inventor Assemblies. – Natives Inventor Dateiformat für Baugruppen.
.ipt	Inventor Parts. – Natives Inventor Dateiformat für Bauteile.
.model	Natives CATIA V4 für eine Modelldatei. Modelle können Bauteile oder Baugruppen sein.

3D-Dateiformat	Kurzbeschreibung
.obj	Alias Wavefront Object. Gehört zur Klasse der Modellierungs- und Animationsformate. Die Modelle werden mit Linien, Polygonen, Freiformkurven und Oberflächen wiedergegeben.
.prt	Part. – Natives Dateiformat für Bauteile; bei NX für Bauteile, Baugruppen und abgeleitete 2D-Zeichnungen. Das Dateiformat nutzen mehrere 3D-MCAD-Systeme: Pro/ENGINEER und Creo, NX, (CADKEY).
.sldasm	Natives Dateiformat des Systems SolidWorks für Baugruppendaten.
.sldprt	Natives Dateiformat des Systems SolidWorks für Bauteildaten.

Zwei Dateiformatbenennungen werden von mehreren 3D-MCAD-Systemen in unterschiedlicher Weise eingesetzt:

PRT-(Part)Dateien können Bauteilmodelle des Systems Creo (Pro/ENGINEER) enthalten. Das System NX speichert sowohl Bauteile als auch Baugruppen und 2D-Zeichnungen mit diesem Dateiformat.

ASM-(Assembly)Dateien können Baugruppenmodelle enthalten, die mit den Systemen Creo (Pro/ENGINEER) oder Solid Edge erstellt wurden.

Abbildung 17 veranschaulicht die Ergebnisse aus der Tabelle 2.

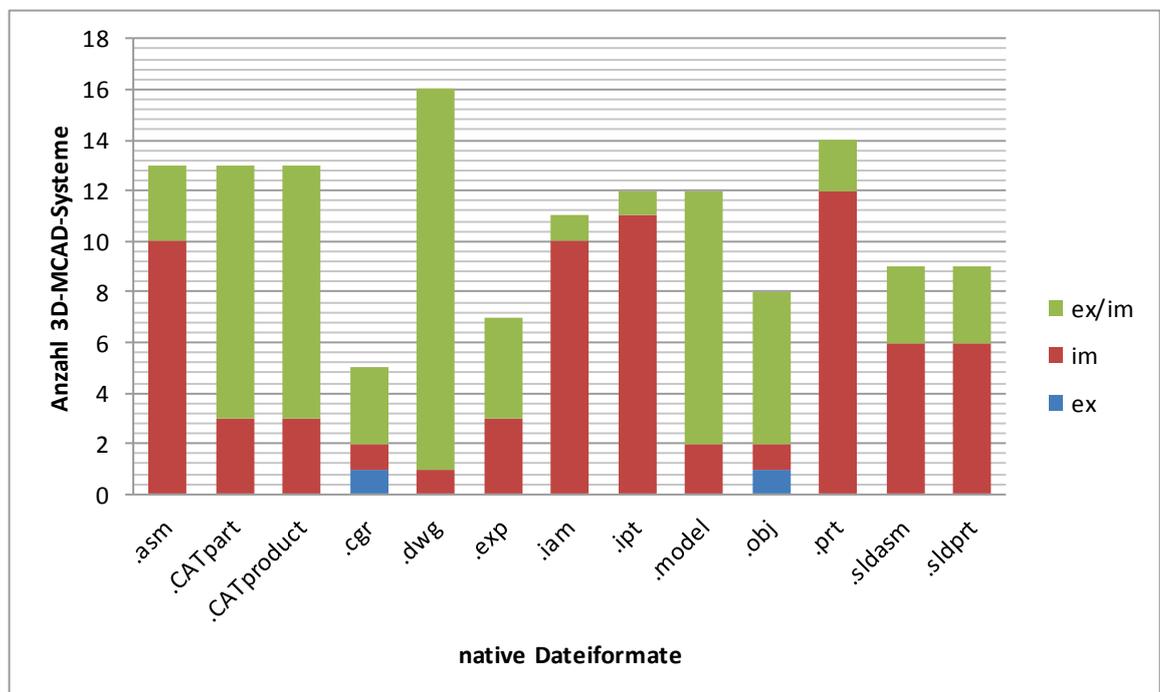


Abbildung 17: Unterstützte native 3D-Dateiformate

Mit Ausnahme des Alias Wave Front Formats *.obj* stammen alle in obiger Darstellung gegenübergestellten nativen 3D-Dateiformate von 3D-MCAD-Systemen großer Systemhäuser:

Autodesk	AutoCAD (.dwg) Inventor (.iam, .ipt)
Dassault Systèmes	CATIA V5 (.CATpart, .CATproduct, .cgr, .exp) SolidWorks (.sldasm, .sldprt)
PTC	Creo und Pro/Engineer (.prt, .asm)
Siemens PLM Software	Solid Edge (.asm) NX (.prt)

Das Ergebnis lässt für die Verfasserin den Schluss zu, dass die Systemhäuser ihre 3D-MCAD-Systeme als Multi-CAD-Anwendungen vor allem für die großen Mitbewerber konzipieren.

3.3.4 Neutrale 3D-Datenformate (Normen/Standards)

Die im Dokument *3D-MCAD_Datenformate* erfassten 3D-MCAD-Systeme unterstützen knapp zwanzig neutrale 2D- und 3D-Datenformate. Herstellerneutrale 3D-Datenformate sind in Normen oder als Standards spezifiziert und somit, im Gegensatz zu nativen Datenformaten, öffentlich verfügbar.

Im deutschen Sprachraum besteht ein inhaltlicher Unterschied zwischen Norm und Standard. Dieser ist nachfolgend beschrieben.

Unterschied Norm – Standard

In der DIN EN 45020 ist die Benennung *Norm* definiert als „Dokument, das mit *Konsens* erstellt und von einer anerkannten *Institution* angenommen wurde und das für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung Regeln, Leitlinien oder Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse festlegt, wobei ein optimaler Ordnungsgrad in einem gegebenen Zusammenhang angestrebt wird
ANMERKUNG Normen sollten auf den gesicherten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung basieren und auf die Förderung optimaler Vorteile für die Gesellschaft abzielen.“^{SSS}

^{SSS} Norm DIN EN 45020:2007-03: Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten — Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004), S. 25

Der Prozess, um Normen im Konsens mit den beteiligten Interessengruppen festzulegen, wird *Normung* genannt. Die DIN EN 45020 definiert *Normung* als „Tätigkeit zur Erstellung von Festlegungen für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung, die auf aktuelle oder absehbare Probleme Bezug haben und die Erzielung eines optimalen Ordnungsgrades in einem gegebenen Zusammenhang anstreben ANMERKUNG 1 Diese Tätigkeit besteht im Besonderen aus den Vorgängen zur Formulierung, Herausgabe und Anwendung von Normen. ANMERKUNG 2 Wichtige Vorteile der Normung(sarbeit) sind die Verbesserung der Eignung von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen für ihren geplanten Zweck, die Vermeidung von Handelshemmnissen und die Erleichterung der technischen Zusammenarbeit.“^{TTT}

Die nationale Norm DIN 820-3 „enthält die Begriffe, die zusätzlich zu denen nach DIN EN 45020 für die Normung im DIN benötigt werden.“^{UUU} Sie konkretisiert die Begriffsdefinition der *Normung* für den deutschen Sprachraum. Die Definition aus der europäischen Norm ist 1:1 übernommen. Der begriffliche Bezug der Definition wurde erweitert auf *Normung und Standardisierung*. Zugehörige Dokumente sind *Normen und Spezifikationen*. Die *Normung* ist ergänzend definiert als „planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich im Konsens durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit“^{VVV} Im Unterschied dazu ist die Standardisierung eine „technische Regelsetzung ohne zwingende Einbeziehung aller interessierten Kreise und ohne die Verpflichtung zur Beteiligung der Öffentlichkeit“^{WWW}

Als Konsequenz der Begriffsdefinition in der DIN 820-3 für die Dokumente aus den Normungs- und Standardisierungsprozessen sollten im deutschen Sprachraum ausschließlich die Benennungen *Normen* oder *Spezifikationen* genutzt werden. Neben *Spezifikation* wird in vielen Publikationen *Standard* häufig als synonyme Benennung eingesetzt.

^{TTT} DIN EN 45020:2007-03, S. 17

^{UUU} Norm DIN 820-3:2014-06: Normungsarbeit – Teil 3: Begriffe, S. 3

^{VVV} DIN 820-3:2014-06., S. 5

^{WWW} an derselben Stelle

Rechercheergebnis

Kein neutrales Datenformat wird von allen 3D-MCAD-Systemen unterstützt. Einige Datenformate werden von weniger als fünf Systemen unterstützt. Bezogen auf 3D-Daten sind dies: 3D XML (.3dxml), SDNF (.sdnf), XML (.xml) und XNC (.xnc). In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die nicht in die Bewertung einfließenden 3D-Dateiformate kurz beschrieben.

Tabelle 4: Beschreibungen nicht bewertete neutrale 3D-Dateiformate

3D-Dateiformat	Kurzbeschreibung
.3dxml	3D XML ist eine Entwicklung des Systemhauses Dassault Systèmes. Dassault Systèmes konzipierte dieses Format, um 3D-Daten innerhalb eines kompletten PLM-Prozesses mit einem einheitlichen Datenformat austauschen zu können. 3D XML basiert auf dem XML-Standard und ist ein offenes Format. Seine vollständige Dokumentation kann von interessierten Anwendern eingesehen werden. Laut Dassault Systèmes lassen sich mit 3D XML 3D-Daten in Echtzeit erfassen und austauschen. Eine Grundlage hierfür ist der um bis zu 90 Prozent geringere Datenumfang. ^{xxx}
.sdnf	Das Akronym SDNF steht für: <i>Steel Detailing Neutral Format</i> . SDNF ist ein Industrie-Standard. Er wird genutzt, um 3D-Daten von Stahlbauten zwischen Systemen auszutauschen.
.xnc	Datenaustauschformat für NC-Maschinen. Der Standard XNC wurde vom Deutschen Stahlbau Verband (DSTV) geschaffen, um CAD-Daten für NC-Maschinen zu vereinheitlichen. XNC basiert auf dem XML-Standard.

Ebenfalls nicht weiter berücksichtigt werden:

- CGM (.cgm) – genormtes (ISO/IEC 8632-1 Technical Corrigendum 2:2007-10) 2D-Datenformat für Vektorgrafiken
- HTML (.htm/.html) – genormte (ISO/IEC 15445:2000-05) Auszeichnungssprache für digitale Dokumente
Das World Wide Web Consortium entwickelt HTML als Standard weiter.
- KML (.kml/.kmz) – standardisierte Auszeichnungssprache für Geodaten
KML basiert auf dem XML-Standard.
- XML (.xml) – standardisierte (World Wide Web Consortium) Auszeichnungssprache, um hierarchisch strukturierte Daten darzustellen
Auf den Standard bauten verschiedene XML-Sprachen auf, u. a. für Texte (vgl. DocBook, DITA) oder Grafiken (vgl. X3D, Collada)^{yyy}

^{xxx} Dassault Systèmes: 3D XML Format. – <http://www.3ds.com/de/produkte-und-services/3d-xml/format/> (05.11.2014)

^{yyy} vgl. Extensible Markup Language – http://de.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language (17.01.2015)

Elf neutrale 3D-Datenformate fließen in die nachfolgende Bewertung ein. Die Formate sind in der Tabelle 5 alphabetisch gelistet:

Tabelle 5: Übersicht bewertete neutrale 3D-Datenformate

3D-Datenformat	Export (ex)	Import (im)	bidirektional (ex/im)	Summe
3D-PDF (.pdf)	13	---	---	13
ACIS (.sat)	---	---	15	15
DXF (.dxf)	---	1	16	17
IGES (.igs/.iges)	3	1	19	23
JT (.jt)	2	1	3	6
Parasolid (.x_b/.x_t)	---	2	11	13
STEP (.stp/.step)	---	---	23	23
STL (.stl)	8	1	10	19
U3D (.u3d)	4	---	1	5
VDAFS (.vda)	---	---	9	9
VRML (.wrl)	12	1	3	16

In der nachfolgenden Tabelle 6 sind die in die Bewertung einfließenden neutralen 3D-Datenformate beschrieben. Genormte 3D-Datenformate sind in der Tabelle durch Fettdruck hervorgehoben.

Tabelle 6: Kurzbeschreibungen native 3D-Dateiformate aus Tabelle 5

3D-Datenformat	Kurzbeschreibung
3D-PDF (.pdf)	Das Akronym <i>PDF</i> steht für: <i>Portable Document Format</i> . PDF wurde Anfang der 1990er Jahre von der Firma Adobe Systems entwickelt. Ziel war die Schaffung eines neutralen, plattformunabhängigen Datenformats, um Dokumente ohne deren Entwicklungsprogramm lesbar zu machen. Dafür entwickelte Adobe Systems den kostenlosen Acrobat Reader. PDF (V 1.7) ist seit 2008 in der ISO 32000-1 genormt. Für die verschiedenen Anwendungsgebiete entwickelte die ISO spezifische PDF-Standards. PDF/E ist der Standard für die Produktentwicklung und in der ISO 24517-1 genormt. PDF/E nutzt das standardisierte 3D-Datenformat U3D, um die 3D-Modelle einzubetten. Geplant ist, das seit Dezember 2014 in der ISO 14739 genormte 3D-Datenformat PRC mit in die ISO 24517-2 aufzunehmen.
ACIS (.sat)	Der ACIS-Modellierkern wird seit mehr als zwanzig Jahren von der Spatial Corporation entwickelt. Sie ist heute ein Tochterunternehmen des Systemhauses Dassault Systèmes. ACIS zählt neben Parasolid zu den am häufigsten genutzten 3D-Modellierkernen, siehe auch Abbildung 15 auf Seite 47 dieser Arbeit. Mit dem 3D-Datenformat <i>sat</i> verfügt der 3D-Modellierkern über ein eigenes 3D-Datenformat. 3D-CAD-Systeme, die den ACIS-Modellierkern verwenden, können dieses Format für den

3D-Datenformat	Kurzbeschreibung
	Datenaustausch nutzen. Übertragen werden die Geometriedaten für Linien, Kurven, Drahtmodelle und Volumenmodelle. In der exportierten Datei fehlen Features und Bemaßungen. ^{ZZZ}
DXF (.dxf)	Das Akronym <i>DXF</i> steht für: <i>Drawing Interchange File</i> . Entwickelt wurde das DXF-Format Anfang der 1980er Jahre von der Firma Autodesk. Das Format sollte den Datenaustausch zwischen den auf verschiedenen Plattformen installierten AutoCAD-Systemen sicherstellen. Die DXF-Daten sind als ASCII-Text kodiert. Sie sind lesbar und auch manipulierbar. Autodesk beschrieb sein Datenaustauschformat im AutoCAD-Handbuch, so dass es einem breiten Anwenderkreis zugänglich wurde. ^{AAAA} DXF hat als Datenaustauschformat seit über drei Jahrzehnten einen hohen Verbreitungsgrad. DXF wird nach wie vor von Autodesk gepflegt. Es ist ein Industrie-Standard. Mit DXF lassen sich sowohl 2D-CAD-Zeichnungen als auch 3D-CAD-Modelle zwischen CAD-Systemen austauschen.
IGES (.igs/.iges)	Das Akronym <i>IGES</i> steht für: <i>Initial Graphics Exchange Specification</i> . IGES ist eine ANSI-Norm ^{BBBB} für 2D- und 3D-Daten. „Mit IGES können sowohl einfache Punktwolken und Technische Zeichnungen als auch dreidimensionale Geometriemodelle digital zwischen unterschiedlichen Applikationen ausgetauscht werden. Entscheidend für die Möglichkeiten des Austausches sind die <i>IGES-Entities</i> . Diese Entities sind logische Informationseinheiten, die in der IGES-Spezifikation definiert werden. Dort wird genau vorgeschrieben, wie ein Punkt, eine Linie oder auch eine Freiformfläche definiert werden. Die Informationen eines Konstruktionsmodells, für die keine Entities in IGES vorhanden sind, können auch nicht mit dieser Spezifikation übertragen werden. Die Spezifikation ist weit verbreitet. Eine Weiterentwicklung von IGES erfolgt jedoch nicht mehr.“ ^{CCCC} Die zuletzt veröffentlichte Version ist die 5.3. Mit dem IGES-Datenformat werden nur die geometrischen Daten nicht aber die als Features hinterlegten Informationen eines 3D-Modells übertragen. ^{DDDD}
JT (.jt)	Das Akronym <i>JT</i> steht für: <i>Jupiter Tessellation</i> . JT ist ein 3D-Datenformat, das vor allem für industrielle Anwendungen entwickelt wurde. Im Vordergrund steht die Visualisierung von 3D-Modellen für Bereiche, die direkt oder indirekt mit der Konstruktion kommunizieren. 1997 begann dessen erste Definition durch die Unternehmen Hewlett Packard (HP) und Engineering Animation Inc. (EAI). Das JT-Format wird heute durch die Siemens PLM Software gepflegt. Mit der Geometrie kann JT Zusatzinformationen wie

^{ZZZ} VOGEL, 2004, S. 261-262

^{AAAA} RUDOLPH, Dietmar; STÜRZNICKEL, Thomas; WEISSENBERGER, Leo: Der DXF-Standard. München: Rossipaul Verlagsgesellschaft, 1993, S. 29-30

