

Durchgängige Umrichterentwicklung mit I-DEAS von SDRC:

Autor

Name	Manfred Kipfer	
Funktion	Teilprojektleiter	Gruppenleiter
Firma	ABB Industrie AG	Kurath Engineering AG
Abteilung	IUEK (Konstruktion Antriebsprodukte)	Masch. u. Apparatebau
PLZ Ort	CH-5300 Turgi	CH-8856 Tuggen
Telefon	+41 (0)56/299 22 45	+41 (0)55/445 12 78
Telefax	+41 (0)56/299 34 00	+41 (0)55/445 12 77
E-Mail	manfred.kipfer@chind.mail.abb.com	kurath@bluewin.ch

In 20 Monaten von der Idee bis zur Pilotreihe

Die ABB Industrie AG mit Standorten Baden, Birr und Turgi beschäftigt sich mit der

Die Geschäftsfelder von ABB Industrie AG

- Drehzahlvariable Großsysteme
- Leistungselektronik
- Stromrichteranlagen
- Elektrische Maschinen
- Leittechnische Produkte und Systeme
- Störwert-Erfassungssysteme
- Produktion elektronischer Baugruppen und Geräte
- Antriebstechnik

nungs-Umrichterfamilie für den Spannungsbereich zwischen 2,3 bis 4,16 kV. Für diese Umrichterfamilie mußte parallel bei ABB Semiconductors AG in Lenzburg ein neuer Leistungshalbleiter entwickelt werden, ein „Gate Commutated Thyristor“. Deshalb wurde das gesamte Entwicklungsprojekt als sogenanntes "high risk project" eingestuft. Den Auftrag für die Leitung des Teilprojektes „mechani-

Entwicklung und Herstellung von unterschiedlichsten elektrotechnischen Anlagen und Produkten, unter anderem auch von Umrichtern. Mehr als 1'700 Mitarbeiter erreichen einen Umsatz von 609 Mio. sFr. Das bei ABB zum 1. Februar 1996 neu geschaffene Profitcenter IU für Antriebsprodukte erhielt noch im gleichen Monat den Entwicklungsauftrag für eine komplette Mittelspan-

Die Ausgangssituation:

Das ABB-Profitcenter IU für Antriebsprodukte erhält im Februar 1996 den Auftrag zur Entwicklung einer kompletten Umrichterfamilie ACS 1000 für den Mittelspannungsbereich (2,3 bis 4,16 kV)

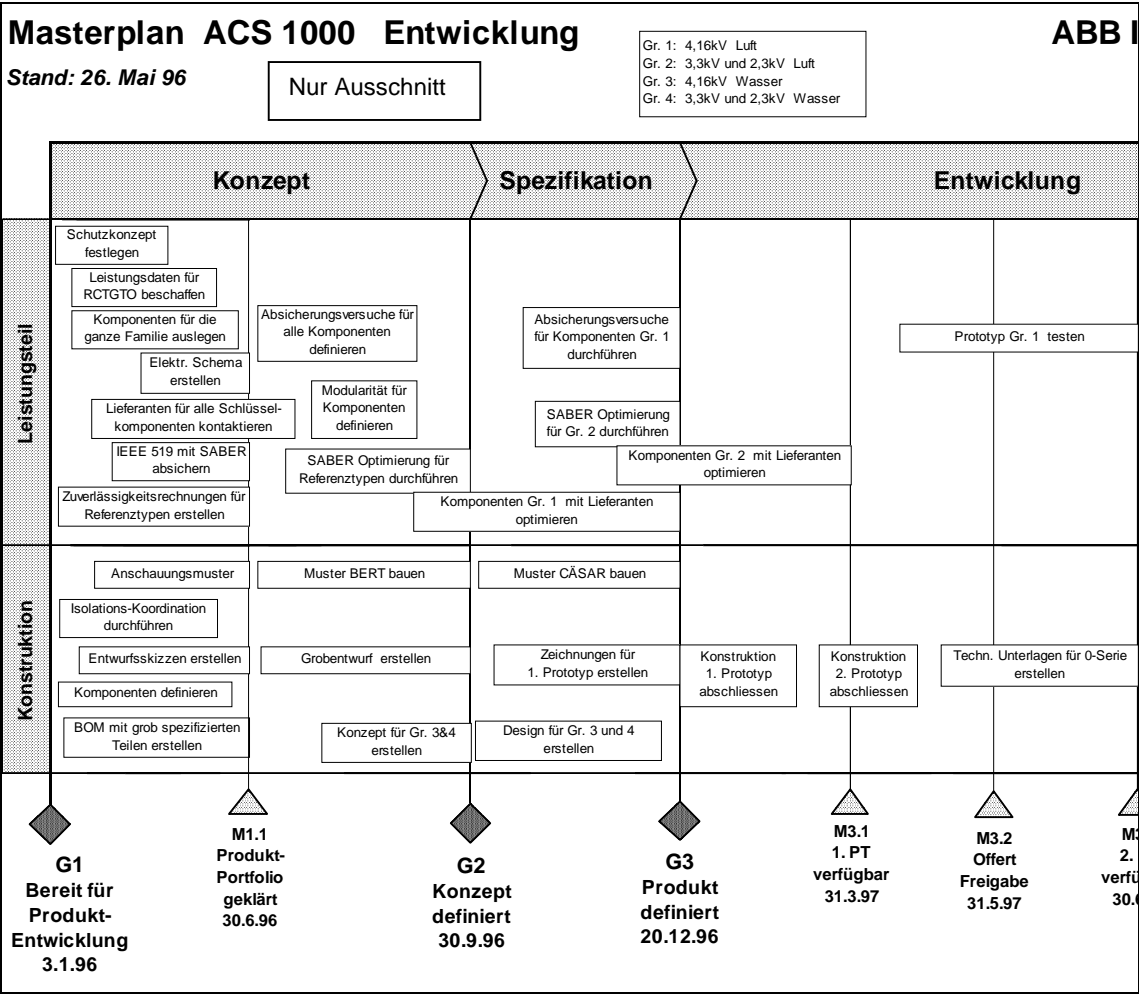
sche Konstruktion“ erhielt mein Arbeitgeber, die Firma Kurath Engineering AG in Tuggen.

Die Randbedingungen:

- sehr enger Zeit- und Kostenrahmen für das gesamte Projekt
- ein geeignetes 3D-CAD-System muß im Rahmen des Projektes evaluiert und beschafft werden
- Die Mitarbeiter müssen parallel zur Entwicklung am System geschult werden

Eine der Projektvorgaben bestand darin, die komplette Entwicklung auf einem 3D-CAD-System abzuwickeln, das erst noch beschafft werden mußte. Das Projekt ACS 1000 setzte auf der bereits erfolgreich vertriebenen Umrichterreihe ACS 600 für den Niederspannungsbereich auf, die von ABB Finnland entwickelt wurde. Der Partner in Finnland hatte bei der Entwicklung erste

Erfahrungen mit dem CAD-System Pro/Engi-neer gesammelt. Wir hatten nun zu prüfen, inwieweit eines der vier Systeme Pro/Engi-neer, Katia, Solid Designer und I-DEAS Master Series für diese Konstruktion geeignet war. Nach einer extrem kurzen Evaluationsphase setzte sich Mitte März das System Master Series von SDRC auf HP-C 160-Workstations gegen die drei anderen Systeme



durch. Ausschlaggebend für die Entscheidung waren sowohl das überzeugende User Interface von I-DEAS, das eine schnelle Einarbeitung sicherstellt, als auch ein Besuch bei HTS in Wallisellen. HTS ist ein Hochtechnologie-Unternehmen, das Master Series für Simulationen und Berechnungen einsetzt, und das auch in diesem Projekt anspruchsvolle thermische Simulationen durchführte. Mitentscheidend war das Vertrauensverhältnis zur SDRC-Niederlassung in Brütisellen, das sich nach den ersten Kontakten sehr schnell aufbaute.

