



Tests & Testing Methodologies for  
Advanced Languages

BMBF Verbundprojekt *TT-Medal*

# **Methoden und Werkzeuge für eine flexible Testplattform basierend auf TTCN-3 und deren Anwendung in der Mobilkommunikations- und Fahrzeugtechnik**

Projektpartner

**DaimlerChrysler, Fraunhofer FOKUS, Nokia, Testing Technologies**

Schlussbericht

für die Projektlaufzeit vom 1.10.2003 bis zum 31.12.2005

*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01ISC11A, 01ISC11B, 01ISC11C und 01ISC11D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.*

**Jens Herrmann, Daimler Chrysler**

**Zhen Ru. Dai, Axel Rennoch, Ina Schieferdecker, FOKUS**

**Thomas Deiß, Colin Willcock, Nokia**

**Mang Li, Stephan Pietsch, Theofanis Vassiliou-Gioles, Testing Technologies**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Aufgabenstellung</b>	<b>5</b>
<b>2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde</b>	<b>6</b>
<b>3. Planung und Ablauf des Vorhabens</b>	<b>8</b>
<b>4. Wissenschaftlicher und technischer Ausgangsstand</b>	<b>9</b>
<b>5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen</b>	<b>11</b>
<b>6. DaimlerChrysler AG, Förderkennzeichen 01ISC11C</b>	<b>12</b>
6.1 Erreichte Ergebnisse	12
6.1.1 Ziel des AP3 und Vorgehen	12
6.1.2 Der Anwendungsbereich: <i>In-Car Telematik</i>	12
6.1.3 Anforderungen an TT-Medal	14
6.1.4 Die Telematik-Fallstudie und der Demonstrator	15
6.1.5 Durchführung und Ergebnisse der Fallstudie	17
6.2 Voraussichtlicher Nutzen	18
6.3 Fortschritt bei anderen Stellen	19
6.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	19
<b>7. Fraunhofer FOKUS, Förderkennzeichen 01ISC11A</b>	<b>20</b>
7.1 Erreichte Ergebnisse	20
7.1.1 Thematische Ergebnisse	20
7.1.2 Organisatorische Arbeiten	27
7.2 Voraussichtlicher Nutzen	27
7.3 Fortschritt bei anderen Stellen	28
7.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	28
<b>8. Nokia, Förderkennzeichen 01ISC11D</b>	<b>32</b>
8.1 Erreichte Ergebnisse	32
8.1.1 Thematische Ergebnisse	32
8.1.2 ITEA-TT-Medal Projektleitung	39
8.2 Voraussichtlicher Nutzen	40
8.3 Fortschritt bei anderen Stellen	40
8.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	40
<b>9. Testing Technologies, Förderkennzeichen 01ISC11B</b>	<b>42</b>
9.1 Erreichte Ergebnisse	42
9.1.1 Ziele des AP2	42
9.1.2 TTCN-3 Entwicklungs- und Ausführungsplattform	42
9.1.3 TTCN-3 Metamodell	42
9.1.4 TCI Schnittstelle	43
9.1.5 TRI Schnittstelle	43
9.1.6 Codec Generierung	43
9.1.7 IDL Plugin	44
9.2 Voraussichtlicher Nutzen	44

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 3 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

9.3	Fortschritt bei anderen Stellen .....	44
9.4	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen .....	45
<b>10.</b>	<b>Liste der Veröffentlichungen.....</b>	<b>46</b>
<b>11.</b>	<b>Veröffentlichungen Anderer Stellen/Ausserhalb des Projekts .....</b>	<b>51</b>
<b>12.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>54</b>

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 4 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## Zusammenfassung

Gesamtziel des europäischen ITEA<sup>1</sup> Projektes TT-Medal war die Erarbeitung einer Testplattform als zentrale Komponente für korrekte und zuverlässige Softwaresysteme. In diese Testplattform wurden spezifikationsbasierte, formale Testmethoden und automatische Testgenerierung und -ausführung in der Systementwicklung integriert.

Vom deutschen Konsortium bestehend aus DaimlerChrysler, FOKUS, Nokia, und Testing Technologies wurden hierbei insbesondere Arbeiten

- zur Testmethodik und -architektur,
- zum effizienten Testentwurf unter Nutzung von Test Pattern,
- zur effizienten Nutzung von TTCN-3 in der Mobilkommunikation und in Fahrzeugen,
- zur UML-basierten Testentwicklung mittels des UML 2.0 Testing Profiles,
- zur lokalen und verteilten Testausführung,
- zur Anbindung von TTCN-3 an IDL-basierte und XML-basierte Systeme,
- zum effizienten Logging und zur graphischen Visualisierung der Testläufe,
- zu zwei Fallstudien in der Mobilkommunikation und
- zu einer Fallstudie im Fahrzeug

durchgeführt.

Darüberhinaus wurde mit den holländischen Partnern bzgl. der Nutzung von TTCN-3 für Kontrollsysteme für die Bahn und für Finanz-Applikationen im EBusiness zusammengearbeitet. Mit den finnischen Partnern wurde an Ansätzen für Test Pattern und an der Validierung von Testmengen gearbeitet.

Alle Ergebnisse sind in die Methodik, Plattform und Werkzeuge eingeflossen und wurden erfolgreich in den Fallstudien angewendet.

Die deutschen TT-Medal Partner sind DaimlerChrysler Research, Berlin; Nokia Research Center, Bochum, Testing Technologies IST GmbH, Berlin und Fraunhofer FOKUS, Berlin (Leitung des deutschen Teilprojekts).

Das ITEA TT-Medal Projekt hat Raum für angewandte Forschung gegeben und die Anwendung der Ergebnisse in der Industrie ermöglicht. Die Zusammenarbeit auf deutscher und auf europäischer Ebene war sehr effizient und zielführend.

---

<sup>1</sup> Information Technology for European Advancement ([www.itea-office.org](http://www.itea-office.org))

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 5 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## Teil I: Gesamtprojekt

### 1. AUFGABENSTELLUNG

Die Bereitstellung effizienter Methoden und Werkzeuge für die Bewertung und Kontrolle von zuverlässigen und vertrauenswürdigen Softwaresystemen ist ein Schlüssel zur weiteren Evolution der Softwaretechnologie. Heutige Softwaresysteme bestehen oftmals aus Komponenten, die in einer Netzumgebung verteilt sind und die Parallelitäts-, Autonomie-, Synchronisations-, Konfigurations- und Kommunikationsaspekte berücksichtigen müssen. Diese Systeme werden mit einer Vielzahl von Technologien (wie Middleware-Plattformen, Web Services, Messaging, etc.) realisiert, doch müssen sie letztendlich den Verfügbarkeits-, Integritäts-, Vertraulichkeits-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsanforderungen der Anwender gerecht werden.

Gesamtziel des Projektes ist die Erarbeitung einer Testplattform als zentrale Komponente für korrekte und zuverlässige Softwaresysteme. Mit dieser Testplattform werden spezifikationsbasierte, formale Testmethoden und automatische Testgenerierung und –ausführung in die Systementwicklung integriert. Als Teil der Testplattform sind Methoden und Werkzeuge zur Qualitätssicherung von Komponenten in softwareintensiven Systemen zu erarbeiten. Als zentralen Ansatz zur Qualitätssicherung wird hierzu Testen verwendet. Testen erfolgt mit dem Ziel, Systemqualitäten zu überprüfen, nachzuweisen, und zu verbessern.

Technische Grundlage für das Testen ist die formale Testmethode TTCN-3 (Testing and Test Control Notation). TTCN-3 ermöglicht das Testen von Systemanforderungen, -modellen, -prototypen, als auch –implementierungen unter Nutzung derselben Testspezifikation bei modifizierter Testadaption. Im Rahmen des Projektes war eine Testmethodik basierend auf TTCN-3 zu entwickeln, die fortlaufendes, aufeinander aufbauendes Testen während der Systementwicklung unterstützt. Dies schliesst Ansätze zur Testgenerierung, -transformation, und –analyse ein. Komponentenorientierung und Wiederverwendung sind Aspekte die von TTCN-3 unterstützt werden und in die Testmethodik einzubringen waren.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 6 of 55
		Version: 1.0
		Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## 2. VORAUSSETZUNGEN, UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE

Zum Start des Projekts war die Testtechnologie TTCN-3 als stabiler Standard definiert. Erste Werkzeugrealisierungen existierten. Der Nachweis der breiten Nutzbarkeit dieser Testtechnologie stand aus. Zudem waren verschiedene Aspekte nicht ausgearbeitet. Das deutsche Konsortium von TT-Medal vereinte insbesondere Expertisen zu den konzeptionellen und theoretischen Grundlagen von TTCN-3 (FOKUS, Nokia und Testing Technologies), zur werkzeugtechnischen Umsetzung (vor allem Testing Technologies) und zu Testanforderungen und etablierten Testmethoden in der Industrie (DaimlerChrysler und Nokia).

Das Projekt basierte auf verschiedenen Vorarbeiten der Projektpartner:

- Testen funktionaler Eigenschaften: Das Testen funktionaler Eigenschaften bildete den theoretischen und praktischen Hintergrund für TT-Medal. Die Partner verfügten über detaillierte Kenntnisse der Methoden und Techniken und deren praktischen Einsatzes.
- Testen verteilter Systeme: Die durch FOKUS, Nokia und TestingTechnologies konzipierten (verteilten) Testarchitekturen für TTCN-3 basierte Testlösungen wurden als Grundlage konkreter Testarchitekturen für Systeme der Mobilkommunikation und der Fahrzeugtechnik genutzt und durch Testing Technologies werkzeugtechnisch umgesetzt.
- Sprachmittel zur Beschreibung von Testzwecken und –fällen: Die Mitarbeit bei der Entwicklung von TTCN-3, PerfTTCN und dem UML Testing Profile waren wichtige Vorarbeiten der Partner. Konzepte, Ideen und Erfahrungen aus der Entwicklung der Sprachvarianten wurden während des Projektes zu so genannten Testprofilen, die die Besonderheiten der Fallstudien widerspiegeln, weiterentwickelt.
- Testwerkzeuge: Die Projektpartner gehörten zu den ersten Anbietern von Testwerkzeugen basierend auf TTCN-3 und konnten die Palette der . Die Erweiterung auf TCI, das UML Testing Profile und die Integration in den industriellen Softwareentwurf steht noch aus und sind Kernthemen des Projekts TT-Medal. Dabei sind die Spezifika der Systeme der Mobilkommunikation und Fahrzeugtechnik in TTCN-3 in Form von Profilen einzuarbeiten und durch die Testwerkzeuge zu unterstützen.
- Testgenerierung: Alle Projektpartner verfügten über einschlägige Erfahrungen bei der Generierung von ausführbaren Tests als auch bei der Generierung von abstrakten Tests (Testspezifikationen) aus Systemmodellen. Bei der Generierung ausführbarer Tests wurden die bereits konzipierten, lokalen und verteilten TTCN-3-Architekturen umgesetzt. Bei der Generierung abstrakter Tests kamen insbesondere Konzepte zum Import von System-Schnittstellen-Definitionen nach TTCN-3 (und deren Ausbau auf weitere Schnittstellendefinitionssprachen) und Konzepte zur Synthese von Tests aus Testpattern (und deren Umsetzung für TTCN-3) zum Tragen. Zudem wurden Vorarbeiten von DaimlerChrysler zum Entwurf von Tests und Testdaten mit der Klassifikationsbaummethode genutzt.

Im Weiteren beschreiben wir den Stand der Projektpartner zum Start des Projekts:

- FOKUS (FOK) beschäftigte sich bereits seit Jahren mit modellbasierten Tests und war maßgeblich an der Entwicklung von TTCN-3 beteiligt. Es wurden erste Ansätze zur Testableitung, Testsimulation, Testvalidierung, verteilten Testausführung und zum UML-Testprofil erarbeitet, wobei diese Ansätze im Rahmen von TT-Medal verallgemeinert und für die speziellen Anwendungsgebiete erweitert wurden.

FOKUS konnte auf mehrjährige Erfahrungen beim Testen, der Spezifikation und der Leistungsanalyse von verteilten Systemen verweisen. Das beteiligte FOKUS Competence Center for Testing, Interoperability and Performance beschäftigte sich schwerpunktmäßig mit Konformitäts-, Interoperabilitäts- und Leistungstests von Telekommunikationssystemen, -diensten und -

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 7 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

komponenten, von Middleware Plattformen und plattform-basierten Systemen. Verschiedene Vorarbeiten zur Weiterentwicklung von MSC, TTCN, UML und verteilter Testarchitekturen sind Grundlagen für den vorliegenden Antrag.

- Nokia teilt sich in 4 Geschäftsbereiche: Enterprise Solutions, Mobile Phones, Multimedia und Networks. Separate Unternehmenseinheiten sind die Nokia Ventures Organization, das Nokia Research Center, das Nokia Head Office, sowie weitere allgemeine Funktionen. Im Jahr 2003 erzielte Nokia einen Gesamtumsatz von 29.455 MEur. Ende 2003 betrieb Nokia in 11 Ländern Entwicklungsstätten. Das finnische Unternehmen beschäftigte weltweit ca. 51.000 Mitarbeiter und wird an den Börsen Helsinki, New York, Stockholm, Frankfurt, und Paris gehandelt.

Deutschland zählt zu den wichtigsten Märkten von Nokia. Im Geschäftsjahr 2003 belief sich der Nettoumsatz in Deutschland auf 2.297MEur. Ende 2003 betrug die Anzahl der Mitarbeiter in Deutschland 3486. Alle deutschen Geschäftseinheiten sind in der Nokia GmbH zusammengefasst und durch Zentralfunktionen ergänzt.

Das Nokia Research Center sichert und stärkt die technologische Wettbewerbsfähigkeit durch die Erforschung neuer Technologien, Produkt- und Systemkonzepte. Die Forschung, Entwicklung und Umsetzung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den anderen Unternehmensbereichen. Um immer auf dem neuesten Stand der technologischen Entwicklung zu sein und sie ebenso zu beeinflussen, unterhält das Nokia Research Center weltweit eine Vielzahl von Kontakten. Das Research Center wirkt aktiv an der Ausarbeitung von Standardisierungen mit und kooperiert bei verschiedenen internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten mit Universitäten, Forschungsinstituten und mit anderen Unternehmen der Telekommunikationsbranche.

Schon zum Zeitpunkt der Antragstellung waren Mitarbeiter des Nokia Research Center in Bochum maßgeblich an der Standardisierung von TTCN-3 beteiligt. Ebenso waren sie an der Einführung von TTCN-3 innerhalb von Nokia beteiligt.

- Testing Technologies (TT) gehörte zu den ersten Anbietern von TTCN-3 Werkzeugen und Nutzern von TTCN-3 für Telekommunikationssysteme.

Es war und ist maßgeblich an der Definition der Schnittstellen zur Ausführung von TTCN-3 Tests beteiligt. Testing Technologies vertrieb den ersten kommerziellen TTCN-3 Compiler gemeinsam mit einer Ausführungsumgebung für TTCN-3 Tests. Diese Werkzeuge wurden in TT-Medal um Verteilungsaspekte und zusätzliche Aspekte der Testautomatisierung ausgebaut.

- Die DaimlerChrysler (DC) Forschungsabteilung RIC/SM (Research Information and Communication/Software Methoden und Werkzeugen) hat seit über einem Jahrzehnt Software-Entwicklungsmethoden, und insbesondere Testmethoden, gezielt für die Anforderungen aus dem Fahrzeugbereich entwickelt.

Seit einigen Jahren arbeitete RIC/SM eng mit der Telematik-Entwicklung zusammen, um die Qualität ihrer Produkte sicherzustellen. Da die Komplexität und Verteiltheit der Systeme steigen, mussten die herkömmlichen Methoden mit neuen Technologien verstärkt werden. Ziel von DaimlerChrysler war in TT-Medal die Definition standardisierter TTCN-3 basierter Testprozesse für Fahrzeugsysteme, die anhand konkreter Beispiele aus der Entwicklung evaluiert werden.