^{BBBB} ANS US PRO/IPO-100-1996

^{CCCC} BRÖKEL, 2008, S. 384

^{DDDD} BRÖKEL, 2008, S. 385

3D-Datenformat	Kurzbeschreibung
	<p>Maße, Toleranzen, Material oder Struktur mitliefern. Am Produktionsprozess beteiligte Bereiche können so 3D-CAD-Modelle betrachten und auswerten.^{EEEE}</p> <p>Das JT-Datenformat ist seit Ende 2012 als internationaler Standard genormt in der ISO 14306: „Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – JT-Dateiformat für 3D-Visualisierung“.</p>
<p>Parasolid (.x_b/.x_t)</p>	<p>Der 3D-Modellierkern <i>Parasolid</i> wurde Ende der 1980er Jahre im Unternehmen Shape Data entwickelt. Heute entwickelt und vertreibt Siemens PLM Systems Parasolid in einem seiner Geschäftsbereiche. Parasolid zählt neben ACIS zu den am häufigsten genutzten 3D-Modellierkernen, siehe auch Abbildung 15 auf Seite 47 dieser Arbeit.</p> <p>Parasolid verfügt über zwei Datenaustauschformate: <i>x_t</i> und <i>x_b</i>. <i>x_t</i>-Dateien enthalten ASCII-Text und <i>x_b</i>-Dateien enthalten Binärdaten. Von der 3D-Geometrie werden Linien, Kurven und Volumenkörper exportiert. „Teile und Baugruppen werden ohne Hierarchie und Features ausgegeben, allerdings bleiben in Zusammenbauten die Bezugsebenen und ihr Ursprung erhalten.“^{FFFF}</p>
<p>STEP (.stp/.step)</p>	<p>Das Akronym <i>STEP</i> steht für: <i>Standard for the Exchange of Product Model Data</i>. Das STEP-Datenformat ist international genormt in der ISO 10303 „Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Produktdatendarstellung und -austausch“. Die internationale Norm hat einen modularen Aufbau, siehe Abbildung 19 auf Seite 73.</p> <p>STEP definiert den Datenaustausch sowohl für 2D- als auch für 3D-Daten. „STEP wurde systematisch entwickelt“, um die „Unzulänglichkeiten von IGES, VDA FS und anderer älterer Schnittstellen“^{GGGG} zu beseitigen. „Das unterscheidet STEP grundsätzlich von allen anderen Formaten, deren Struktur eher willkürlich festgelegt wurde. Die Grundlage von STEP ist ein Entity-Relationship-Ansatz, der mittels einer formalen Beschreibungssprache (<i>EXPRESS</i>) verwendet wird, um einen Betrachtungsbereich (Scope oder Diskurs-Bereich) auf logischer Ebene abstrakt zu beschreiben.“^{GGGG}</p>
<p>STL (.stl)</p>	<p>Das Akronym STL steht für: <i>Stereo/lithographie</i>.</p> <p>Die Stereolithographie ist das älteste Rapid Prototyping-Verfahren. „Es wurde in der Stereo Lithography Interface Specification der Firma 3D-Systems 1989 veröffentlicht. ... Die Vorteile dieses Formats sind der extrem einfache Aufbau der Spezifikation und auch der Austauschdatei sowie die gute Anpassung der Genauigkeit des exportierten Modells an den Verwendungszweck. Nachteilig ist die Annäherung der stetig gekrümmten Oberfläche durch zahlreiche, allerdings ebenflächige, Facetten. Die Facetten sind Dreiecke, deren Größe der Krümmung der Oberfläche angepasst wird. Je stärker die Krümmung, desto mehr Facetten werden</p>

^{EEEE} DEISINGER, Joachim: JT optimiert Zusammenarbeit. In: interface 3 (2010), S. 12-13

^{FFFF} VOGEL, 2004, S. 263

^{GGGG} BRÖKEL, 2008, S.391

3D-Datenformat	Kurzbeschreibung
	<p>verwendet. Die stl-Dateien werden bei komplexen Strukturen sehr groß.^{HHHH} Das STL-Format stellt einen Quasistandard dar für den Datenaustausch zwischen CAD-Systemen und Rapid Prototyping Anwendungen.</p>
<p>U3D (.u3d)</p>	<p>Das Akronym <i>U3D</i> steht für: <i>Universal 3D</i>. U3D wird als Standard ECMA-363 von der European Computer Manufacturers Association geführt. U3D wird im PDF-Format genutzt, um 3D-Daten einzubetten. U3D wurde als neutrales Format definiert, um 3D-CAD-Daten in einem erweiterten Spektrum nutzen zu können. Der Fokus liegt vor allem auf Visualisierungen im Bereich geschäftlicher Anwendungen.^{IIII}</p>
<p>VDAIS VDAFS (.vda)</p>	<p>Das Datenformat VDAIS wurde vom Verband Deutscher Automobilhersteller (VDA) entwickelt. <i>IS</i> steht als Akronym für <i>IGES Subset</i>. VDAIS ist eine Untermenge des ANSI-Standards IGES. Ziel war, den Datenaustausch zwischen den Automobilherstellern und deren Zulieferern zu vereinheitlichen sowie die Fehlerquote zu minimieren. VDAIS ist seit 1994 in den beiden Technischen Regelwerken VDMA/VDA 66319-1 und VDMA/VDA 66319-2 spezifiziert. Im ersten Teil „Industrielle Automation – Rechnerunterstütztes Konstruieren – Festlegung einer Untermenge von IGES, Version 5.1 (VDAIS); <i>Basisgeometrie und Bemaßung</i>“ sind die IGES-Untermengen festgelegt, die den Datenaustausch der 2D- und 3D-Geometrien und deren Bemaßungen sicherstellen. Im zweiten Teil „Industrielle Automation – Rechnerunterstütztes Konstruieren – Festlegung einer Untermenge von IGES, Version 5.1 (VDAFS); <i>Freiformflächen</i>“ sind die IGES-Untermengen festgelegt, die den Austausch der 3D-Geometrien und deren Topologie für Freiformflächen sicherstellen. Ebenfalls definiert werden die Leistungsanforderungen an die notwendigen Schnittstellenkonverter. Die in den CAD-Systemen zum Einsatz kommenden Konverter werden in einem vom Verband autorisierten Labor geprüft. Sie müssen die im Regelwerk vorgegebenen Leistungsmerkmale erfüllen.</p>

^{HHHH} BRÖKEL, 2008, S. 395

^{IIII} ECMA-363: Universal 3D File Format. 4. Ausgabe Genf: Ecma International, 2007, S. 1

3D-Datenformat	Kurzbeschreibung
VRML (.wrl)	<p>Das Akronym <i>VRML</i> steht für: <i>Virtual Reality Modeling Language</i>.</p> <p>Das 3D-Visualisierungsformat VRML „ist eine Beschreibungssprache für 3D-Szenen, deren Geometrien, Ausleuchtungen, Animationen und Interaktionsmöglichkeiten inklusive in der virtuellen Umgebung platzierter Geräuschquellen.“^{JJJJ}</p> <p>Das VRML-Format wird u. a. für den Datenaustausch zwischen CAD-Systemen und Virtual Reality Systemen genutzt.^{KKKK}</p> <p>X3D ist das Nachfolge-Datenformat für VRML. „X3D wird durch das Web3D Consortium betreut und wurde im Jahre 2001 vom W3C-Konsortium als offizieller Standard für 3D-Inhalte im Internet verabschiedet.“^{LLLL}</p>

Abbildung 18 veranschaulicht die Ergebnisse aus der Tabelle 5.

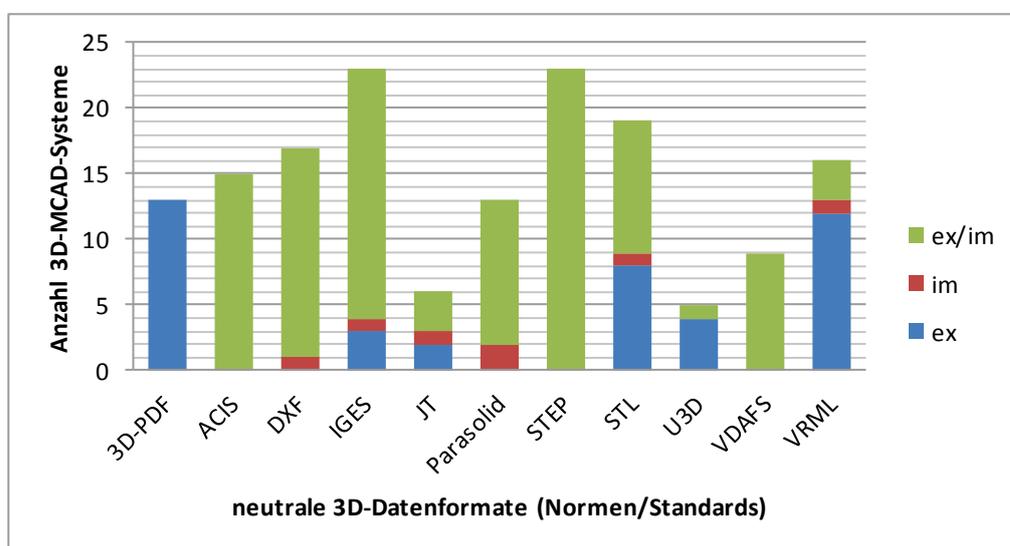


Abbildung 18: Unterstützte neutrale 3D-Datenformate

Nachfolgend werden von den in Abbildung 18 wiedergegebenen neutralen 3D-Datenformaten vor allem die Formate eingehender betrachtet, die aus Sicht der Verfasserin für den Datenaustausch zwischen der Konstruktion und der Technischen Dokumentation relevant sind. Dazu zählen 3D-PDF, JT und STEP. Während sich 3D-PDF und JT als 3D-Visualisierungsformate einordnen lassen, repräsentiert STEP ein Datenformat, das für den Datenaustausch zwischen den verschiedenen CAx-Systemen konzipiert wurde.

^{JJJJ} Wikipedia: Virtual Reality Modeling Language. – http://de.wikipedia.org/wiki/Virtual_Reality_Modeling_Language (09.11.2014)

^{KKKK} vgl. VDI 2209, 2009, S. 116

^{LLLL} Wikipedia: X3D. – <http://de.wikipedia.org/wiki/X3D> (09.11.2014)

STEP wird neben IGES u. a. häufig für den Datenaustausch zwischen CAD-Systemen und FEA-Anwendungen sowie CAD-Systemen und VR-Systemen genutzt.^{MMMM} Zu fehlerhaften Datenübertragungen nennt die VDI 2209 hier als zwei wesentliche Ursachen qualitativ ungenügende Schnittstellenkonverter und geometrische Inkompatibilitäten im 3D-Modell. Letztere ließen sich verhindern, wenn im CAD-System ein Prüfprogramm eingesetzt wird.

Fast alle bewerteten 3D-MCAD-Systeme unterstützen die beiden genormten 3D-Datenformate STEP und IGES. Als weiteres Austauschformat für 3D-Daten ist das standardisierte DXF-Format häufig verfügbar.

In der VDI 2209 sind die Funktionsumfänge für die neutralen Datenaustauschformate STEP, DXF sowie VDAFS und VDAIS tabellarisch gegenübergestellt. Die nachfolgende Tabelle 7 gibt diese auszugsweise für die 3D-Daten wieder.

Tabelle 7: 3D-Datenaustausch mit VDAIS, VDAFS, STEP und DXF^{NNNN}

Unterstützte Funktionen	Neutrale Schnittstellen			
	VDAIS (IGES 5.1)	VDAFS	STEP	DXF
<i>3D-Linien/Kurven</i>				
analytisch: Strecken, Kreise,...	ja	geplant	ja	ja
Freiform (Spline-Kurven)	ja	ja	ja	ja
<i>3D-Flächen</i>				
analytisch: Ebenen, Zylinder, ...	ja	geplant	ja	geplant
Freiform (Spline-Flächen)	ja	ja	ja	nein
<i>3D-Volumen</i>				
Facettenmodelle	ja	nein	ja	geplant
Translations-/Rotationsflächen (Sweeps)	geplant	nein	ja	geplant
Grundkörper und Verknüpfungen (CSG)	geplant	nein	ja	nein
Flächenbegrenzungsmodell (B-REP)	geplant	nein	ja	nein
B-REP mit Freiformflächen	geplant	nein	ja	nein
<i>Sonstiges</i>				
Ebenen-/Layer-Informationen	ja	ja	ja	ja
Produkt-/Teilestruktur	nein	nein	ja	nein

^{MMMM} vgl. VDI 2209, 2009, S. 109-110 und S. 116

^{NNNN} vgl. VDI 2209, 2009, Tabelle 3 auf S. 120

Unterstützte Funktionen	Neutrale Schnittstellen			
	VDAIS (IGES 5.1)	VDAFS	STEP	DXF
Normteileinformationen	nein	nein	geplant	nein
Anwenderelemente (Werknormteile, Features,...)	nein	nein	teilweise geplant	nein
parametrische Bezüge zwischen Elementen	nein	nein		nein
Daten (Berechnung, Fertigung,...)	geplant	nein	Erw. geplant	nein

Aus obiger Tabelle geht hervor, dass keines der vier Datenformate die bewerteten geometrischen und nichtgeometrischen 3D-Dateninhalte in vollem Umfang überträgt.

Für das Arbeiten mit 3D-Modellen in der Technischen Dokumentation sind Volumenmodelle von besonderem Interesse. Aus Sicht der Verfasserin ist für diesen Teil der Produktentwicklung vor allem wichtig, dass die geometrischen Daten, die Bauteil- sowie Baugruppenstruktur und einige produktbeschreibende Metadaten korrekt und vollständig übertragen werden. Bezogen auf die Tabelle 7 erfüllt das STEP-Format diese Anforderungen am besten. Die STEP-Datenschnittstelle ist am umfassendsten definiert und erzielt für viele Anwendungen gute Ergebnisse bei der 3D-Datenübertragung.

Für den 3D-CAD-Datenaustausch mit STEP wurden zwei Normen entwickelt:

- ISO 10303 Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Produktdarstellung und -austausch – Teil 203: Anwendungsprotokoll (AP): „Konfiguration von mechanischen Teilen und Baugruppen innerhalb der 3D-Konstruktion“ für die Luftfahrtindustrie und
- ISO 10303 Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Produktdarstellung und -austausch – Teil 214: „Basisdaten für die mechanische Automobilkonstruktion und deren Prozesse“ für die Automobilindustrie.

Die 3D-MCAD-Systeme verfügen über STEP-Schnittstellenkonverter, die oft beide Standards unterstützen.

STEP wird als international genormtes 3D-Datenformat weiterentwickelt, um dieses effizienter für den notwendigen Datenaustausch im Produktentstehungsprozess einsetzen zu können. An dieser Entwicklung hat der ProSTEP iViP⁰⁰⁰⁰ Verein maßgeblichen Anteil. Der international

⁰⁰⁰⁰ integrierte virtuelle Produktentstehung

agierende Verein hat sich u. a. als Ziel gesetzt, „durch die Entwicklung von Standards für Interoperabilität und Qualität von Softwarelösungen für den Produktentstehungsprozess zu sorgen“^{PPPP}. Über 170 juristische Mitglieder aus der Industrie, IT-Unternehmen sowie Hochschulen und Verbände unterstützen aktiv den Weg hin zu standardisierten Abläufen im Produktdatenmanagement und in der virtuellen Produktentstehung. Kooperationen bestehen weltweit zu fünfzehn Standardisierungs- und Normungsorganisationen^{QQQQ}.

Auf nationaler Ebene kooperieren mit dem ProSTEP iViP Verein:

- der DIN – Deutsches Institut für Normung
- der VDA – Verband der Automobilindustrie
- der VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
- der AutomationML e. V.
- die GPM – Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement

Für diese Arbeit sind die aktuellen Standardisierungsergebnisse für die beiden genormten 3D-Datenformate STEP und JT von besonderem Interesse. Das JT-Format unterstützen sechs der bewerteten fünfundzwanzig 3D-MCAD-Systeme, siehe auch Tabelle 5 auf Seite 60 und Abbildung 18 auf Seite 64.

Der ProSTEP iViP Verein initiiert regelmäßig Benchmark-Projekte, um die Qualität des Datenaustausches mit STEP und JT zwischen Systemen des Produktentstehungsprozesses zu analysieren. Ein zentrales Thema ist die qualitative Leistungsfähigkeit der Schnittstellenkonverter. So wurden 2013 im vierten JT-Benchmark^{RRRR} verschiedene JT-Schnittstellenkonverter im Zusammenspiel mit vier 3D-MCAD-Systemen getestet, siehe Abschnitt „Vierter JT-Benchmark-Test 2013“ ab Seite 76 im Kapitel 3.3.6 „Norm ISO 14306 (JT)“.

Die Hälfte der bewerteten 3D-MCAD-Systeme bieten die Möglichkeit eines Datenexports in das 3D-Visualisierungsformat 3D-PDF. Der Standard 3D-PDF nutzt zwei 3D-Datenformate, um 3D-Modelle und deren Metadaten einzubinden: U3D und PRC.

^{PPPP} Imagebroschüre 2014 ProSTEP iViP – http://www.prostep.org/fileadmin/user_upload/ProSTEPiViP/Profil/Vereinsbroschuere/ProSTEP_iViP_Imagebroschuere_2014_D.pdf (21.01.2015), S. 3

^{QQQQ} vgl. Jahresbericht 2013 ProSTEP iViP e.V. – http://www.prostep.org/fileadmin/user_upload/ProSTEPiViP/Profil/ProSTEP_iViP_Jahresbericht_2013.pdf (21.01.2015), S. 8-9

^{RRRR} JT Application Benchmark – 4th JT Benchmark short report, February 2014 – http://www.prostep.org/fileadmin/freie_downloads/Benchmarks/JT_Benchmarks/ProSTEP-iViP-VDA_JT-Application-Benchmark_Ed4_Short-Report.pdf (21.01.2015)

In der Tabelle 5 auf Seite 60 und in der Abbildung 18 auf Seite 64 sind fünf 3D-MCAD-Systeme aufgeführt, die explizit den Datenaustausch mit U3D unterstützen. Diese fünf Systeme ermöglichen, naheliegend, auch den 3D-Datenexport in das 3D-PDF.

Die in den 3D-PDF Standard integrierten U3D-Versionen übertragen ausschließlich tessellierte Geometrie- und Animationsdaten. Im Vergleich dazu bietet das PRC-Format eine größere Bandbreite für die Datenübertragung von 3D-Modelldaten. Die geometrischen Daten lassen sich tesselliert oder als B-REP speichern. Produkt- und Fertigungsinformationen (PMI) werden als nichtgeometrische Daten übertragen. Diese schließen Bemaßungs-, Toleranz- und Analysedaten ein.^{SSSS}

Vergleich der Datenformate 3D-PDF, JT und STEP^{TTTT}

Im Jahr 2013 verglich die ProSTEP AG zum zweiten Mal für die Produktentwicklung relevante, neutrale 3D-Datenformate. In die Vergleichsstudie einbezogen wurden vier Datenformate, die in den betrachteten Anwendungsszenarien häufig eingesetzt werden: 3D-PDF, JT, STEP und 3D XML. Die Rechercheergebnisse der Verfasserin für die neutralen 3D-Datenformate der bewerteten 3D-MCAD-Systeme stimmen mit denen der ProSTEP-Studie überein.

3D XML wird nur von CATIA V5 und SolidWorks unterstützt, beides Produkte des Systemhauses Dassault Systèmes. Dassault Systèmes ist auch Entwickler des 3D XML Formats. Die Verfasserin hat die 3D-MCAD-Systeme gleich gewichtet. Da nur zwei von fünfundzwanzig Systemen das 3D XML Format unterstützen, wird es in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Für die Studie wurden die folgenden Anwendungsszenarien gewählt:

Visualisierung von Engineering-Daten^{UUUU}

Folgende Anforderungen sind wesentlich, wenn Engineering-Daten mit 3D-Viewern visualisiert werden:

- 3D-Modelle lassen sich im benötigten Detaillierungsgrad und unabhängig vom Quellsystem darstellen.
- Die Produktstruktur lässt sich filtern.
- Im 3D-Modell lassen sich Bauteile und Baugruppen vermessen.

^{SSSS} vgl. FRÖHLICH, Arnulf; ProSTEP AG (Hrsg.): Whitepaper – 3D-Formate im Engineering-Umfeld – ein Vergleich, 2013, S. 8 – <http://www.prostep.com/downloads/whitepaper-leitfaden.html> (02.02.2015)

^{TTTT} vgl. FRÖHLICH; ProSTEP AG, 2013

^{UUUU} vgl. FRÖHLICH; ProSTEP AG, 2013, S. 9

- Produkt- und Fertigungsinformationen (PMI) werden angezeigt.
- Für Virtual Reality: Texturen und Lichtquellen sind darstellbar.
- Systemübergreifende und einfach handhabbare 3D-Viewer sind vorhanden.