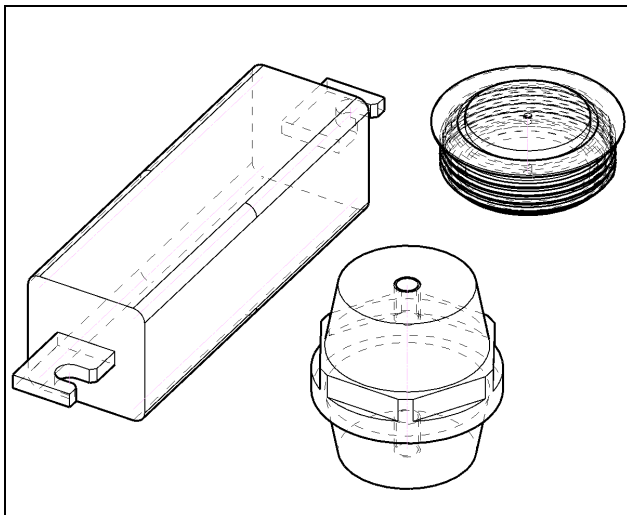
Schulung

Die Durchführung:

- **Mitte März 1996: Lieferung der ersten I-DEAS-Arbeitsplätze**
- **Ende März beginnen die ersten Systemschulungen**
- **Anfang April 1996 werden die ersten Umrichter-Komponenten modelliert**

Nach den ersten Gesprächen zwischen ABB und SDRC Anfang März 1996 lag der IU-Leitung schon sechs Tage später ein Vorschlag für eine Pilot-Installation vor, mit der am 18. März begonnen wurde. Eine Woche später begannen die ersten Schulungsmaßnahmen, die von Helbling Informatik AG Aarau, abgehalten wurden. Zu-

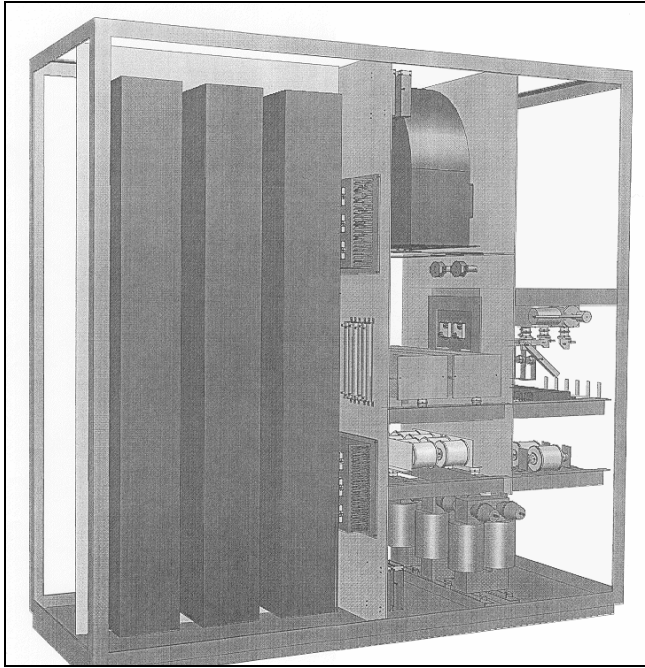
nächst wurden vier Konstrukteure fünf Tage lang intensiv am System geschult. Die neu erworbenen Kenntnisse wurden anschließend sofort in die Projektpraxis umgesetzt. In der Folgezeit wechselten sich Ausbildung und Konstruktionsarbeit am System ab.



Insgesamt erhielten die Mitarbeiter eine viertägige Drafting 2D-, eine dreitägige Assembly-, eine eintägige Drafting-Setup- und - Mitte Mai - noch eine dreitägige Surfacing-Ausbildung, insgesamt also elf Tage. Nur ein Mitarbeiter besaß bereits 3D-Konstruktionserfahrung. So war für uns Neueinsteiger die zielgerichtete und konsequent durchgeführte Schulungsphase mit praktischer Anwendung des Gelernten im Anschluß an die Kurse

Schulungsbeispiele am Projekt

äußerst wichtig für einen erfolgreichen Konstruktionsstart. Im Projekt entstand jedoch ein erheblicher Druck auf den Entwicklungsleiter und mich, weil während der ersten Einarbeitungsphase über einen Monat lang nach außen kein direktes Konstruktionsergebnis sichtbar wurde. In diesem Moment waren Ausdauer und Beharrungsvermögen



3D-CAD-Entwurf des Anschauungsmusters

erforderlich, da sich ein gut ausgebildetes Konstruktionsteam in jedem Fall mehrfach auszahlt. Der erste Meilenstein Ende Juni verlangte vom Konstruktionsteam Entwurfs-skizzen von drei Referenztypen sowie die Herstellung von zwei Anschauungsmustern. Dazu kam der Kostendruck. Da die Zielpreise der späteren Geräte durch eine Geschäftsfeldanalyse ermittelt wurden, spielten bereits in diesem frühen Stadium Kostenüberlegungen eine große Rolle. Mit den der Stücklistenfunktion von I-DEAS

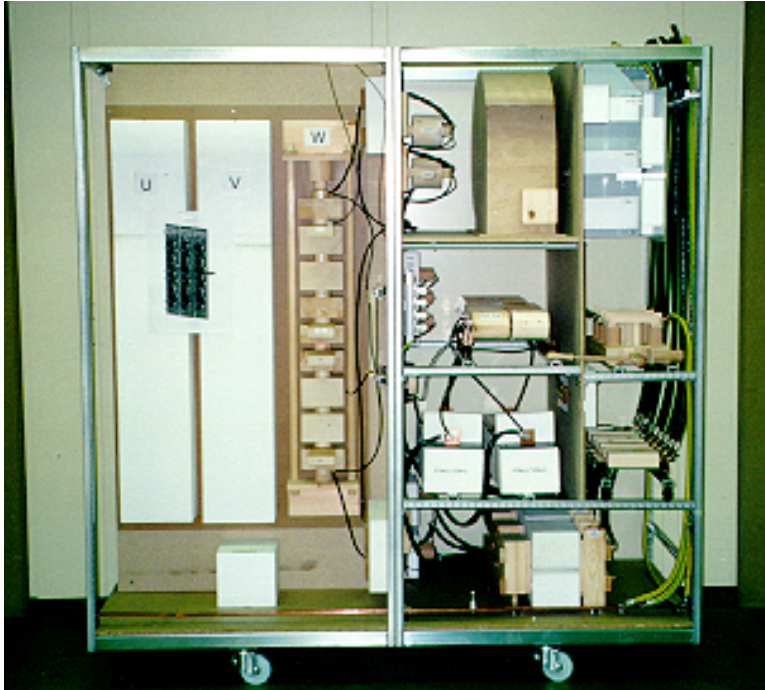
hinterlegten Bauteil-Informationen war es aber möglich, die Herstellungskosten im Griff zu behalten und bei Bedarf Alternativen auszuarbeiten. So wurden Lüfterlieferanten, Kondensatortypen, Drosseln, Widerstände und andere Komponenten beinahe wöchentlich gewechselt, um den vorgegebenen Kostenrahmen nicht zu sprengen. Dabei war die enge Zusammenarbeit zwischen Elektroengineering und Konstruktion äußerst wichtig, um gemeinsam Lösungsvarianten konzeptionell ausarbeiten zu können.