Dazu übernahm DC zwei sehr eng miteinander verbundene Rollen in diesem Projekt. Am Anfang des Projektes wurden anwendungsgebietspezifische Anforderungen an die Methoden und Werkzeuge erstellt. Diese Methoden und Werkzeuge wurden anhand von Beispielen aus der Fahrzeugtechnik evaluiert.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 8 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

### 3. PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS

Das deutsche Teilprojekt von TT-Medal war in 5 Arbeitspakete (AP) strukturiert:

- AP0: Projektkoordination
- AP1: Testmethodik
- AP2: Testentwicklungs- und –ausführungswerkzeuge
- AP3: Anwendung in der Fahrzeugtechnik
- AP4: Anwendung in der Mobilkommunikation
- AP5: Ergebnistransfer

Die Dauer des Projektes war geplant von 1.10.2003 bis 30.9.2005. Die Projektdauer wurde im Laufe des Projektes aufwandsneutral auf den 31.12.2005 verlängert um sie auf die Projektdauer der anderen europäischen Partner anzugleichen. Ansonsten lief das Projekt entsprechend der Planung ab.

Organisatorisch wurden auf europäischer Ebene die Projektleitung (Colin Willcock, Nokia) und drei WorkPackage-Leiter (Mang Li, Testing Technologies fuer Testausführung; Jens Herrmann, DaimlerChrysler für Fallstudien und Ina Schieferdecker, FOKUS für Ergebnis-Verwertung) gestellt.

Zudem wurde vom deutschen Konsortium nicht nur die TTCN-3 User Conference initiiert, sondern auch eine Vielzahl von Workshops und Tutorien durchgeführt. Dies hat wesentlich zur Verbreitung der Ergebnisse beigetragen.

Das ITEA TT-Medal Projekt erhielt den ITEA Achievement Award 2005

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 9 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

#### 4. WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER AUSGANGSSTAND

Das hier beantragte Projekt beschäftigt sich mit der Lösung von theoretischen und praktischen Problemen beim Testen von Systemen der Fahrzeugtechnik und der Mobilkommunikation. Systeme in beiden Bereichen sind gekennzeichnet durch Verteiltheit, Vielzahl an Typsystemen, und durch häufige Revisionen. Systeme der Fahrzeugtechnik zeichnen sich durch Echtzeitanforderungen und Multicastkommunikation aus. Systeme der Mobilkommunikation zeichnen sich durch Aspekte der Mobilität und Dynamik in Topologie und Konfiguration aus.

Für dieses Projekt muss der Stand der Forschung in folgenden Bereichen berücksichtigt werden.

- Testspezifikation
- Testen funktionaler Eigenschaften
- Testen nichtfunktionaler Eigenschaften
- Testen verteilter Systeme
- Testwerkzeuge
- Testgenerierung

**Testspezifikation:** Eine Testspezifikationstechnik erlaubt es, die für das Testen wesentlichen Aspekte zur Bewertung eines Systemes definieren zu können – unabhängig von der Testplattform, den Systemschnittstellen, etc. Die einzige standardisierte Testspezifikationstechnik ist die Testing and Test Control Notation (TTCN-3) [1]. TTCN-3 kann für weitere Testarten ausser Konformitätstesten eingesetzt werden [2][3][4]. TTCN-3 besteht aus einer Kernsprache und verschiedenen Präsentationsformaten. Die Kernsprache ist eine Programmiersprache mit testspezifischen Erweiterungen zur Beschreibung von Testdaten, Testurteilen, Testkonfigurationen, der Handhabung von Kommunikationsereignissen, sowie des Ablaufs aufeinanderfolgender Testfälle. Präsentationsformate dienen der Visualisierung von Testverhalten. Eines der definierten Präsentationsformate basiert auf Message Sequence Charts (MSC) [5][6].

Das UML2 Testing Profile U2TP [7][8] war zum Zeitpunkt der Antragsstellung noch in Entwicklung. Es ist eine in UML 2.0 eingebettete Sprache zum Entwurf, zur Spezifikation, Visualisierung, Analyse, Konstruktion und Dokumentation von Artefakten von Testsystemen. Das U2TP kann alleinstehend aber auch in Kombination mit UML2 zur integrierten Entwicklung von System- und Testartefakten verwendet werden.

**Funktionales Testen:** Das funktionale Black-Box-Testen wird auch als Konformitätstest bezeichnet. Eine allgemein akzeptierte Methodik zum Konformitätstest wurde durch ISO und ITU als Conformance Testing Methodology and Framework (CTMF) Standard entwickelt [9]. CTMF wurde durch den ITU Standard Formal Methods in Conformance Testing FMCT [10] ergänzt, der eine formale Definition der in CTMF definierten Begriffe gibt.

Theoretische Ansätze zum Konformitätstest gehen davon aus, dass Spezifikationen und Implementierung in derselben Klasse von Modellen angegeben werden können. Als Modelle werden dabei vor allem Labelled Transition Systems LTS [11][12][13][14] und Mealy-Automaten [16][17][18][19][20] verwendet. Diese theoretischen Grundlagen sind eingehend untersucht worden und haben Eingang in viele praktische Testansätze gefunden.

**Nichtfunktionale Eigenschaften** von Systemen umfassen sowohl objektiv messbare Eigenschaften wie Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit, aber auch schwer messbare Eigenschaften wie Wartbarkeit oder Nutzerfreundlichkeit. Einige der Eigenschaften lassen sich durch funktionale Tests analysieren, z.B. Interoperabilität. Andere Eigenschaften sind oftmals zeit- und leistungsabhängig. Tests solcher Eigenschaften werden unter dem Begriff des Leistungstests zusammengefasst.

Leistungstesten besteht traditionell aus der Übertragung zeitmarkierter Stimuli und der Beobachtung von Verzögerungen, des Durchsatzes und der Fehlerraten. Aus den gesammelten Daten werden Statistiken berechnet und ausgewertet [21]. Die zur Analyse nötigen Randbedingungen können passiv oder aktiv ermittelt werden. Im passiven Ansatz [22][23] wird die reale Systemlast analysiert, der aktive Ansatz [24] nutzt künstlich erzeugten Verkehr um vordefinierte Lastsituationen zu erzeugen. Das Leistungstesten

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 10 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

aufgrund von Testspezifikationen ist nur teilweise erforscht. PerfTTCN [25] wurde zur Analyse von ATM Protokollen [26] und von HTTP Servern [27] verwendet.

Das Testen **verteilter Systeme** wird durch die Zustandsraumexplosion erschwert. Ereignisse erscheinen während des Testens nebenläufig, d.h. ohne zeitliche Ordnung. Eine der CTMF entsprechende Testmethodik für verteilte Systeme existiert noch nicht. Eine generische Testarchitektur wird in [28] vorgeschlagen. Diese generische Architektur identifiziert verschiedene Komponente, die sich zu beliebigen Testarchitekturen zusammensetzen lassen. Die Komponenten können verschiedene Rollen wie foreground, background oder monitor annehmen. [29] zeigt, wie man Testarchitekturen für Konformitätstest, Servicetests, Interoperabilitätstest, und Leistungstest mit Hilfe der generischen Architektur beschreiben kann.

**Testwerkzeuge:** Für den praktischen Einsatz einer Testmethodik ist die Verfügbarkeit von Werkzeugen entscheidend. Bislang dominieren proprietäre Werkzeuge wie z.B. [30][31][32][33]. Diese Werkzeuge nutzen speziell erweiterte Programmiermöglichkeiten und erfordern im Allgemeinen ausgewählte Testgeräte. Solche proprietären Testlösungen sind in der Regel nicht für Interoperabilitätstests in verteilten Systemen mit Geräten unterschiedlicher Hersteller geeignet.

Dem gegenüber steht mit TTCN-3 eine vielseitig einsetzbare Lösung. Verschiedene Hersteller bieten Werkzeuge zur Erstellung und Ausführung von TTCN-3 Testspezifikationen an. Über die eigentliche Sprache hinaus sind Ausführungsschnittstellen für TTCN-3 [34][35] standardisiert worden. Dadurch wird eine Portabilität zwischen TTCN-3 Werkzeugkomponenten gewährleistet.

**Testgenerierung:** Der Grad der Testautomatisierung wird erhöht, wenn Tests nicht nur automatisch implementiert und ausgeführt werden, sondern wenn Tests automatisch generiert werden. Verschiedene Ansätze zur Testgenerierung wurden bisher entwickelt, fanden aber keine Akzeptanz in der Industrie [36][37][38]. Ursachen liegen zum Einen in der Voraussetzung einer vollständigen Systemspezifikation, als auch in der Inadäquatheit der generierten Tests.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 11 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## 5. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

TT-Medal Deutschland wurde in Zusammenarbeit mit FOKUS, DaimlerChrysler, Nokia und TestingTechnologies durchgeführt. Das Projekt war zusammen mit finnischen und niederländischen Partner in das ITEA Projekt TT-Medal eingebettet. Mit den Partnern auf europäischer Ebene wurde zu Themen des Test Reuse, der Testgenerierung, der Testlösungsentwicklung und der Testverifikation zusammengearbeitet.

Zudem wurden die Ergebnisse des Projekts bei Standardisierungsgremien vorgestellt und in Standards eingebracht:

- ETSI (European Telecommunication Standards Institute) zu verschiedenen Aspekten der TTCN-3 Core Language, der Ausführungsschnittstellen TRI und TCI und der Mappings von IDL bzw. XML nach TTCN-3
- OMG (Object Management Group) zur Definition des UML 2.0 Testing Profiles
- ISTQB (International Software Testing Qualification Board) zur Entwicklung eines TTCN-3 Syllabus im Rahmen der Certified Tester Ausbildung auf Experten-Ebene

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 12 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## Teil II: Projektergebnisse der Partner

### 6. DAIMLERCHRYSLER AG, FÖRDERKENNZEICHEN 01ISC11C

#### 6.1 ERREICHTE ERGEBNISSE

##### 6.1.1 Ziel des AP3 und Vorgehen

Ziel des Arbeitspaket 3 – *Tests für Systeme der Fahrzeugtechnik* - war es, die im TT-Medal-Projekt entwickelten, auf TTCN-3 basierenden Test-Methoden und –Werkzeuge im Automobilbereich anhand einer Fallstudie zu erproben und deren Einsatz auszuwerten. Hierfür wurden zunächst ein bestimmter Funktionsbereich aus der Fahrzeug-Elektronik als Fallstudie ausgewählt und anschließend Anforderungen an die zu entwickelnden TT-Medal-Technologien aus der Sicht der Fallstudie spezifiziert. Nach Bereitstellung der Technologien durch das TT-Medal-Projekt wurden diese auf die Fallstudie angewendet, und der Einsatz der Technologien wurde ausgewertet. Die Bereitstellung der Technologien und ihr Einsatz inkl. Erprobung fanden in mehreren Iterationen statt. Dabei wurde den Technologie-Entwicklern innerhalb des Projekts mehrfach Feedback zu den von ihnen bereitgestellten Test-Methoden und –Werkzeugen gegeben, das für weitere Verbesserungen der Technologien verwendet wurde. Durch dieses Vorgehen fand eine ständige Verbesserung der Technologien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für den Test der ausgewählten Fahrzeug-Elektronik statt. Dieses iterative Vorgehen wurde mit einer abschließenden, zusammenfassenden Evaluation beendet.

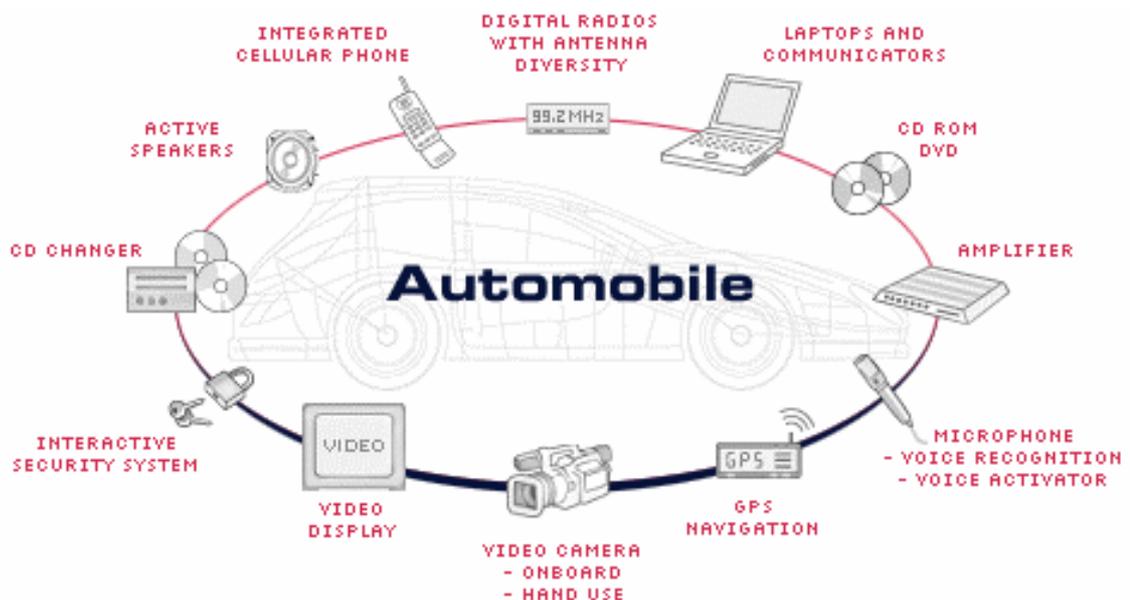
##### 6.1.2 Der Anwendungsbereich: *In-Car Telematik*

Für die Fallstudie wurde der Funktionsbereich *In-Car Telematik* als Anwendungsbereich ausgewählt (siehe Bild 1). Unter diesem Funktionsbereich wird die Gesamtheit der ins Cockpit integrierten Enter- und Infotainment-Komponenten wie z.B. die *Head Unit* (zentrales Bedienelement (im Zentrum von Bild 1 zu sehen)), das Navigations-System, das Radio, der Audio-Verstärker und der CD-Wechsler verstanden. Weitere mögliche Telematik-Komponenten sind in Bild 2 dargestellt. Der Term *In-Car Telematik* grenzt diesen Telematik-Bereich von der über ein Fahrzeug hinausgehenden Telematik<sup>2</sup> ab, die weit mehr als nur die Fokussierung auf das Fahrzeug umfasst, z.B. Verkehrsführung, Diebstahlverfolgung oder *Car-to-Car Kommunikation*. Teile hiervon betreffen auch die genannte, im Fahrzeug vorhandenen Komponenten. Die Fallstudie war jedoch eher auf die im Fahrzeug vorhandenen elektronischen Komponenten und auf die direkt und möglichst unabhängig im Fahrzeug erlebbaren Funktionen ausgerichtet.

<sup>2</sup> *Telematik* ist eine Kombination der Begriffe *Telekommunikation* und *Informatik* und steht für die Telekommunikation mit Rechner-Unterstützung


**Bild 1: In-Car Telematik**

Ein Großteil der Telematik-Funktionen wird erst über das Zusammenwirken der einzelnen Telematik-Komponenten realisiert. Erhält der Fahrer z.B. einen Anruf bei laufendem CD-Spieler, so wird diese Komponente in den Zustand *Pause* versetzt, und freie Kanäle im Audio-Verstärker werden bereitgestellt, um ein freihändiges Telefonieren per Mikrophon und Lautsprecher zu ermöglichen. Nach Beendigung des Gesprächs fährt der CD-Spieler an der unterbrochenen Stelle fort, die CD zu spielen.


**Bild 2: Automotive Telematics System (Quelle: [42])**

Ein kostengünstiger Weg zur Entwicklung innovativer Telematik-Systeme ist es, die einzelnen Komponenten von verschiedenen Zulieferern entwickeln zu lassen und diese Komponenten anschließend beim Fahrzeug-Hersteller über standardisierte Netzwerke und Schnittstellen zusammensetzen. Der Hersteller befindet sich somit in der Rolle des System-Integrators. Besondere Herausforderung treten bei der Integration und dem Integrationstest durch die meist nur spärlich vorhandenen Schnittstellen zwischen den Komponenten auf, da der Integrator beim Test nur über die vom Zulieferer angebotenen Schnittstellen in die Komponenten „hineinsehen“ kann. Darüber hinaus wird ein Verhalten einer Komponente u.U. erst mit Hilfe einer anderen Komponente sichtbar. Die verschiedenen Telematik-Komponenten werden i.d.R. über standardisierte Netzwerke verbunden. Sehr bekannte Netzwerk-Standards sind MOST (für *Media Oriented System*

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 14 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

*Transport* [42]) und CAN (für *Control Area Network* [43]). MOST steht kurz gesagt für ein optisches und CAN für ein rein elektronisches Netzwerk.