Datenaustausch in der Produktentwicklung^{VVV}

Folgende Anforderungen sind wesentlich, wenn 3D-Daten zwischen den Bereichen der Produktentwicklung ausgetauscht werden:

- Die geometrischen Daten und die Produktstruktur werden vollständig übertragen.
- Metadaten und PMI-Annotationen werden übertragen.
- Das 3D-Modell muss im Quell- und Zielsystem gleich sein.

Digital Mock-Up (DMU)^{WWWW}

Folgende Anforderungen sind wesentlich für das DMU:

- Anwendungen sind für die benötigte DMU-Funktionalität verfügbar.
- 3D-Modelle aus verschiedenen 3D-MCAD-Systemen lassen sich migrieren.
- Große Baugruppen lassen sich effizient untersuchen.
- Das 3D-Modell im Zielsystem enthält Kinematikdaten, um dynamische DMU-Untersuchungen durchführen zu können.

Dokumentation und Archivierung^{XXXX}

Folgende Anforderungen an das Datenformat sind wesentlich, um Produktdaten und -informationen zu dokumentieren und zu archivieren:

- Alle das Produkt beschreibenden Daten werden gespeichert und sind reproduzierbar.
- Daten aus unterschiedlichen Quellsystemen lassen sich kombinieren.
- Für die Langzeitarchivierung muss das Datenformat genormt sein.

^{VVV} an derselben Stelle

^{WWWW} vgl. FRÖHLICH; ProSTEP AG, 2013, S. 10

^{XXXX} an derselben Stelle

Bereitstellung und Anwendung von 3D-Informationen – „Portable PLM Document“^{YYYY}

Die 3D-Modelldaten eines Produkts nutzen diverse Unternehmensbereiche eines Herstellers, aber auch dessen Dienstleister, Zulieferer und Kooperationspartner. Die *Technische Dokumentation* ist einer dieser Bereiche.

Folgende Anforderungen an die Datenformate sind wesentlich, um 3D-Informationen als *Portable PLM Document* bereitzustellen:

- Das Datenformat kann die Modellinformationen als 3D-Daten, 2D-Darstellungen (Metadaten), Text- und Binärdaten in einer Datei zusammenfassen und verwalten.
- Im Datenformat lassen sich die Informationen aus verschiedenen Quellsystemen kombinieren.
- Der Zugriff auf die Dateiinformationen ist steuerbar.
- Systemübergreifende und einfach handhabbare 3D-Viewer sind vorhanden.

Für jedes Anwendungsszenario wurde die Eignung der gewählten Datenformate jeweils mit fünf Kriterien geprüft:

- Kostenlose 3D-Viewer mit geeigneten Funktionsumfängen sind verfügbar.
- Schnittstellenkonverter sind in einer guten Qualität verfügbar.
- Software Development Kits (SDK) mit geeigneten Funktionsumfängen und gut dokumentiert sind verfügbar.
- Dateigrößen der gewählten neutralen Formate sind gegenüber den nativen Formaten des 3D-MCAD-Systems deutlich kleiner bzw. lassen sich für die Datenübertragung komprimieren.
- Datenformate sind genormt.

^{YYYY} vgl. FRÖHLICH; ProSTEP AG, 2013, S. 11

Die Ergebnisse für die Datenformate pro Szenario wurden verglichen. Sie sind in der nachfolgenden Tabelle 8 dargestellt:

Tabelle 8: Ergebnisse: 3D-PDF, JT, STEP in den Anwendungsszenarien^{zzzz}

Anwendung	3D-PDF	JT	STEP
Visualisierung	● ● ●	● ● ●	●
Datenaustausch	●	● ●	● ● ●
DMU	●	● ● ●	●
Dokumentation und Archivierung	● ● ●	● ●	● ●
Portable PLM Document	● ● ●	●	●

Legende

● ● ●	sehr gut geeignet
● ●	gut geeignet
●	eingeschränkt geeignet

Für das Hauptthema dieser Arbeit, den 3D-Datenaustausch, kommt die Vergleichsstudie zu dem Ergebnis, dass das STEP-Format für dieses Anwendungsszenario am besten geeignet ist.^{AAAAA} Für die Datenkonvertierung können die Hersteller seit Jahren auf qualitativ gute Schnittstellenkonverter verschiedener Anbieter zurückgreifen. Gleiches gilt für die Verfügbarkeit von Software Development Kits. Das Ergebnis der Studie widerspiegelt sich auch im hohen Verbreitungsgrad des STEP-Datenformats bei den betrachteten 3D-MCAD-Systemen, siehe Tabelle 5 auf Seite 60 und Abbildung 18 auf Seite 64.

Zum JT-Datenformat schreibt die Studie, dass dieses „für den Datenaustausch von exakten geometrischen Informationen ebenfalls gut geeignet [ist], jedoch haben die verfügbaren Konverter und die Software im Vergleich zu STEP einen noch nicht so hohen Reifegrad. Dies betrifft insbesondere den Import von JT-Daten, der Export von JT funktioniert in der Regel einwandfrei.“^{BBBBB} Das Ergebnis der Studie bestätigt sich im Rechercheergebnis der Verfasserin. Drei 3D-MCAD-Systeme unterstützen den JT-Datenimport und -export, ein System unterstützt ausschließlich den JT-Datenimport und aus zwei Systemen können JT-Daten ausschließlich exportiert werden.

^{zzzz} vgl. FRÖHLICH; ProSTEP AG, 2013, S. 21

^{AAAAA} vgl. FRÖHLICH; ProSTEP AG, 2013, S. 19

^{BBBBB} an derselben Stelle

3D-PDF ist nicht als Austauschformat für geometrische Daten konzipiert und für dieses Anwendungsszenario nicht gut geeignet. Von den fünfundzwanzig bewerteten 3D-MCAD-Systemen unterstützen dreizehn Systeme den Datenexport. 3D-PDF hat seine Stärken in der Visualisierung von 3D-Modellen. Ebenfalls sehr gut geeignet ist dieses Format für die Dokumentation und Archivierung sowie als Speicherformat für *Portable PLM Documents*. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass der kostenlose und wohl auf den meisten PC installierte Adobe Acrobat Reader 3D-PDF-Daten verarbeitet und visualisiert.

3.3.5 Norm ISO 10303-242 (STEP AP 242)

Die ISO 10303 umfasst diverse, thematisch gegliederte Teile^{CCCC}.
Abbildung 19 zeigt den modularen Aufbau der Norm.

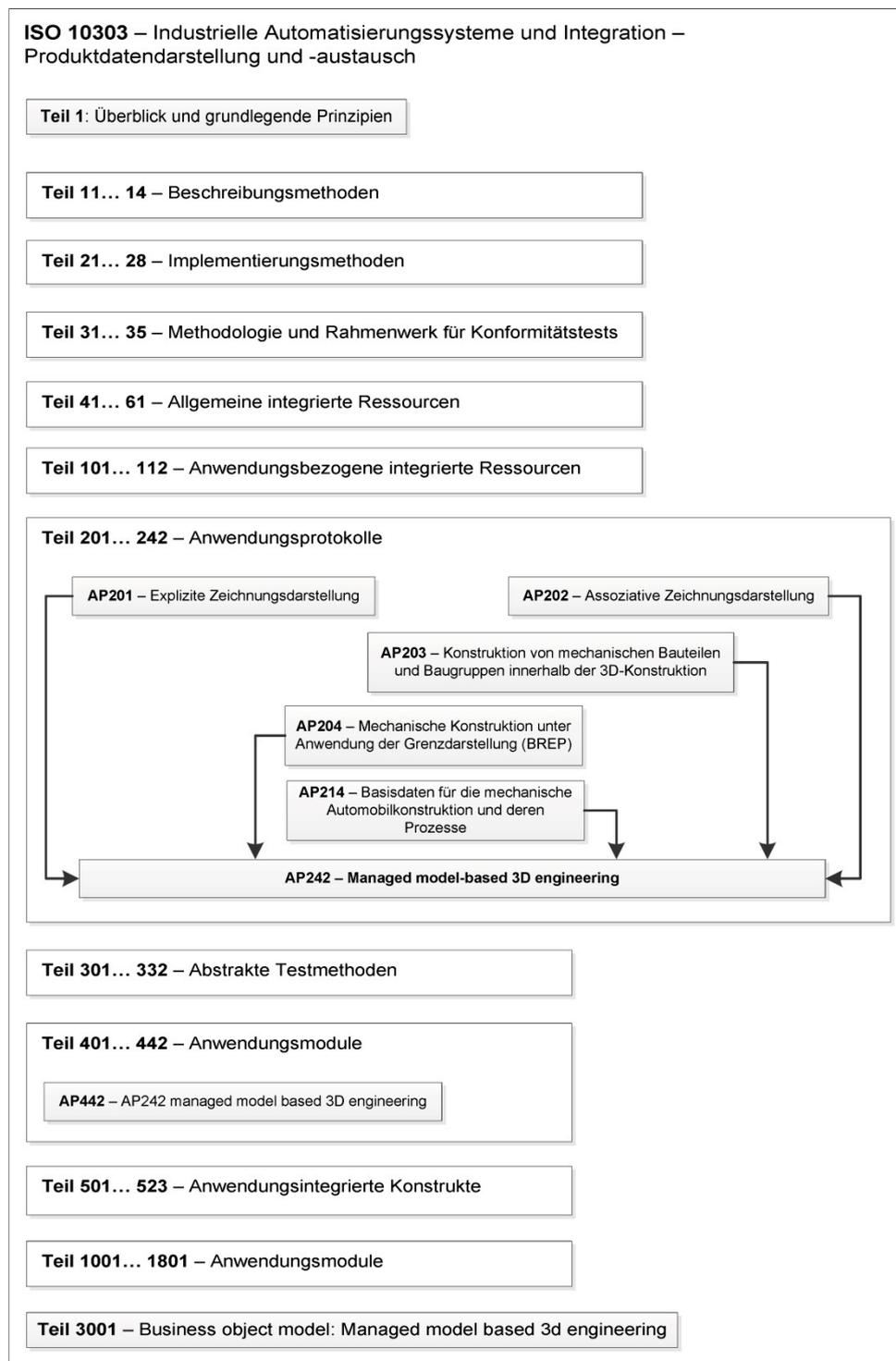


Abbildung 19: ISO 10303 – modulare Struktur

^{CCCC} vgl. http://standards.iso.org/iso/10303/tech/step_titles.htm (06.02.2015)

Im vierten Quartal 2014 schloss das TC184/SC04^{DDDDD}, als zuständiges Gremium der ISO, den Normungsprozess für das neue 3D-Datenaustauschformat ab. Es ist als Anwendungsprotokoll 242 im neuen Normteil ISO 10303-242 „Managed model-based 3D engineering“ definiert. AP242 ersetzt fünf Anwendungsprotokolle, siehe Abbildung 19.

Die Anwendungsprotokolle (Application Protocols, AP) definieren die „... [konkreten] STEP-Austauschformate als Grundlage für die Im- und Exportfunktionen von CA[x]-Systemen.“^{EEEEEE}

Der neue Standard hat einen weitreichenden Geltungsbereich. Eingeschlossen sind die Produkte der Automobil- *und* Luftfahrtindustrie, mechanische Produkte anderer Hersteller sowie deren Zulieferer. Die betrachteten Produkte können sein: Bauteile, Baugruppen, Werkzeuge, Werkzeuggruppen und auch Rohmaterialien.^{FFFFF}

STEP AP242 ist für 3D-Modelle als neutrales Datenformat konzipiert, um Konstruktions- und Produktdaten langfristig zu archivieren und wiederherzustellen → Produktdatenmanagement (PDM). Der neue Standard ermöglicht Unternehmen die Schaffung eines 3D-Master-Modells als Datenquelle für Produktinformationen und Produktdaten. Mit dem neuen 3D-Datenformat lässt sich der notwendige Datenaustausch in weiten Bereichen der Produktentstehung standardisieren:

- während der Produktionsplanung und des konstruktiven Entwurfs
- für Simulationsdaten von Bewegungsabläufen (Beschreibung der kinematischen Strukturen und Bewegungen)
- für die Verbundkonstruktion

Im Standard nicht berücksichtigt sind:^{GGGGG}

- alle Phasen des PLM, die nicht in Beziehung stehen zur Konstruktions- oder Fertigungsplanung
- Geschäfts- und Finanzdaten eines Konstruktionsprojekts
- Daten, die pneumatische, hydraulische, elektrische oder elektronische Funktionen des Produkts beschreiben

^{DDDDD} Technical Committee (TC) 184 “Automation systems and integration” / Subcommittee (SC) 04 “Industrial Data”

^{EEEEEE} BRÖKEL, 2008, S.392

^{FFFFF} vgl. Norm ISO 10303-242:2014-12: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering, chapter 1 “Scope”

^{GGGGG} an derselben Stelle

- das dynamische Verhalten kinematischer Bewegungen
- Vorgabewerte für die FEA oder Ergebnisse aus dieser

In Abbildung 20 ist der definierte Einsatzbereich des neuen STEP AP242 Datenformats innerhalb des Produktlebenszyklus als schraffierte Fläche illustriert.

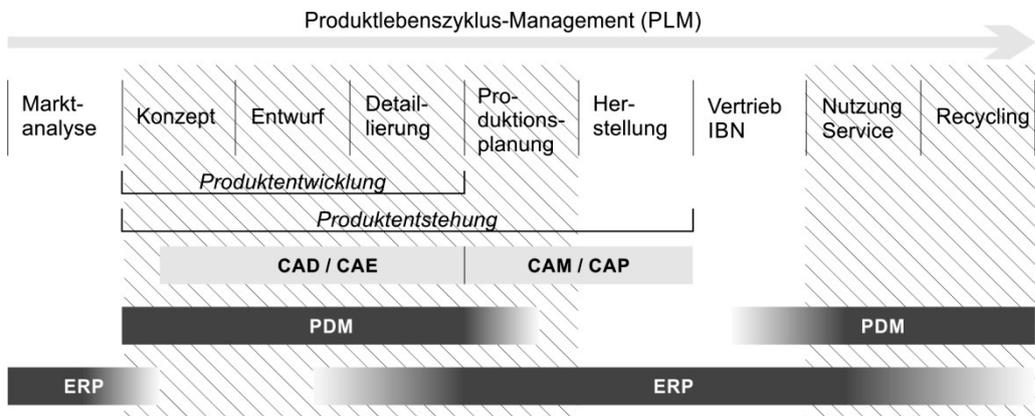


Abbildung 20: STEP AP242 – Einsatz im PLM (schraffiert)

3.3.6 Norm ISO 14306 (JT)

Das 3D-Datenübertragungsformat JT wurde im Systemhaus Siemens PLM Software entwickelt. JT ist in der ISO 14306 „Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – JT-Dateiformat für 3D-Visualisierung“ international genormt. Die aktuelle Fassung (2012-12) definiert Syntax und Semantik des Formats in der Version 9.5. „At its core, the JT format is a scene graph with Computer Aided Design (CAD) specific node and attributes support.“^{HHHHH} Die Norm umfasst nicht den gesamten Funktionsumfang von JT. Genormt sind:

- „facet information (triangles), stored with geometry compression techniques;
- visual attributes such as light, textures and materials;
- product manufacturing information (PMI);
- boundary representation (b-rep) solid model shape representations and associated metadata;
- configuration representations;
- delivery methods such as asynchronous streaming of content.“^{IIII}

^{HHHHH} ISO 14306:2012-12, S. 1

^{IIII} ISO 14306:2012-12, S. 1

Folgende Funktionen von JT sind nicht genormt:

- „the implementation of, or definition of a run-time architecture for viewing and/or processing JT data;
- long term data retention;
- non-faceted geometric data exchange.“^{JJJJ}

Gegenwärtig arbeitet die ISO an der weiterentwickelten Version JT V2 (TC184/SC4/WG12).

Vierter JT-Benchmark-Test 2013^{KKKKK}

2013 initiierte der ProSTEP iViP Verein den vierten JT-Benchmark-Test. Von Interesse war, in welcher Qualität die JT-Schnittstellenkonverter die 3D-Modelldaten transformieren. Zwei verschiedene Tests wurden durchgeführt, siehe Abbildung 21 und Abbildung 22.

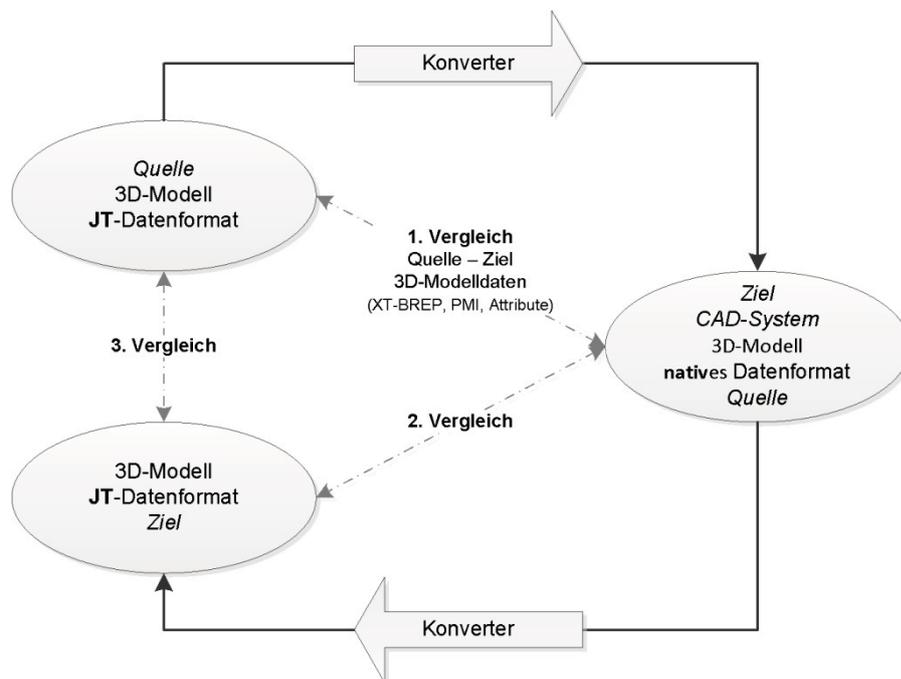


Abbildung 21: Schema: JT-Loop-Test

Im JT-Loop-Test wurde zunächst ein 3D-Modell im JT-Datenformat in ein 3D-MCAD-System importiert. Das im 3D-MCAD-System generierte, im nativen CAD-Datenformat vorliegende 3D-Modell wurde in einem zweiten Schritt wieder als JT-Datenmodell exportiert.

Drei Modellvergleiche wurden durchgeführt, siehe Abbildung 21. Zwischen Quellen- und Ziel-Modell wurden jeweils die Qualität der übertragenen

^{JJJJ} an derselben Stelle

^{KKKKK} vgl. JT Application Benchmark – 4th JT Benchmark short report, February 2014

geometrischen Daten (genormte geometrische Elemente im XT-BREP-Datencontainer), PMI und Modellattribute (Metadaten) nach vorgegebenen Kriterien bewertet. Die im Test verwendeten zehn Schnittstellenkonverter unterstützten mit einer Ausnahme nur teilweise den Datenimport bzw. -export mit den vier 3D-MCAD-Systemen – CATIA V5 R19, NX 8.5, Creo Parametric 2.0, SolidWorks 2012.

