Online-Kopplung von CAx-Systemen für die virtuelle Produktentwicklung — Ein Vergleich mit dem dateibasierten Datenaustausch

Dipl.-Ing. B. Swienczek, Kaiserslautern
Dipl.-Inform. F. Arnold, Kaiserslautern
Dipl.-Ing. Th. Kilb, Kaiserslautern
Dipl.-Ing. A. T. Janocha, Kaiserslautern
Dr.-Ing. R. Sartiono, Wolfsburg

Zusammenfassung

Die virtuelle Produktentwicklung in verteilter Umgebung erfordert eine intensive Kommunikation zwischen den beteiligten CAx-Systemen. Diese findet bisher in Form des dateibasierten Datenaustausches mit Hilfe von Direktkonvertern oder neutralen Schnittstellen statt. Der Datenaustausch wird hierbei meist in mehreren Iterationsschleifen durchgeführt und ist oft mit Datenverlusten sowie Unterbrechungen der Entwicklungsaktivitäten verbunden.

Demgegenüber steht als neuer Ansatz für die Interoperabilität zwischen CAx-Systemen das Konzept eines CAx-Objektbusses auf Basis von CORBA und STEP. Dieser Ansatz ermöglicht eine plattformübergreifende Online-Kopplung heterogener CAx-Systeme. Im Gegensatz zum dateibasierten Datenaustausch ist hierbei ein transparenter Zugriff sowohl auf Daten als auch auf Funktionen der angebundenen Systeme möglich. Dadurch kann die Durchgängigkeit der Produktdaten in der Prozeßkette deutlich erhöht werden.

Zur Beurteilung der Praxistauglichkeit wird dieser neue Ansatz dem dateibasierten Datenaustausch am Beispiel virtueller Einbauuntersuchungen gegenübergestellt. Dabei werden für unterschiedliche praxisrelevante Modellgrößen die für die Übertragung von Geometrie und Topologie erforderlichen Zeiten analysiert und verglichen. Weiterhin werden die generellen Vor- und Nachteile der beiden Lösungen dargestellt. Abschließend wird auf die Potentiale des neuen Ansatzes für den Einsatz in anderen Bereichen eingegangen.

1 Einleitung

Die Produktentwicklung ist von einer ständig steigenden Bedeutung der CAx-Technologien geprägt. Die sich abzeichnende Tendenz in Richtung virtuelle Produktentwicklung erfordert eine effiziente Kommunikation zwischen verschiedenen CAx-Applikationen, da kein CAx-System alle Anforderungen des Entwicklungsprozesses optimal erfüllen kann. Als „virtuelles Produkt“ wird in diesem Zusammenhang eine vollständige informationstechnische Repräsentation aller relevanten Produktdaten verstanden, welche die rechnerunterstütze Simulation aller Phasen des Produktlebenszyklus ermöglicht. Um die erforderliche CAx-Interoperabilität zu gewährleisten, ist bisher ein dateibasierter Datenaustausch unverzichtbar. Der gängige Weg ist hier neben dem Einsatz von Direktkonvertern die Verwendung von Standardschnittstellen wie IGES, VDA-FS oder STEP.

In der Industrie werden einzelne Baugruppen komplexer Produkte zum Teil mit Hilfe verschiedener CAx-Systeme modelliert. Dadurch lassen sich die Stärken verschiedener CAx-Systeme baugruppenspezifisch anwenden. Im Rahmen des Digital Mock-up müssen diese Bauteile „unterschiedlicher Herkunft“ zusammengefügt werden. Als **D**igital **M**ock-**u**p (DMU) werden rechnerbasierte, realistische Darstellungen bezeichnet, die das Produkt mit seinen Funktionen geometrisch volumenorientiert visualisieren /1/.

Wenn bei Zusammenbauuntersuchungen im Rahmen des Digital Mock-up Kollisionen oder andere Unvereinbarkeiten zwischen Bauteilen (z. B. thermische Probleme, falsche Passungen) erkennbar werden, muß eine Anpassung der verschiedenen Bauteile aus unterschiedlichen CAx-Systemen vorgenommen werden. Dies stellt im Normalfall einen mehrstufigen Prozeß dar, der durch zeitaufwendige Iterationsschleifen gekennzeichnet ist. Insbesondere wenn die Rückmeldung von Ergebnissen aus einer Kollisionsuntersuchung ausschließlich textbasiert oder mündlich erfolgt, kann es durch Unklarheiten zu weiteren Verzögerungen kommen.

Zur Verbesserung dieser Abläufe wurde aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes ANICA (**AN**alysis of Access **I**nterfaces of Various **CA**x Systems) in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG ein Projekt zur Kopplung von CAx-Systemen für den Bereich virtueller Einbauuntersuchungen im Rahmen des DMU initiiert. Diese Kopplung wurde auf Basis der internationalen Standards STEP und CORBA realisiert, weil neben technischen Argumenten wie Wiederverwendbarkeit oder Stabilität für deren Nutzung auch eine höhere Akzeptanz für standardbasierte Lösungen durch die Industrie zu erwarten ist. Im folgenden werden diese Standards kurz erläutert, bevor der CAx-Objektbus sowie dessen Anwendung im Bereich virtueller Einbauuntersuchungen dargestellt werden.

2 Grundlagen

2.1 STEP

STEP (**ST**andard for the **E**xchange of **P**roduct Model Data) ist ein internationaler Standard (ISO 10303) für ein Produktdatenmodell. STEP soll die rechnerinterpretierbare Repräsentation und den Austausch von Produktmodelldaten des gesamten Produktlebenszyklus ermöglichen.

Zur konsistenten, widerspruchsfreien und semantisch eindeutigen Beschreibung des Produktmodells von STEP wurde die formale Beschreibungssprache EXPRESS definiert. EXPRESS ist keine Programmiersprache, sondern eine Spezifikationssprache, die objektorientierte und prozedurale Konzepte sowie Konzepte aus dem Bereich der Datenbanken vereinigt.

Um die speziellen Anforderungen der Automobilindustrie an ein Produktmodell zu berücksichtigen, wurde vom Verband Deutscher Automobilhersteller (VDA) zusammen mit internationalen Partnern das Applikationsprotokoll „Core Data for Automotive Mechanical Design Processes“ (AP 214) entwickelt. Das AP 214 legt ein Datenmodell für die mechanische Sicht auf die Prozeßkette in der Fahrzeugentwicklung von der Produktdefinition über Styling, Konstruktion, Prototyperstellung, Produktionsplanung usw. bis hin zur Qualitätskontrolle fest. Dazu gehören geometrische und nicht-geometrische Daten des mechanischen Anteils von Bauteilen, Baugruppen, Produkten und Betriebsmitteln. Die **C**onformance **C**lass **1** (CC1) bildet eine Untermenge mit den für die Praxis wichtigsten Entities des AP 214, die sich in die Entity-Gruppen Produktdatenmanagement, Elementstruktur, Drahtmodell, Flächenmodell und Volumenmodell gliedern. Dieser Umfang an Entitäten ist als Ausgangsbasis für die später dargestellte Online-Kopplung zweier CAx-Systeme relevant.

2.2 CORBA

Die **C**ommon **O**bject **R**equest **B**roker **A**rchitecture (CORBA) ist ein Industriestandard für die Interoperabilität verteilter Systeme. CORBA ist Teil der **O**bject **M**anagement **A**rchitecture (OMA) der **O**bject **M**anagement **G**roup (OMG), dem größten Softwarekonsortium der Welt. CORBA definiert Mechanismen, welche die transparente Interaktion von Objekten in heterogenen verteilten Umgebungen ermöglichen. Die zentrale Komponente der Spezifikation ist der **O**bject **R**equest **B**roker (ORB). Der ORB ermöglicht und unterstützt Interoperabilität zwischen Applikationen in heterogenen Umgebungen. Ein ORB kann somit als ein programmiersprachen- und plattformunabhängiger Objektbus angesehen werden. Für den Einsatz eines ORBs müssen die Schnittstellen der über den Bus zu verteilenden Objekte in der im Rahmen von CORBA festgelegten **I**nterface **D**efinition **L**anguage (IDL) definiert werden. IDL hat sich auch

über CORBA hinaus zu einer universellen Notation für die implementierungsneutrale Spezifikation von Softwareschnittstellen entwickelt. Für IDL existieren inzwischen standardisierte Mappings für C, C++, Smalltalk, Java, Cobol und Ada /2/.