Die Entwicklung von Telematik-Systemen wird von einer Reihe von Testphasen begleitet. Zu Beginn wird jede Komponente in Isolation für sich getestet (Komponententest). Dabei wird geprüft, ob die Komponente die an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die korrekte Funktionsweise der von der Komponente bereitgestellten Basis-Funktionalität und ihres Schnittstellenverhaltens gelegt. Wie schon angedeutet, lassen sich viele Funktionen erst wirksam während des dem Komponententest nachfolgenden Integrationstest überprüfen. Während des Integrationstests können umfassendere Funktionen wie z.B. das beschriebene Telefon-Szenario getestet werden, die über eine Vielzahl von Komponenten verteilt sein können. Diese Komponenten-übergreifenden Funktionalitäten sind aus der Sicht der Benutzer (Fahrer, Beifahrer) entscheidend für die Akzeptanz der gesamten Telematik. Der Integrationstest konzentriert sich vor allem auf das Zusammenspiel einzelner Komponenten, beim nachfolgenden Systemtest werden Tests aus der Sicht des Gesamtsystems und der Benutzer durchgeführt. Für den Integrationstest wird eine Architekturbeschreibung des Systems als Grundlage verwendet, die das Zusammenwirken von Komponenten beschreibt. Basis für den Systemtest ist die Gesamtsystembeschreibung mit dem Fokus auf die vom System zur Verfügung gestellten Nutzer-Funktionen (d.h. diejenigen Funktionen, die der Benutzer letztendlich wirklich sieht). Beim Systemtest wird auch das Zusammenwirken der Telematik mit seiner Umgebung getestet (z.B. das Zusammenspiel mit der Klimaanlage).

Aufgrund der Trennung der Entwicklung von Telematik-Systemen in die Entwicklung einzelner Komponenten durch Zulieferer und die Zusammensetzung und Systembildung durch den Automobilhersteller ist der Integrationstest eine der wichtigsten Testphasen für den Hersteller, da er die Schnittstelle zwischen den beiden getrennten, aufeinander abgestimmten Entwicklungen bildet und da der Hersteller letztendlich für das Gesamtsystem verantwortlich ist. Entsprechend hoch ist die Priorität des Integrationstests beim Hersteller.

### 6.1.3 Anforderungen an TT-Medal

Wie bereits erwähnt wurden zu Beginn des TT-Medal-Projektes die Anforderungen an die von TT-Medal für die Fahrzeug-Fallstudie bereitzustellenden Technologien spezifiziert. Diese Requirements sind in [3] beschrieben. Eine mit den Anforderungen der anderen Fallstudienbetreiber konsolidierte Fassung der Requirements ist in [4] zu finden.

Auf einer abstrakten Ebene können die von DC spezifizierten Anforderungen in methodische und Tool-Anforderungen klassifiziert werden:

#### Methodische Anforderungen:

- TT-Medal soll einen Testprozeß bereitstellen, der eine gründliche Auswertung des Reifegrades des Testobjekts ermöglicht.
- Fehler sollen so früh wie nur möglich aufgedeckt werden können.
- Es sollen Test-Techniken bereitgestellt werden, die es erlauben, Tests aus graphischen Spezifikationen systematisch und wenn möglich automatisch abzuleiten (graphische Spezifikationen wie z.B. MSC-2000, UML-2.0-Sequenz-Diagramme und UML-2.0-State-Charts).
- Es soll möglich sein, in effektiver und effizienter Weise funktionale, Robustheits- und Performance-Tests von Telematik-Systemen durchführen zu können.
- Die systematische Wiederverwendung von Tests über verschiedene Testphasen und verschiedene Projekte soll unterstützt werden.

#### Tool-Anforderungen:

- Der Test soll weitestgehend automatisiert werden mit dem Ziel, die Zeit zur Aufdeckung kritischer Fehler zu minimieren.
- Die graphische Spezifikation von Test und die graphische Aufbereitung von Testergebnissen (Traces) soll durch Tools ermöglicht werden.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 15 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

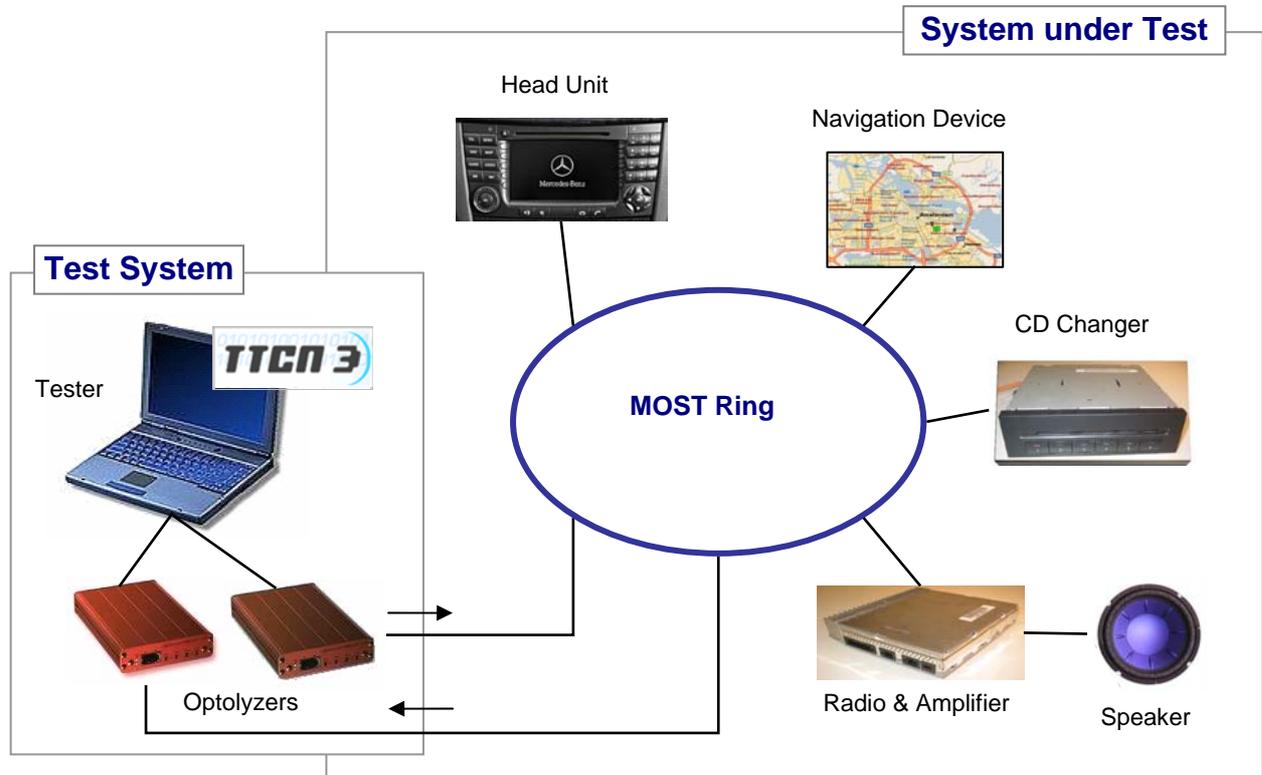
- Es soll eine technische Schnittstelle entwickelt werden, die es erlaubt, Telematik-Systeme mittels TTCN-3 zu testen.
- Eine Plattform ist zu entwickeln, die Ausführung und Wiederverwendung von Telematik-Tests für verschiedene Testphasen ermöglicht.

Die Telematik-Fallstudie sollte zeigen, dass die aus ihrer Sicht spezifizierten Anforderungen durch die von TT-Medal entwickelten Technologien erfüllt werden und dass die Technologien zugleich für aus industrieller Sicht realistische Projekte einsetzbar sind. Ein mittelfristiges Ziel von DC war es darüber hinaus festzustellen, ob die in TT-Medal entwickelten Technologien auch für andere Funktionsbereiche außerhalb der Telematik einsetzbar sind.

Die oben aufgeführten Anforderungen sind ein abstrakter Blick auf 25 wesentlich konkretere, technische Anforderungen, die in [3] genauer beschrieben sind. Diese zu Projektbeginn spezifizierten Anforderungen wurden im Verlauf des Projekts auf Basis der durchgeführten Evaluationen ständig weiter verfeinert bzw. erweitert.

#### 6.1.4 Die Telematik-Fallstudie und der Demonstrator

Bild 3 veranschaulicht den technischen Aufbau der Telematik-Fallstudie: Ein Tester (im Bild als *Test System* bezeichnet), der an den Telematik- bzw. MOST-Ring angeschlossen ist, sendet Testfälle in Form von Nachrichten an die Telematik und beobachtet das darauf folgende Verhalten. Die Testfälle simulieren Benutzer-Aktionen an der Head-Unit wie z.B. das Wechseln zwischen verschiedenen Komponenten, bspw. das Wechseln vom Radio zur Navigation oder der Wechsel zwischen verschiedenen Musik-Titeln auf einer CD. Ein externer Beobachter kann die durch die Testfälle angeforderten Wechsel optisch und akustisch mitverfolgen. Darüber hinaus prüft die an die Telematik angeschlossene Test-Komponente, ob die einzelnen Telematik-Komponenten korrekt auf die Anforderungen reagieren. Dies ist möglich, da die Komponenten laufend ihre Zustände melden. Die Testfälle sind hierbei in TTCN-3 spezifiziert. Um auf den Telematik-Ring zugreifen, der mittels MOST realisiert ist, werden zwei spezielle Geräte, sog. *Optolyzer*, verwendet ([44]). Einer dieser Optolyzer sendet Nachrichten an den Ring, der andere „horcht“ am Ring (d.h. liest die auf dem Ring laufenden Nachrichten).



**Bild 3: Konfiguration der Telematik-Fallstudie**

Für diese Fallstudie wurde ein Demonstrator entwickelt und aufgebaut, um die Effektivität der in TT-Medal entwickelten TTCN-3-basierten Technologien anhand der Telematik zu evaluieren. Dieser Telematik-Demonstrator wurde auf mehreren öffentlichen Veranstaltungen interessierten Fachleuten vorgestellt. Eine erste frühe Version des Demonstrators wurde auf dem ITEA-Symposium 2004 in Sevilla vorgestellt. Eine erweiterte Version wurden dann auf der Ausstellung im Rahmen der *Software & Systems Quality Conference 2005* in Düsseldorf vorgestellt. Auf dem ITEA-Symposium 2005 in Helsinki wurde eine nochmals (um eine Navigations-Komponente inkl. Testfälle) erweiterte Version gezeigt. Die beiden zuletzt genannten Versionen sind in Bild 4 dargestellt.

Wesentlich detailliertere Beschreibungen der Fallstudie und des Demonstrators sind in [1], [2], [8] und [9] zu finden.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 17 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final



**Bild 4: Telematik-Demonstrator**

### 6.1.5 Durchführung und Ergebnisse der Fallstudie

Zur Durchführung der Fallstudie wurden eine ganze Reihe der von TT-Medal bereitgestellten Methoden und Werkzeugen verwendet. Allein zu den verwendeten Tools gehören u.a. TTworkbench [45], eine von Fraunhofer FOKUS realisierte TTCN-3/CTE-Integration<sup>3</sup> [5], ein ebenfalls von FOKUS realisierter MOST2TTCN-3-Konverter und der *Conformiq Test Generator* [45]. In [1] und [2] ist die Verwendung der verschiedenen TT-Medal-Technologien und die Durchführung der Tests für die Telematik-Fallstudie ausführlich beschrieben.

Als Ergebnis der Telematik-Fallstudie kann zusammenfassend festgehalten werden, dass der Einsatz der TT-Medal-Technologien erfolgreich war. Konkreter bedeutet dies, dass

- es möglich und (weitaus wichtiger:) nützlich war, TTCN-3-basierte Test-Technologien für den Test von Telematik-Systemen einzusetzen,
- die von DC gestellten und in [3] spezifizierten Anforderungen von TT-Medal erfüllt wurden.

Der Anwendungsbereich *In-Car Telematik*, betrachtet aus der Sicht des Integrators von Telematik-Komponenten (DC ist hier der Integrator, wie oben beschrieben), ist ein idealer Anwendungsbereich für TTCN-3, da TTCN-3 gut zur Unterstützung von Integrationstests einsetzbar ist.

Die von TT-Medal in einer ersten Phase bereitgestellten Technologien wurden an der Telematik-Fallstudie erprobt und anschließend innerhalb des Projekts ständig weiter verbessert, bis sie für den Einsatz in der Telematik optimal einsetzbar waren.

Für DC ist nach Durchführung der Fallstudie deutlich geworden, dass TTCN-3 für den Fahrzeugbereich Telematik gewinnbringend einsetzbar ist. Für andere Funktionsbereiche wie z.B. *Engine Management* und *Intelligente Brems-Systeme*, um nur zwei zu nennen, ist die Anwendbarkeit von TTCN-3 noch zu prüfen. Andere Funktionsbereiche nutzen z.T. völlig andere Paradigmen wie z.B. kontinuierliche Signal-Verläufe, während TTCN-3 eher auf diskrete Daten abzielt. Es sind jedoch bereits Entwicklungen an TTCN-3 im Gange, die die Einsetzbarkeit in diesen Anwendungsbereichen vermutlich auch ermöglichen werden. Abgesehen davon war für TT-Medal die Telematik-Fallstudie das Ziel und für dieses gilt das oben Gesagte, dass der Einsatz von TT-Medal-Technologien erfolgreich war. Die positiven Erfahrungen mit TTCN-3 ermutigen uns auf jeden Fall, die Anwendung dieser Test-Technologie auch für weitere elektronische Fahrzeugfunktionen zu versuchen.

TTCN-3 ist eine Test-Technologie für Experten. Um eine Brücke zu den Testern aus Anwendungssicht zu schlagen, ist oftmals eine abstraktere Sicht auf den Test notwendig. Wäre diese nicht vorhanden, müsste ein Test-Designer Testfälle in TTCN-3 schreiben und dies ist bereits eine Ebene wie die von gängigen

<sup>3</sup> Zum CTE siehe [48]

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 18 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Programmiersprachen wie C++ oder Java. Für viele der innerhalb von DC beschäftigten Test-Designer ist TTCN-3 eine Ebene zu konkret. Dies ist kein Nachteil von TTCN-3, da diese Testsprache ja auch nicht behauptet, eine abstrakte, sondern eher eine konkrete, ausführbare Sprache zu sein. Um eine abstraktere Ebene oberhalb von TTCN-3 nutzen zu können, bietet sich u.a. das *UML 2.0 Test Profil* (kurz *U2TP*) an. Dabei handelt es sich um eine graphische Sprache zur Beschreibung von Tests, die auf UML 2.0 basiert [45].

Für eine wesentlich detailliertere Beschreibung der Fallstudienenergebnisse siehe [7] und [10].

## 6.2 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN

Das Angebot von DaimlerChrysler reicht vom Kleinwagen über Sportwagen bis hin zur Luxuslimousine – und vom vielseitig einsetzbaren Kleintransporter über den klassischen Schwer-Lkw bis hin zum komfortablen Reisebus. Zu den Personenwagen-Marken von DaimlerChrysler zählen Maybach, Mercedes-Benz, Chrysler, Jeep®, Dodge und smart. Zu den Nutzfahrzeug-Marken gehören Mercedes-Benz, Freightliner, Sterling, Western Star, Setra, Mitsubishi Fuso, T. Built Buses und Orion. Innovation ist der Motor des Unternehmens und der Schlüssel zum weltweiten Erfolg von DaimlerChrysler. Mit rund 4.700 Patenten jährlich sichert DaimlerChrysler heute seine technologische Spitzenposition und damit den Vorsprung im internationalen Wettbewerb.

In vielen DaimlerChrysler-Produkten steigt der Anteil und die Komplexität von eingebetteter Software weiterhin stetig an und die Funktionalität und Qualität dieser Software wird immer mehr zur wettbewerbsdifferenzierenden Eigenschaft. Für die Sicherung und den Ausbau seiner Marktposition ist deshalb für die DaimlerChrysler AG die Beherrschung modernster Softwaretechnologie im Bereich eingebetteter Systeme mittel- und langfristig unverzichtbar.