Übertragen der geometrischen Daten, Ergebnis: JT → CAD: Ein Teil der Konverter führte den Datenimport in drei CAD-Systemen innerhalb der vorgegebenen Toleranzen aus. Kein Konverter führte den Datenimport in das CAD-System SolidWorks innerhalb der vorgegebenen Toleranzen aus. Im Kurzbericht werden als Ursachen für nicht erfüllte Kriterien die fehlerhaft übertragenen Daten für Drahtmodelle sowie für PMI genannt. Das Ergebnis zeigt, dass der JT-Datenimport in (die bewerteten) 3D-MCAD-Systeme noch mit Schwierigkeiten verbunden ist.

CAD → JT: Ein Teil der Konverter führte den Datenimport in die CAD-Systeme CATIA und Creo innerhalb der vorgegebenen Toleranzen aus. Alle Konverter führten den Datenimport in die CAD-Systeme NX und SolidWorks innerhalb der vorgegebenen Toleranzen aus. Diese Ergebnisse wurden im Kurzbericht als erfolgreich bewertet.

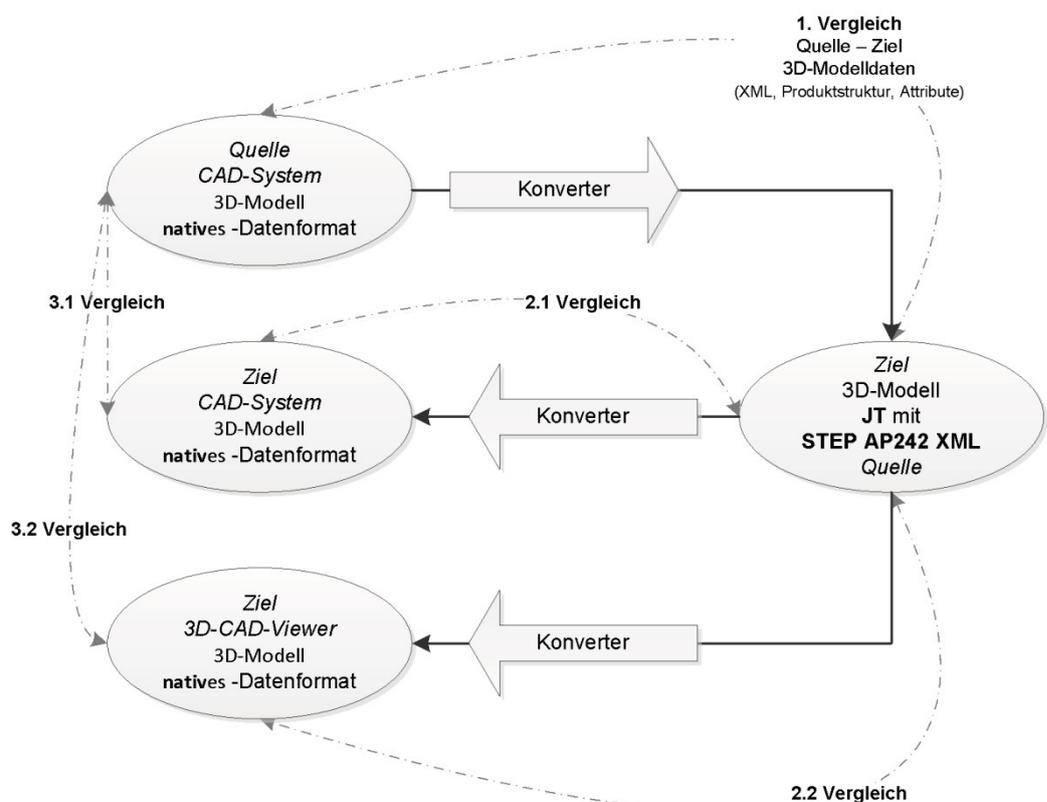


Abbildung 22: Schema: Test JT mit STEP AP242 XML

Im Rahmen des vierten Benchmark-Tests wurde bereits der Datenaustausch für einen Teil des zu diesem Zeitpunkt noch im Normungsprozess befindlichen 3D-Datenformats STEP AP242 bewertet.

Wie beim JT-Loop-Test wurden drei Modellvergleiche durchgeführt, siehe Abbildung 22. Bewertet wurden jeweils die Gültigkeit der erzeugten XML-Datei, die korrekte Wiedergabe der Produktstruktur und der Metadaten für das 3D-Modell (Baugruppe).

Übertragen der Struktur- und Metadaten, Ergebnis: Der Bericht führt aus, dass die kombinierte Nutzung des JT-Visualisierungsformats und des neuen 3D-Datenformats STEP AP242 XML vielversprechend ist. *Ziel ist, diesen zukünftig sowohl im Produktplanungs- und -entwicklungsprozess als auch für die Datenarchivierung zu nutzen.* Die Tests zeigten: JT mit STEP AP242 XML kann bereits für den Austausch der Baugruppen-Strukturdaten angewendet werden. Im Test übertrugen die bewerteten Schnittstellenkonverter keine Ebenen-Eigenschaften für Baugruppen.^{LLLLL}

^{LLLLL} vgl. JT Application Benchmark – 4th JT Benchmark short report, February 2014, S. 13; Ergebnisdetails siehe S. 10-12

4. Bearbeitung der 3D-Modelle in der TD

Um 3D-CAD-Modelle im Bereich der Technischen Dokumentation effizient zu nutzen, sind leicht erlernbare Anwendungen für deren Visualisierung und Manipulation notwendig. Eine große Gruppe bilden die 3D-Viewer. Verschiedene Hersteller von 3D-MCAD-Systemen bieten kostenlose 3D-Viewer für ihre nativen 3D-Datenformate an, vgl. Tabelle 1 ab Seite 42.

Kostenpflichtige, systemherstellerneutrale 3D-Viewer zeichnen sich dadurch aus, dass sie 3D-Modelle in diversen nativen und neutralen Datenformaten importieren. Sie verfügen gegenüber den kostenlosen 3D-Viewern über einen größeren Funktionsumfang. So lassen sich am virtuellen Produkt Messungen durchführen. Explosionsdarstellungen und Querschnittsansichten können erzeugt werden. Weiterhin werden einige neutrale 2D- und 3D-Formate für den Datenexport unterstützt. Die Softwarepakete *3D-Tool*^{MMMMM} und *3DViewStation*^{NNNNN} sind zwei Beispiele für diese Kategorie von Anwendungen.

Neben den 3D-Viewern, deren Zielgruppen den Bereich der Produktentwicklung umfassen, gibt es speziell für den Bereich der Technischen Kommunikation konzipierte 3D-Entwicklungsumgebungen. Beispielhaft genannt werden soll an dieser Stelle die Technical Suite X6 in Verbindung mit der XVL Studio 3D CAD Corel Edition. Mit diesem Zusatzmodul unterstützt die systemherstellerneutrale 3D-Entwicklungsumgebung den Import diverser nativer und neutraler 3D-CAD-Datenformate.^{OOOOO}

Arbeiten Technische Redakteure für verschiedene KMU des Anlagen- und Maschinenbaus, werden ihre Auftraggeber im Regelfall nicht die gleichen 3D-MCAD-Systeme einsetzen. Dies hat zur Folge, dass die 3D-MCAD-Modelle in verschiedenen nativen Datenformaten bzw. in einem zu vereinbarenden neutralen 3D-Datenformat vom Hersteller bereitgestellt werden.

Vor allem für freiberufliche Technische Redakteure und kleinere Dienstleister im Bereich der Technischen Dokumentation sind aus Sicht der Verfasserin leistungsfähige *systemherstellerneutrale* 3D-Viewer interessant, die möglichst viele native und neutrale 3D-Datenformate für den Datenimport unterstützen.

^{MMMMM} <http://www.3d-tool.de/>

^{NNNNN} <http://viewer.kisters.de/kisters-produkte/3dviewstation-desktop.html>

^{OOOOO} nativ: Inventor, CATIA V4/V5, PTC Creo, NX, I-DEAS Solid Edge und SolidWorks;
neutral: 3D XML, IGES, IFC, JT, Parasolid, PRC und STEP
vgl. CorelDRAW TECHNICAL SUITE X6 – 3D-Vergleichsmatrix. SP2 (16.4.2). 07/2014

Für die Verfasserin lassen sich diese 3D-Viewer grundsätzlich auch nutzen, um in KMU des Anlagen- und Maschinenbaus extern erstellte, heterogene 3D-Konstruktionsdaten auszuwerten.

Von den drei zuvor kurz beschriebenen Leistungsklassen, der im Bereich der Technischen Dokumentation nutzbaren Anwendungen, stellt die Verfasserin nachfolgend die 3DViewStation 2015 der Kisters AG vor. Die 3DViewStation steht beispielhaft für die Gruppe der kostenpflichtigen systemhersteller-neutralen 3D-Viewer. Die für die Verfasserin in redaktioneller Hinsicht entscheidenden Funktionen werden mit einem Beispiel-3D-Modell illustriert und kurz beschrieben. Dazu zählen:

- Umfassende Unterstützung nativer und neutraler 3D-Datenformate für den Modellimport
- Einfache Selektion von Bauteilen, um diese hervorzuheben, auszublenden oder zu isolieren
- Messfunktionen
- Erzeugen von Schnitten und Explosionsdarstellungen
- 2D- und 3D-Exportdatenformate zum Publizieren
- Für Online-Publikationen: Erstellung von Animationen aus Ansichten

Für eine ausführliche Beschreibung des Funktionsumfangs dieses 3D-Viewers verweist die Verfasserin auf die Hersteller-Website.

4.1 3DViewStation – Import-Datenformate

Die 3DViewStation importiert neben den beiden eigenen nativen 3D-Datenformaten 3DVS und 3DVXML knapp dreißig weitere native und neutrale 3D-Datenformate.

Native 3D-Datenformate → 3D-Dateiformate

Tabelle 2 auf Seite 55 listet dreizehn native 3D-Dateiformate. Diese Liste ist ein Rechercheergebnis der vorliegenden Arbeit. Sie umfasst die am häufigsten von den bewerteten 3D-MCAD-Systemen unterstützten nativen 3D-Dateiformate. Ein Vergleich mit der Formatliste^{PPPPP} für die 3DViewStation zeigt, dass bis auf .dwg (AutoCAD) alle aufgeführten 3D-Dateiformate geladen werden können.

^{PPPPP} vgl. Kisters 3DViewStation & Automation Server. Stand: 19.02.2015 – <http://viewer.kisters.de/fileadmin/downloads/Produkte/FileFormats-3DViewStation.pdf> (11.03.2015)

Neutrale 3D-Datenformate

Tabelle 5 auf Seite 60 listet elf neutrale 3D-Datenformate. Auch diese Liste ist ein Rechercheergebnis der vorliegenden Arbeit. Sie umfasst die am häufigsten von den bewerteten 3D-MCAD-Systemen unterstützten neutralen 3D-Datenformate. Ein Vergleich mit der Formatliste für die 3DViewStation zeigt, dass bis auf DXF (Autodesk, Quasi-Industriestandard) alle aufgeführten 3D-Datenformate geladen werden können.

Die Verfasserin hat ihr Beispiel-3D-Modell im genormten JT-Format importiert, siehe Abbildung 23.

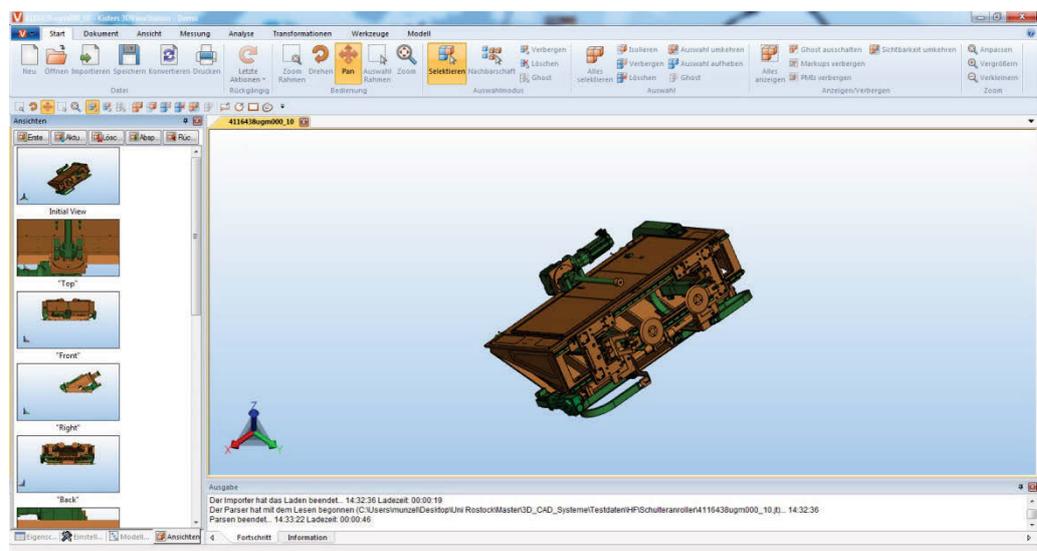


Abbildung 23: 3DViewStation (3DVS) 2015 – Startbildschirm

4.2 3DVS – Bauteile selektieren

Die 3DViewStation bietet verschiedene Funktionen, um einzelne Bauteile eines geladenen 3D-Modells zu selektieren. Aus Sicht der Verfasserin ist sehr hilfreich, dass mit wiederholtem Anklicken eines Bauteils im Modell schrittweise strukturell zugehörige Teile in die Auswahl einbezogen werden, siehe Abbildung 24. So lässt sich für den Anwender vor allem bei komplexeren Modellen deren konstruktiver Aufbau einfach nachvollziehen.

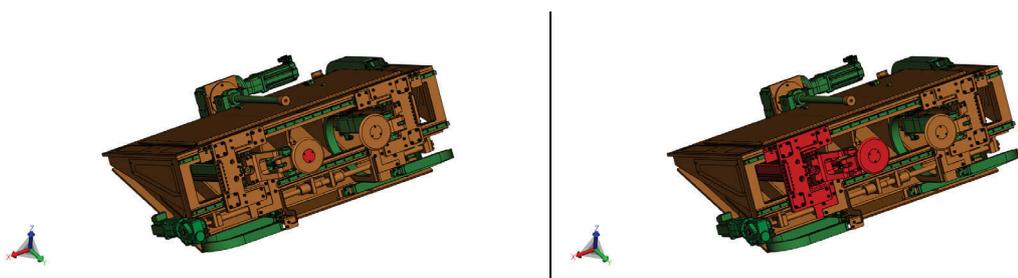


Abbildung 24: 3DVS – Bauteile selektieren

Die Auswahl per Mausklick im 3D-Modell wird in der seitlichen Strukturbaumanzeige protokolliert. Alternativ kann der Anwender ein Bauteil auch visuell hervorheben, indem er die zugehörige Strukturinformation im Strukturbaum anklickt.

Ausgewählte Bauteile lassen sich ausblenden oder isolieren, siehe Abbildung 25.

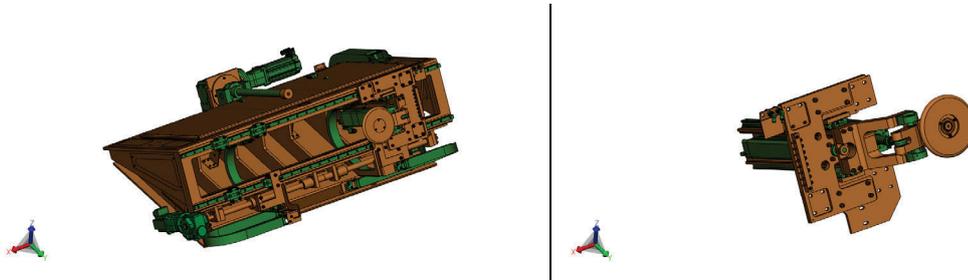


Abbildung 25: 3DVS – Bauteile ausblenden (links), isolieren (rechts)

4.3 3DViewStation – Bauteile messen

Die Abmessungen bzw. der Platzbedarf einer Anlage bzw. Maschine (Baugruppe) sind wichtige technische Daten, die in keiner Betriebsanleitung fehlen dürfen.

Die Verfasserin entnimmt die Abmessungen üblicherweise den abgeleiteten 2D-Zeichnungen. Die 3DViewStation bietet mit der Funktion *Begrenzungsrahmen* die Möglichkeit, in wenigen Schritten die äußeren Produktmaße anzuzeigen, siehe Abbildung 26.

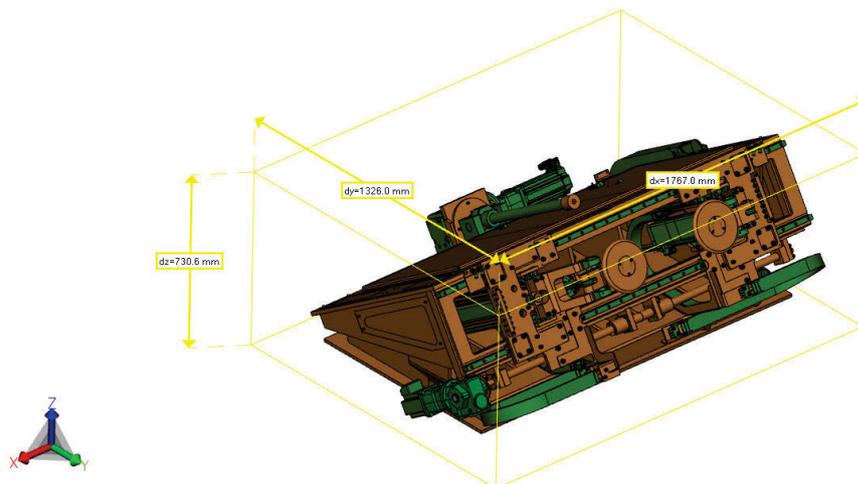


Abbildung 26: 3DVS – Produktaußenmaße bestimmen

Abstände können diagonal oder einer Koordinatenachse zugeordnet gemessen werden u. a. zwischen Punkten, Kanten und Kreis(-Mittelpunkten). Winkel lassen sich messen und auch die Wandstärken eines Bauteils.

4.4 3DVS – Schnitt- und Explosionsdarstellungen

Für das bessere Verständnis des konstruktiven Aufbaus einer Maschine (Baugruppe) kann es vor allem für Servicepersonal hilfreich und notwendig sein, dass Bauteile in Betriebsanleitungen geschnitten dargestellt werden. Bisher nutzte die Verfasserin geeignete Schnitte aus den abgeleiteten 2D-Zeichnungen oder sie bat den Konstrukteur, die Schnittdarstellung zu erzeugen und zuzuschicken.

Mit der 3DViewStation können erfahrene Technische Redakteure selbstständig Schnittdarstellungen erzeugen, siehe Abbildung 27.