3 Der CAx-Objektbus

Der CAx-Objektbus ist ein zentrales Ergebnis des Projektes ANICA (**AN**alysis of Access **I**nterfaces of Various **CA**x Systems), das von Juli 1995 bis April 1998 am Lehrstuhl für Rechneranwendung in der Konstruktion, Universität Kaiserslautern, durchgeführt wurde /6/. Dieses Projekt sollte die Machbarkeit der vom Arbeitskreis 'CAD/CAM-Strategien' der Deutschen Automobilindustrie vorgeschlagenen neuen CAx-Systemarchitektur /4/ verifizieren.

Der grundlegende Ansatz des Projekts war es, die Programmierschnittstellen verschiedener kommerzieller CAx-Systeme (ACIS, CAS.CADE/SF, CATIA, DesignPostDrafting/Pelorus, RAMSIS und SolidEdge/Jupiter) zu analysieren, um auf dieser Basis eine einheitliche und systemunabhängige Schnittstelle für CAx-Systeme zu entwickeln. Die Schnittstellen des CAx-Objektbusses entsprechen einer Menge von CAx-Klassen. Die Hierarchie dieser Klassen orientiert sich im Bereich der Daten an der Hierarchie der STEP-Entities des AP 214. Diese reine Datenbeschreibung wird jedoch durch Methoden ergänzt, die sich aus der Analyse der Programmierschnittstellen ergeben /5/.

Durch diese Schnittstelle ist es möglich, ein verteiltes CAx-System aus Komponenten verschiedener Systemhersteller zu bilden. Dieses frei konfigurierbare Komponentensystem kann den Prozeßanforderungen optimal angepaßt werden. Die auf CORBA basierende gemeinsame Schnittstelle stellt das Verbindungsglied zwischen diesen Komponenten dar und ermöglicht den transparenten Zugriff auf die in den einzelnen Komponenten vorhandenen CAx-Objekte. Daher wird die im Rahmen des Projekts ANICA entwickelte Schnittstelle auch als CAx-Objektbus bezeichnet /6/.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines auf dem CAx-Objektbus basierenden Komponentensystems. Um existierende CAx-Systeme an den CAx-Objektbus ankoppeln zu können, müssen spezielle Software-Adapter (Wrapper) implementiert werden, die die Umsetzung der Funktionsaufrufe des Objektbusses auf die proprietären Programmierschnittstellen der einzelnen Systeme übernehmen. Die Schnittstelle des CAx-Objektbusses ist beliebig erweiterbar, so daß neben reinen CAD-Systemen auch CAE- oder CAM-Systeme integriert werden können. Neu entwickelte Komponenten können direkt auf die einheitliche Schnittstelle des CAx-Objektbusses aufgesetzt werden, so daß in diesem Fall keine Adapter mehr notwendig sind.

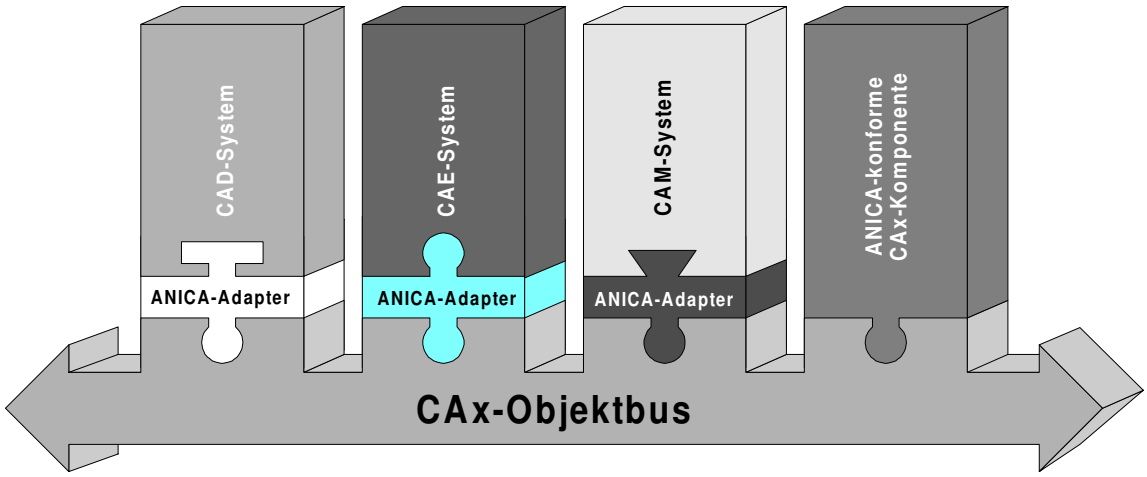


Bild 1: Der ANICA CAx-Objektbus

Nachdem die Integrationsarchitektur des CAx-Objektbusses erläutert wurde, wird im folgenden Kapitel die Anwendung des CAx-Objektbusses für virtuelle Einbauuntersuchungen vorgestellt.

4 Anwendung des CAx-Objektbusses für virtuelle Einbauuntersuchungen

Das Projekt ProDMU ist ein Anwendungsprojekt im Rahmen des Forschungsprojektes ANICA und wird vom Lehrstuhl für Rechneranwendung in der Konstruktion, Universität Kaiserslautern, in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG, Wolfsburg, durchgeführt. Dieses Projekt hat das Ziel, den Ablauf virtueller Einbauuntersuchungen im Rahmen des kooperativen Digital Mock-up hinsichtlich der Effizienz der Arbeitsabläufe und der Qualität der Kommunikation zu verbessern. Dies geschieht durch eine engere und flexiblere Kopplung der beteiligten CAD-Systeme als bei dem traditionellen, dateibasierten Datenaustausch über neutrale Formate. Der im Projekt ANICA entwickelte CAx-Objektbus bildet als Integrationsplattform für CAx-Systeme das Herzstück der neuartigen Lösung in Form einer Online-Kopplung der beteiligten CAD-Systeme.

Bei der Volkswagen AG werden im Rahmen der Fahrzeugentwicklung virtuelle Einbauuntersuchungen und Kollisionsprüfungen der Bauteile im Motorraum eines Fahrzeuges durchgeführt. An der Durchführung dieser Einbauuntersuchungen sind zwei CAD-Systeme beteiligt: CATIA von IBM/Dassault Systèmes und Pro/Engineer (Pro/E) von der Parametric Technology Corporation (PTC). Pro/E wird bei der Aggregatekonstruktion und CATIA für alle übrigen Konstruktionsaufgaben sowie für die Kollisions- und Einbauuntersuchungen verwendet. Der beschriebene Ansatz ist jedoch auch auf beliebige andere CAx-Systeme erweiterbar, sofern diese über eine offene und leistungsfähige Programmierschnittstelle verfügen.