Um zu gewährleisten, dass die in die Fahrzeuge eingebetteten Software-Systeme die geforderte Qualität besitzen, werden verschiedenste Qualitätssicherungs-Technologien eingesetzt. Eine der wichtigsten analytischen Qualitätssicherungsmethoden ist der Test, da nur er reale Randbedingungen angemessen berücksichtigen kann. Das Thema Test ist eines der zentralen Themen im DaimlerChrysler-Forschungslabor *Software-Technologie*, das die DaimlerChrysler-Entwicklungsbereiche mit verschiedensten Softwareentwicklungs- und Test-Technologien versorgt. Die Effektivität und Wirtschaftlichkeit der vorhandenen Software-Tests lässt sich auch weiterhin durch die Entwicklung und den Einsatz innovativer Test-Technologien steigern. Das Labor erforscht und entwickelt zu diesem Zweck neue Ansätze und einsetzbare Technologien für den Test von eingebetteter Fahrzeug-Software und war auch direkt an TT-Medal beteiligt.

Entsprechend der Planung des TT-Medal-Projekts wurden die hierin entwickelten, auf TTCN-3 basierenden Test-Technologien bereits zur Laufzeit des Projekts im Telematik-Bereich von DaimlerChrysler eingesetzt und haben dort gute Ergebnisse gezeigt. In TT-Medal lag der Fokus auf dem Transfer von Test-Technologien in die industrielle Praxis und für den Bereich *In-Car Telematik* ist nun nachgewiesen, dass die TT-Medal-Technologien einsetzbar sind. Auch nach Laufzeit des Projekts werden diese Technologien im Bedarfsfall in der Telematik eingesetzt werden. Für diesen Anwendungsbereich bedeutet dies u.a. eine Kostenreduktion beim Testen, da die Tests nach Spezifikation der Testfälle automatisch ablaufen können.

Momentan wird im Forschungslabor geprüft, inwieweit die TT-Medal-Technologien auch für andere Software-basierte elektronische Anwendungs- bzw. Entwicklungsbereiche (z.B. *Engine Management* und *Fahrassistenz-Systeme*) bei DaimlerChrysler verwendet werden können. Da diese anderen Anwendungsbereiche z.T. völlig andere Strukturen und Abläufe besitzen, ist noch nicht klar, ob die TT-Medal-Ergebnisse hier unmittelbar eingesetzt werden können. Bei der in TT-Medal betrachteten *In-Car Telematik* handelt es sich um ein Nachrichten-basiertes System, es ist deshalb ein ideales Anwendungsgebiet für Tests, die auf TTCN-3 basieren. Andere Systemteile besitzen kontinuierliche Ein- und Ausgaben bzw. Signalverläufe. Für diese ist zu prüfen, inwieweit TTCN-3, das für diskrete Ein- und Ausgaben konzipiert ist, hierfür verwendet werden könnte. Es ist möglich, in TTCN-3 Funktionen zu programmieren, die mit kontinuierlichen Verläufen umgehen können. Diese Funktionen müssten dann vom Tester geschrieben werden. Angenehmer wäre es allerdings, die Verarbeitung kontinuierlicher Verläufe wäre in TTCN-3 bereits integriert. Würde ein solches TTCN-3 entwickelt werden, würde es aber mit zwei innerhalb des Forschungslabors entwickelten Tools konkurrieren, die von der DaimlerChrysler-Entwicklung für den Test kontinuierlicher Systeme bereits erfolgreich eingesetzt werden: *MTest* und *TPT* (siehe [48]).

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 19 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Zusammengefasst gesagt wird bei DaimlerChrysler momentan geprüft, ob die TT-Medal-Technologien auch für andere elektronische Anwendungsbereiche eingesetzt werden können, wobei dieser Einsatz sehr wahrscheinlich Erweiterungen an diesen Technologien notwendig machen würde. Darüber hinaus müsste auch nachgewiesen werden, dass der Einsatz dieser Technologien gewinnbringender ist als der Einsatz der bei DC bereits verwendeten Testwerkzeuge. Der Nutzen der TT-Medal-Technologien für Anwendungsbereiche außerhalb der Telematik ist somit noch zu ermitteln.

Der Nutzen von TTCN-3 für DaimlerChrysler würde weiter gesteigert werden können, wenn die Zulieferer ebenfalls TTCN-3 für die Tests der von ihnen entwickelten Komponenten verwenden würden. In diesem Falle würden Hersteller und Zulieferer im wahrsten Sinne des Wortes dieselbe Sprache sprechen und könnten dieselben Tools einsetzen. Auch Vorgaben und Abnahmen für/von Zulieferer-Tests wären für DaimlerChrysler dadurch einfacher realisierbar.

### 6.3 FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN

Es wurden sowohl die Sprache TTCN-3 als auch das *UML 2.0 Test Profil* mit Beteiligung der entsprechenden Standardisierungsgremien weiterentwickelt.

### 6.4 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN

Im Rahmen des TT-Medals wurde eine sehr große Zahl von Veröffentlichungen angefertigt, an einer Vielzahl war auch DC beteiligt. Besonders hervorheben möchten wir die aktive Beteiligung an verschiedenen Ausstellungen, in denen der Telematik-Demonstrator interessierten Fachleuten in Form von aufgebauten Geräten vorgestellt wurde. Dies betrifft die Ausstellungen im Rahmen der ITEA-Symposien 2004 und 2005 in Sevilla und Helsinki und anlässlich der *Software & Systems ,Quality Conference 2005'* in Düsseldorf. Unser Eindruck war, dass gerade diese Veröffentlichungen für unsere Arbeit im Rahmen von TT-Medal von größtem Nutzen waren, sowohl für die Verbreitung der TT-Medal-Ergebnisse als auch für unsere Arbeit an der Fallstudie.

Die DC Veröffentlichungen sind die Folgenden – für eine vollständige Liste von TT-Medal-Veröffentlichungen siehe Kapitel 10:

- [1] Automotive Case Study Description (3rd Release), TT-Medal Deliverable D4\_5\_DC, 30.6.05
- [2] Automotive Case Study Demonstrator Manual, TT-Medal Deliverable D4\_7\_DC, 30.6.05
- [3] DaimlerChrysler Requirements for TT-Medal Testing Methodology and Tooling, TT-Medal Deliverable D4\_1\_DC, 31.3.04
- [4] Consolidated Requirements (2nd Release), TT-Medal Deliverable D4\_2\_2, 31.1.05
- [5] Simon Burton, André Baresel, Ina Schieferdecker: Automated testing automotive telematics system using TTCN-3, 3rd Workshop on System Testing and Validation (SV04), Paris, December 2, 2004.
- [6] Zhen Ru Dai, Peter Deussen, Maik Busch, Laurette Lacmene Pianta, Titus Ngwengwen - Fraunhofer Fokus (D), Jens Herrmann & Michael Schmidt - DaimlerChrysler (D): Automatic test data generation for TTCN-3 with CTE. [http://deptinfo.cnam.fr/CMSL/icssea/icssea2005/icssea2005\\_us/](http://deptinfo.cnam.fr/CMSL/icssea/icssea2005/icssea2005_us/)
- [7] Automotive Case Study Evaluation, TT-Medal Deliverable D4\_8\_DC, 30.11.05
- [8] Automotive Case Study Description, TT-Medal Deliverable Z31, 18.11.04
- [9] Test Description of the Automotive Telematics Case Study, TT-Medal Deliverable Z32, 22.04.05
- [10] Consolidated Case Study Evaluation Report, TT-Medal Deliverable D4\_8, 17.1.06

## 7. FRAUNHOFER FOKUS, FÖRDERKENNZEICHEN 01ISC11A

### 7.1 ERREICHTE ERGEBNISSE

Fraunhofer FOKUS war Technologiepartner im Projekt und hat organisatorisch das deutsche Teilprojekt von TT-Medal (AP0) und die Entwicklung der Testmethodik (AP1) geleitet. Zudem hat es bei der Entwicklung der Lösungen und Werkzeuge in AP2 beigetragen. Dabei sind die folgenden wesentlichen Ergebnisse erarbeitet worden:

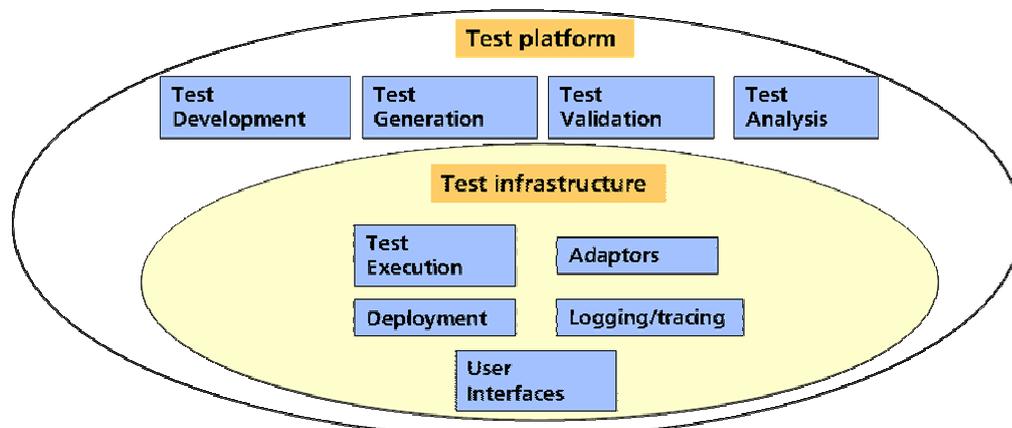
- Entwicklung der Konzepte und einer Terminologie für TTCN-3 basierte Testlösungen
- Entwicklung einer Methodik zur metamodel-basierten Entwicklung von TTCN-3 Werkzeugen und deren Integration in Eclipse
- Entwicklung einer Methodik zur Test Pattern-basierten Entwicklung von TTCN-3 Test Suites
- Entwicklung einer Methodik zur Nutzung des XML-nach-TTCN-3 Mappings für Telematik-Anwendungen basierend auf MOST, verbunden mit einer Weiterentwicklung des XML-nach-TTCN-3 Mappings
- Entwicklung einer Methodik zur Nutzung des IDL-nach-TTCN-3 Mappings für die entfernte Steuerung von Netzelementen, verbunden mit einer Weiterentwicklung des IDL-nach-TTCN-3 Mappings
- Entwicklung einer Methodik zur Testdatengenerierung für TTCN-3 Test Suites mittels CTE
- Entwicklung einer Methodik zum XML-basierten Tracing von TTCN-3 Testausführung und Definition einer Logging-Schnittstelle für TTCN-3 (in IDL und mit Abbildungen nach XML, C++ und Java)
- Entwicklung einer Abbildung ausgewählter Aspekte von U2TP nach TTCN-3 und deren Umsetzung in Eclipse
- Weiterentwicklung von TTCN-3
- Komplettierung von U2TP

#### 7.1.1 Thematische Ergebnisse

Die thematischen Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

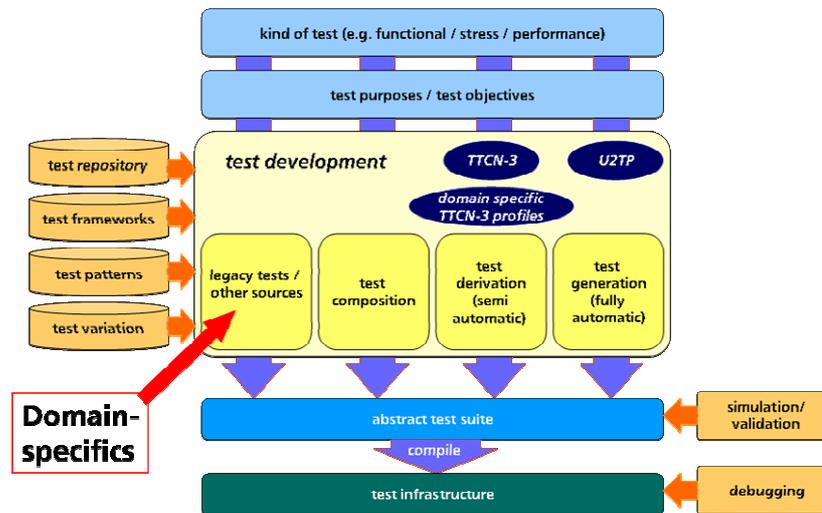
##### 7.1.1.1 Architekturen TTCN-3 basierte Testlösungen

Die Anforderungen an die Methoden und insbesondere die Werkzeuge wurden mit den Transferpartnern DaimlerChrysler und Nokia diskutiert, analysiert und in ihrer Priorität bewertet. Im Ergebnis entstand die im Folgenden abgebildete Architektur [55]:



**Bild 5: TT-Medal Architektur für TTCN-3 basierte Testlösungen**

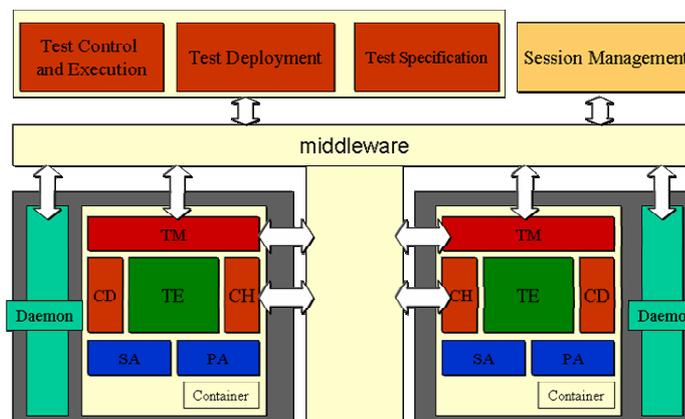
Diese Architektur wurde um die Spezifikation ausgewählter Plattform-Komponenten erweitert.



**Bild 6: TT-Medal Testplattform-Komponenten**

FOKUS hat sich bei den Testplattform-Komponenten auf Testkomponenten zur Entwicklung von Tests mit U2TP, zur Synthese von Tests mittels Testpattern, zur Generierung von Teststrukturen aus XML und IDL Schnittstellendefinitionen zur Erzeugung von Test Frameworks und zur Validierung von Test Suites mittels formaler Methoden konzentriert.

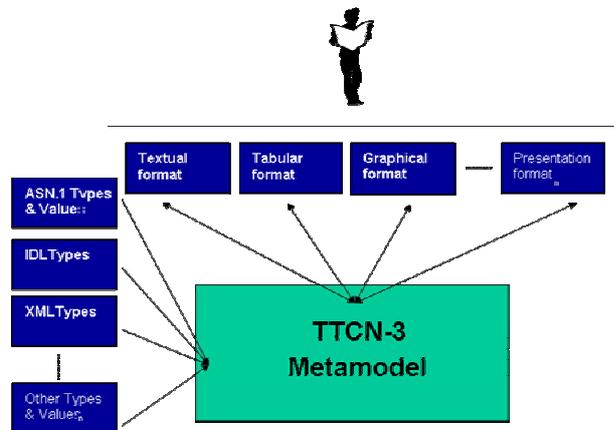
Zudem wurde für die Testinfrastruktur die verteilte Ausführung von TTCN-3 Tests mittels TCI analysiert [13], für eine CORBA-Komponenten-basierte Verteilung konzipiert und prototypisch realisiert [29].



**Bild 7: Eine CORBA-Komponenten-basierte verteilte TTCN-3 Testausführungsumgebung**

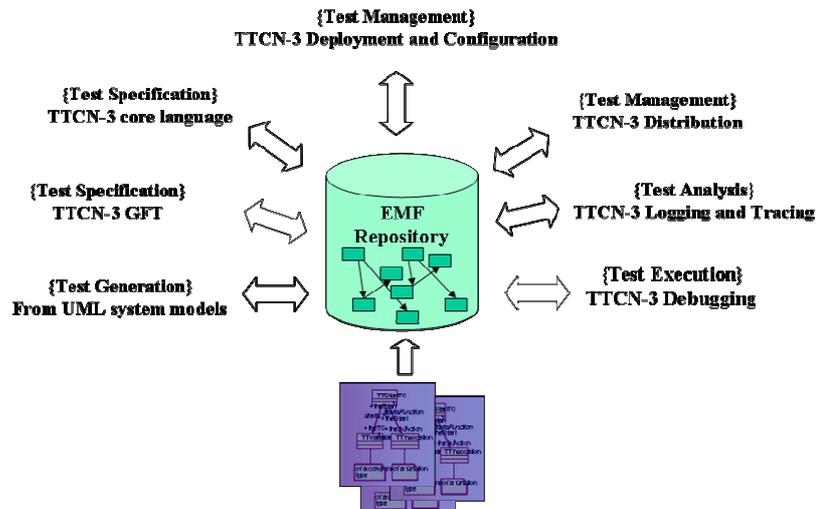
### 7.1.1.2 Metamodell-basierte Entwicklung von TTCN-3 Werkzeugen

Zur besseren Integration von Werkzeugen als auch zur Nutzung von metamodell-basierten Testgenerierungsansätzen wurde für TTCN-3 ein Metamodell [21] mit MOF (Meta Object Facility) entwickelt.