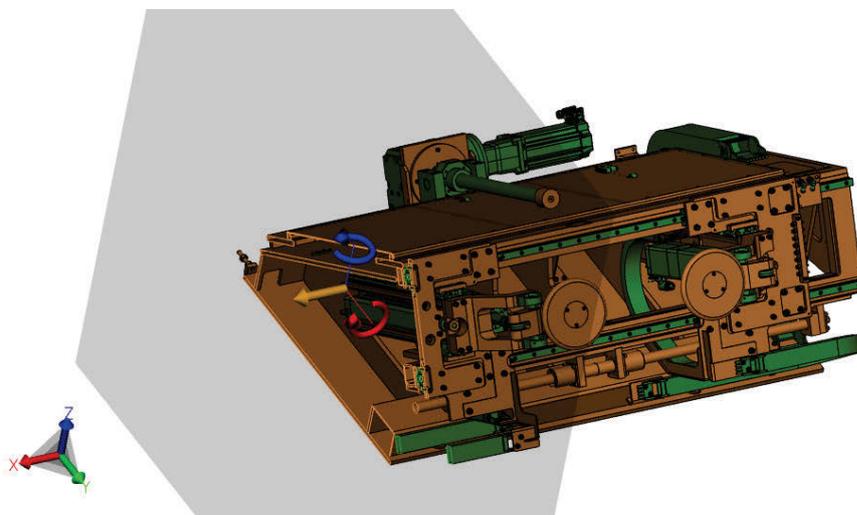


Abbildung 27: 3DVS – Schnittdarstellungen erzeugen

In Abbildung 27 ist eine Schnittebene mit der Ausrichtungsachse X eingeblendet. Die Schnittachse kann in X-Richtung verschoben und jeweils in Y- und Z-Richtung gedreht werden. Die Ausrichtungsachse ist über ein eingeblendetes Fenster per Mausklick einfach wählbar.

Die Schnittdarstellung kann als 2D-Vektorgrafik im SVG-Format exportiert werden:

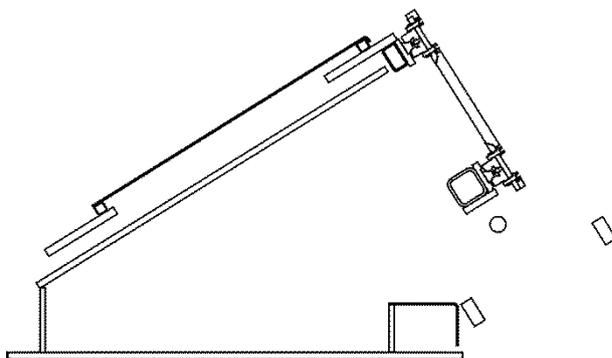


Abbildung 28: 3DVS – erzeugte Schnittdarstellung

Für Ersatzteillisten können in wenigen Schritten Explosionsdarstellungen erzeugt werden:

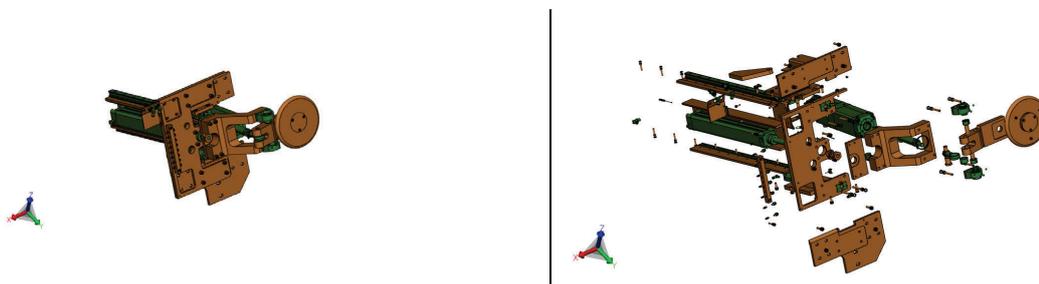


Abbildung 29: 3DVS – Explosionsdarstellungen erzeugen

4.5 3DVS – Grafiken erzeugen

Für Technische Redakteure ist wichtig, dass verschiedenen Ansichten eines 3D-Modells einfach als Grafiken exportiert werden können. Die 3DViewStation bietet hierfür den Export in verschiedene Bildformate oder in die Zwischenablage.

Oft sind Bauteile einer Maschine (Baugruppe) in einer Grafik zu markieren und zu benennen. In der 3DViewStation kann für diesen Zweck die 3D-Markierung *Text* genutzt werden, siehe Abbildung 30.

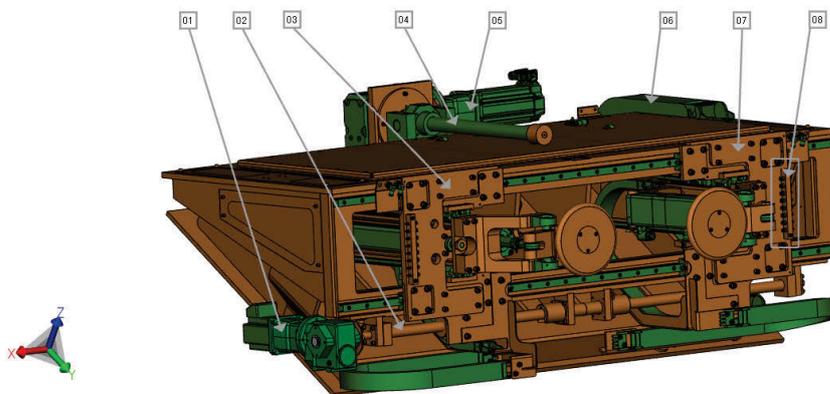


Abbildung 30: 3DVS – Positionsnummern für Grafiken

Die Verfasserin bevorzugt die Positionsanzüge innerhalb der Grafik, da diese für sie eine Einheit bilden. Zu beachten ist, dass nur übersetzungsneutrale Nummerierungen verwendet werden, wie im obigen Beispiel illustriert.

In der aktuellen Version ist die Datenübernahme über die Zwischenablage fehlerfrei. Nach dem Datenexport in eine 2D-Pixelgrafik werden die 3D-Markierungen *Text* fehlerhaft dargestellt.^{QQQQQ}

^{QQQQQ} Der Fehler (in Version V2015.08380.8.1) ist von der KISTERS AG aufgenommen und wird in einer der nächsten Versionen behoben.

4.6 3DVS – Export-Datenformate (3D)

Für Online-Publikationen sind auch Export-Datenformate von Interesse. Die 3DViewStation unterstützt 3D-PDF, ACIS, IGES, JT, Parasolid, PRC, STEP, STL und VRML.^{RRRRR}

4.7 3DVS – Animationen erzeugen

Durchzuführende Arbeiten an Maschinen werden meist als aufeinander folgende Handlungsschritte beschrieben. Werden diese Anleitungen Online publiziert können die Handlungen auch als Animation visualisiert werden:

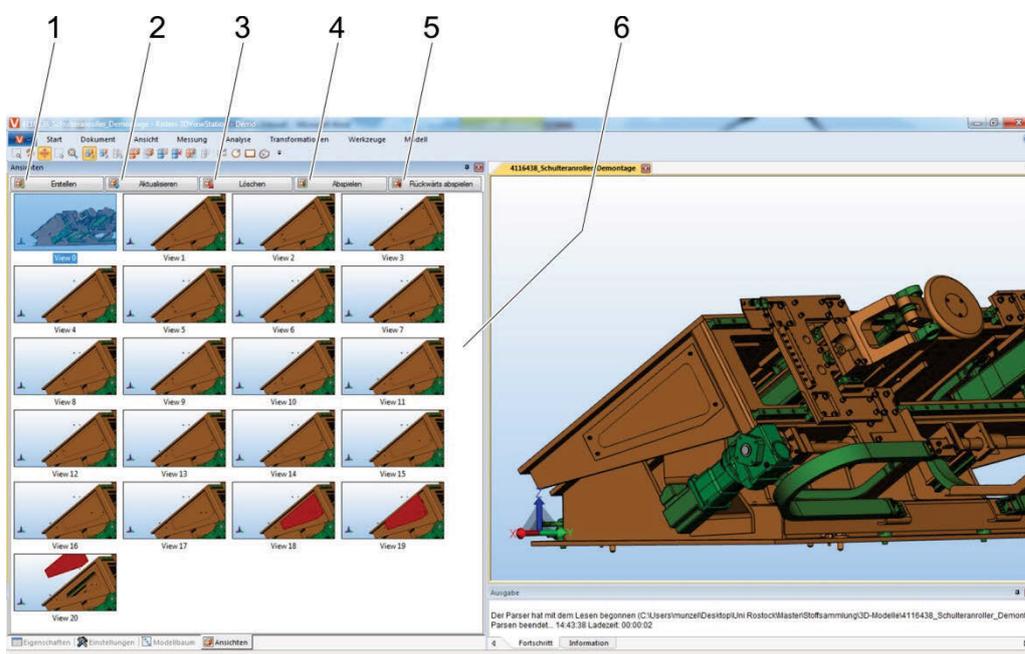


Abbildung 31: 3DVS – Animation: Abdeckung abnehmen

Pos.	Beschreibung
1	Ansicht erstellen (Screenshot)
2	gewählte Ansicht aktualisieren
3	gewählte Ansicht löschen
4	Animation abspielen, beginnend ab gewählter Ansicht
5	Animation rückwärts abspielen, beginnend ab gewählter Ansicht
6	Ansichten-Fenster

Leider lässt sich die Animation in der aktuellen Version der 3D-ViewStation nicht exportieren, was aus Sicht der Verfasserin wünschenswert wäre.

^{RRRRR} vgl. Kisters 3DViewStation & Automation Server. Stand: 19.02.2015

5. Schlussfolgerungen

Zu Beginn dieser Arbeit stellte sich die Verfasserin drei zentrale Fragen:^{SSSSS}

- Worin liegen die Ursachen, wenn das genormte 3D-Datenaustauschformat STEP fehlerhafte 3D-CAD-Modelle liefert?
- Lassen sich weitere neutrale Datenformate für den 3D-Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation nutzen?
- Welche Rolle spielen die nativen Datenformate der 3D-CAD-Systeme beim Datenaustausch?

Die Ursachen eines fehlerhaften Datenaustausches sind komplexer als von der Verfasserin zu Beginn dieser Arbeit vermutet. Das Kapitel 5.2 „Effizienter 3D-Datenaustausch“ ab Seite 88 fasst die Erkenntnisse der Verfasserin zusammen und gibt Lösungsansätze. Das Kapitel beantwortet die erste Frage.

Im nachfolgenden Kapitel 5.1 „3D-Datenaustauschformate, nativ oder neutral“ sind die Erkenntnisse aus der aktuellen Nutzung nativer und neutraler 3D-Datenaustauschformate zusammengefasst und bewertet. Das Kapitel gibt Antworten auf die zweite und dritte Frage.

5.1 3D-Datenaustauschformate, nativ oder neutral

Die Rechercheergebnisse der Kapitel 3.3.3 „Native 3D-CAD-Datenformate“ ab Seite 53 und 3.3.4 „Neutrale 3D-Datenformate (Normen/Standards)“ ab Seite 57 zeigen zwei Entwicklungen: Die Systemhäuser bieten den Unternehmen Komplettlösungen für den Produktentstehungsprozess an. Innerhalb der eingesetzten weitgehend homogenen, modular aufgebauten Systeme lassen sich die 3D-Modelldaten praktisch fehlerfrei austauschen. Die 3D-MCAD-Systeme der Systemhäuser unterstützen vor allem die Migration nativer Datenformate ihrer großen Mitbewerber (Multi-CAD), siehe auch Abbildung 17 auf Seite 56. So lassen sich extern erzeugte 3D-Daten in den eigenen 3D-Datenpool integrieren.

Die Verfasserin sieht diese Entwicklung insofern kritisch, dass sie den Hersteller von einem großen Systemanbieter abhängig macht. Die Komplettlösung aus einer Hand ist für den Hersteller nicht notwendigerweise optimal für jeden Bereich seiner Produktentstehung. Heterogene Anwendungen können zu effizienteren Lösungen führen. Außerdem sollte die digitale Datenarchivierung von 3D-Modellen, als ein zentrales Thema innerhalb des PLM, nicht mit nativen Daten umgesetzt werden. Für die

^{SSSSS} Siehe Kapitel 1.3 „Vorgehen in dieser Arbeit“ auf Seite 10.

Langzeitarchivierung müssen native 3D-Datenformate als ungeeignet angesehen werden. Langfristig gesicherte und lesbare 3D-Daten sind aus Sicht der Verfasserin nur mit genormten 3D-Datenformaten realisierbar.

Die zweite Entwicklung zeichnet sich bei den neutralen 3D-Datenformaten ab. Mit den beiden neuen genormten Datenformaten ISO 10303-242:2014-12 AP 242 „Managed model-based 3D engineering“ und ISO 14306:2012-12 „JT file format specification for 3D visualization“ ist es unter Federführung des ProSTEP iViP Vereins gelungen, den Standardisierungsprozess innerhalb des PLM einen großen Schritt voranzubringen. Der ProSTEP iViP Verein führt seine Arbeit auf internationaler Ebene in Kooperation mit Organisationen vor allem der Automobil- und Luftfahrtindustrie aber auch dem DIN und der ISO durch. Diese Tatsache stellt für die Verfasserin eine gute Ausgangsbasis dar, dass möglichst viele CAx-Systeme in naher Zukunft STEP AP242 als neutrales 3D-Datenaustauschformat und JT als neutrales 3D-Visualisierungsformat unterstützen werden. JT in Verbindung mit STEP AP242 XML ist zudem ein für die 3D-Datenarchivierung geeignetes Format.

Mit 3D-PDF steht ein weiteres neutrales, genormtes 3D-Visualisierungsformat zur Verfügung. Im Gegensatz zu JT ist 3D-PDF für den Austausch geometrischer Daten weniger geeignet.

Die kleineren und mittelständischen Anbieter von 3D-MCAD-Systemen sind in einem sehr viel stärkeren Maße auf einen funktionierenden 3D-Datenaustausch über neutrale Datenformate angewiesen. Sie verfügen nicht ohne weiteres über die Entwicklungskapazitäten, um Schnittstellenkonverter für native 3D-Datenformate zu entwickeln bzw. entwickeln zu lassen. Vor allem aber sind die Strukturen nativer Datenformate nicht offengelegt. Um dies zu tun, muss ein beiderseitiges Interesse der Systemhersteller vorliegen.

Wer die Mitgliederliste im veröffentlichten Jahresbericht 2013 des ProSTEP iViP Vereins^{TTTTT} liest, stellt fest: Gelistet sind alle vier Systemhäuser – Autodesk, Dassault Systèmes, PTC und Siemens PLM Software. Dagegen ist offensichtlich kein mittelständischer Systemhersteller der von der Verfasserin in dieser Arbeit hinsichtlich unterstützter 3D-Datenformate bewerteten 3D-MCAD-Systeme Mitglied. Gerade die kleineren und mittelständischen Systemhersteller müssten ein großes Interesse an praxistauglichen genormten 3D-Datenaustauschformaten haben. Wichtig ist nicht nur die Formatdefinition sondern auch deren praktische fehlerfreie Umsetzung mit Schnittstellenconvertern. Wer als Mitglied im ProSTEP iViP Verein frühzeitig in den Entwicklungsprozess einbezogen ist, kann diesen beeinflussen und das eigene Unternehmen frühzeitig auf neue Herausforderungen ausrichten. Die

^{TTTTT} Jahresbericht 2013 ProSTEP iViP e.V., 2013, S. 6-7

vier Systemhäuser werden ihr Engagement in der Standardisierung des Datenaustausches für ihren eigenen Wettbewerbsvorteil nutzen.

Bezugnehmend auf die Fragen zur Rolle nativer Datenformate beim Datenaustausch und zu den Nutzungsmöglichkeiten neutraler Datenformate für den 3D-Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation kommt die Verfasserin zu dem Schluss:

- Native Datenformate spielen eine zentrale Rolle beim 3D-Datenaustausch zwischen Systemen der vier Systemhäuser.
- Für den Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus ist STEP ein optimales Format für den 3D-Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation. JT ist eine sehr gute Alternative. Hier mangelt es aktuell an ausgereiften Schnittstellenkonvertern. Dies erklärt, warum nur sechs der bewerteten 3D-MCAD-Systeme dieses Datenformat unterstützen.

5.2 Effizienter 3D-Datenaustausch

Für einen effizienten 3D-Datenaustausch müssen neben geeigneten Datenaustauschformaten zwei wesentliche Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die geometrischen und nichtgeometrischen Daten des 3D-CAD-Modells müssen im Unternehmen festgelegte qualitative Anforderungen erfüllen.
- Die Durchführung des Datenaustausches zwischen Konstruktion und TD ist (schriftlich) zu vereinbaren.

5.2.1 Qualität des 3D-CAD-Modells

Der Konstruktionsbereich muss sicherstellen, dass die 3D-Modelle festgelegten qualitativen Anforderungen genügen. Die Anforderungen beziehen sich auf die Modellgeometrie und auf nichtgeometrische Informationen. Die VDA 4955 beschreibt geometrische und nichtgeometrische Qualitätskriterien für 3D-CAD-Modelle und daraus abgeleiteten Zeichnungen. Die genannten Kriterien sind auch für KMU des Anlagen- und Maschinenbaus eine Hilfe, um z. B. mit erarbeiteten Prüflisten die Produktmodellierung im Unternehmen, bei Zulieferern oder konstruktiven Dienstleistern qualitativ zu verbessern und zu vereinheitlichen.

Praktische Erfahrungen beim Konvertieren von 3D-Modellen in neutrale 3D-Datenaustauschformate wie STEP und JT haben gezeigt, dass Bauteile u. a. fehlerhaft übertragen werden, wenn diese mit bestimmten Modelliermethoden konstruiert wurden, siehe nachfolgende Abbildung 32.

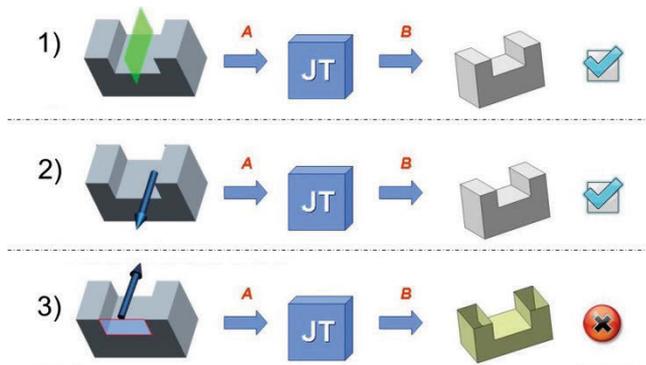


Abbildung 32: JT: Modelliermethoden, Konvertierungsergebnisse^{UUUUU}

Pos.	Beschreibung
1	virtueller Körper (Bauteil) wurde durch Spiegeln der linken Körperhälfte erzeugt
2	virtueller Körper wurde durch Extrudieren entlang einer Linie erzeugt Basis ist eine zweidimensionale Fläche mit entsprechenden Außenkonturen, die sogenannte Skizze, siehe auch Kapitel 2.3.2 „Werkzeuge für die Bauteilkonstruktion“ ab Seite 26
3	Formgebung des virtuellen Körpers wurde durch Extrudieren in den Basiskörper (Quader) realisiert

Stellen die Unternehmensbereiche der Produktentwicklung fest, dass die in neutrale 3D-Datenaustauschformate konvertierten 3D-Modelle aufgrund angewandeter Modelliermethoden fehlerhaft sind, dürfen diese Methoden im Konstruktionsprozess nicht weiter genutzt werden. Solche Entscheidungen müssen im Rahmen des Qualitätsmanagements im Unternehmen festgehalten werden und den Mitarbeitern als Information zugänglich sein.