Die Durchführung:

- **3D-Modellierung aller Komponenten in I-DEAS**
- **Ableitung der Komponentenzeichnungen und 3D-Bilder für den Musterbau**
- **Minimierung der Prototypen-Anzahl durch thermische Simulation des kompletten Umrichters**

Die Optimierung erfolgte häufig direkt am CAD-Bildschirm, wobei die schattierte Darstellung die räumliche Wahrnehmung sehr erleichterte und damit die Kommunikation zwischen den Mechanik- und Elektroingenieuren stark beschleunigte. Aus diesem Prozeß entstand die Vorlage für die Herstellung des ersten Anschauungsmusters. Die Komponentenzeichnungen

und 3D-Bilder, alle mit I-DEAS erzeugt, erlaubten dem Modellschreiner die Fertigung und effiziente Zusammenstellung des ersten Anschauungsmusters, das im Werk teilweise verkabelt wurde.



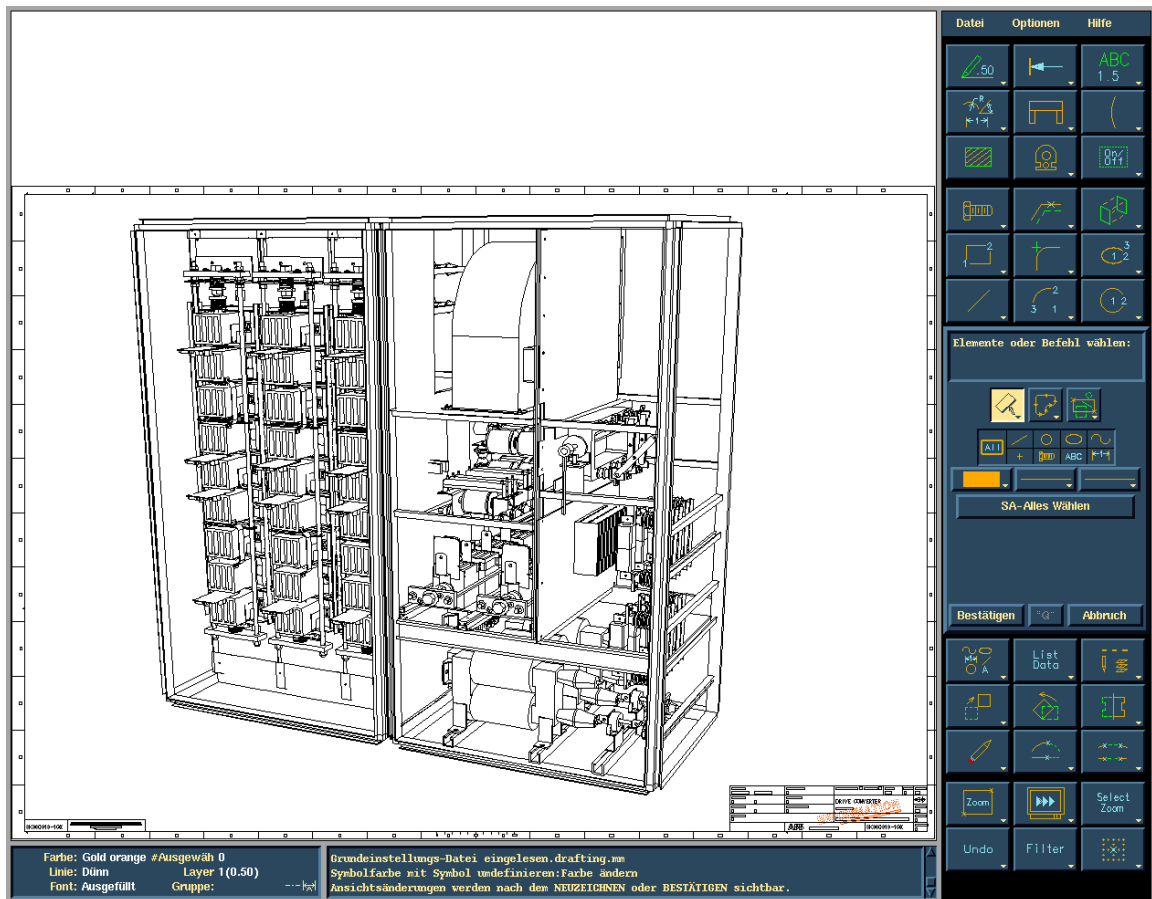
Anhand dieses Anschauungsmusters erfolgte auf der Basis eines überarbeiteten Pflichtenheftes zusammen mit einigen ausgewählten Verkaufsgesellschaften ein Review. Die Ergebnisse des Reviews wurden in einem weiteren Muster umgesetzt, das für den Modellschreiner auf I-DEAS entsprechend nachgeführt wurde.

Modell des Anschauungsmusters

Muster „Bert“ und Meilenstein 2

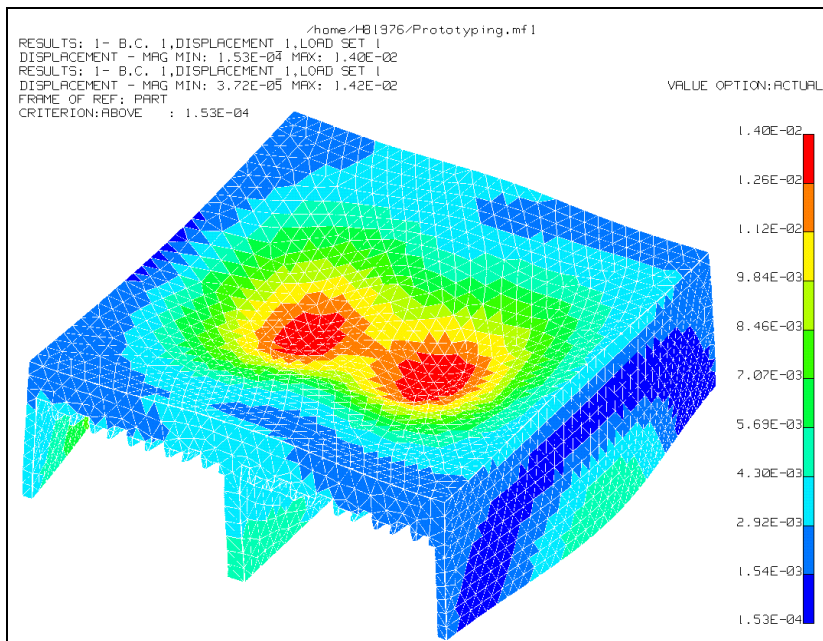
Der zweite Meilenstein Ende September sah die Fertigstellung eines Funktionsmusters vor, intern als „Bert“ bezeichnet. Dabei kamen die Teamfunktionen von I-DEAS zum Tragen: das Projektteam arbeitete parallel an der Modellierung und Assemblierung des 12-Puls-Gleichrichters, des dreiphasigen Wechselrichters mit Verschiebung sowie an der Lüftung und am Gesamtschrank. Gleichzeitig mußten zusätzlich die Konzeptdarstellungen für die wassergekühlten Umrichtervarianten erstellt werden. Mit dem Erreichen des zweiten Meilensteins, so sah es der Masterplan vor, wurde vom Projektträgerteam über Fortbestand oder Abbruch des gesamten Projektes entschieden. Das zeigt, wie kritisch der zeitgerechte Abschluß dieser Arbeiten war. In dieser Phase sollte für den Gesamtzusammenbau das Assembly-Tool von I-DEAS eingesetzt werden. Wegen der fehlenden Erfahrung mit diesem Tool waren wir hier allerdings auf die Unterstützung durch SDRC Schweiz angewiesen. Unter anderem dieser Projektunterstützung war es zu verdanken, daß Bert termingerecht Ende September 1996 erstmals mit einer provisorischen externen Steuerung elektrisch betrieben werden konnte. An einen Projektabbruch war damit nicht mehr zu denken.