4.1 Ablaufbeschreibung der konventionellen und der neuen Vorgehensweise

Im Rahmen des bisherigen Ablaufs der virtuellen Einbauuntersuchungen kommunizieren die beiden CAD-Systeme nicht direkt miteinander, sondern sind lediglich über einen dateibasierten Datenaustausch miteinander verbunden. Oft muß dabei der Zyklus von dateibasiertem Export und Import, Einbauuntersuchung, Änderungen an den Modellen und erneutem Export mehrfach durchlaufen werden bis alle Kollisionen bereinigt sind, so daß ein beträchtlicher Aufwand an Zeit und Kosten entsteht. Der konventionelle Ablauf der virtuellen Einbauuntersuchungen verläuft wie folgt (vergleiche Bild 2):

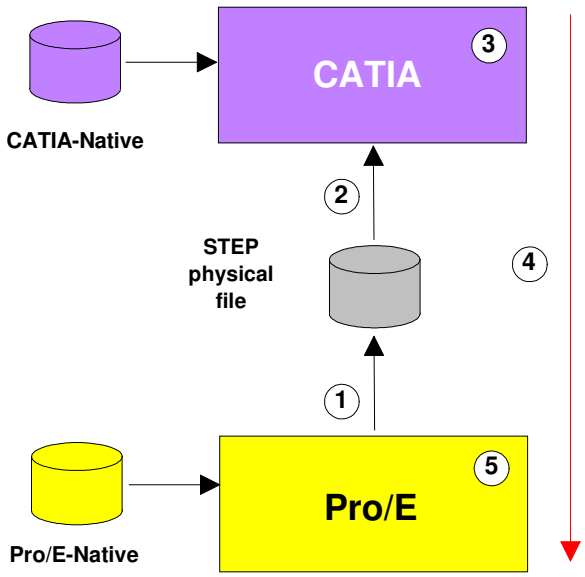


Bild 2: Herkömmlicher Ablauf der virtuellen Einbauuntersuchungen

- Zuerst werden die zu übertragenden Daten von Pro/E in einem neutralen CAD-Datenformat (STEP) als Datei abgelegt (Schritt 1).
- Danach wird diese Datei von CATIA eingelesen (Schritt 2).
- Anschließend kann die eigentliche Kollisionsuntersuchung mit bereits von CATIA geladenen Modellen im CATIA-Native Format erfolgen (Schritt 3).
- Treten Kollisionen oder Durchdringungen zwischen den untersuchten Bauteilen auf, die eine Änderung am Pro/E-Modell erforderlich machen, so wird der betreffende Konstrukteur hierüber mündlich oder schriftlich informiert (Schritt 4).

- Dieser Anwender kann dann die notwendigen Modifikationen an seinem Modell vornehmen (Schritt 5) und danach den aktualisierten Datensatz erneut exportieren (Schritt 1), womit sich der Zyklus schließt.

Im Gegensatz dazu stellt sich der im Projekt ProDMU entwickelte Ablauf der virtuellen Kollisionsprüfungen deutlich vereinfacht dar, jedoch läßt diese Methode Gegebenheiten wie Freigabeprozeduren oder Arbeitsabläufe unberücksichtigt. Bei dieser neuen Vorgehensweise ist es möglich, für die Einbauuntersuchungen jeweils nur diejenigen Elemente der Modelle zu übertragen, die für die Untersuchung relevant sind, z.B. nur die in einem selbstdefinierten Kontext um bestimmte Bauteile liegenden Flächen angrenzender Teilmodelle. Der neu entwickelte Ablauf gliedert sich in die folgenden Schritte (vergleiche Bild 3):

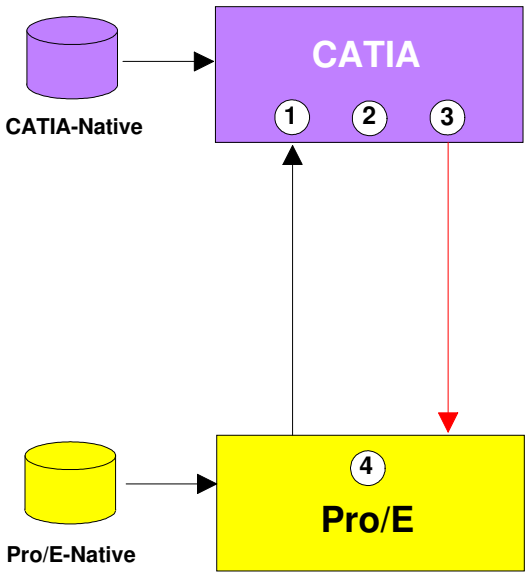


Bild 3: Neuer Ablauf der virtuellen Einbauuntersuchungen

- Wahlweise werden nur bestimmte Teilbereiche oder das vollständige Pro/E-Modell aus CATIA heraus angefordert, übertragen und in CATIA dargestellt (Schritt 1).

- Danach werden die eigentlichen Einbauuntersuchungen durchgeführt (Schritt 2) und auftretende Kollisionen markiert (sog. Redlining).

- Anschließend werden die Markierungen zu Pro/E übertragen (Schritt 3) und damit für den Konstrukteur in dessen Modell sichtbar (Highlighting der betroffenen Faces, zukünftig auch Übertragung der Schnittkurven zur besseren Visualisierung der Konfliktzonen).

- Nun können notwendige Änderungen schnell und präzise durchgeführt werden (Schritt 4). Gegebenenfalls kann nun wieder mit Schritt 1 begonnen werden. Zu beachten ist dabei, daß die Online-Verbindung zwischen den beiden CAD-Systemen während der ganzen Zeit bestehen bleibt, d. h. bei Änderungen am Orginalmodell müssen nur die Daten der geänderten Elemente neu übertragen werden.

Diese neue im Projekt ProDMU entwickelte Vorgehensweise wird in den folgenden Abschnitten anhand von zwei konkreten Anwendungsbeispielen des aktuellen Prototyps verdeutlicht.

4.2 Anwendungsbeispiel Modell-Update

Dieses Anwendungsszenario demonstriert die Vorteile des CAx-Objektbusses bei der kooperativen Konstruktionsarbeit mit verschiedenen CAx-Systemen. Als Beispielgeometrien werden die CAD-Modelle eines Klopfsensors und eines Druckreglers verwendet. Der Klopfsensor liegt hierbei im CATIA-Format, der Druckregler im Pro/Engineer-Format vor. Die im Prototypen realisierte Kollisionsuntersuchung zwischen den Bauteilen findet lokal im System CATIA statt. Der Anwender muß dazu zunächst das lokale Modell (in diesem Fall den Klopfsensor) in sein System laden (siehe Bild 4).

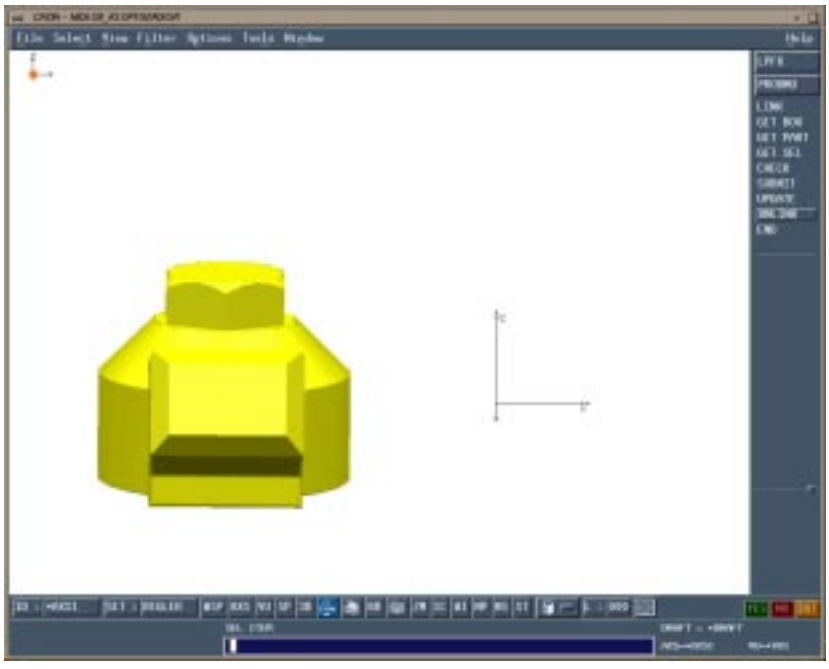


Bild 4: Lokales Modell *Klopfsensor* in CATIA

Nun besteht die Möglichkeit, über den CAx-Objektbus ein Remote-Modell anzubinden. Dazu wird eine Online-Verbindung zum Pro/Engineer-Server aufgebaut. Jetzt kann ein Modell

vom Server ausgewählt werden, z.B. der Druckregler. Daraufhin wird Pro/Engineer von CATIA aus gestartet und das ausgewählte Modell in Pro/E geladen. Auf Benutzeranforderung wird dieses Remote-Modell im Client visualisiert (siehe Bild 5). Zu diesem Zweck werden die für diese Aufgabe notwendigen Geometrie- und Topologieinformationen vom Server zum Client übertragen.

