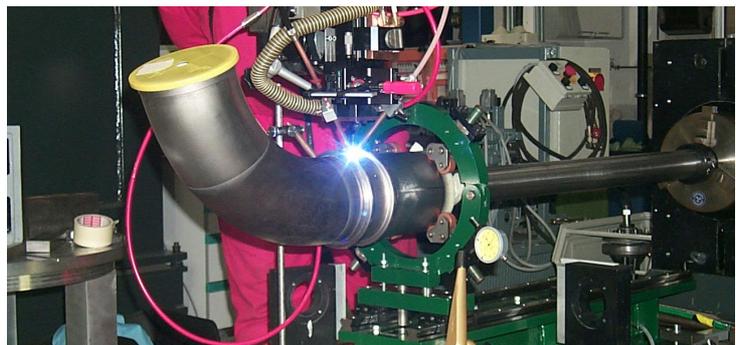


# ABSCHLUSSBERICHT

## Grundlagenuntersuchungen an Reintitanverarbeitungstechnologien

(BMBF-VORHABEN-NR. 20W9702A)



# ABSCHLUSSBERICHT

## Grundlagenuntersuchungen an Reintitanverarbeitungstechnologien

PFW001 / 1999

SPEYER, OKTOBER 1999

Durchführung:	Pfalz-Flugzeugwerke GmbH Am Neuen Rheinhafen 10 67346 Speyer	
Berichtersteller	Christian Sefrin Lutz Moriße Werner Beck Hans-Jörg Fetzer / Oliver Braun	PFW –T3 PFW - T3 Formtech GmbH CCK/FBK

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 20W9702A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

# Gliederung

1. Vorwort	Liste beteiligter Technologiepartner
2. Arbeitspaket 1	Vorhabensleitung
3. Arbeitspaket 2	Technologieanalyse
4. Arbeitspaket 3	Werkstoffe
5. Arbeitspaket 4	Präzisionsumformverfahren
6. Arbeitspaket 5	Trennen und Schweißen
7. Arbeitspaket 6	Demonstratorherstellung
8. Arbeitspaket 7	Mechanisch-technologische Prüfungen
9. Kapitel 8	Zusammenfassung
Anlage	Literaturverzeichnis

# Vorwort

## Beteiligte Institute und Firmen im Vorhaben

### „Grundlagenuntersuchungen an Reintitanttechnologien“

<b>Partner</b>	
<b>BIAS</b>	<b>Kobe</b>
<b>Binkert</b>	<b>Krupp-Drauz</b>
<b>Butting</b>	<b>Lehmann</b>
<b>CCK / FBK</b>	<b>Mercedes Benz</b>
<b>DCAA</b>	<b>Proform</b>
<b>DTG</b>	<b>PTU</b>
<b>Eckold</b>	<b>Revierlabor / IfW</b>
<b>Eldim Intern.</b>	<b>RMI</b>
<b>EMFCO</b>	<b>Synova</b>
<b>ETH / IFU</b>	<b>Thate</b>
<b>FormTech</b>	<b>Theile</b>
<b>Haas Laser</b>	<b>TKS</b>
<b>HWR</b>	<b>TUHH</b>
<b>IFUM</b>	<b>TW Metals</b>
<b>IWS / FHG</b>	<b>Witzenmann</b>

Die oben genannten Firmen haben als Technologiepartner im Vorhaben mitgewirkt.

Durch ihre kompetente und termintreue Mitarbeit wurde der Gesamterfolg des Vorhabens möglich.

An dieser Stelle möchten wir allen beteiligten Firmen ausdrücklich für die kooperative, zielgerichtete und äußerst effektive Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben danken.