Die Qualität erzeugter 3D-CAD-Modelle lässt sich mit Prüfprogrammen bewerten. Viele 3D-MCAD-Systeme beinhalten Prüffunktionen, mit denen die 3D-Modelle auf die Einhaltung vorgegebener Qualitätskriterien kontrolliert werden können. Neben diesen integrierten Prüfwerkzeugen gibt es auch autarke Prüfprogramme. STEKOLSCHIK schreibt in der Zusammenfassung für die von ihm bewerteten Prüfwerkzeuge, „dass sie in den meisten Fällen ... strenge formale Kriterien prüfen, die in Zahlen einfach auszudrücken sind. Diese Kriterien sind ... sehr wichtig, um den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen und/oder Unternehmen effektiv durchzuführen Diese Werkzeuge können sehr gut als ein Bestandteil des übergreifenden Qualitätskonzepts im Bereich der Qualitätsprüfung eingesetzt werden und als

^{UUUUU} BECKERS, Raphael; FRÖHLICH, Arnulf; Stjepandic, Josip: Anwendung und Potentiale universeller Visualisierungsformate, 2010. Bild 8, S. 340 – http://www.transmechatronic.de/uploads/tx_vitramemberadmin/literature/Anwendung_und_Potentiale_universeller_Visualisierungsformate.pdf (31.10.2014)

Kontrollinstrument bei dem vertragsgeregelten Datenaustausch dienen. Darüber hinaus stellen diese Werkzeuge den einzig möglichen Weg bei dem Datenaustausch in neutralen Formaten dar, bei denen die Modellnachbearbeitung durch die Parameteränderung nicht möglich ist.“^{vvvvv}

Zulieferer der Automobilindustrie sind verpflichtet, ihre 3D-CAD-Modelle mit einem vertraglich festgelegten Prüfprogramm zu kontrollieren.^{wwwww} Gleiches gilt auch für die Luftfahrtindustrie.^{xxxxx} Sollen 3D-CAD-Modelle als einheitliche Datenbasis im Produktentstehungsprozess effizient genutzt werden, müssen mindestens deren geometrische und nichtgeometrische Daten fehlerfrei sein. Die nichtgeometrischen Daten müssen für die verschiedenen Zielgruppen vollständig und logisch sein. Aus Sicht der Verfasserin sollte der Einsatz von Prüfwerkzeugen daher, unabhängig von der Unternehmensgröße, für KMU des Anlagen- und Maschinenbaus ein Qualitätsmerkmal für den 3D-Konstruktionsprozess sein.

5.2.2 Datenaustausch Konstruktion – TD

Die Konstruktion liefert der Technischen Dokumentation 3D-CAD-Modelle für Produktbeschreibungen. Die 3D-Modelle müssen den qualitativen Anforderungen der TD als Zielgruppe entsprechen. Grundsätzlich festgelegt werden muss, ob der 3D-Datenaustausch mit einem nativen oder neutralen 3D-Datenformat realisiert wird.

In der Technischen Dokumentation werden häufig 3D-Viewer eingesetzt, um die 3D-Modelle für die jeweiligen Dokumentationszwecke aufzubereiten. Die notwendige Leistungsfähigkeit eines 3D-Viewers hängt ab von:

- *den genutzten 3D-Datenaustauschformaten*

Insbesondere Dienstleister im Bereich der Technischen Dokumentation, mit verschiedenen KMU des Anlagen- und Maschinenbaus als Kunden, werden gegenwärtig 3D-Viewer benötigen, die sowohl native oder auch neutrale Datenformate in einer möglichst großen Bandbreite importieren können.

- *den redaktionellen Zielen*

Die Aufbereitung eines 3D-Modells für Dokumentationszwecke hängt zum einen entscheidend von dem Ausgabeformat des Zieldokuments ab. Ist

^{vvvvv} STEKOLSCHIK, Alexander: Ein Beitrag zum ganzheitlichen Qualitätsmanagement von CAD-Modellen in der Produktentstehung – Dissertation. Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, 2007, S. 67 – <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/StekolschikAlexander/diss.pdf> (29.01.2015)

^{wwwww} vgl. STEKOLSCHIK, 2007, S. 64

^{xxxxx} Rechercheinterview mit einem Konstruktionsdienstleister auf der SMM (12.09.2015)

eine Produktbeschreibung ausschließlich in Papierform zu erstellen, genügt es notwendige Ansichten des virtuellen Produkts zu erzeugen und diese in einem geeigneten Grafikformat zu exportieren. Wird eine Dokumentation Online bereitgestellt, ergeben sich ganz andere Möglichkeiten der Produktvisualisierung. So lassen sich 3D-Modelle in Produktdokumentationen und Produktkataloge einbinden. Online-Produktdokumentationen lassen sich aber auch so aufbereiten, dass Handlungsabläufe als Animationen dargestellt werden.

Ein weiteres Entscheidungskriterium sind der Einbindungsgrad der TD in den Produktentwicklungsprozess und geforderte Manipulationen in Baugruppen, vgl. Grundstellungen und Arbeitsstellungen von Unterbaugruppen eigenständig im 3D-Modell einstellen.

Die Verfasserin favorisiert neutrale 3D-Datenaustauschformate, trotz der momentanen Konvertierungsprobleme. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der genormten Formate JT (ISO 14306) und STEP (ISO 10303-242) als herstellerunabhängige 3D-Datenaustauschformate nicht nur für den Produktentwicklungsprozess sondern für den gesamten Produktlebenszyklus bestärkt sie in dieser Entscheidung.

In den letzten Jahren veröffentlichte die tekomp als Berufs- und Fachverband für Technische Kommunikation diverse Fachartikel^{YYYYY}, in denen 3D-Modelle Datenbasis für Visualisierungen in der Technischen Dokumentation sind. Zum Prozess der Datenbereitstellung konnte die Verfasserin keine Informationen finden. Dies lässt den Schluss zu, dass wir Technischen Redakteure die ausschließliche Bringschuld für ein vollständiges 3D-CAD-Modell bei der Konstruktion sehen.

Die Konstruktion ist dafür verantwortlich, geprüfte, qualitativ gute 3D-Modelle zu erstellen. Dagegen ist es eine gemeinsame Aufgabe von Konstruktion und Technischer Dokumentation, ein für die Zwecke geeignetes 3D-Datenaustauschformat festzulegen. Der Technische Redakteur (ggf. Illustrator) muss aus Sicht der Verfasserin die Datenimportoptionen seines Softwarepakets für die 3D-Visualisierung kennen. Für angestellte Redakteure wird es momentan am einfachsten sein, das native 3D-Datenformat in die Anwendung zu importieren und das für die redaktionellen Zwecke aufbereitete 3D-Modell anschließend in ein geeignetes 3D-Visualisierungsformat zu exportieren. Externe Redakteure, die für verschiedene KMU des Anlagen- und

^{YYYYY} vgl. SCHOBER, Martin: Erzeugen von Animationen. In: HENNIG, Jörg; Tjarks-Sobhani, Marita (Hrsg.): Multimediale Technische Dokumentation (tekomp Schriften zur Technischen Kommunikation, Band 14). Lübeck: Schmidt-Römhild Verlag, 2010 – ISBN 978-3-7950-7073-1, S. 83-103

vgl. SCHWARZER, Thomas: Zwei Wege zur Realisierung – Illustrationen auf der Basis von 3D-CAD-Daten. In: tekomp (Hrsg.): technische kommunikation, Heft 1/12 (34. Jahrgang). Lübeck: Schmidt-Römhild Verlag, 2012, S. 32-36

Maschinenbaus Produktdokumentationen erstellen, werden bereits heute eher an geeigneten neutralen 3D-Datenaustauschformaten interessiert sein. Sie werden mit ähnlichen Problemen wie die Verfasserin konfrontiert sein.

Die nachfolgende Übersicht zeigt den aus Sicht der Verfasserin notwendigen Abstimmungsprozess zwischen Konstruktion und TD zu Beginn eines Projekts.^{zzzzz} Für Folgeprojekte mit gleichen Rahmenbedingungen hinsichtlich des Datenaustausches bleiben die Vereinbarungen ohne weitere Absprache bestehen.

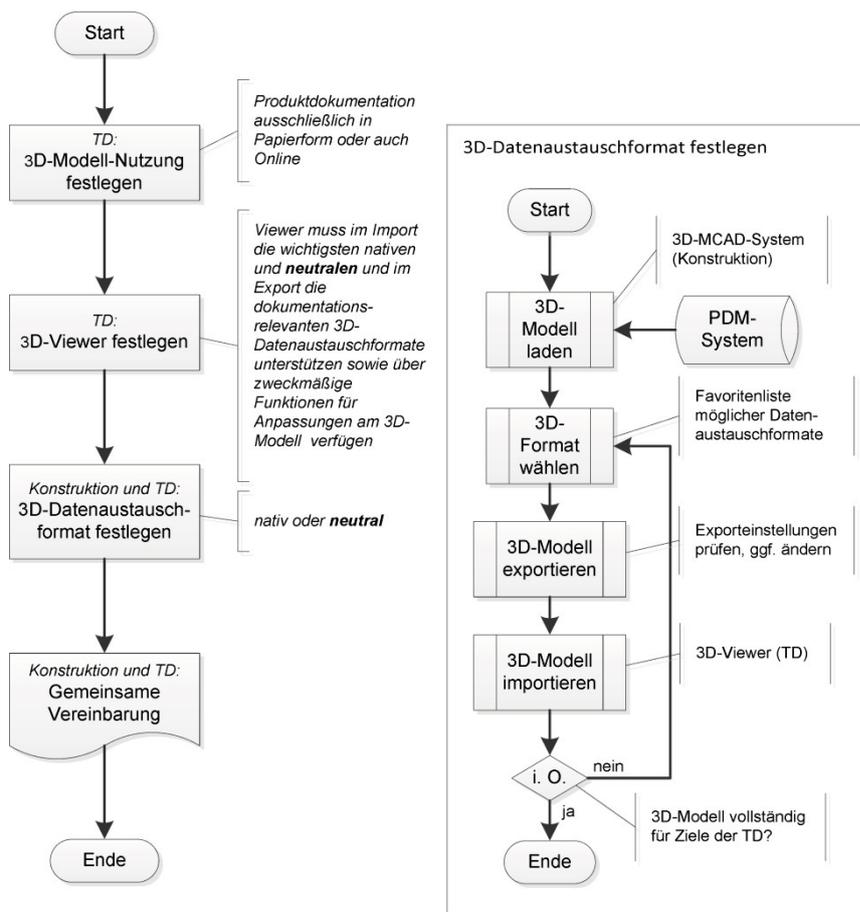


Abbildung 33: 3D-Datenaustausch Konstruktion – TD abstimmen

In den 3D-MCAD-Systemen können die 3D-Datenaustauschformate für den Import und den Export eingestellt werden. Die jeweiligen Einstellmöglichkeiten für ein gewähltes 3D-Datenaustauschformat sind zu prüfen. Haben sich Konstruktion und Technische Dokumentation auf ein Austauschformat geeinigt, müssen die aktuellen Einstellungen dieses Formats schriftlich festgehalten werden.

^{zzzzz} vgl. Empfehlung VDA 4950:2011-07: Vereinbarungen zum CAD/CAM-Datenaustausch – <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/Publikation.~97~.html> (31.01.2015)

Mit den Erkenntnissen aus dieser Arbeit lässt sich der in Abbildung 14 auf Seite 40 dargestellte Ablauf der 3D-Modellanforderung durch die Technische Dokumentation optimieren.

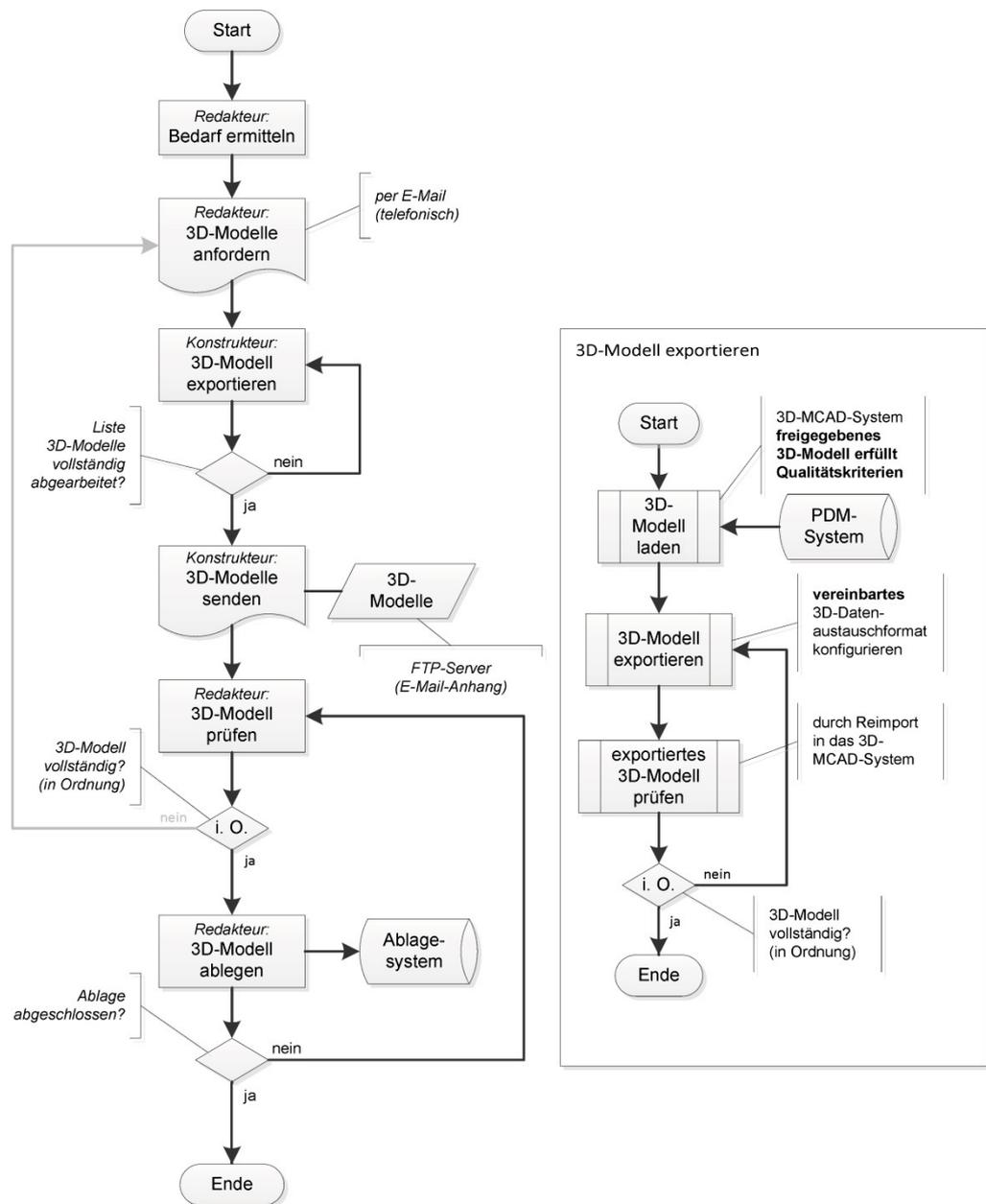


Abbildung 34: Beschaffen eines 3D-Modells – Handlungsschritte (2)

Die Konstruktion muss auf Basis der mit der TD getroffenen Vereinbarungen, siehe Abbildung 33, fehlerfreie (konvertierte) 3D-Modelle liefern. Die nachfolgende Vollständigkeitsprüfung der 3D-Modelle durch die TD darf aus Sicht der Verfasserin nur noch in Einzelfällen zu Beanstandungen führen. Falls nicht, ist der vereinbarte Ablauf des 3D-Datenaustausches zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation zu überdenken.

5.2.3 Probleme beim Datenaustausch – Erfahrungsbericht

Intention der Verfasserin für diese Arbeit war, einen Weg zu finden, der einen effizienten Austausch der 3D-Modelldaten sicherstellt. Dazu ist notwendig, dass:

- die 3D-Modelle die qualitativen Anforderungen der Zielgruppen erfüllen
- Quellsystem (3D-MCAD) und Zielsystem (z. B. 3D-Viewer) das gleiche, für den Datenaustausch geeignete, Datenformat unterstützen
- Informationslieferant (Konstruktion) und Informationsnutzer (z. B. TD) den Prozess des Informationsaustausches untereinander festlegen und sich an die Vereinbarungen halten

Diese Arbeit zeigt als ein Ergebnis: Für den notwendigen Austausch der 3D-Modelldaten zwischen der Konstruktion und der TD sind ausreichend geeignete Datenaustauschformate verfügbar. Die Verfasserin favorisiert als Technische Redakteurin eines Dienstleistungsunternehmens für Technische Dokumentation und Übersetzungen genormte Formate. In ihrer beruflichen Tätigkeit nutzte sie bisher vor allem STEP, aber auch JT, in wenigen Fällen 3D-PDF. In der Praxis sollte es kein Problem sein, ein für den jeweiligen Anwendungsfall optimales Datenaustauschformat zwischen Konstruktion und TD festzulegen. Momentan sind unternehmensintern durchaus native Datenformate optimal. Für Hersteller, die SolidWorks, Creo oder Inventor als 3D-MCAD-System nutzen, bietet sich beispielsweise der Einsatz des SOLIDWORKS Composers als leistungsfähige 3D-Entwicklungsumgebung für Nicht-Konstrukteure an.

Der Prozess des Informationsaustausches zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation muss festgelegt werden. Er muss für die beteiligten Personen bekannt und nachlesbar sein. Vor allem muss die Frage beantwortet werden, wie die 3D-Modelldaten aus dem 3D-MCAD-System, das meist in ein PDM-System integriert ist, zu exportieren und der TD bereitzustellen sind. Seitens der TD muss bekannt sein, wie die erhaltenen 3D-Modelle in den 3D-Viewer bzw. die 3D-Entwicklungsumgebung zu importieren sind. Auch in diesen Systemen muss der Anwender Einstellungen vornehmen, damit das 3D-Modell nach seinen Wünschen dargestellt wird.

Die Verfasserin sieht selbstkritisch für ihre eigene Tätigkeit als Technische Redakteurin erheblichen Handlungsbedarf, ihre jeweiligen Datenschnittstellen Konstruktion – Technische Dokumentation schriftlich festzulegen. Der aus diesem Versäumnis resultierende beidseitige Mehraufwand ist nicht länger hinnehmbar. Es darf nicht sein, dass erst der Technische Redakteur feststellt: Das 3D-Modell ist unvollständig bzw. fehlerhaft.