**Bild 8: Ein TTCN-3 MOF Metamodell**

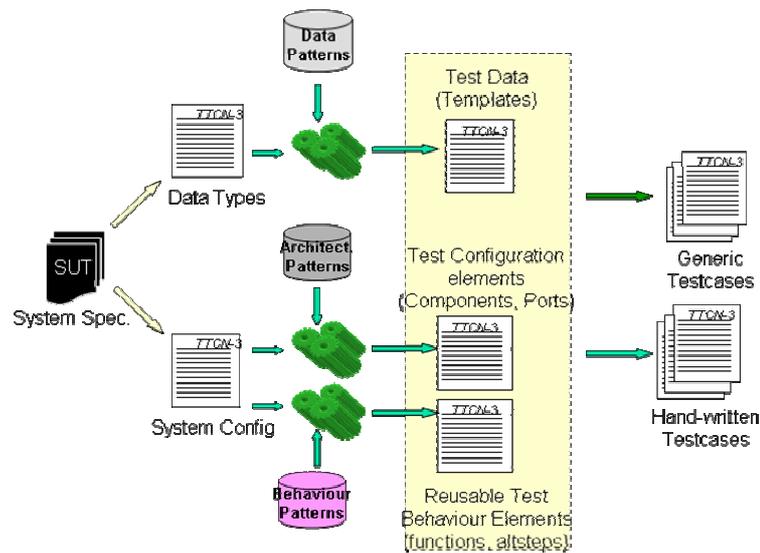
Darauf aufbauend wurde eine Architektur [31] für eine integrierte TTCN-3 Werkzeugumgebung basierend auf der Open Source Entwicklungsumgebung Eclipse erarbeitet.



**Bild 9: Eine Eclipse-basierte TTCN-3 IDE**

### 7.1.1.3 Test Pattern-basierte Entwicklung von TTCN-3 Test Suites

Zur Erhöhung der Wiederverwendung von Testartefakten wurden Konzepte und Methoden für Testmuster erarbeitet und Ansätze zur Definition und Nutzung von Testmustern in TTCN-3 entwickelt [20].

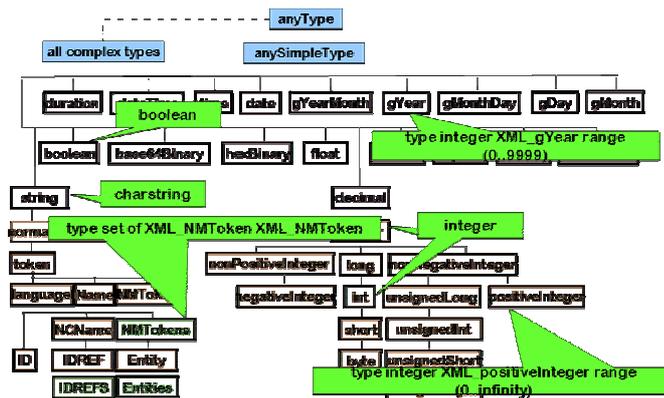


**Bild 10: Pattern-basierte Synthese von TTCN-3 Test Suites**

Es wurde ein Eclipse Plugin zur Generierung von TTCN-3 Testdaten unter Nutzung von daten- und verhaltensorientierten Test Pattern realisiert und erfolgreich bei der Entwicklung von TTCN-3 Test Suites genutzt.

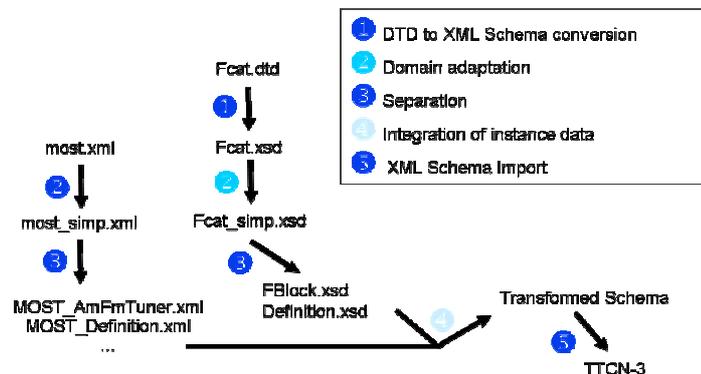
### 7.1.1.4 XML-nach-TTCN-3 Mappings für Telematik-Anwendungen

Um aus XML Systemschnittstellen automatisiert Teststrukturen in TTCN-3 generieren zu können, wurden Wege zur Einbettung von XML (Extended Markup Language) Schema Definitionen in TTCN-3 analysiert und prototypisch realisiert [26]. Damit wurde die Anbindung von TTCN-3 an externe Sprache um eine XML-Abbildung erweitert.



**Bild 11: Ausgewählte Abbildungen von XML Schema Typen auf TTCN-3 Typen**

Die XML nach TTCN-3 Übersetzung wurde für die DaimlerChrysler Fallstudie in TT-Medal auf den Automotive MOST Katalog angewandt und um neue Konzepte zur MOST spezifischen Generierung von Testtypen erweitert [5].

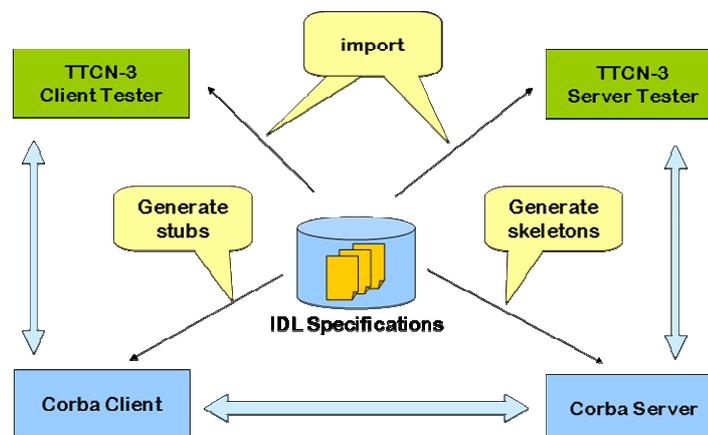


**Bild 12: Abbildung des MOST-Katalogs nach TTCN-3**

Die auf MOST spezialisierte XML nach TTCN-3 Übersetzung inkl. Preprocessor und Translator wurden implementiert und an DaimlerChrysler zur Nutzung in der Fallstudie übergeben [32].

### 7.1.1.5 IDL-nach-TTCN-3 Mappings zur Steuerung von Netzelementen

Analog zu den Arbeiten an einer XML nach TTCN-3 Abbildung, wurden für die Nokia Fallstudie zur entfernten Steuerung von Netzelementen über CORBA, Wege zur Einbettung von CORBA IDL (Common Object Request Broker Architecture Interface Definition Language) Definitionen in TTCN-3 analysiert und prototypisch realisiert.



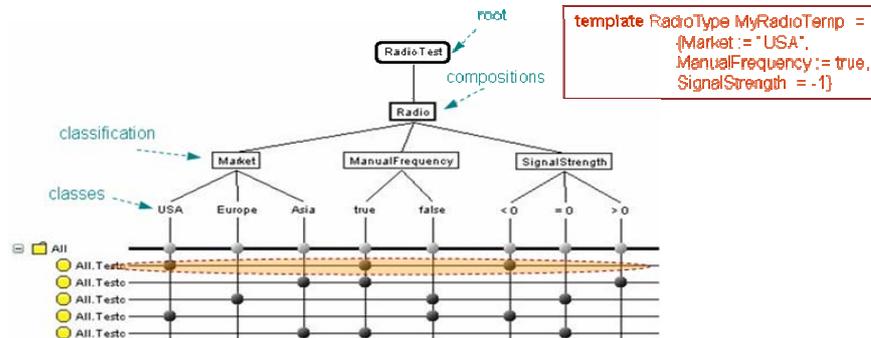
**Bild 13: Abbildung von CORBA Spezifikationen nach TTCN-3**

Während der Anwendung auf die Nokia Fallstudie wurden verschiedene Abbildungsregeln korrigiert bzw. erweitert [14]. Darauf aufbauend wurde ein IDL Plugin zzgl. einem generischen IDL Adaptor erarbeitet und in den TTCN-3 Compiler und das TTCN-3 Laufzeitsystem integriert.

Abschliessend wurden die korrigierten IDL nach TTCN-3 Regeln an ETSI übergeben.

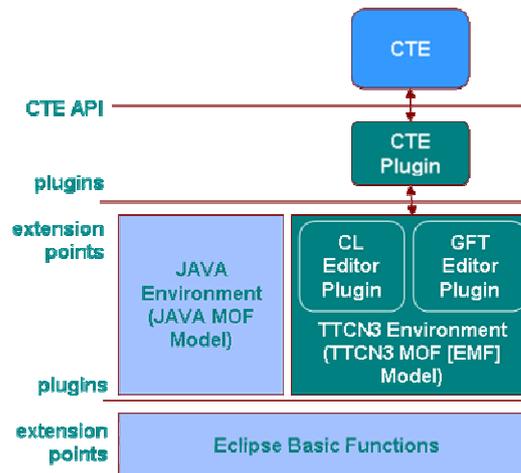
### 7.1.1.6 Testdatengenerierung für TTCN-3 Test Suiten mittels CTE

Um den Testdatenentwurf entlang der Klassifikationsbaummethode für TTCN-3 Entwicklungsumgebungen zu ermöglichen, wurde eine Anbindung des DaimlerChrysler Testdatengenerierungswerkzeuge (CTE – Classification Tree Editor) mit der TTCN-3 Werkzeugumgebung analysiert und konzipiert.



**Bild 14: Beispiel einer Verknüpfung von CTE mit TTCN-3**

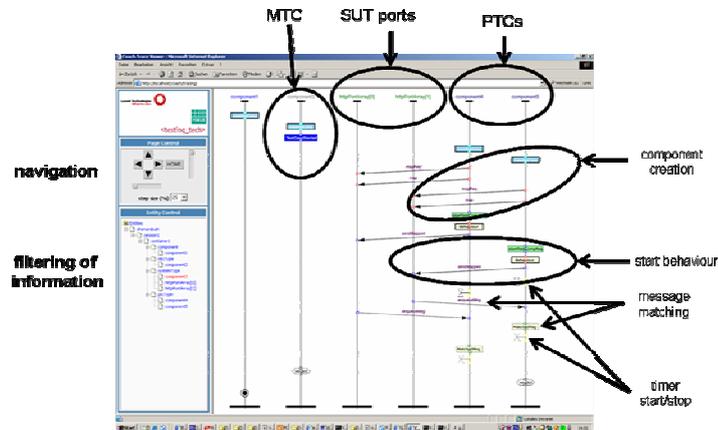
Im Ergebnis entstanden das type-, template- und testcase-orientierte Verfahren, das prototypisch in Eclipse realisiert wurde [36]. Nach der Komplettierung der CTE Integration in die TTCN-3 IDE wurde der Prototyp DaimlerChrysler zu Nutzung für die Fallstudie übergeben.



**Bild 15: Anbindung von CTE an die TTCN-3 IDE in Eclipse**

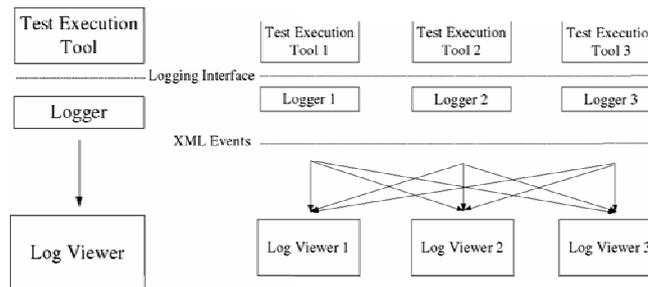
### 7.1.1.7 Definition einer Logging-Schnittstelle für TTCN-3

In Reflexion der Fallstudien deutscher und europäischer Projektpartner wurde der Bedarf einer einheitlichen Logging-Schnittstelle für TTCN-3 deutlich. Dazu wurden verschiedene Optionen evaluiert und beispielhaft mit Hilfe eines Open Source Tracers von Lucent realisiert [24].



**Bild 16: Graphische Visualisierung einer TTCN-3 Testausführung**

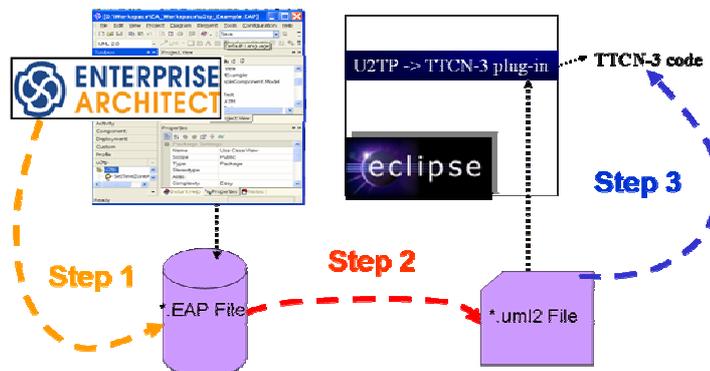
Im Ergebnis wurde ein Logging Interface für TTCN-3 konzipiert, mittels IDL und XML definiert und in die Standardisierung von TTCN-3 bei ETSI eingebracht.



**Bild 17: Prinzip der Logging-Schnittstelle TLI von TTCN-3**

### 7.1.1.8 Abbildung von U2TP nach TTCN-3

Um die TT-Medal Testplattform im Rahmen UML-basierter Entwicklungsprozesse nutzen zu können, wurde das UML 2.0 Testing Profile [19] zum Entwurf und zur Definition UML-basierter Testfälle genutzt. Diese U2TP Testspezifikationen werden [47] nach TTCN-3 übersetzt, um auf der im Projekt entwickelten Testplattform zur Ausführung zu kommen.



**Bild 18: Abbildung von U2TP nach TTCN-3**

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 27 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Das das für die Abbildung von U2TP nach TTCN-3 genutzte Eclipse UML 2.0 Plugin nicht graphisch ist, wurde zudem ein graphisches FrontEnd für U2TP konzipiert und prototypisch realisiert. Dazu wurde der Enterprise Architect von SparxSystem um U2TP Konzepte erweitert und mit der Eclipse-basierten TTCN-3 Entwicklungsumgebung verknüpft [42][45].

### **7.1.1.9 Weiterentwicklung von TTCN-3**

FOKUS hat im Rahmen der TTCN-3 Maintenance bei ETSI an der Fehlerbehebung und dem Ausbau des Standards weitergearbeitet. Insbesondere wurde neben dem Logging Interface an der Korrektur von TCI und an der Erweiterung von TTCN-3 um Konzepte für dynamische Templates gearbeitet.

Die Beiträge haben zur Definition einer weiteren Version v3.1.1 von TTCN-3 geführt, die im Sommer 2005 durch ETSI veröffentlicht wurde.

### **7.1.1.10 Komplettierung von U2TP**

Die Finalisierung des OMG UML Testing Profiles wurde im Rahmen der OMG FTF (Finalization Task Force) fortgesetzt. Dabei wurden offene Issues bearbeitet und in die finale Version des Standards eingebracht.

Das UML 2.0 Testing Profile [19] wurde von der OMG als Standard in 2005 angenommen.

### **7.1.1.11 Verbreitung der Ergebnisse**

Neben den Veröffentlichungen zu verschiedenen Konferenzen hat FOKUS daran gearbeitet, die Projektergebnisse über weitere und neue Wege zu verbreiten.

Dazu hat FOKUS die TTCN-3 User Conference initiiert und die erste gemeinsam mit ETSI im Sommer 2004 durchgeführt. Diese – und folgende Konferenzen – sind unter [www.ttcn-3.org](http://www.ttcn-3.org) zu finden.