Geschäftsleitung PFW

## Berichtsblatt

<b>1.ISBN oder ISSN</b>	<b>Berichtsart</b> Abschlussbericht		
<b>3a. Titel des Berichts</b> Grundlagenuntersuchungen an Reintitanverarbeitungstechnologien			
<b>3b. Titel der Publikation</b>			
<b>4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))</b> Sefrin,Christian Moriße,Lutz Beck,Werner Fetzer,Hans-Jörg Braun,Oliver		<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 30. Juni 1999	
<b>4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))</b>		<b>6. Veröffentlichungsdatum</b>	
		<b>7. Form der Publikation</b>	
<b>8. Durchführende Institution(en)</b> Pfalz-Flugzeugwerke GmbH Am Neuen Rheinhafen 10 67436 Speyer		<b>9. Ber.Nr. Durchführende Institution</b> PFW 001 / 1999	
		<b>10. Förderkennzeichen *)</b> 20W9702A	
		<b>11 a. Seitenzahl Bericht</b> 148 Seiten	
		<b>11 b. Seitenzahl Publikation</b>	
<b>13. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  53170 Bonn		<b>12. Literaturangaben</b> 64	
		<b>14. Tabellen</b> 72 Tabellen	
		<b>15. Abbildungen</b> 85 Abbildungen	
<b>16. Zusätzliche Angaben</b>			
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b>			
<b>18. Kurzfassung</b>  Im Rahmen dieses Vorhabens wurden Produktionstechnologien für Klimarohrleitungen aus Reintitan, die in Flugzeugen benutzt werden, untersucht, um Qualität und Effizienz zu verbessern. Intensive Analysen wurden durchgeführt, um die plastischen Verformungseigenschaften des Materials zu verstehen und anwendbare neue Produktionsmethoden herauszufinden. Es wurden Entwicklungsarbeiten für Präzisions-Umformtechnologien (Biegung, verbesserte Tiefzieh-Verfahren, hydraulisches Ausbauchen) und für Generierung von Schweißtechnologien (Laser-Strahl-Schneiden, Laser-Strahl-Schweißen) durchgeführt. Grundlagenuntersuchung und Entwicklung resultierten in der Produktion von Prototypen, die erfolgreich gemäß einer spezifizierten Qualitätssicherungs-Konzeption, einschließlich zyklischer Belastung mit Druck, Vakuum und Temperatur getestet wurden, um die Lebensdauer im Vergleich zu herkömmlich produzierten Bauteilen nachzuprüfen.			
<b>19. Schlagwörter</b> Titan, Umformung, Biegen, Schneiden, Schweißen, Laser			
<b>20. Verlag</b>		<b>21. Preis</b>	

## Document Control Sheet

<b>1.ISBN or ISSN</b>	<b>Type of Report</b>  Final Report	
<b>3a. Report Title</b>  Basic Investigations on Process Technologies for Commercial Pure Titanium		
<b>3b. Title of Publication</b>		
<b>4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s))</b>  Sefrin,Christian Moriße,Lutz Beck,Werner Fetzer,Hans-Jörg Braun,Oliver	<b>5. End of Project</b>  June 30, 1999	
<b>4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))</b>	<b>6. Publication Date</b>	
	<b>7. Form of Publication</b>	
<b>8. Performing Organization(s) (Name, Address)</b>  Pfalz-Flugzeugwerke GmbH Am Neuen Rheinhafen 10 67436 Speyer Germany	<b>9. Originator's Report No.</b>  PFW 001 / 1999	
	<b>10. Reference No.</b>  20W9702A	
	<b>11 a. No. of Pages Report</b> 87 pages	
	<b>11 b. No. of Pages Publication</b>	
<b>13. Sponsoring Agency (Name, Address)</b>  Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  53170 Bonn	<b>12. No. of References</b> 64	
	<b>14. No. of Tables</b> 72 tables	
	<b>15. Number of Figures</b> 85 figures	
<b>16. Supplementary Notes</b>		
<b>17. Presented at (Title, Place, Date)</b>		
<b>18. Abstract</b>  Production technologies for bleed-air-ducts used in aircrafts, made form CpTi, are investigated to improve quality and efficiency. Intensive analyses have been made to understand material plasticity performance and to find out applicable new production methods. Research and development work was carried out for precision forming technologies (bending, advanced deep-drawing, hydraulic bulging) and for trimming and welding technologies (Laser-Beam-Cutting, Laser-Beam-Welding). Basic research and development resulted in fabrication of prototypes, quality assurance conception including cycling loading with pressure, vacuum and temperature to verify the endurance life compared to components made with conventionally existing processes.		
<b>19. Keywords</b>  CpTI, forming, bending, trimming, welding, Laser, Titanium		
<b>20. Publisher</b>	<b>21. Price</b>	