Der nächste k.o.-Termin stand Ende Dezember des gleichen Jahres an: das funktionsfähige Muster „Cäsar 1“ in zwei unterschiedlichen Versionen. Wegen der zeitlichen Enge waren Tests im Versuchslabor und nachfolgende Modifikationen so gut wie



CAD-Entwurf des Funktionsmusters „Bert“

ausgeschlossen. Deshalb wurden beispielsweise die thermischen Verformungen der Leistungshalbleiterverspannungen in I-DEAS berechnet. Gerade bei hochbelasteten



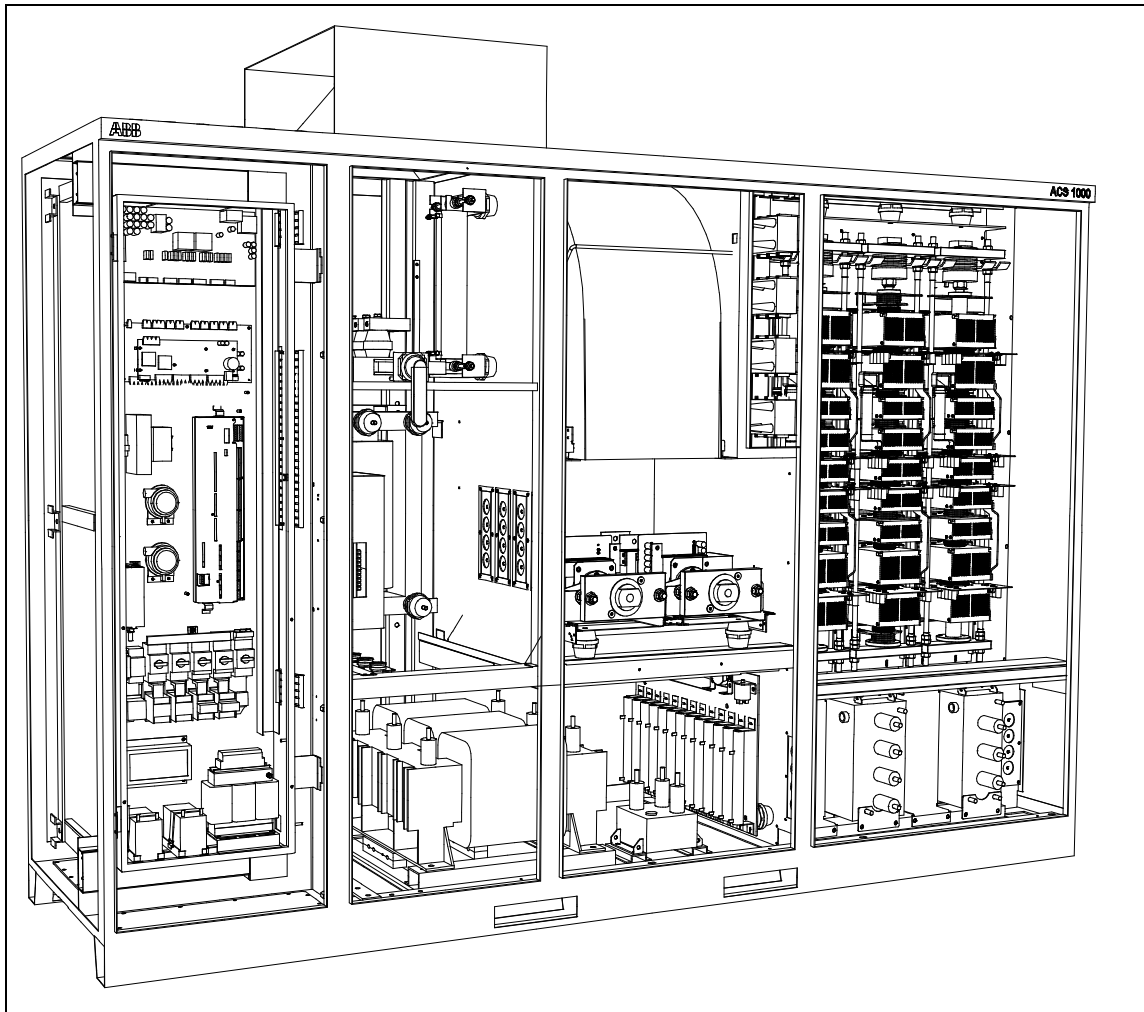
FE-Simulation der Kühlerverformung

Leistungshalbleitern stellt das einen kritischen Punkt dar: Verformt sich die Verspannung unter Temperatureinfluß zu stark, ist eine ausreichende Ableitung der Verlustwärme nicht mehr gewährleistet und der Halbleiter wird zerstört. Im vorliegenden Fall betrug der Grenzwert für die

maximale Einfederung bei einer Halbleiter-Elementgröße von 51 mm und 16 kN Ver-

spannkraft 10 μm . Die Verformungscharakteristik der Verspannungen ließ sich mit I-DEAS problemlos berechnen und darstellen, eine Differenzmessung zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt der Auflagefläche ergab einen Wert von 9,8 μm .