Zudem war FOKUS aktiv bei der Gründung der ETSI Working Group on Patterns in Test Development und trägt mit seinen Arbeiten zur Definition von Test Pattern in TTCN-3 bei.

Des Weiteren hat FOKUS Tutorials und/oder Tracks zu TTCN-3 beim 3. Weltkongress zu Software-Qualität und zur ICSTest in Deutschland organisiert. Letzteres wird bei der ICSTest fortgeführt werden.

## **7.1.2 Organisatorische Arbeiten**

Durch den ZE wurde die Projektleitung des deutschen Teilprojektes von TT-Medal geleistet. Dazu wurden viermal jährlich Treffen der deutschen Projektpartner vorzubereiten und durchzuführen. Diese dienten zur Information über den Projektstand, zur Koordinierung der Arbeiten innerhalb des deutschen und des europäischen Konsortiums und zur Vorbereitung der ITEA Projekttreffen.

Auf ITEA Ebene war der ZE für das WP5 zur Ergebnisverbreitung und –verwertung zuständig. Dazu wurden die Präsentationen, Publikationen und Demonstrationen der Projektpartner auf internationalen und nationalen Veranstaltungen und Konferenzen geplant und koordiniert. Zudem wurden die halbjährlichen WP-Berichte an ITEA erstellt.

## **7.2 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN**

Der Nutzen für die beteiligte Arbeitsgruppe besteht bereits durch die grundsätzliche Stärkung und Verbreitung von Einsatzgebieten und Anwendungen der TTCN-3 Testtechnologie, da diese bei FOKUS einen Forschungsschwerpunkt einnimmt. Die Etablierung erlaubt unmittelbar eine Steigerung der

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 28 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Consulting- und Schulungsangebote. Entwickelte und aus der Projektarbeit noch abzuleitende Werkzeug-Prototypen sollen mit dem Ziel der Produktisierung und Lizenzierung an Softwarefirmen übertragen werden. Die erweiterte Werkzeugpalette der TTCN-3 Infrastruktur verbessert wiederum sofort die Effizienz und führt zur Kostensenkung bei FOKUS-Testentwicklungen im Kundenauftrag.

Neben dem unmittelbar gewinnorientierten Nutzen bilden die aus der methodischen Projektarbeit entstandene Dissertation und die angrenzenden Forschungsarbeiten (z.B. Anbindung vom UML Testprofil an TTCN-3) einen zukunftsweisenden wissenschaftlichen Fortschritt für FOKUS.

### 7.3 FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN

Während der Projektlaufzeit hat es neben den Ergebnissen der nationalen Projektpartner eine umfassende Verbreitung und Fortentwicklung der TTCN-3 Testtechnologie gegeben. An dieser Stelle gilt es insbesondere die Ergebnisse der TT-Medal Projektpartner in Finnland und Holland hervorzuheben, da diese Beiträge eng mit die deutschen Arbeiten abgestimmt und als Ergänzung verstanden werden müssen. Hierzu zählen zahlreiche methodische Arbeiten als auch weitere Fallstudien in der Telekommunikationsbranche und Anwendungen in Bereichen der Eisenbahn- und Finanzdomänen.

Außerhalb des ITEA Konsortiums von TT-Medal spielen die Standardisierungsarbeiten am ETSI und teilweise bei der OMG (UML Test profile) die zentrale Rolle im Umfeld des Projekts. Bei ETSI laufen weiterhin viele Ergebnisse zusammen: Weiterentwicklung der Beschreibungssprache (Core notation version 3.1) und ihrer Ergänzungen (IDL, XML mapping, TCI Erweiterung etc.). Hinzu kommt ein ständig wachsender Kreis von Anwendungen in den verschiedenen technischen Gremien, z.B. für WiMax (WiMax forum), IMS Call Control (3GPP), oder SIP interworking (ETSI TISPAN). Die verschiedenen Projektgruppen nutzen bereits gemeinsame Bibliotheken von TTCN-3 code (z.B. zur Kontrolle paralleler Testkomponenten) und schaffen damit die Grundlage eines universellen Testbeschreibungs Rahmenwerks.

Die Fortschritte bei parallelen Arbeiten finden sich sehr gut auf internationalen Test-Fachkonferenzen wieder, insbesondere bei den seit 2004 stattfindenden TTCN-3 Benutzerkonferenzen. Diese Veranstaltungen spiegeln sowohl die Verbreitung als auch die neuesten Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der TTCN-3 Testtechnologie wieder und eignen daher zum Informationsaustausch zwischen beteiligten Wissenschaftlern und industriellen Anwendern. Beispiele für Innovationen sind .Net compiler (TFH Berlin), Refactoring tools (Uni Göttingen), Testen Objekt-orientierter Software (Uni Köln) bzw. kontinuierlicher Systeme (DaimlerCrysler Berlin).

Im Projektzeitraum bestanden bei FOKUS Aktivitäten im Rahmen von ergänzenden Projekten. Hervorzuheben sind die Anwendungen von TTCN-3 an der OSA/Parlay Schnittstelle und die Aktivitäten einer firmenübergreifenden Interessengruppe zum IMS Benchmarking, sowie die Entwicklung einer freien TTCN-3 Ausführungsumgebung (EU Go4IT).

### 7.4 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN

- [11] W. Fokkink, M. Kärki, J.v.d. Pol, A. Rennoch, I. Schieferdecker, M. Sihvonen: Three Countries Offensive towards Testing with Advanced Languages, ERCIM News No. 58, April 2004.
- [12] Z.R. Dai, J. Grabowski, H. Neukirchen, H. Pals: From Design to Test -- Applied to a Roaming Algorithm for Bluetooth Devices, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004
- [13] T. Vassiliou-Gioles, G. Din, I. Schieferdecker: Execution of External Applications using TTCN-3, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004
- [14] H. Batteram, W. Hellenthal, W. Romijn, A. Hoffmann, A. Rennoch, A. Vouffo: Implementation of an Open Source Toolset for CCM Components and Systems Testing, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 29 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [15] M. Born, H.-G. Gross, P. Santos, I. Schieferdecker: Model-Driven Development and Testing - A Case Study, First European Workshop on Model Driven Architecture with Emphasis on Industrial Application, Enschede, The Netherlands, March 2004
- [16] Z.R. Dai, I. Schieferdecker: Time Concepts for UML 2.0 Based Testing, Workshop on the usage of the UML profile for Scheduling, Performance and Time (SIVOES 2004), hold in conjunction with the 10TH IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS 2004), Toronto, Canada, June 2004
- [17] I. Schieferdecker: The Testing and Test Control Notation TTCN-3, GI-Tagung TAV (Test, Analyse und Verifikation von Software), Berlin, Germany, June 2004
- [18] I. Schieferdecker: Eine TTCN-3 Testplattform für reaktive Systeme, Eröffnungskonferenz zur Softwareoffensive, Berlin, Germany, July 2004
- [19] P. Baker, Z.R. Dai, J. Grabowski, Ø. Haugen, S. Lucio, E. Samuelsson, I. Schieferdecker, and C. Williams : The UML 2.0 Testing Profile, Conquest 2004, Nuremberg, Germany, Sep 2004
- [20] A. Vouffo-Feudjio and I. Schieferdecker : Test Pattern with TTCN-3, FATES 2004, Linz, Austria, Oct. 2004
- [21] I. Schieferdecker, G. Din: A Metamodel for TTCN-3, ITM 2004, Toledo, Spain, Oct. 2004
- [22] I. Schieferdecker: The Testing and Test Control Notation TTCN-3, TIMNA 2004, Beijing, China, Oct. 2004
- [23] I. Schieferdecker: The UML 2.0 Testing Profile, TIMNA 2004, Beijing, China, Oct. 2004
- [24] G. Din, J. Zander, S. Pietsch: Test execution logging and visualization techniques, Software & Systems Engineering and their Applications (ICSSEA04), Paris (F), 38321
- [25] M. Born, I. Schieferdecker, O. Kath and C. Hirai: Combining System Development and System Test in a Model-centric Approach, RISE 2004, Luxembourg, Luxembourg, Nov 2004
- [26] D. Jeaca, G. Din, A. Rennoch: Importing XMLSchema datatypes into TTCN-3, Systems Testing and Validation Workshop 2004 (SV'04), Paris (F), Dec. 2004
- [27] S. Burton, A. Baresel, I. Schieferdecker: Automated testing of automotive telematics systems using TTCN-3, 3rd Workshop on Systems Testing and Validation, Paris, France, Dec. 2004
- [28] I. Schieferdecker: Integrated System and Test Development with the UML 2.0 Testing Profile, EuroStar 2004, Cologne, Germany, Dec. 2004
- [29] I. Schieferdecker, G. Din, D. Apostolidis: Distributed Functional and Load tests for Web services, -STTT Journal, Heidelberg, Germany, Jan 2005
- [30] J. Zander, Z.R. Dai, I. Schieferdecker, G. Din: From U2TP Models to Executable Tests with TTCN-3 - An Approach to Model Driven Testing, IFIP 17th Intern. Conf. on Testing Communicating Systems - TestCom 2005, Montreal/Canada, June 2005
- [31] I. Schieferdecker, A. Rennoch: Industrial use of TTCN-3 - Scope and Limits, International Conference on Software Tests, ICSTEST 2005, Düsseldorf/Germany, 38443
- [32] I. Schieferdecker, A. Rennoch, E. Höfig: TTCN-3 – A Test Technology for the Automotive Domain, Simulation und Test in der Funktions- und Softwareentwicklung für die Automobilelektronik, Berlin/Germany, March 2005

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 30 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [33] S. Blom, N. Ioustinova, J. van de Pol, A. Rennoch, and N. Sidorova: Simulated time for testing railway interlockings with TTCN-3, 5th International Workshop on Formal Approaches to Testing of Software, FATES 2005, Edinburg/UK, July 2005
- [34] I. Schieferdecker: The UML 2.0 Test Profile as a Basis for Integrated System and Test Development, GI Jahrestagung, Informatik 2005, Bonn, Germany, Sep 2005
- [35] A. Vouffo Feudjio: Towards Pattern-Oriented Test Development based on Abstract Test Notations, 2nd European Symposium on Verification and Validation of Software System and Testing in Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, Sep 2005
- [36] Z.R. Dai, P. H. Deussen, M. Busch, L. Pianta Lacmene, T. Ngwangwen, J. Herrmann, M. Schmidt: Automatic Test Data Generation for TTCN-3 using CTE, 18th Intern. Conference "Software & Systems Engineering and their Applications" (ICSSEA 2005), Paris, France, Nov-Dec 2005
- [37] D. Apostolidis, D. Tepelmann, A. Rennoch, A. Vouffo: Use of TTCN-3 for Development of SIGTRAN Tests, 18th Intern. Conference "Software & Systems Engineering and their Applications" (ICSSEA 2005), Paris, France, Nov-Dec 2005
- [38] I. Schieferdecker, G. Din: TTCN-3 Technology, Software Competence Web Site, Kaiserslautern, Germany, Aug 2005
- [39] TT-Medal consortium: Future Vision on Automated Testing, White Paper, Online, Sep 2005
- [40] I. Schieferdecker, J. Grossmann: Testing of Embedded Control Systems with Continuous Signals, 2nd Workshop on Modelling of Embedded Systems, Dagstuhl, Germany, Jan 2006
- [41] D. Vega, C. Rentea, G. Din: An Approach of Model-Based Testing with TTCN-3: Testing of Web Services, 4th Intern. Workshop on Systems Testing and Validation, Potsdam, Germany, March 2006
- [42] D. Serbanescu: Implementation and Application of a U2TP FrontEnd, 4th Intern. Workshop on Systems Testing and Validation, Potsdam, Germany, March 2006
- [43] C. Tudorache: Testing of DHCP v6 with TTCN-3, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [44] S. Tolea: Load Test Distribution Algorithms, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [45] D.A. Serbanescu: Graphical Front-End for UML 2.0 Testing Profile, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [46] C. Rentea: Testing of Web-based Applications with TTCN-3, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [47] Justyna Zander: Generierung von ausführbaren Tests von UML 2.0 Test Spezifikationen, Diplomarbeit, TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, Februar 2005
- [48] W. Kroll: Entwicklung eines Editors für GFT-Diagramme innerhalb der Eclipse-Plattform. Diplomarbeit, TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, October 2004.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 31 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [49] D.-E. Vega: Integration of TTCN3 Tools into Eclipse Hyades, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2004 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [50] C. Doras: TTCN-3 Debugger. MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2004 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [51] D.M. Jeaca: XML Schema to TTCN-3 Mapping: Importing XMLSchema datatypes into TTCN-3, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2004 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [52] J. R. Calame: Test von Softwareagenten und Interagentenkonnektoren. Diplomarbeit, Universität Potsdam, Institut für Informatik April 2004 (in cooperation with Prof. Erika Horn).
- [53] D. Apostolidis: Handling of Test Components in Distributed Test Setups. Diplomarbeit, TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, März 2004.
- [54] Z.R.Dai: An Approach to Model-Driven Testing – Functional and Real-Time Testing with UML 2.0, U2TP and TTCN-3, Eingereichte Promotion, Fakultät IV der Technischen Universität Berlin, Juni 2006.

Die Projektergebnisse von FOKUS wurden in den folgenden Projektdokumenten fixiert:

- [55] ITEA D1.1.1: FOKUS contributions on test infrastructure elements and on terminology, 2004
- [56] ITEA D1.2.3: FOKUS contribution on test validation with T3CN, 2005
- [57] ITEA D1.3.1: FOKUS contribution on TTCN-3 test pattern, 2004/2005
- [58] ITEA D1.4.1: FOKUS contributions on test system specification with UML 2.0, U2TP, and TTCN-3, 2004
- [59] ITEA D2.1.1: FOKUS contributions to test system adaptation for Corba, 2004/2005
- [60] ITEA D2.2.1: FOKUS chapter on test derivation, 2004
- [61] ITEA D2.3.1: FOKUS contribution on integration TTCN-3 in CTE, 2005
- [62] ITEA D2.4.1: FOKUS contribution on U2TP and its transformation to TTCN-3, 2005
- [63] ITEA D2.5.1: FOKUS contribution on TLI definition, 2005
- [64] ITEA D4.1: FOKUS requirements specification, 2003

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 32 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## 8. NOKIA, FÖRDERKENNZEICHEN 01ISC11D

Im Rahmen des Projektes hat Nokia als ZE die Eignung der entwickelten Testmethodik für den industriellen Einsatz, insbesondere im Mobilkommunikationsbereich, zu überprüfen. Dabei hatte der ZE zu der Architektur der Testplattform, der Definition der Methoden, und der Entwicklung von Schnittstellen und Komponenten der Testplattform beizutragen. Ein wesentlicher Teil der Arbeit lag in der Durchführung von Fallstudien um zum einen Anforderungen an die Testplattform zu erarbeiten als auch die Eignung der Testplattform und –methodik für die industrielle Eignung zu überprüfen.

Zusätzlich zu den eigentlichen Projektaufgaben wurde vom ZE die Projektleitung des ITEA-Projektes TT-Medal durchgeführt.

### 8.1 ERREICHTE ERGEBNISSE

Ausser der thematischen Arbeit war der ZE auch für die Projektleitung des ITEA-Projektes verantwortlich. Die thematischen Ergebnisse sind in Abschnitt 8.1.1 und die Ergebnisse der Projektleitung in Abschnitt 8.1.2 dargestellt.

#### 8.1.1 Thematische Ergebnisse

Die inhaltlichen Beiträge des ZE zum Projekt waren wesentlich durch die Durchführung zweier Fallstudien – SMLC Tester und CORBA Tester – bestimmt. Die erzielten Ergebnisse sind teilweise spezifisch für die Fallstudien, teilweise übergreifen sie aber auch die Fallstudien.

Fallstudienübergreifende Ergebnisse wurden in den folgenden Bereichen erzielt:

- Definition der Anforderungen an die Testplattform
- TTCN-3 Profil für die Mobilkommunikation
- Definition einer standardisierten logging Schnittstelle
- Vorschlag zur Unterstützung simulierter Zeit
- Bewertung der Eignung von TTCN-3 für große Systeme
- Automatisierte CodecTests

Diese Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt. Die fallstudien-spezifischen Ergebnisse werden in den Abschnitten 8.1.1.7 und 8.1.1.8 dargestellt.