# Arbeitspaket 1

## Vorhabenleitung

Koordination der Arbeitspakete, Sicherstellung der Dokumentation und Information, Controlling, Kooperation mit systemverantwortlichen Entwicklungsbetrieb, Einhaltung Meilensteine, Revieworganisation, Endberichts-Erstellung

Verantwortlich

Christian Sefrin (PFW) / Werner Beck (Formtech GmbH)

<b>AP 1</b>	<b>Vorhabensleitung</b>	<b>1/1</b>
1.1	Motivation und Zielsetzung / Aufgabenstellung	1/1
1.2	Voraussetzungen	1/2
1.3	Planung und Ablauf	1/3
1.3.1	Terminplanung	1/4
1.3.2	Budgetrahmen	1/5
1.4	Vorgehen und Organisation	1/6
1.4.1	Organisation des Informationsaustausches und der Kommunikationswege	1/6
1.4.2	Ablauforganisation	1/7
1.4.3	Aufbauorganisation	1/9
1.5	Review und Berichte	1/10
1.6	Abstimmung mit den Klimarohrleitung-System-Kunden	1/10
1.7	Stand der Technik	1/10
1.7.1	Literaturrecherche	1/11
1.8	Resultat	1/11

**Anlage 1/1:** Abkürzungsverzeichnis

## **AP 1 Vorhabensleitung**

Reintitanwerkstoffe sind für die Anwendung im Flugzeugbau prädestiniert, weil sie die Forderung nach geringem Gewicht bei gleichzeitiger Korrosionsbeständigkeit und Warmfestigkeit erfüllen.

Das Material wird als gewalztes Blech zwischen 0,1 mm und 1,6 mm Wandstärke in großem Umfang im sogenannten „bleed-air-System“ der Airbus-Großraumflugzeuge verwendet. Damit wird heiße Zapfluft der Triebwerke oder des Hilfstriebwerks zur zentralen Klimaanlage in der Rumpfmittle geleitet.

Die heute üblichen Aluminiumlegierungen können wegen der hohen Betriebstemperatur (bis ca. 180°C) nicht verwendet werden. Gegenüber Stahlwerkstoffen läßt sich mit Reintitan ca. 50% des Gewichts einsparen.

Nachteilig wirkt sich vor allem der hohe Einstandspreis und die lange Lieferzeit des Titanwerkstoffes aus.

Weiterhin besteht das Problem der hohen Affinität des Titans gegenüber Wasserstoff und Sauerstoff, in geringerem Maße Stickstoff, bei Warmarbeitsgängen. Bei Kaltumformungen sind hohe Rückfederungen zu berücksichtigen.

### **1.1 Motivation und Zielsetzung / Aufgabenstellung**

Ziel des Vorhabens war es, innovative Herstelltechnologien für dünnwandige Hohlstrukturen aus Reintitanwerkstoffen zu entwickeln und zu erproben, die das Potential haben, für Klimarohrkomponenten im Flugzeugbau verwendet zu werden.

Die spezifischen Eigenschaften von Titan bedingen eine komplexe Prozeßkette aus Umform-, Kalibrier-, Trenn- und Fügeverfahren. Aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Wanddicke zu Durchmesser und der flugzeugbautypischen hohen Toleranzanforderungen sind die heutigen Verfahren aufwändig und materialintensiv. Darüber hinaus sind die heutigen Verfahren nur ungenau auf die spezifischen Belange des Werkstoffes Reintitan adaptiert.

Die neuen Verarbeitungstechnologien für dünnwandige, rohrförmige Reintitanbauteile sollen flexibel, vorrichtungsfrei sowie möglichst umweltschonend sein und an ausgewählten Musterteilen erprobt werden. Es sollte das Potential für den Einsatz in einer zukünftigen Fertigung vorhanden sein.

Durch den Einsatz von neuen Umformverfahren, die an die spezifischen Gegebenheiten des Titans angepaßt sind und durch Anwendung numerisch gesteuerter Trenn- und Schweißprozesse, kann die Bauteilqualität verbessert und der Ablauf verkürzt und vereinfacht werden.

Anhand der Herstellung repräsentativer Klimarohrbauteile sollte die Umsetzbarkeit der Entwicklungsergebnisse gezeigt werden. Die Musterteile sollten anschließend mit einem im Vorhaben zu definierenden, flugzeugrelevanten Belastungsspektrum geprüft werden.