Diese Arbeit zeigt als weiteres Ergebnis: Die Qualität des 3D-Modells ist ein entscheidender Faktor, ob:

- die 3D-Modelldaten von einem Datenaustauschformat vollständig und korrekt übertragen werden
- der das 3D-Modell empfangene Bereich des Produktentstehungsprozesses dieses für seine Zwecke ohne aufwendige konstruktive Manipulationen nutzen kann

Die Verfasserin erhielt die Möglichkeit, bei einem Hersteller praktische Erfahrungen mit dem 3D-MCAD-System NX 7.5 zu sammeln. Vorrangig war und ist ihr Ziel, den 3D-Datenaustausch zwischen CAx-Systemen und redaktionellen Anwendungen zu verstehen.

Abbildung 35 zeigt, beispielhaft für die verschiedenen 3D-MCAD-Systeme, in welchem Umfang sich der Datenaustausch mit STEP AP214 im System NX 7.5 beeinflussen lässt.

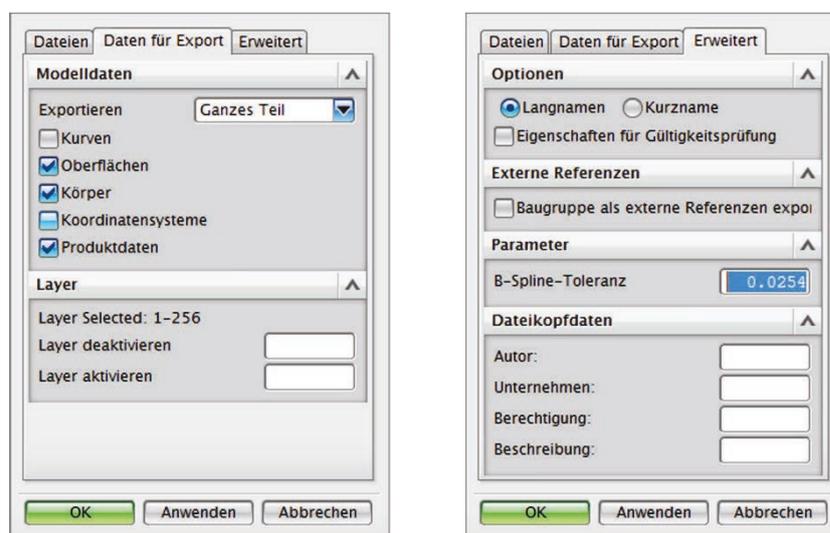


Abbildung 35: NX 7.5: STEP AP214 – Datenexport einstellen (1)

Die linke Abbildung zeigt die Auswahlmöglichkeiten für die zu exportierenden Modelldaten. Weiterhin können Bauteile bzw. Baugruppen nach ihrer Zugehörigkeit zu Layern gewählt werden.

Abbildung 1 auf Seite 8 im einleitenden Teil dieser Arbeit stellt ein nach dem Export in das genormte STEP-Format unvollständiges 3D-Modell dar. Die gezielte Nachfrage bei der Konstruktion ergab: Im 3D-Modell sind die Bauteile und Unterbaugruppen sowohl als Volumenmodelle als auch als Flächenmodelle eingebunden. Letzteres gilt vor allem für Kaufteile, wie Motoren und Getriebe. Die im STEP-Modell fehlenden Bauteile sind Flächenmodelle.

Auf Bitte der Verfasserin exportierte ein Konstrukteur das 3D-Modell erneut als *Ganzes Teil* mit vollständig angewählten Exportoptionen in das STEP-Datenformat. Ergebnis: Nach dem Reimport in das CAD-System fehlten im Modell wieder ein Getriebe und einige Verbindungsglieder der Energieketten.

Der Konstrukteur prüfte nun das Exportverhalten des betroffenen Getriebemodells als einzelnes Bauteil. Ergebnis: Nach dem Reimport in das CAD-System ist das Flächenmodell vollständig.

Weiterer Versuch: Die Objekte der Baugruppe wurden im Bearbeitungsfenster ausgewählt und exportiert, siehe nachfolgende Abbildung 36.

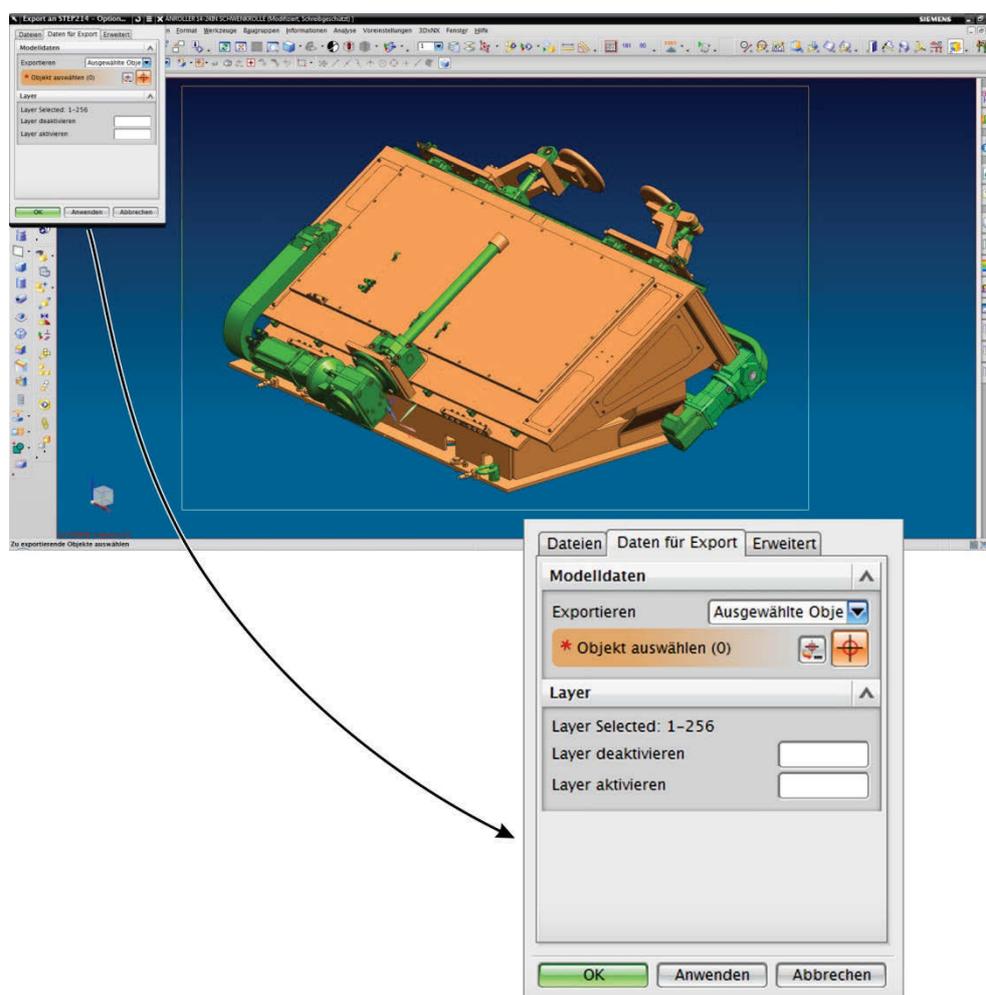


Abbildung 36: NX 7.5: STEP AP214 – Datenexport einstellen (2) ^{AAAAAA}

Ergebnis: Die geometrischen Daten des 3D-Modells sind nach dem Reimport in das CAD-System und auch nach dem Import in den 3D-Viewer vollständig. Die für die TD wichtigen Strukturinformationen fehlen. Die Dateigröße hat sich vervierfacht. Diese Exportoption ist daher unbrauchbar.

Der Konstrukteur teilte der Verfasserin mit, dass er als nächsten Schritt die Qualität der nicht exportierten Kaufteilm Modelle eingehend prüfen müsste. Gegebenenfalls sind neue Kaufteilm Modelle bei den Lieferanten zu beziehen. Innerhalb der Konstruktion kann dieses Vorgehen einen umfassenden Revisionierungsprozess für freigegebene 3D-Modelle verschiedenster Baugruppen verursachen. Das Problem des fehlerhaften STEP-Datenexports ist für das vorliegende 3D-Modell offensichtlich nicht ohne erheblichen Aufwand seitens der Konstruktion zu lösen.

Das Problem ließ sich lösen, indem ein anderes 3D-Datenformat für den Datenaustausch genutzt wurde: JT. Abbildung 37 zeigt das vollständige 3D-Modell im für dieses 3D-Visualisierungsformat entwickelten 3D-Viewer JT2Go.

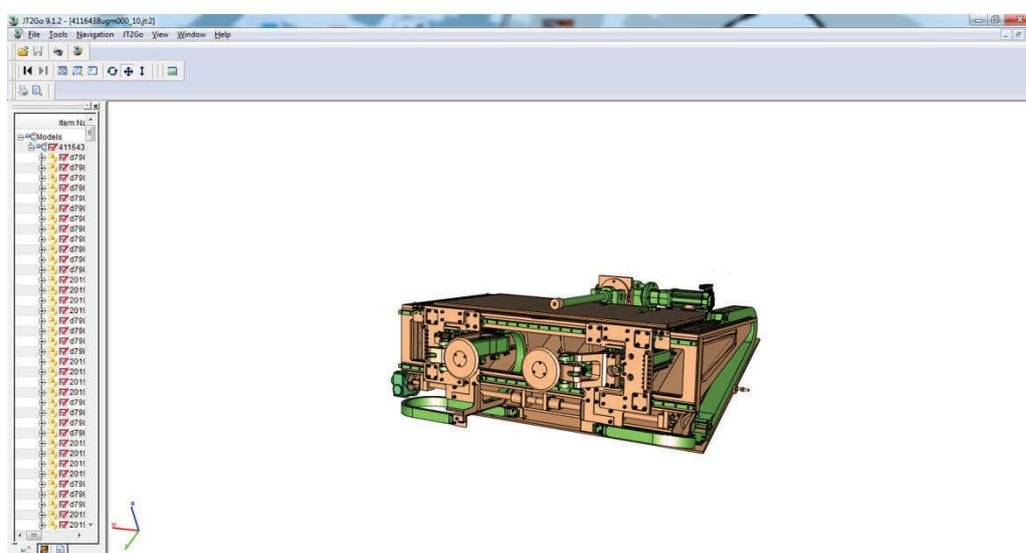


Abbildung 37: 3D-Viewer JT2Go – vollständiges 3D-Modell

Persönliche Schlussfolgerung

Die Verfasserin kommt zu dem Ergebnis, dass für den fehlerhaften 3D-Datenaustausch mit STEP zwei Hauptursachen zu nennen sind:

- *Schnittstellenkonverter*

Für die STEP-Formate AP203 und AP214 sind ausgereifte Schnittstellenkonverter verfügbar. Hier sieht die Verfasserin vor allem die Systemanbieter in der Pflicht. Sie müssen STEP-Schnittstellenkonverter in ihre Systeme einbinden, die die korrekte Datenkonvertierung gewährleisten. Ggf. ist herstellerseitig zu prüfen, welcher STEP-Schnittstellenkonverter konkret im eingesetzten 3D-MCAD-System implementiert ist und ob dieser die qualitativen Anforderungen erfüllt. Letzteres dürfte insbesondere für KMU des Anlagen- und Maschinenbaus aufwendig und schwer umsetzbar sein.

- *Qualität des 3D-Modells*

Das 3D-Modell muss qualitative Anforderungen erfüllen. Diese sind unternehmensintern festzulegen. Dabei müssen die Anforderungen der verschiedenen Nutzergruppen (= Zielgruppen) der 3D-Modelle innerhalb des Produktentstehungsprozesses einbezogen werden. Die Konstruktion ist in der Pflicht 3D-Modelle zu erstellen, die den festgelegten qualitativen Anforderungen genügen.

In jedem Fall kann ein Weg gefunden werden, auf dem die Konstruktion der Technischen Dokumentation für deren Zwecke vollständige 3D-Modelldaten effizient bereitstellt.

5.3 Aufbereiten der 3D-Modelle

Der *Datenaustausch zwischen Konstruktion und Technischer Dokumentation* stellt den Themenschwerpunkt dieser Arbeit dar. Trotz dieser Fokussierung gibt die Verfasserin im Rahmen dieser Arbeit einen Einblick in die Verwendungsmöglichkeiten der 3D-CAD-Modelle in Anleitungen, siehe Kapitel 4 „Bearbeitung der 3D-Modelle in der TD“ ab Seite 79.

Aus praktischer Erfahrung der Verfasserin liefern KMU des Anlagen- und Maschinenbaus noch überwiegend produktbegleitende Kundendokumentation in Papierform an ihre Kunden. Wesentliche Ursache hierfür sind gesetzliche Vorgaben, vgl. Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.

Zum Aufbereiten eines 3D-CAD-Modells für verschiedene Grafikansichten sind für die Verfasserin vor dem Hintergrund einer Kosten-Nutzen-Analyse systemherstellerneutrale 3D-Viewer eine gute Wahl. Mit der 3DViewStation der KISTERS AG zeigt die Verfasserin im Kapitel 4, wie sich dokumentationsrelevante Informationen aus einem 3D-Modell gewinnen lassen und wie ein 3D-Modell für grafische Darstellungen in Anleitungen aber auch in Ersatzteillisten manipuliert und aufbereitet werden kann.

Die gezeigten Beispiele illustrieren: 3D-CAD-Modelle können in der Technischen Dokumentation vielfältig genutzt werden, um Produkte zielgruppengerecht und verständlich zu beschreiben. Technische Redakteure können die plastische Anschaulichkeit der 3D-Modelle nutzen, um bisher notwendigen erklärenden Text zu minimieren. Dies setzt aus Sicht der Verfasserin voraus, dass Technische Redakteure über fundierte Grundkenntnisse der 3D-Modellierung, des 3D-Datenaustausches und der Aufbereitung der 3D-Modelle mit dafür geeigneten Anwendungen verfügen.

5.4 Ausblick

Mit den genormten 3D-Datenformaten STEP AP 242 (ISO 10303-242) und JT (ISO 14306) stehen der Maschinenbaubranche neutrale Formate für 3D-CAD-Modelle zur Verfügung, die zusätzlich zum Datenaustausch vor allem während der Produktentstehung auch für die Datenarchivierung konzipiert sind. Hier eröffnen sich den Unternehmen neue Wege, die 3D-CAD-Modelle ihrer Produkte zu nutzen. Soll das virtuelle Produkt als *eine* Daten- und Informationsquelle im Zentrum des Produktlebenszyklusses stehen, müssen aus Sicht der Verfasserin:

- das 3D-CAD-Modell eine Modellierstruktur und Datenqualität aufweisen, dass möglichst alle Nutzer im Produktlebenszyklus dieses direkt in ihre Anwendung importieren und dort bearbeiten können

Wichtig ist hier die Kenntnis, welche konkreten Modelliermethoden zu Schwierigkeiten beim Datenaustausch mit STEP oder JT führen.

- der Prozess des 3D-Datenaustausches während der Produktentstehung standardisiert ablaufen

Wichtig ist eine *Prozessnorm*, die den Unternehmen eine Orientierungshilfe gibt, die Schnittstellen für den erforderlichen 3D-Datenaustausch zu definieren. Betrachtet werden müssen interne und externe Schnittstellen. Die Empfehlung VDA 4950:2011-07 „Vereinbarungen zum CAD/CAM-Datenaustausch“ betrachtet nur einen Teilbereich der Produktentstehung.

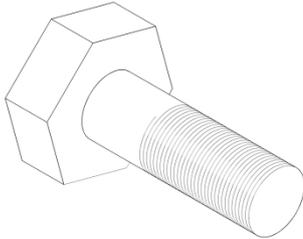
Zweiter Themenschwerpunkt des Masterarbeitsthemas ist das *Aufbereiten der 3D-CAD-Modelle für Anleitungen*. In dieser Arbeit wird darauf eingeschränkt im Kapitel 4 „Bearbeitung der 3D-Modelle in der TD“ eingegangen. Es bietet sich aus Sicht der Verfasserin die thematische Fortführung weiterer wissenschaftlichen Arbeiten an:

- Wie werden Publikationen auf mobilen Endgeräten den Prozess der Dokumentationserstellung und -bereitstellung auch für KMU des Anlagen- und Maschinenbaus verändern?
- Ein wichtiger Aspekt bei Online-Publikationen mit 3D-CAD-Modellen ist der Datenschutz. Die 3D-Modelle enthalten abrufbare geometrische und nichtgeometrische Daten des virtuellen Produkts. Ein Online publiziertes 3D-Modell darf dem Nutzer nicht ungewollt konstruktions- und produktionsrelevante Daten liefern. Wünschenswert sind einfach handhabbare Einstellungen im 3D-Ausgabeformat. Der Datenschutz von 3D-Modellen muss für Nicht-Konstrukteure effizient realisierbar sein.