##### 8.1.1.1 Definition der Anforderungen an die Testplattform

Die beiden im Projekt verwendeten Fallstudien sind reale Fallstudien die in Zusammenarbeit mit Nokia Networks entstanden sind. Daher sind sie geeignet um aus ihnen wesentliche Anforderungen abzuleiten.

Die abgeleiteten Anforderungen für die Testplattform fokussierten auf die Verarbeitung der Testspezifikation durch die Werkzeuge. Anforderungen an Testmethoden spielten eine untergeordnete Rolle.

Die erarbeiteten Anforderungen [66] lassen sich in 3 Gruppen einteilen:

**Standardkonformes Verarbeiten von TTCN-3:** Entsprechend der Sprachdefinition gültiger TTCN-3 code ist durch die Testwerkzeuge zu akzeptieren und auszuführen. Bei der Ausführung sind die standardisierten Schnittstellen TCI (TTCN-3 Runtime Interface) und TRI (TTCN-3 Runtime Interface zu verwenden.

**Unterstützung von ASN.1:** Nachrichtendefinitionen in ASN.1 sind durch die Werkzeuge zu verarbeiten. Die Anbindung von ASN.1 Kodierungs- und Dekodierungsfunktionen in das Werkzeug ist zu gewährleisten.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 33 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

**Unterstützung von IDL:** Schnittstellendefinitionen in IDL sind durch die Werkzeuge zu verarbeiten. Dies beinhaltet die explizite Konvertierung von IDL in TTCN-3 Definitionen. Um Systeme zu testen, deren Schnittstelle mithilfe von IDL vorliegt, soll die Laufzeitanbindung des TTCN-3 Ausführungswerkzeuges die Anbindung an einen CORBA ORB ermöglichen.

Die Anforderungen von Nokia wurden mit den Anforderungen anderer Projektpartner (DaimlerChrysler, LogicaCMG) abgeglichen und in einem konsolidierten Anforderungsdokument [67] festgehalten.

Die Anforderungen wurden für projektinterne Zwecke definiert. Daher wurden sie nicht nach außen publiziert.

### **8.1.1.2 TTCN-3 Profile für die Mobilkommunikation**

TTCN-3 ist eine reichhaltige Spezifikationssprache für Testfälle. Es stellt sich die Frage ob alle zur Verfügung stehenden Sprachkonstrukte für Testsysteme der Mobilkommunikation genutzt werden können. Die Einschränkung auf eine Teilmenge der Sprache verringert den Lernaufwand für die Mitarbeiter und erlaubt gleichzeitig die Optimierung der Werkzeuge und Methoden auf diese Teilmenge. Trotz der Reichhaltigkeit der Sprache muss aber auch gefragt werden ob alle notwendigen Beschreibungsmittel durch die Sprache zur Verfügung gestellt werden.

Die reichhaltigen Erfahrungen des ZE mit TTCN-3 Testsuiten sowohl aus den Fallstudien als auch aus anderen Projekten erlauben den Schluss, dass der Großteil der von TTCN-3 zur Verfügung gestellten Beschreibungsmittel auch tatsächlich eingesetzt wird. Sprachmittel, die nicht eingesetzt werden sollten sind zum einen die `label/goto` Anweisungen. Diese Anweisungen werden nur benötigt wenn TTCN-2 Spezifikationen mit entsprechenden `label/goto` Anweisungen in TTCN-3 Spezifikationen übersetzt werden. In neu erstellten TTCN-3 Spezifikationen sind `label/goto` Anweisungen nicht nötig. Diese beiden Anweisungen sollten vermieden werden um die Lesbarkeit der Spezifikationen zu erhöhen, siehe auch [39].

Ein zweites Sprachmittel das vermieden werden sollte ist die `interleave` Anweisung. Diese beschreibt die verschränkte Ausführung mehrerer Verhalten auf einer Testkomponente. Um überhaupt eine sinnvolle und verständliche Bedeutung der `interleave` Anweisung angeben zu können, gibt es gravierende Einschränkungen an die Verhalten, die ineinander verschränkt werden. Letztendlich können in der Praxis dadurch nur noch einfache Fälle beschrieben werden. Diese einfachen Fälle können jedoch auch mit anderen Sprachmitteln beschrieben werden, die `interleave` Anweisung wird überflüssig.

Auf jeden Fall benötigt wird die Möglichkeit, Definitionen aus anderen Beschreibungstechniken zu importieren. Dies ist offensichtlich für Definitionen in ASN.1, da viele Nachrichtendefinitionen in Mobilkommunikationssystemen der zweiten und dritten Generation in ASN.1 beschrieben sind. Der Import von IDL Definitionen ist ebenfalls wichtig. Im Bereich der Mobilkommunikation ist die relevant für Netzwerkmanagementsysteme aber auch für Anwendungen, die Datenträger über die Luftschnittstelle verwenden.

Zum Projektbeginn lag die erste Fassung einer IDL nach TTCN-3 Abbildung vor **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Diese Abbildung wurde auf die IDL Definition der CORBA Fallstudie angewendet. Dabei wurden einige Unklarheiten in der Abbildung, aber auch Fehler in den TTCN-3 Werkzeugen gefunden. Zur Behebung der Unklarheiten in der Abbildung wurden die entsprechenden Change Requests (CR) für die Standards verfasst. Die Fehler in den Werkzeugen wurden an TestingTechnologies als Werkzeugentwickler weitergeleitet und dort behoben.

Diese Arbeiten haben es letztendlich ermöglicht, die realen IDL Definition aus der CORBA Fallstudie mit den Werkzeugen von TestingTechnologies in einer standardkonformen Weise in TTCN-3 Testspezifikationen zu integrieren. Die Arbeiten fanden in enger Zusammenarbeit mit TestingTechnologies und FOKUS statt.

Diese Ergebnisse sind in [40] festgehalten. Zu wesentlichen Teilen sind sie auch in Verbesserungen des Standards und der Werkzeuge eingeflossen.

### **8.1.1.3 Definition einer Standardisierten Logging Schnittstelle**

Bei der Ausführung von Testfällen ist ausser dem Testurteil der Verlauf des Testfalles interessant. Nur Information über den Verlauf ermöglicht es, das Auftreten eines Fehlers genauer zu bestimmen. Zu diesem

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 34 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Zweck erzeugen TTCN-3 Werkzeuge ein log des Testfallablaufs. Je nach TTCN-3 Werkzeug enthalten diese logs unterschiedliche Informationen in unterschiedlichen Detaillierungsgraden. Auch das Format, in dem logs abgelegt werden, variiert von TTCN-3 Werkzeug zur TTCN-3 Werkzeug. Dies erschwert den Einsatz von weitergehenden Werkzeugen, z.B. zur Visualisierung von logs, die ebensolche logs als Eingabe verwenden.

Beim ZE wurde schon vor Beginn des Projektes eine Erweiterung des TTCN-3 Werkzeuges TauTester von Telelogic entwickelt. Diese Erweiterung speichert die Abläufe von TTCN-3 Testfällen in einem XML-basierten Dateiformat ab. Dieses XML Dateiformat wurde in Zusammenarbeit mit FOKUS mit dem in dem Werkzeug TTthree verwendeten Dateiformat abgeglichen. Dabei wurden zuerst die Menge der Ereignisse festgelegt, die überhaupt in logs auftreten können. Darauf aufbauend wurde die allgemeine Information festgelegt, die in jedem log Ereignis auftreten können. Dies sind zum Beispiel der Zeitpunkt zu dem das Ereignis auftrat, die Testkomponente auf der das Ereignis auftrat, und die Datei in der der entsprechende Testcode enthalten ist. Dann wurde für jeden einzelnen Ereignistyp festgelegt, welche Informationen im speziellen in einem Ereignis dieses Typs festgehalten werden können. Die Spanne dieser Information reicht von sehr einfachen Informationen wie dem Bezeichner einer neu erzeugten parallelen Testkomponente bis zu sehr komplexen Information wie dem Unterschied zwischen einer erwarteten und der tatsächlich empfangenen Nachricht. Letztendlich konnte eine Menge an Informationen und ein entsprechendes XML Schema definiert werden, die es verschiedenen Werkzeugen erlaubt logs in einem einheitlichen Format zu erzeugen, ohne jedoch die Werkzeuge in ihrer Implementierung einzuschränken.

Die Resultate dieses Abgleichungsprozesses wurden dann von FOKUS in die Standardisierung für das TCI-TLI (TTCN-3 Logging Interface) und das entsprechende XML mapping der Schnittstelle eingebracht werden, siehe edition 3 von [35].

#### **8.1.1.4 Vorschlag zur Unterstützung simulierter Zeit**

TTCN-3 als Testspezifikationssprache erlaubt es, zeitliche Eigenschaften mithilfe von Timern auszudrücken. Dabei wird in TTCN-3 zwar festgelegt, dass die Zeiteinheit Sekunden sind, es wird aber nicht festgelegt wie das Verhältnis von Sekunden in TTCN-3 zu Sekunden in Echtzeit ist.

Es hat sich in der Praxis herausgestellt, dass sich TTCN-3 Zeit ohne Probleme 1:1, oder skaliert mit einem festen Faktor, auf Echtzeit übertragen lässt. Eine Abbildung auf diskrete, simulierte Zeit ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Dies ist keine Schwäche der Sprache TTCN-3, diese abstrahiert ja gerade von der verwendeten Abbildung der Zeit. Es ist jedoch eine Schwäche der standardisierten Schnittstellen, hier des TCI. Das TCI erlaubt es zwar, Nachrichten und andere Daten zwischen parallelen Testkomponenten auszutauschen. Es erlaubt aber nicht festzustellen, ob noch weitere Nachrichten abzuarbeiten sind und ob eine Testkomponente dazu in der Lage ist. Da simulierte Zeit nur fortgeschrieben wird wenn keine weiteren Nachrichten oder abgelaufenen Timer zu verarbeiten sind, reicht das TCI nicht aus um die entsprechende Funktionalität zu implementieren.

Zu Beginn der Antragsstellung lag beim ZE eine Implementierung diskreter, simulierter Zeit für TTCN-3 Testsysteme unter Zuhilfenahme proprietärer Interfaces von Telelogic vor. Der europäische TT-Medal Partner CWI hat im Verlauf des Projektes eine Methode entwickelt, mit der die Aktivität von parallelen Testkomponenten durch spezielle Beobachtungskomponenten in TTCN-3 selbst festgestellt werden kann. CWI hat diese Methode weiter ausgebaut um diskrete Simulationszeit als Zeitbegriff für TTCN-3 zu implementieren.

Der ZE und CWI haben die jeweiligen Ansätze verglichen. Dabei wurde festgestellt, welche Schnittstellenfunktionalität im TCI fehlt. Eine entsprechende Ergänzung des TCI Standard wurde erarbeitet und als Change Request bei ETSI-MTS eingereicht. Zum Abschluss des Projektes lag noch keine Stellungnahme oder Entscheidung über die Annahme des CR vor.

Es wurde eine abstrakte Implementierung unter Zuhilfenahme dieser erweiterten Schnittstelle erarbeitet. In dieser Implementierung führt jede parallele Testkomponente eine Reihe von Zählern mit. Die Zähler kumulieren dabei die Anzahl gesendeter, empfangener, und verarbeiteter Nachrichten. Die erweiterte Schnittstelle erlaubt den Zugriff auf die entsprechenden Zähler der einzelnen parallelen Testkomponenten. Mithilfe dieser Information konnte der verteilte Terminierungsalgorithmus von Dijkstra [41] so erweitert werden, dass Inaktivität von parallelen Testkomponenten sicher festgestellt werden kann. Damit kann dann

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 35 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

auch der Zeitpunkt sicher festgestellt werden, zu dem die diskrete Simulationszeit weitergeschrieben werden kann. Der abstrakte Algorithmus wird in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** publiziert werden.

### 8.1.1.5 Bewertung der Eignung von TTCN-3 für große Systeme

TTCN-3 Testspezifikationen können sehr umfangreich sein. Innerhalb der einzelnen Testfälle werden in den allermeisten Fällen nur wenige parallele Testkomponenten verwendet. Eine Ausnahme bildet das Performanztesten, bei dem zumeist eine große Zahl paralleler Testkomponenten verwendet wird. Zum Zeitpunkt der Projektdurchführung lagen aber noch keine Erfahrungen des ZE für die Verwendung von TTCN-3 für Performanztesten vor.

Einige Standardprobleme der verteilten Programmierung wurden deshalb mithilfe von TTCN-3 implementiert. Diese Implementierungen waren unabhängig von realen Testspezifikationen. Ziel war es, die Grenzen von TTCN-3 als Sprache auszuloten und nötige Erweiterungen für zukünftige Einsatzbereiche – wie Performanztesten – zu erkennen. 4 Probleme der verteilten Programmierung, die einen Bezug zum Testen haben, wurden untersucht.

**Broadcast:** Welche Unterstützung bietet TTCN-3 um Daten gleichzeitig an mehrere parallele Testkomponenten zu verschicken.

**Zugang zu gemeinsamen Daten:** Wie können mehrere Testkomponenten konsistenten Zugang zu gemeinsamen Daten haben.

**Synchronisation:** Werden mehrere parallele Testkomponenten in einem Testfall verwendet, so kann deren jeweiliges Verhalten zumeist als eine Folge von Phasen beschrieben werden. Die Übergänge zwischen den Phasen sollten aber synchron erfolgen.

**Eindeutige Bezeichner:** Innerhalb eines Testfalles kann es nötig werden, dass alle Testkomponenten eindeutige Bezeichner, z.B. für Transaktionen, verwenden.

Um diese Probleme in TTCN-3 zu lösen, wurde in allen Fällen eine client/server Architektur verwendet: Eine parallele Testkomponente stellt einen entsprechenden Dienst den anderen Testkomponenten zur Verfügung.

Die Erzeugung eindeutiger Bezeichner konnte ohne Probleme in TTCN-3 implementiert werden. Die Synchronisierung mehrerer Testkomponenten ist ebenfalls ohne große Probleme möglich. Dabei ist jedoch für jede Folge von Phasen gleichartiger Code zu schreiben, da TTCN-3 keine Sprachmittel zur Verfügung stellt um eine Folge von Funktionen auf einer Testkomponenten in einem einzelnen Kommando zu starten. Für die beiden anderen Probleme liegt die Hauptschwierigkeit darin, bestimmte Datentypen offenzulassen, z.B. den Typ der Nachrichten die via broadcast verteilt werden soll. Der Typ `anytype` in TTCN-3 ist nicht geeignet, da er auf die Typen beschränkt ist, die in einem TTCN-3 modul bekannt sind. Da die Lösungen zu den oben angegebenen Problemen als allgemeine Bibliotheken aufgefasst werden können, können sie aber keine Typen aus ihrem Verwendungskontext importieren und in der Folge kann der Type `anytype` nicht verwendet werden.

Diese Probleme wurden in die fortlaufende Verbesserung von TTCN-3 eingebracht. Die zuletzt verabschiedete edition 3 des Standards enthält explizite Konstrukte für broadcast und multicast. Die Synchronisierung mehrerer Komponente wird in edition 3 dadurch erleichtert, dass auf einer Testkomponente sukzessive mehrere Funktionen nacheinander gestartet werden können.

Die obigen Probleme und Lösungen wurden als Beitrag zu dem SV'04 workshop veröffentlicht **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Eine erweiterte Fassung einschliesslich des TTCN-3 codes ist **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Projektintern wurden die Ergebnisse in [40] festgehalten.

### 8.1.1.6 Automatisierte Codec Tests

Die Daten zwischen einem Testsystem und dem getesteten System werden in einem kodierten Format ausgetauscht. Je nach Anwendung kann dabei auf Standardkodierungen zurückgegriffen werden oder es ist nötig, die (De-)Kodierungsfunktionen neu zu entwickeln. Im zweiten Fall sind diese Funktionen zu testen.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 36 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Dieses Testen folgt einem sehr regulären Schema, der wesentliche Aufwand besteht im Bestimmen der Testdaten.