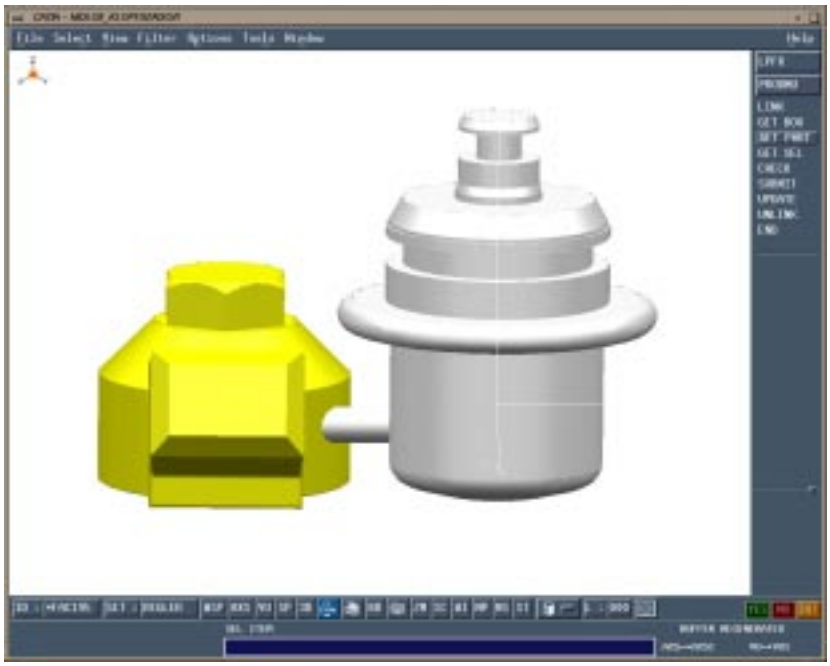


Bild 5: Lokales Modell *Klopfsensor* und Remote-Modell *Druckregler* in CATIA

Im Client wird nun eine lokale Kollisionsuntersuchung durchgeführt. Dabei kommt eine neu erstellte Routine zum Einsatz, die die Weiterverwendung der Ergebnisse zuläßt. Die kollidierenden Faces werden markiert und die Schnittkurven berechnet (vergl. Bild 6).

Die Ergebnisse der Kollisionsuntersuchung werden zum Server übertragen, indem die kollidierenden Faces des Remote-Modells eingefärbt werden (Bild 7). Zusätzlich kann eine Textnachricht an den Bearbeiter übermittelt werden.

Der Pro/E-Konstrukteur führt nun die erforderlichen Änderungen am seinem Modell durch (Bild 8). Die Online-Kopplung zwischen den Systemen bleibt dabei erhalten. Ist die Modifikation abgeschlossen, kann er eine Nachricht an den CATIA-Konstrukteur senden.

Dieser hat nun die Möglichkeit, die lokale Darstellung des Remote-Modells zu aktualisieren (Bild 9). In diesem Update-Schritt werden dann nur die Änderungsinformationen zum Client übertragen, in diesem Fall die Geometrieinformationen der geänderten Faces. Durch die

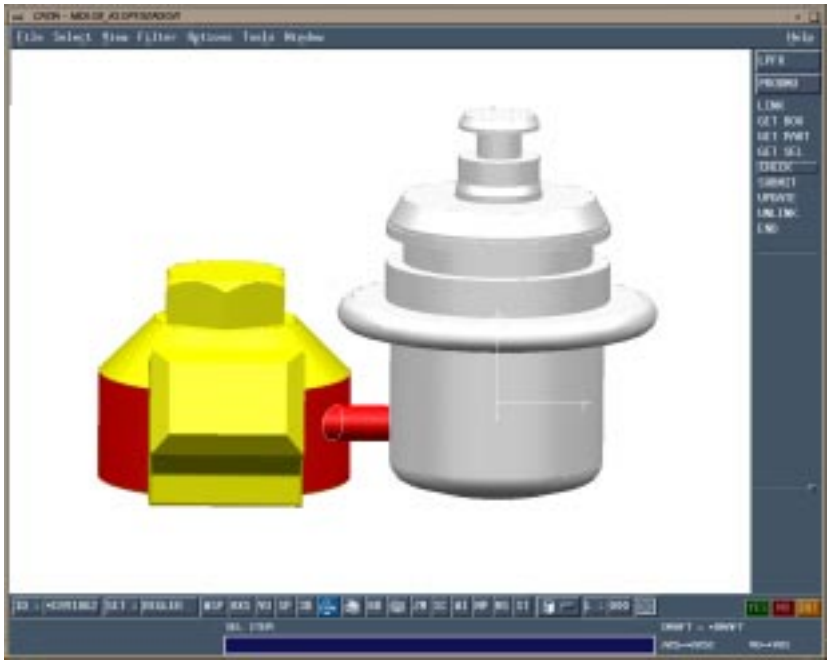


Bild 6: Ergebnis der Kollisionsprüfungen in CATIA

Reduktion des Übertragungsvolumens wird diese Aktualisierung deutlich schneller abgearbeitet als die anfängliche Übertragung des gesamten Modells.

Anschließend kann eine erneute Kollisionsuntersuchung durchgeführt werden. Treten dabei erneut Kollisionen auf, so wird eine zusätzliche Änderungsschleife erforderlich. Je mehr

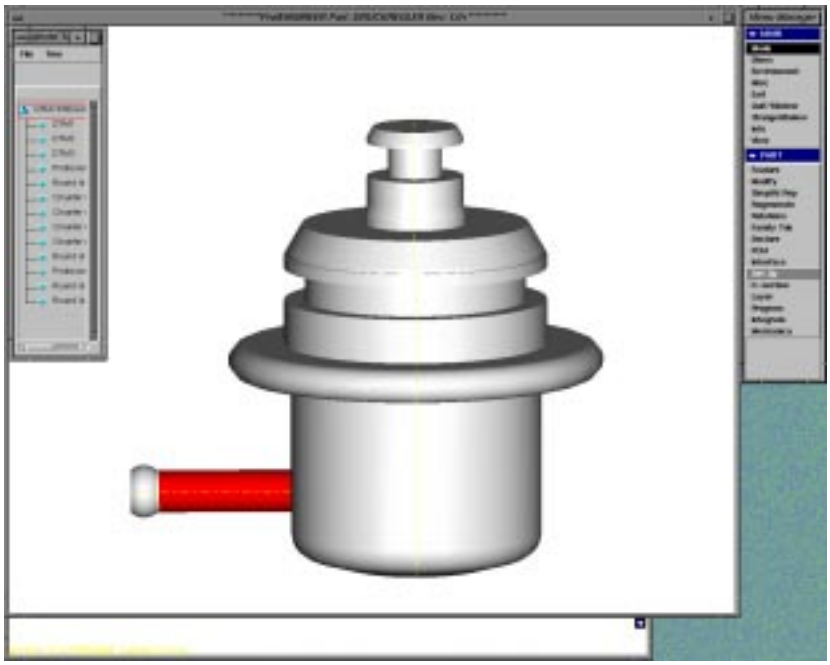


Bild 7: Modell *Druckregler* mit markierten kollidierenden Faces in Pro/Engineer

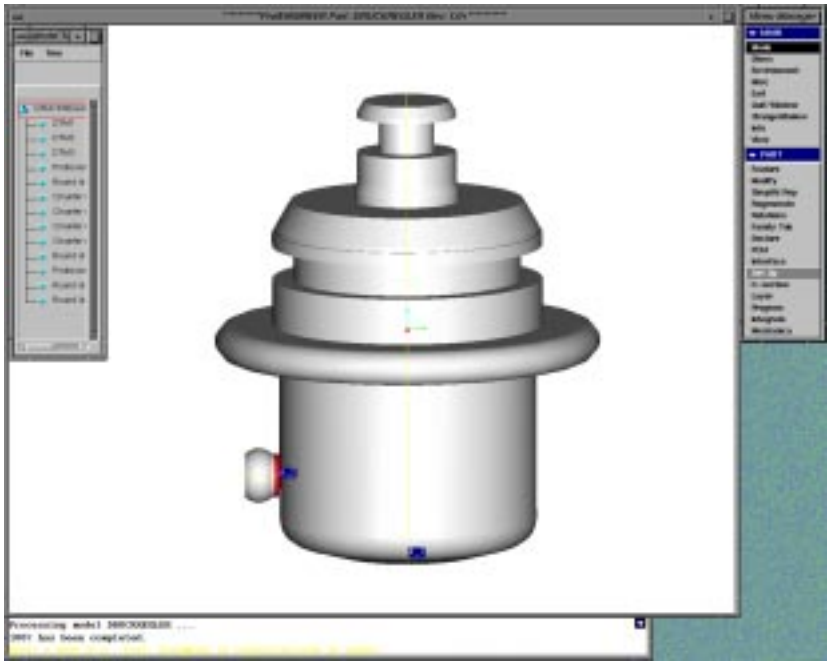


Bild 8: Geändertes Modell *Druckregler* in Pro/Engineer

dieser Änderungsschleifen durchgeführt werden müssen, um so größer wird der Zeitvorteil der Online-Kopplung gegenüber dem konventionellen Datenaustausch.