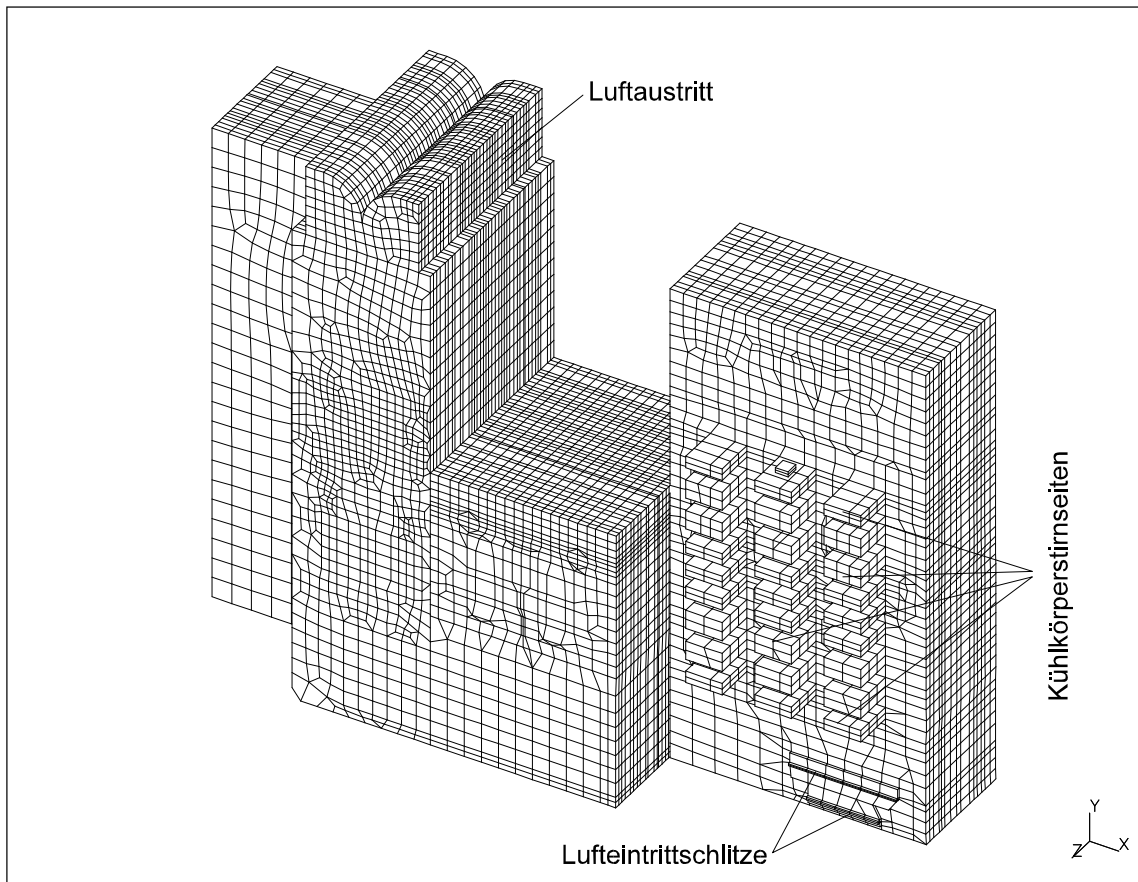
Der Masterplan sah vor, daß Cäsar 1 in zwei Versionen mit unterschiedlichen Ventilatoren und Trennschaltern funktionstüchtig im Versuchslabor betrieben werden konnte. Die Kürze der Zeit ließ keine Tests am realen Modell zu. Deshalb wurde der komplette



Virtueller Prototyp ACS1000 luftgekühlt (3 x 2 x 0,9m)

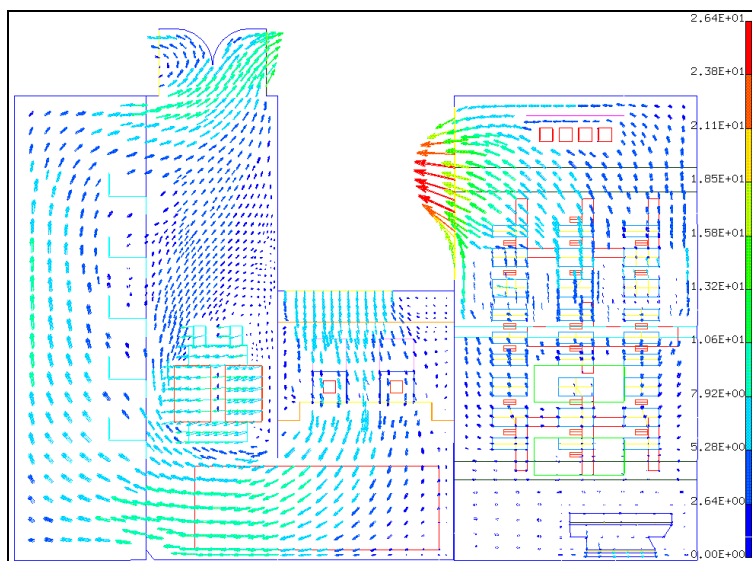
virtuelle Prototyp vor dem Bau einer umfangreichen thermischen Analyse unterzogen. Für diese Aufgabe wurde ein Finite-Elemente-Spezialist hinzugezogen, der das Modell in nur zwei Tagen FE-gerecht modifizierte. Die anschließende thermische Berechnung wurde beim Ingenieurbüro HTS in Wallisellen durchgeführt und nahm zwei Wochen in Anspruch. Als Ergebnis erhielten wir eine detaillierte Lüfterauswertung für den Umfangsbereich des Turbinenrades sowie den Arbeitspunkt des Ventilators (Druckerhö-

hung 645 Pascal, Volumenstrom 2,4 m³/s). Das benötigte FE-Netz enthielt 62.800 Luft- und 2.900 thermische Elemente. Bei dieser Simulation wies ein Widerstand



FE-Netz für die thermische Simulation

eine Temperatur von mehr als 500 Grad Celsius auf und mußte deshalb in einen Bereich mit größerer Luftgeschwindigkeit umplaziert werden. Außerdem entstand im



Berechnete Strömungsverteilung

Ansaugbereich des Ventilators ein Luftwirbel, der merkliche Strömungsverluste erzeugte.

Dieser Strömungsverlust wurde durch eine Geometrieanpassung an einer Schranktrennwand beseitigt, so daß das Funktionsmuster "Cäsar 1" Ende Dezember 1996 problemlos in Betrieb genommen werden konnte.



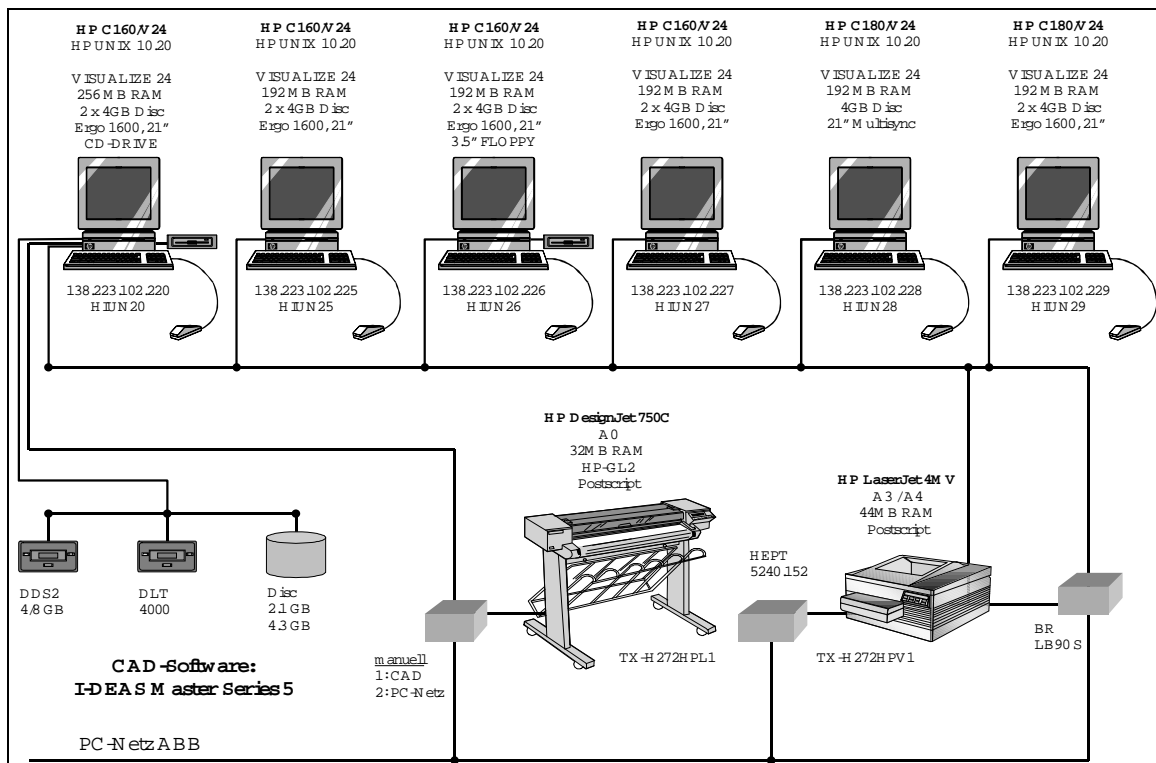
Das Ergebnis: ACS1000 luftgekühlt (Bild der Demo-Units)