## **1.2 Voraussetzungen**

PFW ist qualifizierter Luftfahrtzulieferer nach QSF-B (C in Erwartung). Die Kernfähigkeiten der Firma umfassen folgende Gebiete:

- Frachtladesysteme
- Strukturkomponenten
- Gebogene Rohre mit  $\varnothing$  bis 3“ für Gas, Wasser, Abwasser, Hydraulik, Kraftstoff
- Klimarohrleitungskomponenten (KRLK),  $\varnothing$  bis 6“

Dem Bereich KRLK sind von den 753 Mitarbeitern der Gesamtbelegschaft ca. 25 % = 188 Mitarbeiter zuzuordnen.

Die KRLK besteht zu einem großen Anteil aus Reintitanwerkstoff. PFW verfügt über alle nötigen Einrichtungen in der Umformtechnik, zum Trennen und Schweißen der Reintitanbauteile.

PFW beginnt derzeit mit dem Aufbau einer eigenen Entwicklung und Konstruktion. Nach der Ausgründung von der DASA wird damit die eigene Systemkompetenz angestrebt. Das notwendige Fachwissen wird derzeit durch Kooperationen und Bildung von Arbeitsteams und in Zu-

sammenarbeit mit kompetenten externen Experten, Instituten und Firmen generiert und weiter ausgebaut.

Die zur erfolgreichen Durchführung des Entwicklungsvorhabens nötigen Voraussetzungen sind vorhanden, wie z. B.:

- Personalkapazität
- Finanzieller Hintergrund
- Fachwissen
- Expertenkontakte
- Prüffähigkeit
- Infrastruktur, unter anderem Fertigungstechnik, Qualitätssicherung, Rechnungswesen, Vertragsabteilung und Einkauf

### 1.3 Planung und Ablauf

Die Zielsetzung der Vorhabensleitung ist die direkte fachübergreifende Koordination von Planung, Entscheidung, Realisierung, Überwachung und Steuerung bei der Abwicklung der interdisziplinären Aufgabensstellungen des Vorhabens zur Erreichung der inhaltlichen Ziele.

Für die Projektorganisation wurde ein gemischtes Projektmanagement gewählt: Das Projekt wurde sowohl von betriebsinternen als auch externen Mitgliedern geplant und durchgeführt (s. Organigramm 1.1, Steuerung der Arbeitspakete).

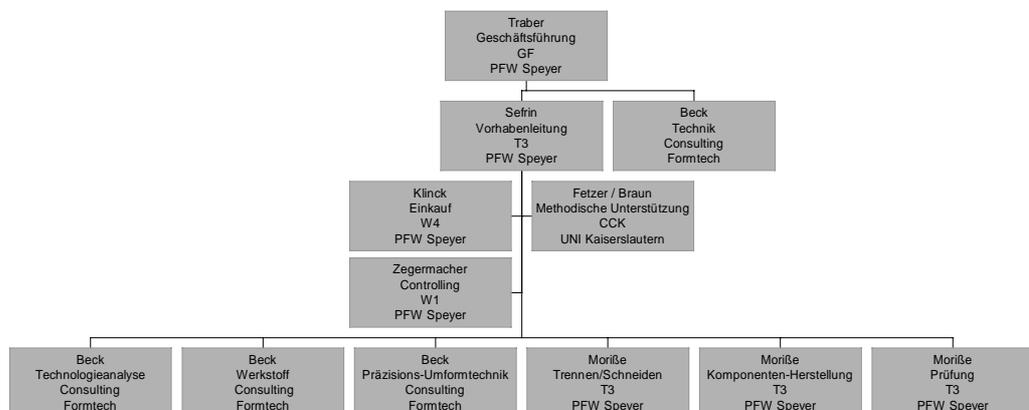


Abbildung 1.1 Steuerung der Arbeitspakete

Es wurde eine organisatorische Einheit geschaffen, das Projektteam. Bei Bedarf konnte sie auf die jeweils benötigten Mitarbeiter der Fachabteilungen zurückgreifen. Somit kam es zu einer Bündelung von betriebswirtschaftlichem Wissen (Einkauf, Controlling) und technischem Know-how (Qualitätssicherung, Umformtechnik, usw.). Aufgabe des Projektteams war die Planung, Steuerung und Integration aller Projektarbeiten zur Erreichung der Projektziele. Die Fachabteilungen mit ihren Spezialkenntnissen unterstützen das Projektteam, wenn die Notwendigkeit bestand.