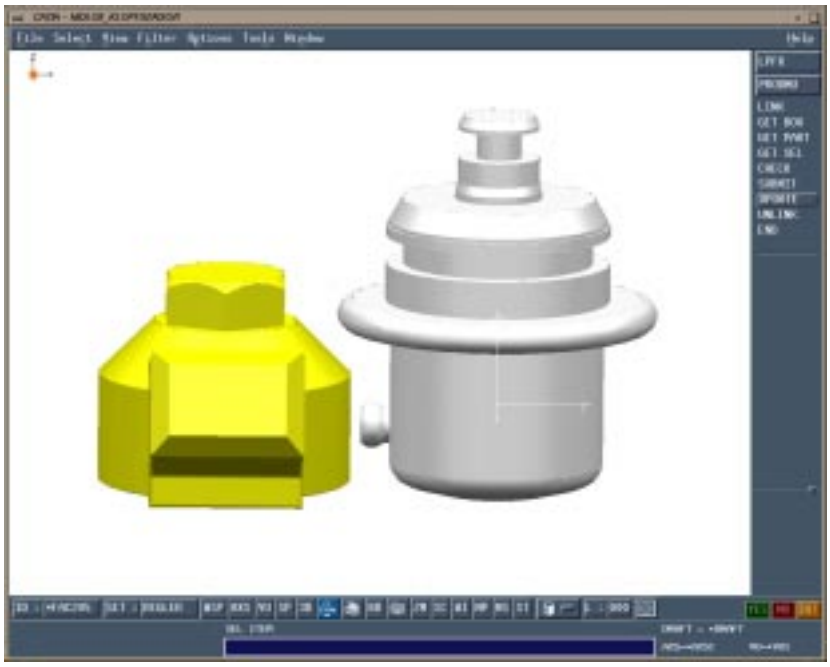


Bild 9: Ergebnis in CATIA nach der Übertragung der Änderungen

4.3 Anwendungsbeispiel Partialmodell

Gerade bei Einbauuntersuchungen bzw. Kollisionsprüfungen ist häufig nur derjenige Bereich des Remote-Modells interessant, der sich in der räumlichen Nähe des lokalen Bauteils befindet (eigendefinierter Kontext). Soll z. B. das in Bild 10 gezeigte Saugrohr-Unterteil untersucht werden, ist nur der Bereich im Umfeld der oberen Anschlußfläche relevant für die Ermittlung der möglichen Kollisionen.

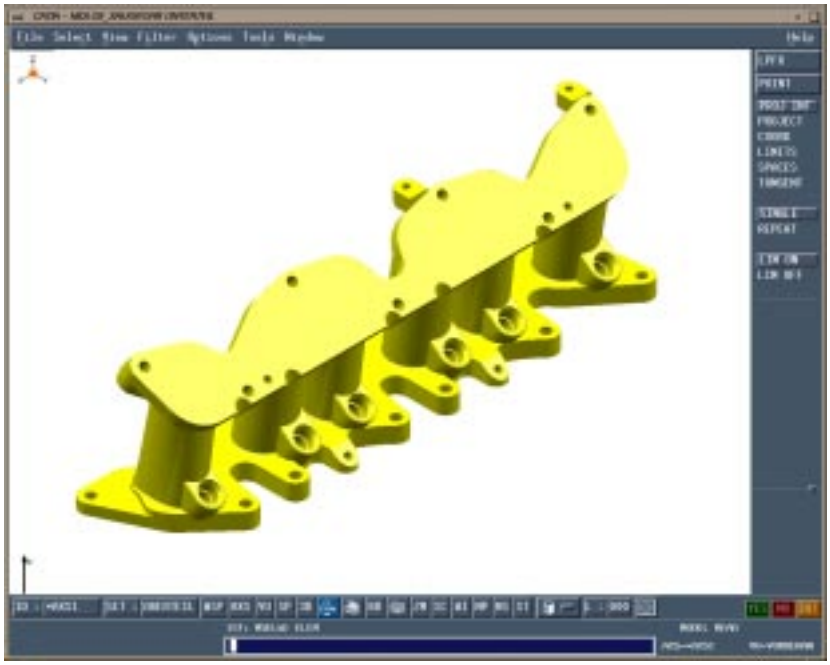


Bild 10: Lokales Modell *Saugrohr-Unterteil* in CATIA

Der Prototyp bietet dem CATIA-Anwender die Möglichkeit, einen beliebigen quaderförmigen Bereich zu definieren, um nur die Geometrieinformationen der darin enthaltenen Faces zu übertragen. Das Ergebnis der Teilübertragung des zugehörigen Saugrohr-Oberteils ist in Bild 11 dargestellt.

Eine anschließende Kollisionsuntersuchung kann mit diesem Teilmodell in der gleichen Weise wie im vorigen Anwendungsbeispiel durchgeführt werden. Zum Vergleich ist in Bild 12 die Ansicht auf das komplett übertragene Saugrohr-Oberteil zu sehen.

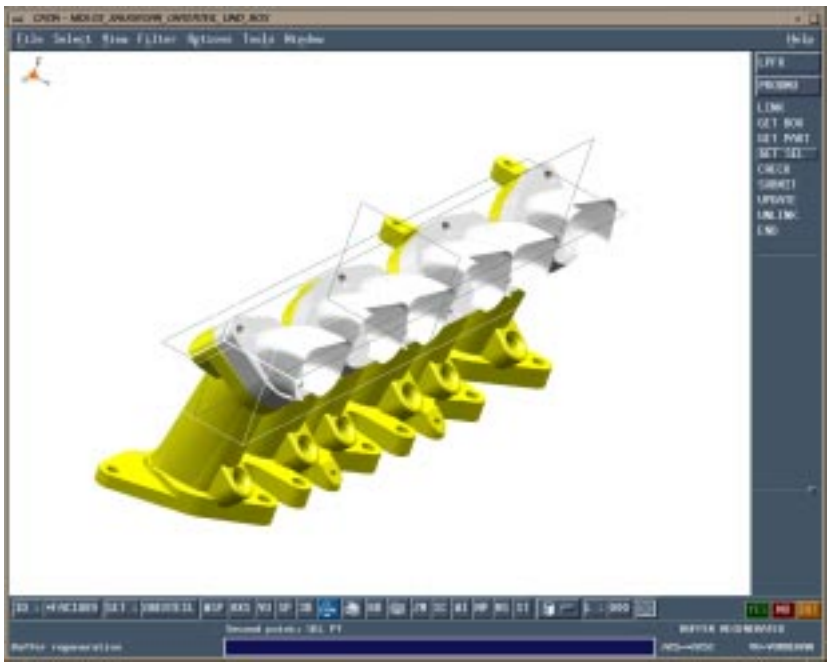


Bild 11: Lokales Modell *Saugrohr-Unterteil* und ein ausgewählter Teil des Remote-Modells *Saugrohr-Oberteil* in CATIA