Projektstruktur problemlos umgestellt

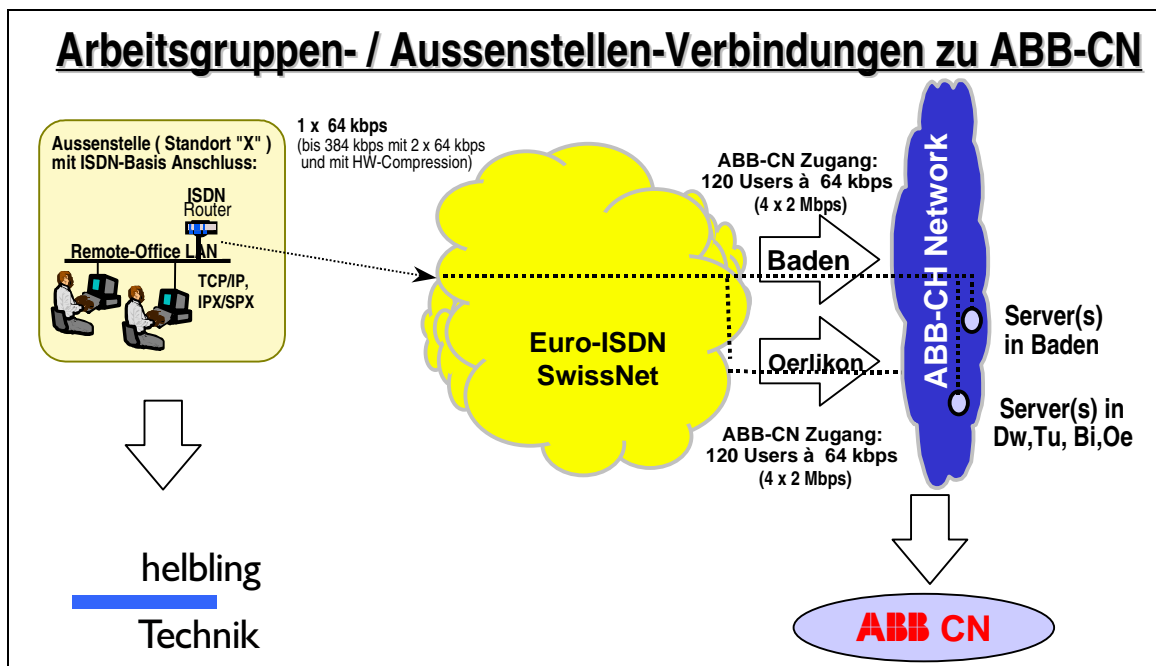
Eine notwendig gewordene Verstärkung des Konstruktionsteams zwang uns Anfang 1997 zur Umstellung der Bibliotheks- und Projektstruktur. Bis dahin waren Projekte und Bibliotheken nach den bereits hergestellten Umrichtergeräten aufgebaut. Für neue Mitarbeiter des Teams war es in dieser Struktur aber so gut wie unmöglich, bereits existierende Modellgeometrien ohne Hilfe der Kollegen aufzufinden. So einigten wir uns auf den Aufbau einer mehrstufigen, hierarchischen Projektstruktur, die mit der Version 4 von Master Series erzeugt werden konnte. In dieser neuen Struktur können Modellgeometrien, Baugruppen und Unterbaugruppen sehr einfach gefunden werden. Zusätzlich können auch künftige Konstruktionsgruppen von dieser Modellbibliothek profitieren.

Im weiteren Konstruktionsablauf begannen die Arbeiten an der wassergekühlten Version. Aus Kapazitätsgründen mußte ein externes Ingenieurbüro in Bern mit I-DEAS-Ausrüstung hinzugezogen werden. Um ein effizientes Parallel-Engineering zu gewährleisten, wurden beide I-DEAS-Installationen über eine ISDN-Datenleitung miteinander