Glossar

3D XML	<p>3D XML ist eine Entwicklung des Systemhauses Dassault Systèmes. Dassault Systèmes konzipierte dieses Format, um 3D-Daten innerhalb eines kompletten PLM-Prozesses mit einem einheitlichen Datenformat austauschen zu können. 3D XML basiert auf dem XML-Standard und ist ein offenes Format. Seine vollständige Dokumentation kann von interessierten Anwendern eingesehen werden. Laut Dassault Systèmes lassen sich mit 3D XML 3D-Daten in Echtzeit erfassen und austauschen. Eine Grundlage hierfür ist der um bis zu 90 Prozent geringere Datenumfang.^{BBBBBB}</p>
B-REP-Modell	Siehe Abschnitt „ <i>B-REP-Modell</i> “ auf Seite 30 dieser Arbeit.
CAE	<p>Akronym für Computer Aided Engineering.</p> <p>CAE beginnt bei der Produktplanung, setzt sich fort über die Produktentwicklung und -konstruktion bis hin zur Fertigungsvorbereitung.</p> <p>Für die unterschiedlichen Produktentstehungsphasen kommen meist separate Software-Systeme zum Einsatz. Ziel ist es, die entstehenden Produktdaten zwischen den Systemen auszutauschen.</p> <p>Die modernen 3D-MCAD-Systeme ermöglichen nicht nur das Generieren von 3D-Modellen. In Zusammenbauten lassen sich Bauteile bzw. Baugruppen zueinander anordnen und bewegen. Bewegungsabläufe können simuliert und Kollisionen zwischen Baugruppen erkannt und aus dem Zusammenbau heraus konstruktiv behoben werden.</p> <p>Die 3D-Modelle sind Basis für die Finite-Elemente-Analyse (FEA). Mit ihr lassen sich am virtuellen Bauteil bzw. an der virtuellen Baugruppe kinetische und thermische Untersuchungen durchführen sowie Strömungsbilder für deren Umströmung oder Durchströmung erzeugen.</p>
CAM	<p>Akronym für Computer Aided Manufacturing.</p> <p>CAM umfasst den Fertigungsprozess. Die geometrischen Daten des 3D-Modells sind Basis für die Bauteilherstellung mit CNC-Werkzeugmaschinen.</p>
CGM	<p>Akronym für Computer Graphics Metafile. Neutrales Datenformat für Vektorgrafiken.</p> <p>ISO-Standard ISO/IEC 8632-1, ISO/IEC 8632-3 und ISO/IEC 8632-4</p> <p>Akronym für Convergence Geometric Modeler. Der 3D-Modellierkern wurde von der Fa. Spatial Corporation entwickelt und ist Basis des 3D-MCAD-Systems CATIA.</p>

^{BBBBBB} Dassault Systèmes: 3D XML Format. – <http://www.3ds.com/de/produkte-und-services/3d-xml/format/> (05.11.2014)

COLLADA	Akronym für: <i>Collaborative Design Activity</i> . COLLADA™ ist ein XML-basiertes 3D-Datenaustausch-Schema (asset exchange schema). Es wurde von der Khronos Group entwickelt, um 3D-Daten zwischen verschiedenen Anwendungen auszutauschen. Aktuelle Version des Standards ist COLLADA 1.5. ^{CCCCC}
CSG-Modell	Siehe Abschnitt „ <i>CSG-Modell</i> “ auf Seite 30 dieser Arbeit.
Flächenmodell	Siehe Abschnitt „ <i>Flächenmodelle und Volumenmodelle</i> “ auf Seite 24 dieser Arbeit.
Isometrische Projektion	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Mit Hilfe der isometrischen Projektion lassen sich Körper räumlich auf einer Fläche darstellen. Die drei Koordinatenachsen (X, Y, Z) haben zueinander jeweils einen Winkel von 120°.</p> </div> </div> <p>Die isometrische Projektion ist eine Variante der axonometrischen Projektionen und in der Norm EN ISO 5456-3 „Technische Zeichnungen - Projektionsmethoden - Teil 3: Axonometrische Darstellungen“ standardisiert.</p> <p>Isometrische Projektionen werden u. a. „seit mehr als 50 Jahren“^{DDDDD} genutzt, um Rohrleitungsverläufe im Anlagenbau zu visualisieren. Siehe auch DIN 86082 „Schiffe und Meerestechnik – Isometrische Darstellung von Rohren in der Schiffstechnik“.</p>
Kantenmodell	Siehe Abschnitt „ <i>Kantenmodelle</i> “ auf Seite 23 dieser Arbeit.
KML	Akronym für <i>Keyhole Markup Language</i> . KML ist eine Auszeichnungssprache für Geodaten. Sie basiert auf dem XML-Standard.
Koordinatensystem (2D)	Zwei Achsen (X, Y) stehen im rechten Winkel zueinander. Der Achsenschnittpunkt bildet den Koordinatenursprung (0, 0). Mit Hilfe dieses Achsenkreuzes können allen Flächenpunkten eindeutige Lagekoordinaten zugeordnet werden. Die Lagekoordinaten können entweder als zwei Strecken angegeben werden (<i>kartesisches Koordinatensystem</i>) oder als ein Radius und ein Winkel (<i>Polarkoordinatensystem</i>).
	<p><i>Kartesisches Koordinatensystem:</i></p> <p>Um einen Punkt (X, Y) in der Fläche zu bestimmen, werden seine X- und Y-Werte als Strecken auf der X-Achse und auf der Y-Achse markiert. Der Schnittpunkt der beiden senkrecht durch diese Markierungen laufenden Geraden ist der gesuchte Punkt.</p>

^{CCCCC} Khronos Group: COLLADA – 3D Asset Exchange Schema. –<https://www.khronos.org/collada/> (05.11.2014)

^{DDDDD} KÜHNEL, Günter: Lehrbrief Konstruktionslehre/CAD. Universität Rostock (Hrsg.), Zentrum für Qualitätssicherung in Studium und Weiterbildung, 2013. S. 18

	<p><i>Polarkoordinatensystem:</i></p> <p>Um einen Punkt (r, α) zu bestimmen, wird ausgehend von der X-Achse ein Kreisbogen mit dem Radius r und dem Mittelpunktswinkel α gezeichnet. Der Endpunkt des Kreisbogens ist der gesuchte Punkt.</p>
Koordinatensystem (3D)	<p>Die 3D-Koordinatensysteme basieren auf den beiden für Flächen (2D) definierten Koordinatensystemen. Für die Lagebestimmung im Raum kommt eine dritte Achse hinzu, die Z-Achse. Sie steht senkrecht zur X- und zur Y-Achse. Der gemeinsame Schnittpunkt der drei Achsen bildet den Koordinatenursprung $(0, 0, 0)$.</p> <p><i>Kartesisches Koordinatensystem:</i></p> <p>Um einen Punkt (X, Y, Z) im Raum zu bestimmen, werden seine X-, Y- und Z-Werte als Strecken auf den jeweiligen Achsen markiert. Der Schnittpunkt der drei senkrecht durch diese Markierungen laufenden Geraden ist der gesuchte Punkt.</p> <p><i>Zylindrisches Koordinatensystem:</i></p> <p>Um einen Punkt (r, α, h) zu bestimmen, wird ausgehend von der X-Achse in der XY-Ebene ein Kreisbogen mit dem Radius r und dem Mittelpunktswinkel α gezeichnet. Die Zylinderhöhe h wird als Strecke auf der Z-Achse markiert. Der Schnittpunkt der senkrecht durch den Endpunkt des Kreisbogens laufenden Gerade und der senkrecht durch die Markierung auf der Z-Achse laufenden Gerade ist der gesuchte Punkt.</p> <p><i>Sphärisches bzw. Kugel-Koordinatensystem:</i></p> <p>Um einen Punkt (r, α, β) zu bestimmen, wird ausgehend von der X-Achse in der XY-Ebene ein Kreisbogen mit dem Radius r und dem Mittelpunktswinkel α gezeichnet. Als nächstes zeichnet man einen Kreis mit dem Radius r, der senkrecht zur XY-Ebene steht und durch den Endpunkt des Kreisbogens verläuft. Ausgehend vom Schnittpunkt des Kreises mit der Z-Achse wird nun auf dem Kreis ein Kreisbogen mit dem Mittelpunktswinkel β gezogen. Der Endpunkt dieses Kreisbogens ist der gesuchte Punkt.</p>
Multi-CAD-fähig	CAD-System, das native Datenformate anderer CAD-Systeme über Direktschnittstellen importiert.
Multi-User-fähig	System als Serveranwendung, das mit seiner internen Datenzugriffsverwaltung das gleichzeitige Arbeiten mehrerer Anwender ermöglicht.

Pixelgrafik	<p>Pixelgrafiken sind digitale Bilder, die sich aus Pixeln (= Bildpunkte) zusammensetzen. Die Pixel sind in einem definierten Raster zueinander angeordnet. Jedes Pixel enthält Farbinformationen, die zusammen ein Bild ergeben. Die Bildqualität einer Pixelgrafik hängt ab von der Pixelzahl (vgl. Maßeinheit dpi = dots per inch) sowie der pro Pixel gespeicherten Farbtiefe.</p> <p>Werden Pixelgrafiken in einem Datenformat ohne Kompressionsverfahren gespeichert, sind die Dateien bei hoher Pixelzahl und Farbtiefe sehr groß. Um die Dateigrößen zu verringern, werden bei den Datenformaten verschiedene Kompressionsverfahren genutzt. Hier muss unterschieden werden zwischen verlustfreien und verlustbehafteten Verfahren. Beispiele für verlustfreie Kompressionsverfahren sind LZW (Lempel Ziv Welch) oder RLE (Run Length Encoding). JPEG (Joint Photographic Expert Group) ist nicht nur ein Datenformat für Pixelgrafiken sondern auch ein verlustbehaftetes Kompressionsverfahren. Die drei genannten Verfahren stehen u. a. zur Auswahl, wenn Grafiken im TIFF-Datenformat gespeichert werden.</p>
Punktemodell	Siehe Abschnitt „Punktemodelle“ auf Seite 26 dieser Arbeit.
Vektorgrafik	Vektorgrafiken sind digitale Bilder, die wie 2D-CAD-Zeichnungen aus Polygonen, Linien, Kreisen und Bögen aufgebaut sind. Die Bestandteile der Vektorgrafiken lassen sich geometrisch beschreiben. Vektorgrafiken sind verlustfrei skalierbar.
Volumenmodell	Siehe Abschnitt „Flächenmodelle und Volumenmodelle“ auf Seite 24 dieser Arbeit.
Voxelmodell	Siehe Abschnitt „Voxelmodelle“ auf Seite 25 dieser Arbeit.
XNC	Der Standard XNC wurde vom Deutschen Stahlbau Verband (DSTV) geschaffen, um CAD-Daten für NC-Maschinen zu vereinheitlichen. XNC basiert auf dem XML-Standard.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fehlerhafter 3D-Datenaustausch (STEP)	8
Abbildung 2: Chronologische Gliederung dieser Arbeit	11
Abbildung 3: Hauptkapitel 2 „Technisches Grundwissen“	14
Abbildung 4: Mögliche Grafikquellen für Anleitungen	17
Abbildung 5: Beispiel für ein 3D-MCAD-Kantenmodell	23
Abbildung 6: Beispiel für ein 3D-MCAD-Volumenmodell ^M	24
Abbildung 7: Beispiel für ein generiertes Punktemodell	26
Abbildung 8: Arbeitsschritte für eine 3D-Volumenmodellierung	27
Abbildung 9: 3D-CAD-Modelle im Produktentstehungsprozess	34
Abbildung 10: Einsatz PDM-System innerhalb des Produktlebenszyklus ..	35
Abbildung 11: Datenaustausch CAD-System – PDM-System	36
Abbildung 12: Hauptkapitel 3 „Datenaustausch mit 3D-MCAD-Systemen“	38
Abbildung 13: Beispiel fehlerhafter 3D-Datenexport (STEP)	39
Abbildung 14: Beschaffen eines 3D-Modells – Handlungsschritte (1).....	40
Abbildung 15: Modellierkerne in 3D-MCAD-Systemen	47
Abbildung 16: 3D-MCAD_Datenformate.xlsx – Auszug	53
Abbildung 17: Unterstützte native 3D-Dateiformate.....	56
Abbildung 18: Unterstützte neutrale 3D-Datenformate	64
Abbildung 19: ISO 10303 – modulare Struktur	73
Abbildung 20: STEP AP242 – Einsatz im PLM (schraffiert).....	75
Abbildung 21: Schema: JT-Loop-Test	76
Abbildung 22: Schema: Test JT mit STEP AP242 XML.....	77
Abbildung 23: 3DViewStation (3DVS) 2015 – Startbildschirm	81
Abbildung 24: 3DVS – Bauteile selektieren	81
Abbildung 25: 3DVS – Bauteile ausblenden (links), isolieren (rechts)	82
Abbildung 26: 3DVS – Produktaußenmaße bestimmen	82

Abbildung 27: 3DVS – Schnittdarstellungen erzeugen	83
Abbildung 28: 3DVS – erzeugte Schnittdarstellung	83
Abbildung 29: 3DVS – Explosionsdarstellungen erzeugen	84
Abbildung 30: 3DVS – Positionsnummern für Grafiken	84
Abbildung 31: 3DVS – Animation: Abdeckung abnehmen	85
Abbildung 32: JT: Modelliermethoden, Konvertierungsergebnisse	89
Abbildung 33: 3D-Datenaustausch Konstruktion – TD abstimmen	92
Abbildung 34: Beschaffen eines 3D-Modells – Handlungsschritte (2).....	93
Abbildung 35: NX 7.5: STEP AP214 – Datenexport einstellen (1)	95
Abbildung 36: NX 7.5: STEP AP214 – Datenexport einstellen (2)	96
Abbildung 37: 3D-Viewer JT2Go – vollständiges 3D-Modell.....	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgewählte 3D-MCAD-Systeme	42
Tabelle 2: Bewertete native 3D-Dateiformate	55
Tabelle 3: Beschreibungen native 3D-Dateiformate aus Tabelle 2	55
Tabelle 4: Beschreibungen nicht bewertete neutrale 3D-Dateiformate	59
Tabelle 5: Übersicht bewertete neutrale 3D-Datenformate	60
Tabelle 6: Kurzbeschreibungen native 3D-Dateiformate aus Tabelle 5	60
Tabelle 7: 3D-Datenaustausch mit VDAIS, VDAFS, STEP und DXF	65
Tabelle 8: Ergebnisse: 3D-PDF, JT, STEP in den Anwendungsszenarien	71

Literaturverzeichnis

ASCON Gruppe:

C3D Kernel – http://ascon.net/de/solutions/c3d_kernel/ (2014-11-29)

BAUMERT, Andreas; REICH, Sabine:

Interviews in der Recherche – Redaktionelle Gespräche zur Informationsbeschaffung. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer VS, 2012. – ISBN 978-3-531-18968-0

BECKERS, Raphael; FRÖHLICH, Arnulf; Stjepandic, Josip:

Anwendung und Potentiale universeller Visualisierungsformate, 2010. – http://www.transmechatronic.de/uploads/tx_vitramemberadmin/literature/Anwendung_und_Potentiale_universeller_Visualisierungsformate.pdf (31.10.2014)

BERTHOLD, Axel:

Dissertation: Der fertigungsorientierte Modellierer FERMOD als Erweiterung des Konstruktionssystems WISCON. Kassel: kassel university press, 2002. – ISBN 3-9331 46-73-9

BRÖKEL, Klaus:

Pro/ENGINEER – Effektive Produktentwicklung. München: Pearson Studium, 2008. – ISBN 978-3-8273-7294-9

COREL Corporation:

CorelDRAW TECHNICAL SUITE X6 – 3D-Vergleichsmatrix. SP2 (16.4.2). 07/2014

Dassault Systèmes:

3D XML Format. – <http://www.3ds.com/de/produkte-und-services/3d-xml/format/> (05.11.2014)

DEISINGER, Joachim:

JT optimiert Zusammenarbeit. In: interface 3 (2010), S. 12-13

ENGELKEN, Gerhard:

SolidWorks 2010 – Methodik der 3D-Konstruktion. München: Carl Hanser Verlag, 2010. – ISBN 978-3-446-42367-1

FRÖHLICH, Arnulf; ProSTEP AG (Hrsg.):

Whitepaper – 3D-Formate im Engineering-Umfeld – ein Vergleich, 2013 – <http://www.prostep.com/downloads/whitepaper-leitfaden.html> (02.02.2015)

GULP Information Services:

Marktstudie: Selbstständige Konstrukteure – <https://www.gulp.de/kb/mk/chanpos/Marktstudie-Konstrukteure.html> (29.10.2014)

KISTERS AG:

Kisters 3DViewStation & Automation Server. Stand: 19.02.2015 – <http://viewer.kisters.de/fileadmin/downloads/Produkte/FileFormats-3DViewStation.pdf> (11.03.2015)

KÜHNEL, Günter:

Lehrbrief Konstruktionslehre/CAD. Universität Rostock (Hrsg.), Zentrum für Qualitätssicherung in Studium und Weiterbildung, 2013

ProSTEP iViP Verein:

Imagebroschuere_2014 ProSTEP iViP – http://www.prostep.org/fileadmin/user_upload/ProSTEPiViP/Profil/Vereinsbroschuere/ProSTEP_iViP_Imagebroschuere_2014_D.pdf (21.01.2015)

Jahresbericht 2013 ProSTEP iViP e.V. – http://www.prostep.org/fileadmin/user_upload/ProSTEPiViP/Profil/ProSTEP_iViP_Jahresbericht_2013.pdf (21.01.2015)

JT Application Benchmark – 4th JT Benchmark short report, February 2014 – http://www.prostep.org/fileadmin/freie_downloads/Benchmarks/JT_Benchmarks/ProSTEP-iViP-VDA_JT-Application-Benchmark_Ed4_Short-Report.pdf (21.01.2015)

RUDOLPH, Dietmar; STÜRZNICKEL, Thomas; WEISSENBERGER, Leo:

Der DXF-Standard. München: Rossipaul Verlagsgesellschaft, 1993. – ISBN 3-87686-246-9

SCHOBER, Martin:

Erzeugen von Animationen. In: HENNIG, Jörg; Tjarks-Sobhani, Marita (Hrsg.): Multimediale Technische Dokumentation (tekomp Schriften zur Technischen Kommunikation, Band 14). Lübeck: Schmidt-Römhild Verlag, 2010 – ISBN 978-3-7950-7073-1, S. 83-103

SCHWARZER, Thomas:

Zwei Wege zur Realisierung – Illustrationen auf der Basis von 3D-CAD-Daten. In: tekomp (Hrsg.): technische kommunikation, Heft 1/12 (34. Jahrgang). Lübeck: Schmidt-Römhild Verlag, 2012, S. 32-36

SENDER, Ulrich; WAWER, Volker:

Von PDM zu PLM – Prozessoptimierung durch Integration. 3. überarb. und erw. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2011 – ISBN 978-3-446-42585-9

SPATIAL Product Documentation:

3D ACIS Modeler – http://doc.spatial.com/articles/3/d/3D_ACIS_Modeler_9aee.html (21.12.2014)

STEKOLSCHIK, Alexander:

Ein Beitrag zum ganzheitlichen Qualitätsmanagement von CAD-Modellen in der Produktentstehung – Dissertation. Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, 2007. – <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netathtml/HSS/Diss/StekolschikAlexander/diss.pdf> (29.01.2015)

VOGEL, Harald:

Einstieg in CAD. 2. Aufl. München Wien: Carl Hanser Verlag, 2004. – ISBN 3-446-22381-9

WIKIPEDIA:

Extensible Markup Language –

[http://de.wikipedia.org/wiki/Extensible Markup Language](http://de.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language) (17.01.2014)

Liste von CAD-Programmen. – [http://de.wikipedia.org/wiki/Liste von CAD-Programmen](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_CAD-Programmen) (06.10.2014)

Virtual Reality Modeling Language. –

[http://de.wikipedia.org/wiki/Virtual Reality Modeling Language](http://de.wikipedia.org/wiki/Virtual_Reality_Modeling_Language) (09.11.2014)

Normen, Standards, Empfehlungen

ECMA-363:

Universal 3D File Format. 4. Ausgabe Genf: Ecma International, 2007. –
<http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-363.htm>

Empfehlung VDA 4950:2011-07:

Vereinbarungen zum CAD/CAM-Datenaustausch –
<https://www.vda.de/de/services/Publikationen/Publikation.~97~.html>
(31.01.2015)

Empfehlung VDA 4955:2006-12:

Umfang und Qualität von CAD-CAM-Daten –
<https://www.vda.de/de/services/Publikationen/Publikation.~217~.html>
(31.01.2015)

Norm DIN 820-1:2014-06:

Normungsarbeit – Teil 1: Grundsätze

Norm DIN 820-3:2014-06:

Normungsarbeit – Teil 3: Begriffe

Norm ISO 10303-242:2014-12:

Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering

ISO 10303 consists of the following parts under the general title Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange: http://standards.iso.org/iso/10303/tech/step_titles.htm (06.02.2015)

Norm ISO 14306:2012-12:

Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – JT-Dateiformat für 3D-Visualisierung

Norm DIN EN 45020:2007-03:

Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten – Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004)

Technische Regel VDI 2209:2009-03:

3-D-Produktmodellierung – Technische und organisatorische Voraussetzungen – Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen – Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis

Technische Regel VDI 2219:2014-10 (Entwurf):

Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Einführung und Betrieb von PDM-Systemen

Erklärung, zur vorliegenden Arbeit

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Neuenkirchen, 01.04.2015

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

- Separate Datei: *3D-MCAD_Datenformate.xlsx*
- Separates Verzeichnis: *Quellennachweis_3D-MCAD_Dateiformate*