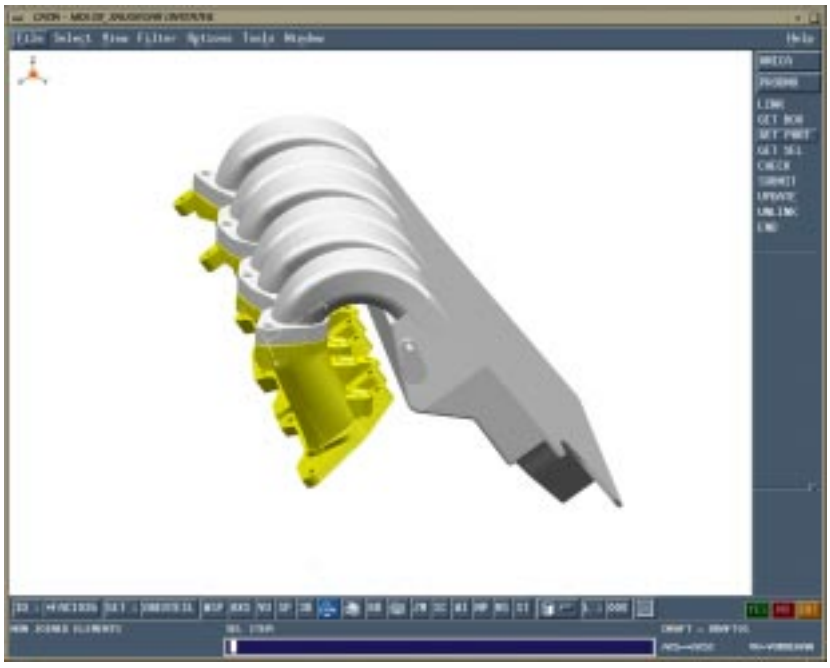


Bild 12: Lokales Modell *Saugrohr-Unterteil* und vollständiges Remote-Modell *Saugrohr-Oberteil* in CATIA

5 Vergleich der Online-Kopplung mit dem dateibasierten Datenaustausch

5.1 Grundsätzliche Unterschiede

Beim Vergleich des Prototyps der Online-Kopplung mit dem dateibasierten Datenaustausch lassen sich deutliche Unterschiede erkennen:

- Die Informationen über Kollisionen, Problemzonen etc. sind bei der konventionellen Vorgehensweise nur in CATIA sichtbar und werden ausschließlich mündlich oder textbasiert, aber nicht in Form eines CAD-Modells (oder zumindest eines Pixelbildes) an den Pro/E-Konstrukteur weitergegeben, wodurch eine inhärente Unsicherheit gegeben ist. Dagegen ist beim ProDMU-Prototyp die Kommunikation zwischen den beteiligten Konstrukteuren durch die vollständige Übermittlung der Problembereiche, die somit auch im Originalmodell sichtbar sind, deutlich verbessert.

- Die zusätzliche Speicherung von Modelldaten in einem neutralen Format beim konventionellen Vorgehen stellt eine redundante Datenhaltung mit allen damit verbundenen Konsistenzproblemen dar. Diese zusätzliche Speicherung in einem neutralen Format entfällt beim optimierten Ablauf vollständig.

- Die Funktionalität des Clients wird durch die Online-Anbindung der Server-Funktionalität für die in beiden Systemen bearbeitbaren STEP-kompatiblen Daten erweitert.

- Die bisherigen Unterbrechungen der Konstruktionstätigkeit durch die für den dateibasierten Export und Import von Daten notwendigen Tätigkeiten werden vermieden.

- Dem Konstrukteur, der die Einbauuntersuchungen durchführt, wird bei dem neuen Vorgehen ein Arbeiten im eigendefinierten Kontext ermöglicht, d. h. durch Definieren von einem oder mehreren Bereichen kann der Konstrukteur selbst entscheiden, welcher Ausschnitt der betreffenden Teilmodelle von dem als Server dienenden CAx-System für ihn relevant sind. Damit entfällt die Notwendigkeit, vollständige Modelle zu übertragen.

- Beim dateibasierten Datenaustausch wurden bisher für die Kollisionsuntersuchungen vereinfachte Modelle verwendet, bei denen für die Untersuchung unwichtige Details weggelassen wurden (z.B. die Innenflächen des Testmodells *Saugrohr*, vgl. Kapitel 4.3), um die zu übertragende Datenmenge zu reduzieren und die Gesamtmenge der Daten in einem handhabbaren Rahmen zu halten. Die Notwendigkeit für die Verwendung solcher vereinfachter Modelle besteht beim optimierten Ablauf nicht mehr, da durch die aus-

schließliche Übertragung der relevanten Teilbereiche der Modelle die zu übertragende Datenmenge erheblich reduziert werden kann.

Im derzeitigen Prototyp ist die Online-Kopplung für die Richtung von Pro/E (Server) zu CATIA (Client) für Entities aus dem Bereich der Kurven- und Flächendarstellung der Conformance Class 1 des STEP AP 214 implementiert. Dabei liegt der Schwerpunkt im Bereich der Geometrie und Topologie von Freiformkurven und -flächen. Dies soll zukünftig durch weitere Entities aus den Gebieten Regelgeometrie und Volumenmodelle ergänzt werden.

Eine Erweiterung des Prototyps um die Gegenrichtung, d.h. CATIA als Server und Pro/E als Client, ist ebenfalls geplant. Die Realisierung gestaltet sich momentan jedoch schwierig, da die Programmierschnittstelle von Pro/Engineer weitgehend unidirektional ist, d. h. das Auslesen von Daten ist in der Regel möglich, das API bietet jedoch derzeit keine ausreichenden Möglichkeiten zur direkten Erzeugung von Freiformgeometrien.

Mit dem aktuellen Prototyp ist auch ein Betrieb im Batch-Modus möglich, d. h. der Server kann während des gesamten Ablaufs im Batch-Modus betrieben werden. Dies ist etwa dann sinnvoll, wenn die beteiligten Konstrukteure nicht gleichzeitig an den betreffenden Modellen arbeiten. So kann z. B. der CATIA-Konstrukteur die Einbauuntersuchungen mit Remote-Modellen vornehmen, ohne daß der Pro/E-Konstrukteur anwesend ist oder Pro/E im interaktiven Modus läuft. Eine Ergänzung des Prototyps dahingehend, daß die Steuerung des gesamten Ablaufs auch vom Server aus erfolgen kann ist ebenfalls angedacht.

Eines der entscheidenden Erfolgskriterien für einen Einsatz der beschriebenen Online-Kopplung in der industriellen Praxis stellt die Geschwindigkeit einer solchen Lösung dar, auf die im folgenden Abschnitt ausführlich eingegangen wird.

5.2 Performance des Prototyps im Vergleich zum dateibasierten Datenaustausch

Wegen der maßgeblichen Bedeutung der Performance im Rahmen des Projektes ProDMU wurde dieser Aspekt bei der Entwicklung stets berücksichtigt. So konnte die Leistung des Prototyps im Laufe der Entwicklung stetig verbessert werden. Orientierungspunkt für die Beurteilung der Geschwindigkeit der Online-Kopplung sind die Übertragungszeiten des dateibasierten Datenaustausches.

Ein wesentlicher Punkt bei der Optimierung der Übertragungsgeschwindigkeit besteht in der Parallelisierung von Operationen bei Client und Server. Dies bedeutet, daß der Server, während der Client noch bereits übertragene Daten verarbeitet, schon neue Daten auslesen und zur Abfrage für den Client bereitstellen kann. Dieser Vorgang ist in Bild 13 dargestellt.