verbunden. ABB PTI und das Berner Ingenieurbüro übernehmen die Installation der



CAD-Ausstattung bei ABB Industrie AG, Abteilung IUEK



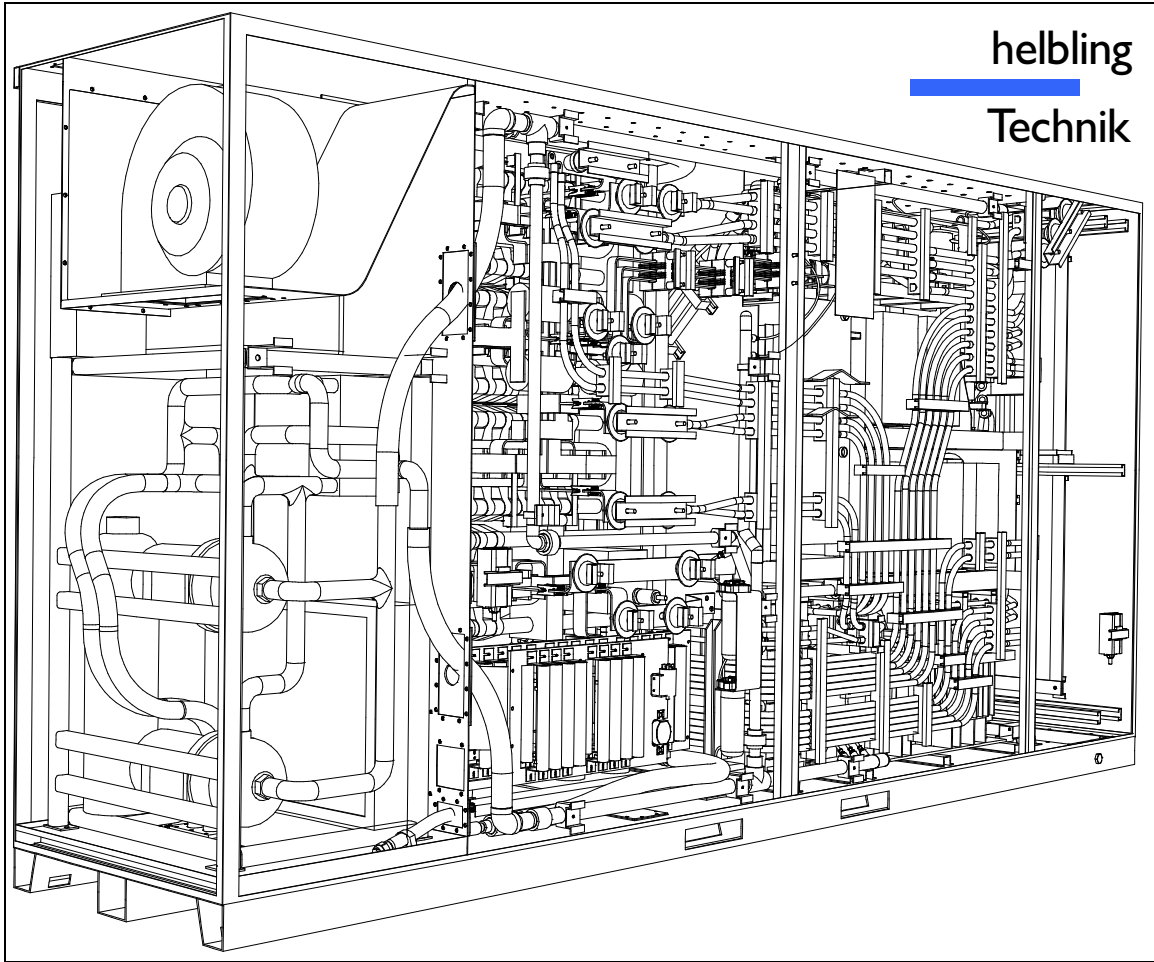
erforderlichen Router und das „Mounten“ der Systeme. Mit Hilfe des I-DEAS-Team Data Managers konnten die Ingenieure in Bern nun jederzeit online auf die Projekt- und Bibliotheksstruktur bei ABB in Turgi zugreifen. Diese partnerschaftliche Zusammenarbeit bewirkte einen äußerst schnellen Teilprojektstart im externen Konstruktionsbüro.

Die Muster Cäsar 1 und 2 erzeugten im Versuchs- und Leistungslabor laufend neue Erkenntnisse. Diese Ergebnisse setzten wir - soweit zeitlich möglich - in der Konstruktion für den ersten und zweiten Prototypen um. Zusätzlich machten die fortschreitenden Marketingaktivitäten Verkaufsschulungen notwendig, was zum Bau von drei ungeplanten Demo-Einheiten führte. Diese Demo-Units mußten dem Seriengerät ähnlich sein, sollten jedoch nur mit Niederspannungsmotoren (ca. 400 V) betrieben werden. Trotz der zusätzlichen Belastungen konnten die ersten zwei Demo-Units und zwei Prototypen für 4,16 kV und 3,3 kV die Montage im August 1997 verlassen.

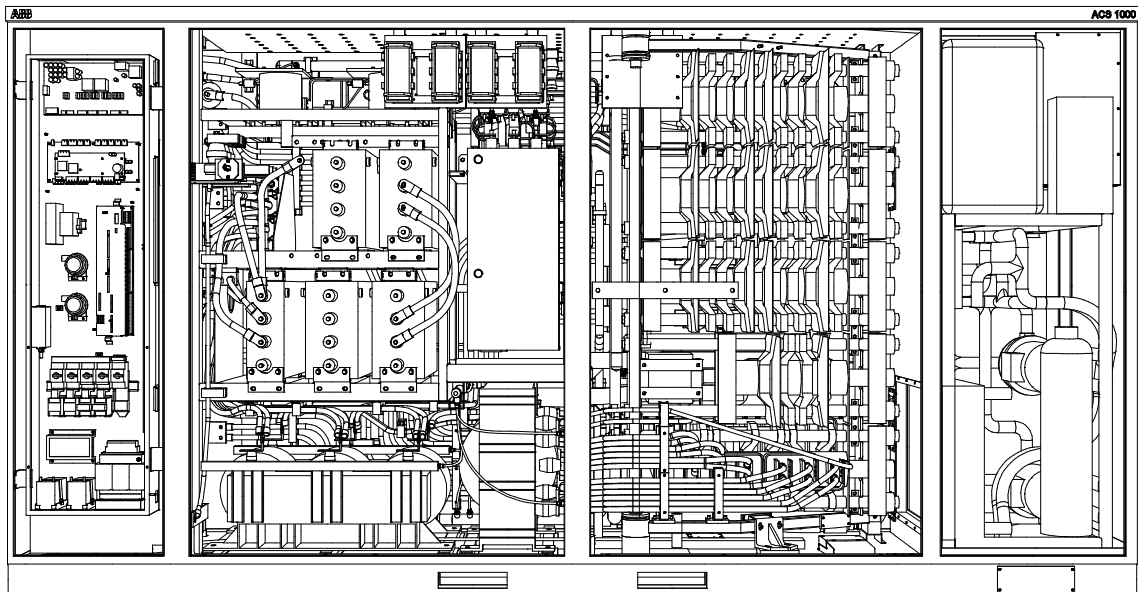
Design der wassergekühlten Umrichter-Typen

Im März 1997 startete die Umrichterkonstruktion für die wassergekühlte ACS 1000-Familie. In diversen Variantenstudien entschieden wir uns in der Entwicklung für eine horizontale Stapelanordnung, sowohl für den Gleichrichter, den Schutzstapel, als auch für die drei Wechselrichterstapel. Dazu entstand in I-DEAS ein neues multifunktionales Kunststoffteil, genannt „Star Trek“, welches die Kühldose, den IGCT sowie die wasserführenden Rohre aufnimmt und das ganze, aufgesteckt auf den Zugstangen, zentriert und elektrisch isoliert. Damit erzielten wir übrigens die zwölfte Patentschrift in der ACS 1000 Entwicklung.

Um die errechneten Dimensionierungen überprüfen und verfeinern zu können, konstruierten und fertigten wir einen reinen Wechselrichter mit Kupferverschienenung sowie ein komplettes hydraulisches Wassermodell. Die präzisen Meßresultate führen zu noch genaueren Vorgaben der Prototyp-Konstruktion „Cleopatra“, des ersten, vollständig betriebstüchtigen wassergekühlten ACS 1000 Umrichters. Er besteht aus 3'245 Einzelteilen. Erstmals in der Geschichte von ABB Industrie AG konnten wir die komplette Powerverkabelung eines Schrankumrichters von A bis Z auf dem CAD-System modellieren. I-DEAS lieferte hier die wahren Längen aller Kabel sowie die Übersicht einer äußerst durchdachten Leitungsführung. Damit konnten wir alle Powerkabel fix fertig konfektioniert nach den Kabellisten mit theoretisch ermittelten Längen und Verdrehwinkeln der Kabelschuhe beschaffen. Zu meinem großen Erstaunen paßten bis auf drei, um ca. 15 mm zu kurz geratene Kabel alle übrigen 50 Powerkabel milimetergenau. Die Montagedurchlaufzeit konnte mit unserer 3D-basierten, vollständigen und präzisen Ausführung für den Erstprototypen ca. 35% gesenkt werden, im Vergleich zu