### 1.3.1 Terminplanung

Abb. 1.2 zeigt den Rahmenterminplan des Vorhabens. Die Gesamtdauer betrug ursprünglich 20 Monate und wurde zwischenzeitlich auf 23 Monate verlängert. In Anbetracht der Vielzahl von nötigen Aktionen war eine intensive und konsequente technische und terminliche Projektsteuerung nötig.

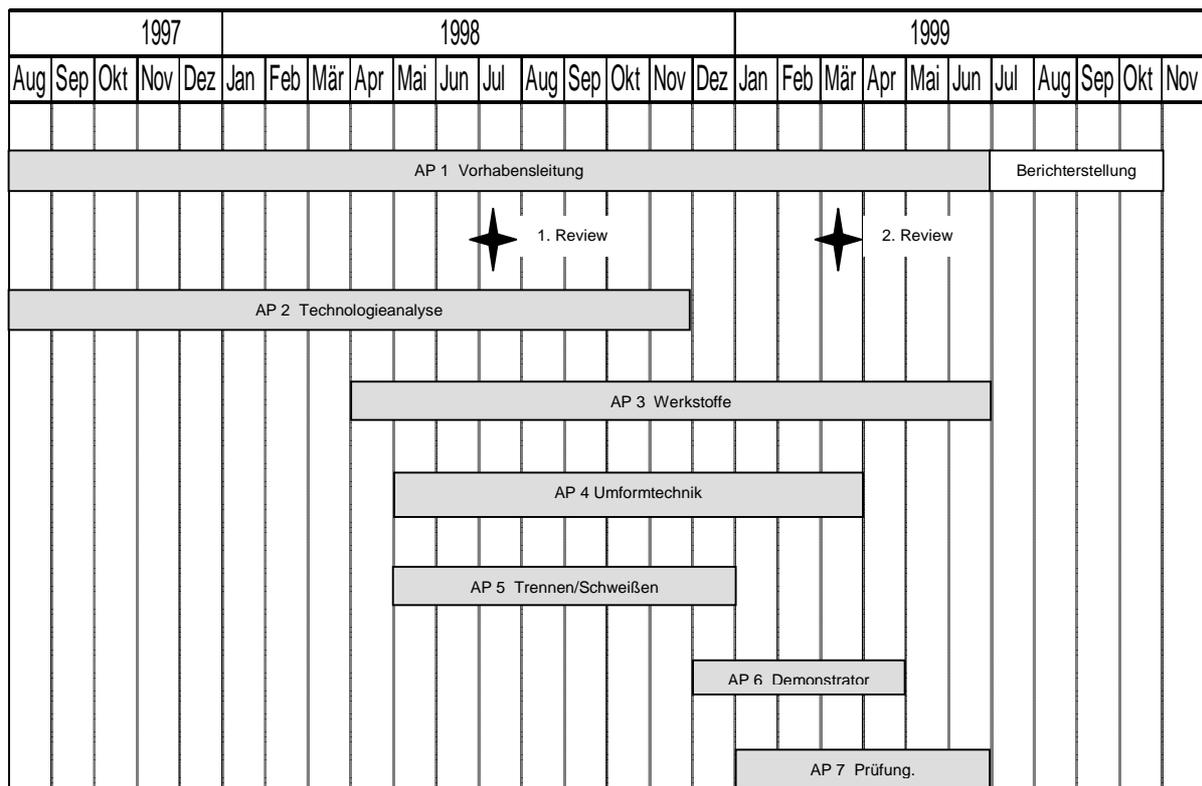


Abbildung 1.2 Projektplan: Projektübersicht

Die komplexen Verknüpfungen zwischen den Arbeitspaketen stellte ein besonderes logistisches Problem dar und veranlasste das Projektteam zu außerordentlichen Anstrengungen.

Die in der Zielsetzung und im Vorhabensantrag genannten Entwicklungsinhalte wurden vollständig realisiert und gemäß geplantem Termin, inklusive der mit dem Amt vereinbarten Verlängerung um 3 Monate, eingehalten.