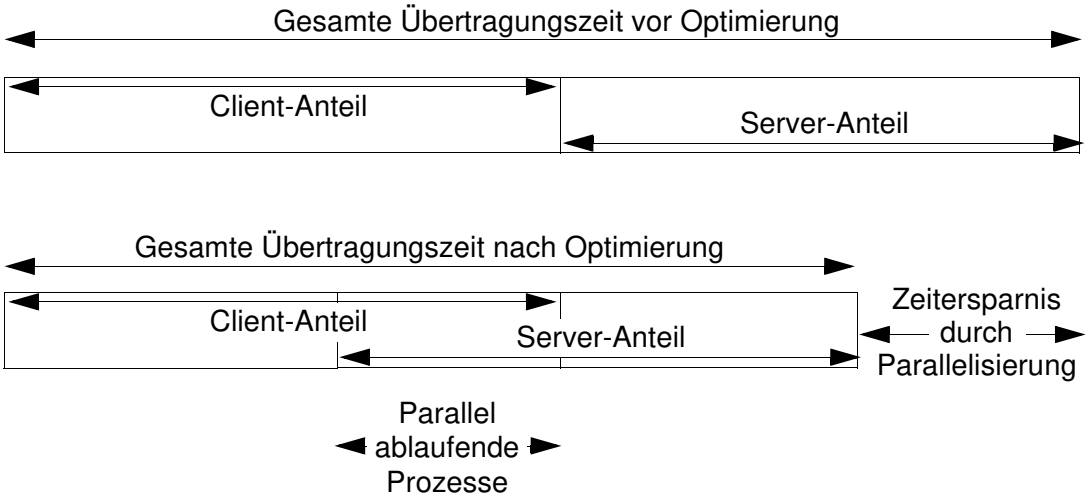
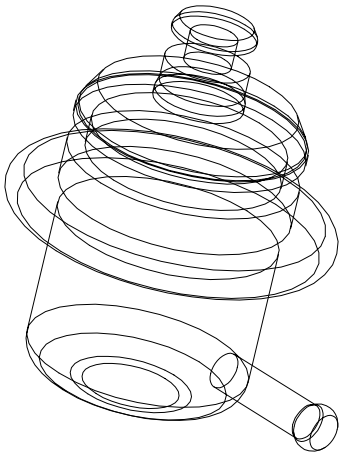


Bild 13: Optimierung der Übertragungszeiten durch Parallelisierung

In Bild 14 ist das Testmodell „Druckregler“ aus Abschnitt 4.2 als Drahtmodell mit den enthaltenen STEP-Entities dargestellt. Beim Übertragen dieses Modells auf konventionellem Weg vergehen 48 Sekunden. Diese Zeit beinhaltet das Exportieren des Modells nach STEP aus Pro/Engineer sowie das Umwandeln der STEP-Datei in das CATIA-Format. Das Einladen der resultierenden Datei in CATIA wird hier nicht berücksichtigt.



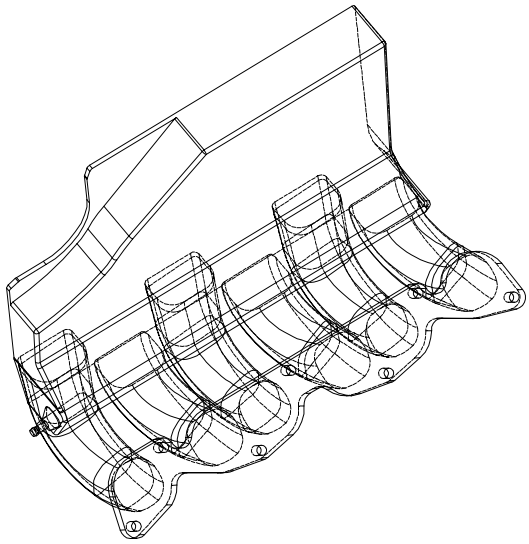
Entity	Anzahl
face	50
plane	12
cylinder	20
cone	8
torus	10
nurbs_surface	0
line	56
arc	136
rational b-spline curve	0

Bild 14: Das Testmodell *Druckregler*

Die Online-Übertragung benötigt hingegen nur 39 Sekunden. Davon benötigt CATIA für die Aufbereitung der Daten 27 Sekunden, 12 Sekunden Wartezeit sind durch den Server sowie die Übertragung mittels CORBA verursacht. Bedingt durch die Parallelisierung ist eine genaue Aussage über den durch CORBA verursachten Zeitanteil schwierig; er läßt sich jedoch im Bereich zwischen 10 % und 15 % der benutzerrelevanten Übertragungszeit abschätzen. Des-

halb sind Strategien zur Verbesserung der Leistung in diesem Bereich nur von sekundärer Bedeutung. Das in Abschnitt 4.2 beschriebene Modellupdate dauert nur 9 Sekunden, wobei der hiermit verbundene Einspareffekt mit der Modellgröße korreliert.

Bild 15 zeigt das Bauteil *Saugrohr-Oberteil*. Dieses Modell ist wesentlich komplexer als das Modell Druckregler. Es besteht zum überwiegenden Teil aus Freiformflächen (223 Nurbsflächen).



Entity	Anzahl
face	340
plane	40
cylinder	36
cone	2
torus	38
nurbs_surface	223
line	458
arc	240
rational b-spline curve	946

Bild 15: Das Testmodell *Saugrohr-Oberteil*

Die Online-Übertragung des Modells dauert 269 Sekunden, der dateibasierte Datenaustausch hingegen 340 Sekunden. Wird die in Abschnitt 4.3 dargestellte Einschränkung der zu übertragenden Geometrie durch die Wahl eines relevanten Bereiches gewählt, so kann die benötigte Übertragungszeit durch die Beschränkung auf 118 Faces auf 95 Sekunden reduziert werden. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 1 und Bild 16 nochmals dargestellt und zusammengefaßt.

Testmodell	Anzahl Faces	Zeit [s]	
		online	dateibasiert
Druckregler	50	39	48
Druckregler (update)	10	9	—
Saugrohr-Oberteil	339	269	340
Saugrohr-Oberteil (Partialmodell)	118	95	—

Tabelle 1: Zeiten für vollständige und teilweise Modellübertragung

Dabei wird in Bild 16 davon ausgegangen, daß beim dateibasierten Datenaustausch grundsätzlich das vollständige Modell übertragen wird.

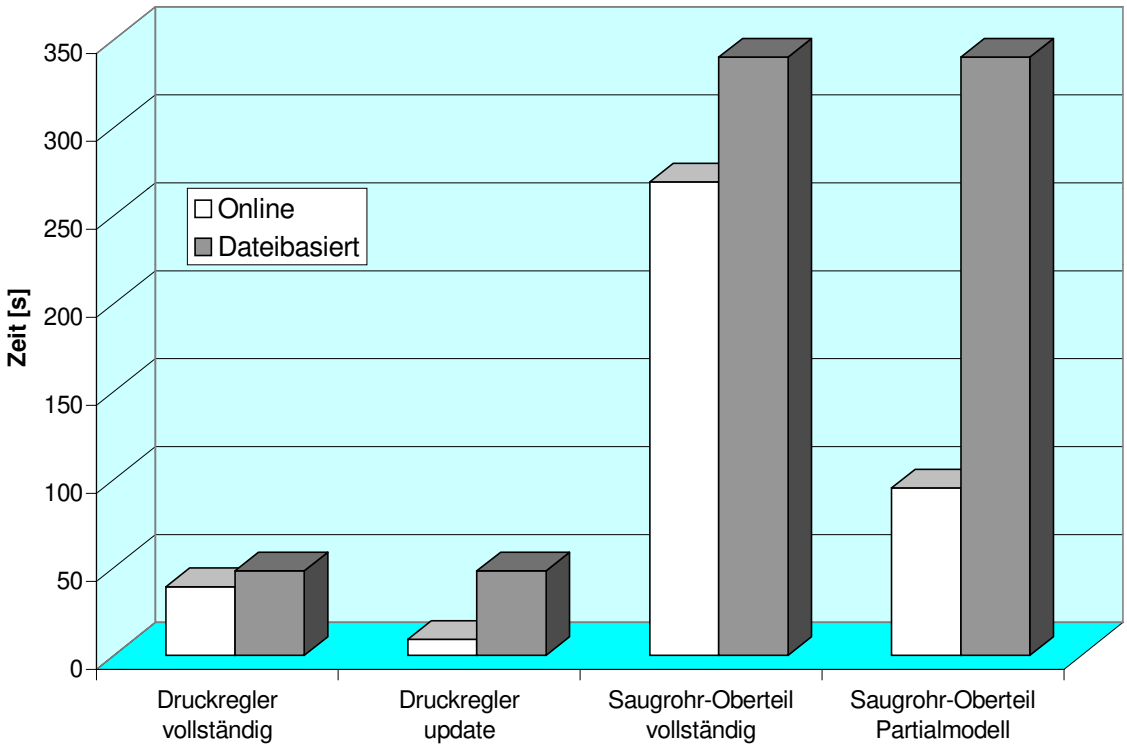


Bild 16: Zeiten für vollständige und teilweise Modellübertragung

In Tabelle 2 und in Bild 17 sind die Übertragungszeiten für weitere Modelle mit aufsteigender Faceanzahl aufgeführt. Die angegebenen Werte beziehen sich auf den Transfer der kompletten Geometrie/Topologie. Update bzw. Kontexteffekte sind hier nicht berücksichtigt.