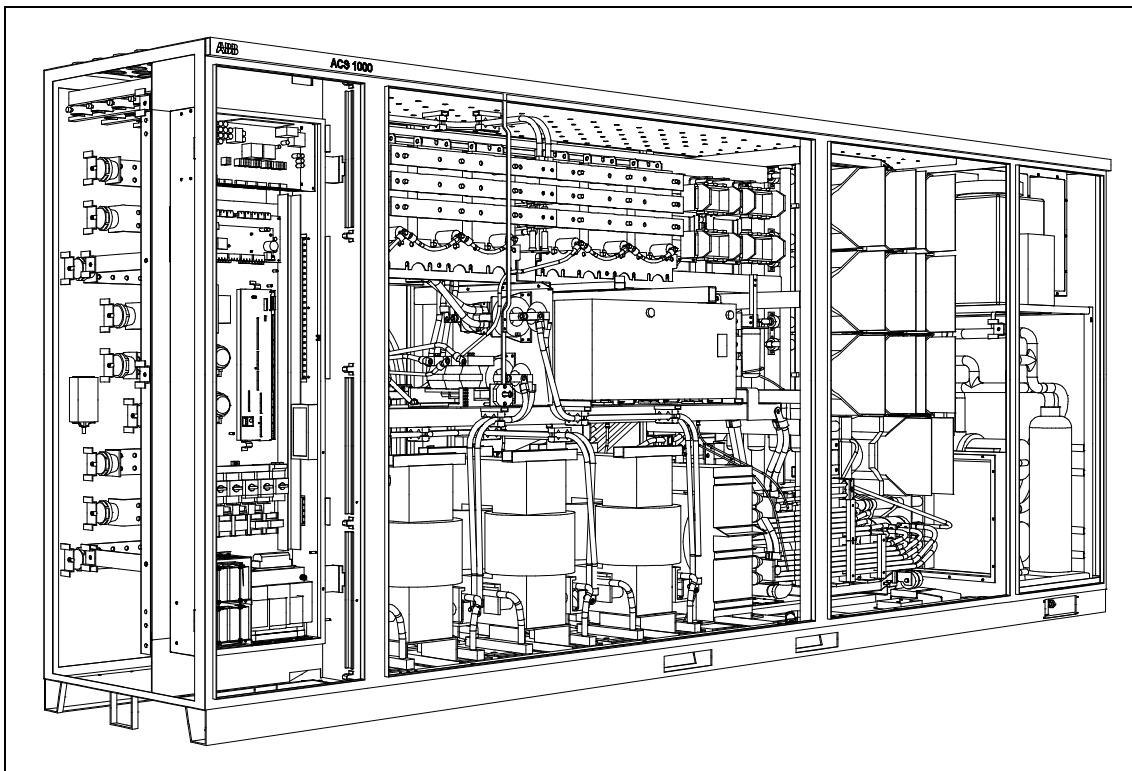


Die wassergekühlte Baureihe (Prototyp „Cleopatra“, Ansicht von hinten)



„Cleopatra“ 4 x 2 x 0.9m, 3245kg (Ansicht von vorne) Konstruktion von HTK Bern

Umrichtererstmontagen, bei denen die genauen Leitungsführungen von Wasserleitungsverbindungen und elektrischen Stromleiterführungen erst im Montageprozeß geklärt und mit kurzfristig herzustellenden Befestigungs- und Durchführungsteilen umgesetzt werden müssen. „Cleopatra“ befindet sich bis zum Juni 1998 im Versuchs- und Leistungslabor, wo sie ein umfangreiches Prüfprogramm durchläuft. Parallel dazu nahmen wir im Februar 1998 die Konstruktion für unseren größten wassergekühlten ACS 1000-Umrichter mit der Projektbezeichnung „Dracula“ in Angriff. Sämtliche Konstruktionsunterlagen für den 4,7 Meter langen Schrank mußten bis Ende April fertiggestellt sein, die Prototypmontage von „Dracula“ begann Ende Mai 1998.



„Dracula“ 4,7 x 2 x 0.9m, 3675kg (Ansicht von vorne) Konstruktion von HTK

Wünsche an die Weiterentwicklung von I-DEAS

Ein Umrichter vom TYP ACS 1000 war durch die große Zahl von Einzelteilen und Baugruppen im Assembly-Modul der I-DEAS Master Series Version 4 nur noch mit äußerst geschickter Handhabung von ungeschulten Funktionen zu handhaben. Der genietete Schrank erzeugt bereits ohne Nietbohrungen 400 Aktualisierungsschritte. Ohne Elektronikkomponenten besteht der luftgekühlte Prototyp aus 884 Konstruktionsteilen, die Baugruppenstruktur besteht aus fünf Hierarchiestufen mit insgesamt 89 Baugruppen. Hierfür vermißten wir eine Abstraktionsfunktion für mehrstufige Baugruppen, mit der die

Projektlauf ACS 1000 im Überblick:

Erteilung des Entwicklungsauftrags	Feb. 1996
Erste Kontakte mit SDRC	März 1996
Erste Hardwarelieferung	März 1996
Beginn I-DEAS-Schulung	Ende März 1996
1. Meilenstein	Ende Juni 1996
2. Meilenstein Muster Bert	Ende Sep. 1996
3. Meilenstein Muster Cäsar	Ende Dez. 1996
Beginn der Arbeiten an der wassergekühlten Version	März 1997
Technology Launch des IGCT's	März 1997
Fertigstellung Prototypen luftgekühlt	Aug. 1997
Fertigstellung Prototypen wassergekühlt	Juli. 1998

zu rechnende Datenmenge reduziert wird. Ein so vereinfachtes Volumen- oder Flächenmodell könnte dann im Gesamtzusammenbau genutzt werden. Dieser Entwicklungswunsch wurde von SDRC bereits mit der Version 5.0 in Teilen realisiert.

Trotz der schwierigen Randbedingungen ist es ABB Industrie AG gelungen, die Produktreihe ACS 1000 in nur 20 Monaten von der Studienidee bis zur Pilotreihe zu entwickeln. Wir sind heute überzeugt, daß erst der Einsatz des 3D-CAD-Systems I-DEAS mit integriertem CAE sowie das Ar-

Ergebnisse:

- **In nur 20 Monaten von der Studienidee bis zur Pilotreihe**
- **Alle vom Masterplan gesetzten Termine wurden eingehalten**
- **Innerhalb des Zeitrahmens konnten drei zusätzliche, vorher nicht geplante Demo-Units gebaut werden**

Erfahrungen:

Das Projekt war nur mit den Mitteln

- **3D-CAD**
 - **integriertes CAE und**
 - **Team Engineering**
- erfolgreich zu realisieren**

Das Projekt ACS 1000 gilt heute bei ABB als **das Beispiel für simultanes Engineering**

beiten mit den Mitteln des Team Engineering, wie es von I-DEAS wirkungsvoll unterstützt wird, erlauben, ein Projekt wie ACS 1000 in so kurzer Zeit zu einem solchen Reifegrad zu entwickeln. Die ACS 1000-Reihe gilt heute bei ABB Industrie als Paradebeispiel für simultanes Engineering.