Wie dem Projektplan zu entnehmen ist, waren die Arbeiten bis Ende Juni 1999 alle abgeschlossen. Der Bericht wurde bis Oktober 1999 erarbeitet und in Form dieses Abschlußberichtes dokumentiert.

### 1.3.2 Budgetrahmen

Das Diagramm 1.3 zeigt schematisch die Gegenüberstellung der geplanten Mittel zu den tatsächlichen Kosten.

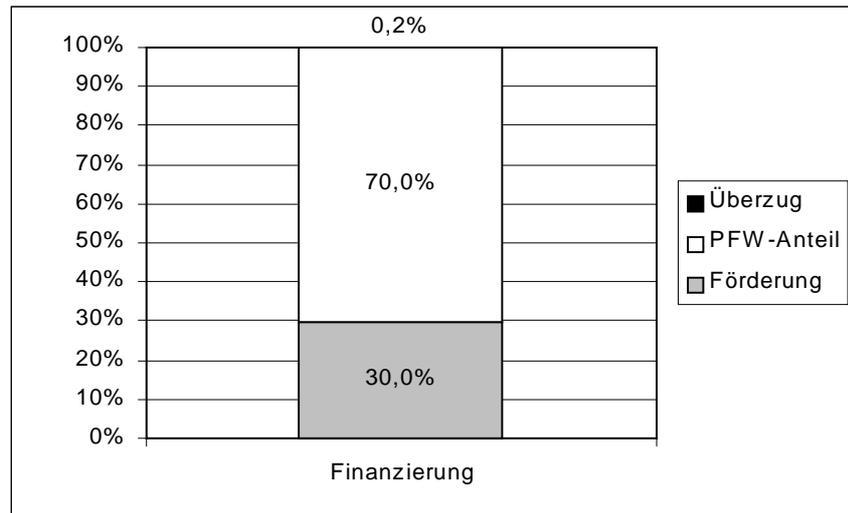


Abbildung 1.3 Budgetrahmen

Aufgrund der internen Kapazitätssituation – reduzierte Personalreserve wegen des allgemeinen Hochlaufes der Produktionszahlen der Luftfahrtindustrie – mussten Budgetumschichtungen zugunsten vermehrter Fremdvergabe vorgenommen werden.

Als positiven Nebeneffekt dieser Maßnahmen konnte noch intensiver die Bildung zukunftssträchtiger Technologiepartnerschaften verfolgt werden.

Der Gesamtbudgetrahmen wurde mit einer Überziehung von lediglich 0,2 % eingehalten. Der Überzug wird von PFW getragen.

## **1.4 Vorgehen und Organisation**

Nachfolgend werden das Vorgehen und die Organisation des Vorhabens detailliert vorgestellt. Hierbei werden im ersten Abschnitt die Gesichtspunkte des Informationsaustausches und der Kommunikation näher beleuchtet. Im zweiten Abschnitt wird die Vorhabensgliederung, bestehend aus Ablauf- und Aufbauorganisation erläutert. Abschließend werden die Resultate bezüglich der Vorhabensleitung kurz zusammengefaßt.

### **1.4.1 Organisation des Informationsaustausches und der Kommunikationswege**

Um den Informationsaustausch zwischen allen Beteiligten zu gewährleisten, wurde im Vorhaben neben den bekannten Formen der Kommunikation (Telefon und –fax, Brief, E-Mail, Meeting) ein internet-basiertes Kommunikations- und Koordinationswerkzeug eingesetzt. Bei diesem System handelt es sich um das BSCW (Basic Support for Cooperative Work), ein von der GMD – Forschungszentrum Informatik in Darmstadt entwickeltes Werkzeug zur Kooperationsunterstützung in heterogenen Umgebungen. Dieses System ermöglicht einerseits die strukturierte Ablage und andererseits den Austausch von Dokumenten jeglicher Art über das Internet. Hiermit wurde gewährleistet, dass alle am Vorhaben beteiligten Partner jederzeit auf die benötigten Informationen und Dokumente Zugriff hatten. Sie waren auf die Orte Speyer, Bremen und Kaiserslautern örtlich verteilt. Abbildung 1.4 zeigt exemplarisch zwei Screenshots des Systems.