Testmodell	Anzahl Faces	Größe [kByte]		Zeit [s]	
		Pro/E	CATIA	online	dateibasiert
Dichtbeilage	20	175	144	22	25
Klopfsensor	45	540	466	32	43
Druckregler	50	381	634	39	48
Kraftstoffverteiler	67	435	492	55	60
Riemenscheibe	94	804	937	111	115
Keilriemenscheibe	118	1189	1227	114	120
Generator	232	1597	1734	242	215
Zylinderkopf	280	1778	1627	199	206
Saugrohr-Oberteil	339	2809	3756	269	340
Saugrohr-Unterteil	385	3444	3708	337	305
Ölwanne	1557	12407	13341	2041	2015

Tabelle 2: Übertragunszeiten für verschiedene Modelle

Erkennbar ist, daß die Übertragungszeiten für beide Methoden mit der Anzahl der Faces sowie mit der Größe der korrespondierenden Datei in direktem Zusammenhang steht. Bei kleinen Modellgrößen ist die Online-Kopplung schneller als der dateibasierte Datenaustausch.

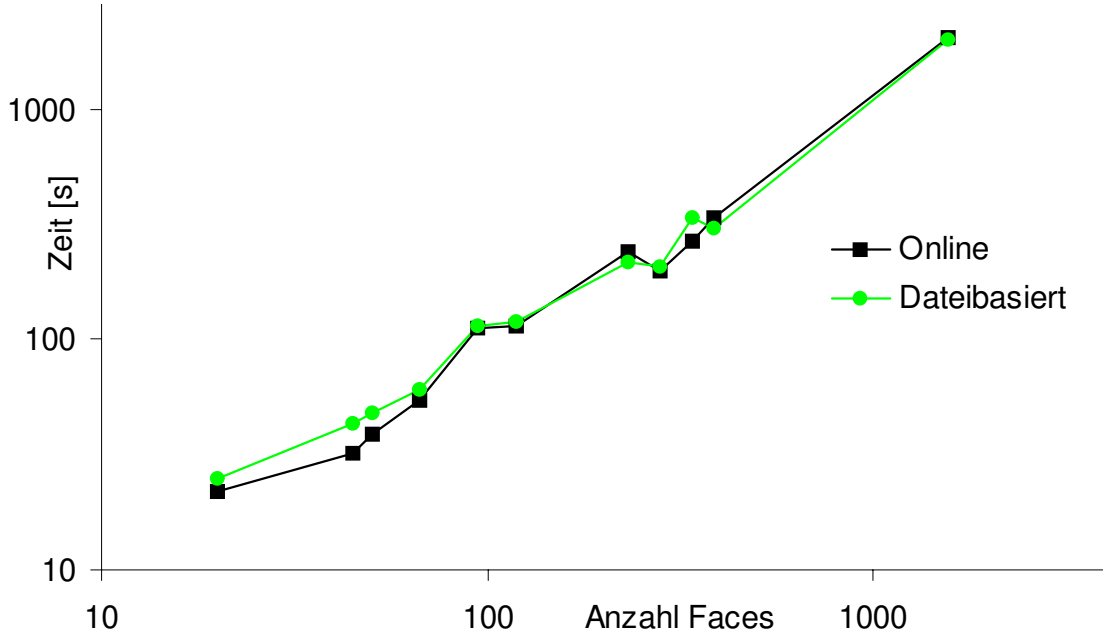


Bild 17: Abhängigkeit der Modellübertragungszeiten von der Modellgröße

Für größere Modellen ist jedoch keine eindeutige Aussage möglich. Ausschlaggebend ist hier der konkrete Aufbau des Modells, insbesondere die Anzahl von Freiformflächen. Bei beiden Methoden ist bisher noch kein völlig kontinuierliches Arbeiten möglich, d. h. es muß bei größeren Modellen stets mit einer Unterbrechung der Konstruktionstätigkeit durch die Übertragung der Modelldaten gerechnet werden. Da jedoch oftmals lediglich bestimmte Bereiche des „fremden“ Modells entscheidend sind, können durch den Einsatz des Prototyps konkrete Fortschritte erreicht werden.

6 Fazit und Ausblick

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, daß die im Projekt ANICA entwickelte und im Projekt ProDMU konkretisierte Lösung zur Online-Kopplung von CAx-Systemen in Bezug auf die Übertragungsgeschwindigkeit bereits im Prototypstadium eine konkurrenzfähige Alternative zum dateibasierten Datenaustausch darstellt. Insbesondere durch die erweiterten Möglichkeiten wie die Update-Funktionalität oder die Übertragung von Partialmodellen lassen sich wesentliche Produktivitätsvorteile erreichen. Anzumerken ist, daß die aktuelle Implementie-

rung noch Optimierungspotential bietet, so daß mit weiteren Verbesserungen bei den Übertragungszeiten zu rechnen ist.

Die bisher realisierte Kopplung, insbesondere die Auswahl der Systeme, stellt nur einen speziellen Anwendungsfall dar; die Flexibilität des zugrundeliegenden Konzeptes ermöglicht weit darüber hinausgehende Einsatzmöglichkeiten. So ist beispielsweise ein Einsatz der Technologie im Bereich **C**omputer-**S**upported **C**ooperative **W**ork (CSCW) geplant, wo ein echtes „Simultaneous Engineering“ durch das gleichzeitig Bearbeiten von Produktmodellen realisiert werden kann. Auch im CAE-Bereich sind zahlreiche Vorteile z.B. aus der Kopplung von FEM-Programmen mit CAD-Systemen zu erwarten. Veränderungen des Produktmodells auf Basis von Berechnungsergebnissen könnten beispielsweise direkt vom FEM-Programm aus vorgenommen werden.

Ein weiteres innovatives Einsatzgebiet ist die Kommunikation zwischen Firmen und ihren Zulieferern. Im auftraggebenden Unternehmen könnte ein ANICA-Server stehen, der die Zulieferer, welche über dedizierte Leitungen eine Verbindung aufbauen, mit den für sie relevanten Produktdaten versorgt. Durch diese Methode wäre der Zulieferer frei in der Wahl seiner CAx-Umgebung und könnte stets auf aktuelle Produktdaten des Auftraggebers zugreifen.

7 Literatur

/1/ Krause, F. L.: Auf dem Weg zur virtuellen Produktentwicklung. In: VDI-Berichte 1357: Neue Generation von CAD/CAM-Systemen - Erfüllte und enttäuschte Erwartungen.

/2/ Object Management Group (OMG): The Common Object Request Broker: Architecture and Specification. Revision 2.2. February 1998.

/3/ Arnold F., Janocha A. T., Swienczek B., Kilb T.: Die CAx-Integrationsarchitektur ANICA und ihre erste Umsetzung in die Praxis. Erscheint in Tagungsband zum Workshop: Integration heterogener Softwaresysteme. 28. GI-Jahrestagung Informatik '98 – Informatik zwischen Bild und Sprache. Magdeburg: 21. September 1998.

/4/ Dankwort, C. W.: CAx Systems Architecture of the Future. In: Roller D.; Brunet P. (Eds.): CAD Systems Development. Tools and Methods, Springer-Verlag, 1997.

/5/ Janocha, A. T.: CAx-Systemintegration auf Basis von CORBA und STEP. Produktdaten Journal, Nr. 1, Juni 1996.

/6/ Iselborn, B.: Entwurf eines CAx-Objektbusses. CAD ’98: Tele-CAD. Produktentwicklung in Netzwerken. Darmstadt, 5. – 6. März 1998.