Im Rahmen des Projektes wurde eine automatische Testdatengenerierung implementiert. Die Ausführung der Testfälle mit den generierten Daten erfolgt ebenfalls automatisch. Ausgangspunkt für die Testdatengenerierung sind die Typdefinitionen der Nachrichten. Entsprechend der Art der Typen werden verschiedene Testdaten generiert. Dabei werden klassische Verfahren wie die Betrachtung von Intervallgrenzen verwendet. Es werden aber auch Testdaten generiert, die typische Kodierungsfehler betrachten. Hier sind z.B. Werte interessant die in ihrer Kodierung in der Nähe einer 8bit Grenze liegen. Bei strukturierten Werten sind Kombinationen der Teilwerte zu betrachten. Aufgrund der kombinatorischen Explosion führt dies jedoch schnell zu einer nicht mehr handhabbaren Menge von Testdaten. Es wurden verschiedene Strategien implementiert um diese kombinatorische Explosion zu vermeiden. Weitere Heuristiken wurden entwickelt, um die Menge der Testdaten noch weiter zu beschränken, so dass die Menge der Testdaten eine lineare Funktion in der Anzahl der Typen ist. Eine Reduzierung der Testdaten birgt die Gefahr, dass weniger Fehler erkannt werden können. Die Heuristiken wurden so entwickelt, dass typische Fehler in (De-) Kodierungsfunktionen weiterhin erkannt werden.

Diese theoretischen Überlegungen wurden als Erweiterung des Werkzeuges TTthree implementiert und auf reale Typdefinitionen des DHCP Protokolls angewendet **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Dabei wurden die verschiedenen Strategien in Bezug auf die Menge der erzeugten Testdaten und die Erkennungsrate von Fehlern untersucht. Es hat sich gezeigt, dass es zwingend notwendig ist, die kombinatorische Explosion zu vermeiden.

### 8.1.1.7 SMLC Fallstudie

Die SMLC Fallstudie ist in ihren Grundzügen eine klassische Konformitätstestspezifikation. Die Implementierung eines bestimmten Protokolls, hier des Remote Positioning Protocol (RPP), innerhalb des getesteten Systems soll getestet werden. Das getestete System ist ein Netzwerkelement zur Unterstützung ortsbezogener Dienste: Serving Mobile Location Center (SMLC). Die Definition der Protokollnachrichten lag in ASN.1 vor. Die Testfälle sind funktionale Tests. Über diese grundlegenden Testfälle hinaus gibt es auch Testfälle für das Performanztesten. Diese eignen sich insbesondere auch, um die Leistungsfähigkeit des Laufzeitsystems des verwendeten TTCN-3 Werkzeuges zu bestimmen.

Eine Übersicht über die Testkonfiguration ist in Abbildung 1 gegeben. Das getestete System ist das SMLC, es enthält eine Implementierung des RPP Protokolls. Das Testsystem übernimmt in den Tests die Rolle des Position Determination Entity (PDE). Der Base Station Controller (BSC) spielt in den ausgeführten Testfällen keine Rolle. Lb und Lbis sind die in den Standards verwendeten Namen der Schnittstellen. Zwischen Testsystem und der RPP Implementierung werden Nachrichten des Remote Positioning Protocols (RPP) ausgetauscht. Zum Transport der Nachrichten wird TCP über Ipv4 verwendet.

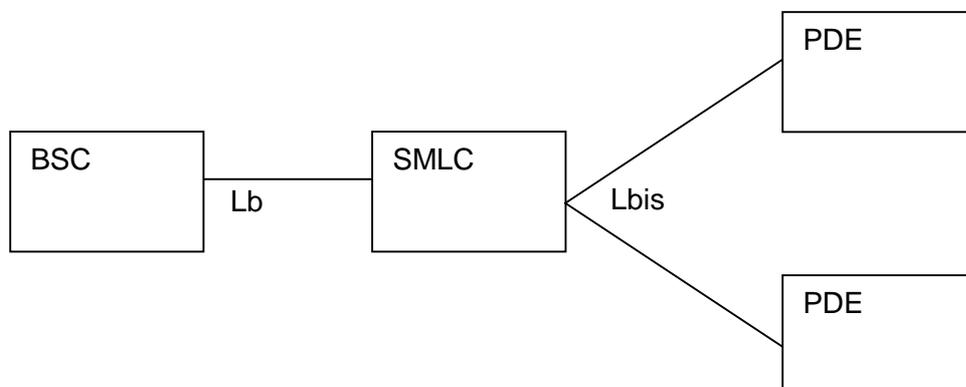


Abbildung 1: Netzwerkelemente in der SMLC Fallstudie

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 37 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Das Testsystem kann gleichzeitig die Rolle mehrerer PDEs übernehmen. Im Rahmen der Testsystementwicklung wurde zu Validierungszwecken auch ein gespiegeltes Testsystem entwickelt. Dieses kann die Rolle des SUT, also des SMLC, übernehmen und ermöglicht es zwei Testsysteme gegeneinander auszuführen und damit zu validieren. Im Rahmen dieser Fallstudien ermöglicht es das ausführen von Testfällen ohne dass ein echtes Netzwerkelement zur Verfügung stehen muss.

Zu Beginn des Projektes lag beim ZE ein entsprechendes Testsystem in TTCN-3 bereits vor. Dieses Testsystem wurde mithilfe des Werkzeuges TauTester von Telelogic entwickelt. Das Testsystem wurde für Produkttests bei Nokia Networks entwickelt. Ziel der Fallstudie war es, dieses Testsystem auch mit dem in TT-Medal verwendeten Werkzeug TTthree, später TTworkbench, zur Ausführung zu bringen. Dazu war sicherzustellen, dass TTthree die ASN.1 Definitionen der Nachrichten verarbeiten kann, der in C implementierte SA war an die Java Umgebung von TTthree anzubinden, und die ebenfalls in C implementierten (De-) Kodierungsfunktionen waren an TTCN-3 anzubinden oder zu ersetzen.

Diese Fallstudie hatte also die Bewertung und Verbesserung des Werkzeuges des Projektpartners TestingTechnologies zum Ziel. Die Eignung von TTCN-3 als Spezifikationsprache für diese Art des Testens war schon durch die Ausführung der Testfälle mit TauTester nachgewiesen.

Bei der Durchführung der Fallstudie konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

**Analyse der Testspezifikationen:** Die in der Fallstudie verwendeten ASN.1 Definitionen sind relativ einfach, die ASN.1 Module bilden in sich jedoch schon eine Import-Hierarchie. Zu Beginn des Projektes war das TTCN-3 Werkzeug von TestingTechnologies aber nur in der Lage, mit TTCN-3 Importhierarchien anzugehen. Es war möglich mehrere einzelne ASN.1 Module zu importieren, aber nur wenn diese ASN.1 Module keine Importhierarchie untereinander bildeten. Nachdem diese Einschränkung behoben war, konnten dann die TTCN-3 und die ASN.1 Definitionen von dem Werkzeug TTthree analysiert werden. Dabei traten noch einige Probleme auf, diese konnten aber durch Änderungen der Testspezifikation umgangen werden. Letztendlich konnte dieselbe Testspezifikation mit den Werkzeugen sowohl von TestingTechnologies als auch Telelogic erfolgreich analysiert werden. Damit konnte, zumindest in diesem Beispiel, nachgewiesen werden, dass TTthree in der Lage ist mit realen ASN.1 Definitionen umzugehen.

**Testfallausführung:** Die existierenden Testfälle aus dem eigentlichen Testsystem und dem gespiegelten System wurden kombiniert. Ein einzelner kombinierter Testfall umfasste dabei das Verhalten sowohl des ursprünglichen als auch des gespiegelten Testfalles. Dadurch war es möglich, die entsprechenden Verhalten aus beiden Testsystemen gegeneinander auszuführen. Eine Anbindung des SA war nicht nötig, die Kommunikation fand vollständig zwischen parallelen Testkomponenten innerhalb der einzelnen Testfälle statt. Bei der Kommunikation zwischen parallelen Testkomponenten ist in TTthree auch keine Kodierung der Nachrichten nötig, entsprechend war auch keine Anbindung der (De-)Kodierungsfunktionen nötig. Diese modifizierten Testfälle konnten ausgeführt werden, damit wurde nachgewiesen dass die ASN.1 Typdefinitionen auch vom Laufzeitsystem behandelt werden können.

**Anbindung des SA:** Der existierende SA wurde in C entwickelt. Um diesen an die Java Laufzeitumgebung wurde derselbe Ansatz wie in der Automotive Fallstudie verwendet. Der SA und das Laufzeitsystem wurden nicht direkt gekoppelt sondern wurden als zwei ausführbare Programme betrachtet und über UDP verbunden. Der entsprechende Code wurde von TestingTechnologies zur Verfügung gestellt und vom ZE mit dem Testsystem und dem SA integriert. Der Code dieser Anbindung und die entsprechende Dokumentation war noch nicht vollständig ausgereift. Bei der Anbindung dieses Verbindungscode traten deshalb eine Reihe kleinerer Probleme auf, die in Zusammenarbeit mit TestingTechnologies gelöst werden konnten. In ihrer Summe führte dies jedoch zu Verzögerungen und die Verbindung konnte in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht vollständig implementiert und ausgeführt werden. In der Folge konnten die Testfälle weder gegen ein echtes SUT noch gegen das gespiegelte Testsystem ausgeführt werden. Soweit absehbar sind die noch ausstehenden Probleme nicht gravierend. Daher stellen sie die prinzipielle Eignung des Ansatzes zur Anbindung eines in C implementierten SAs an das Java Laufzeitsystem von TTthree nicht in Frage. Zudem wurde derselbe Ansatz erfolgreich in der Automotive Fallstudie verwendet. Als absehbar wurde, dass die Fallstudie aus Zeitgründen nicht vollständig durchgeführt werden konnten, wurde dennoch die gleichzeitig durchgeführte zweite Fallstudie über die ursprüngliche Zielsetzung hinaus fortgeführt. Dies geschah, da die zweite Fallstudie neue Anwendungsgebiete für die Verwendung von TTCN-3 erschloss.

**Anbindung der Codexs:** Die (De-)Kodierungsfunktionen für die RPP Nachrichten lagen in C vor. Eine Anbindung über eine UDP oder TCP Verbindung oder über das Java Native Interface ist aus

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 38 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Performanzgründen nicht möglich. Das Problem ist, dass für jedes einzelne Feld in den Nachrichten Aufrufe über die Schnittstelle hinweg stattfinden. Der ursprünglich geplante Ansatz sah vor, dass eine einfache Zwischenkodierung verwendet wird um die wiederholten Aufrufe über diese Schnittstelle hinweg zu vermeiden. Zu Beginn der entsprechenden Arbeiten in der Fallstudie lag jedoch eine prototypische Implementierung eines Standardkodierungsverfahrens (Basic Encoding Rules BER) vor. Anstelle der geplanten Zwischenkodierung wurde stattdessen die prototypische BER Kodierung zu verwenden. Ziel hierbei war, Probleme in dieser Implementierung anhand der realen Protokolldefinitionen zu erkennen und gegebenenfalls zu verbessern. Aus Zeitgründen konnte auch diese Anbindung nicht vollständig durchgeführt werden. Es war jedoch möglich, sinnvolle Rückmeldungen an TestingTechnologies zu geben und die BER (De-) Kodierungsfunktionen zu verbessern.

Insgesamt gesehen konnte die Fallstudie nicht in dem geplanten Umfang durchgeführt werden. Vollständig durchgeführt werden konnte die Analyse von Testspezifikationen die ASN.1 Typdefinitionen enthalten. Die Testspezifikationen konnten letztendlich durch das Werkzeug analysiert werden. Die Ausführung der Testfälle war ebenfalls möglich, so dass das Werkzeug von TestingTechnologies auch für diese Art von Testspezifikationen zur Verfügung steht. Nicht vollständig durchgeführt werden konnten die Anbindung des SAs und die Verwendung der BER (De-) Kodierungsfunktionen. Eine Reihe von Problemen hat die Integration über den zur Verfügung stehenden Zeitrahmen hinaus verzögert. Keines der aufgetretenen Probleme war so schwerwiegend, dass es die prinzipielle Eignung der Ansätze und Implementierungen in Frage stellt.

### **8.1.1.8 CORBA Fallstudie**

Typischerweise kommunizieren Systeme der Mobilkommunikation durch den Austausch von Nachrichten. Im Bereich der Managementsoftware für Netzwerkelemente (NE) spielt jedoch auch prozedurbasierte Kommunikation eine wesentliche Rolle. Genauer geht es dabei um den Aufruf von Methoden auf entfernte Objekte – Remote Method Invocation (RMI). Die verwendete middleware ist dabei CORBA.

Der CORBA Standard beinhaltet IDL (Interface Definition Language) zur Beschreibung von Systemschnittstellen. Zu einer IDL Beschreibung gehört die Definition von Datentypen, von Prozedurensignaturen, und von Schnittstellen die den Aufruf solcher Prozeduren erlauben. IDL erlaubt die Verwendung objektorientierter Konzepte wie z.B. die Vererbung von Schnittstellen.

Um ein System zu testen, dessen Schnittstellen mithilfe von IDL beschrieben sind, ist es möglich diese Definitionen in eine TTCN-3 Testspezifikation zu importieren. Dadurch stehen alle Definitionen, um in den Testfällen mit dem SUT zu kommunizieren, zur Verfügung. Die Verhaltensbeschreibung in den Testfällen ist dabei aber weiter manuell zu erstellen.

CORBA ist eine generische middleware, d.h. sie ist nicht anwendungsspezifisch. Dementsprechend sollte die Anbindung des Testsystems an CORBA mithilfe eines generischen SAs erfolgen, es sollte keine manuelle Programmierarbeit nötig sein.

Als Grundlage für die Fallstudie lag die IDL Beschreibung der Managementschnittstelle eines realen NE vor. Die Beschreibung umfasste ca. 4000 Zeilen IDL code. In der Beschreibung wurden verschiedene Schnittstellen definiert, dabei wurden alle wesentlichen Beschreibungsmittel von IDL wie z.B. Vererbung verwendet. Im Rahmen der Fallstudie sollten mehrere Testfälle für dieses System in TTCN-3 geschrieben werden und gegen das System ausgeführt werden. Ziel der Fallstudie war es, die Eignung des Werkzeuges TTthree, später TTworkbench, und die Eignung von TTCN-3 zum Testen von CORBA-basierten Anwendungen nachzuweisen.

Die Fallstudie wurde in enger Zusammenarbeit mit TestingTechnologies als Werkzeughersteller und Nokia Networks als Entwickler des NE durchgeführt.

Ergebnisse wurden in den folgenden Bereichen erzielt:

**IDL nach TTCN-3 Abbildung:** Zu Projektbeginn lag eine Abbildung von IDL nach TTCN-3 vor. Diese Abbildung legt fest welche TTCN-3 Bezeichner nach dem Import einer IDL Beschreibung zur Verfügung stehen. Bei der Anwendung der Abbildung auf die IDL Definitionen der Fallstudie wurden einige Unklarheiten und Fehler in der Abbildung erkannt und den entsprechenden Gremien bei ETSI, der Standardisierungsorganisation, mitgeteilt. Zum Beispiel war die Abbildung von IDL Bezeichnern auf TTCN-3 Bezeichner nicht korrekt und aufgrund unterschiedlicher Sichtbarkeitsregeln traten daher Namenskonflikte in

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 39 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

TTCN-3 auf. Durch eine entsprechende Änderung dieser Abbildung konnten diese Namenskonflikte vermieden werden. Es wurde also eine Verbesserung dieser Abbildung erreicht.

**IDL Import:** Beim Importieren von IDL nach TTCN-3 Testspezifikationen sind aus den IDL Beschreibungen entsprechende TTCN-3 Beschreibungen zu erzeugen. Ob die TTCN-3 Bezeichner einschliesslich ihrer Definition dabei explizit in Form von lesbaren Dateien oder nur implizit in der Analysephase des Werkzeuges erstellt werden spielt keine Rolle. In beiden Fällen stehen exakt dieselben Bezeichner zur Verfügung. Bei der Anwendung der Werkzeuge auf die IDL Definitionen der Fallstudie wurden eine Reihe von Problemen in den Werkzeugen identifiziert. Lösungsvorschläge wurden erarbeitet, mit TestingTechnologies abgeklärt, und die verbesserten Werkzeuge wiederum auf die Definitionen angewandt. Letztendlich konnten die Werkzeuge auf einen Stand gebracht werden, dass sie die IDL Definitionen der Fallstudie vollständig, korrekt, und ohne manuelle Nacharbeit in TTCN-3 Definitionen abbilden können. Bei diesen Arbeiten wurden die Verbesserungen der Abbildungsdefinition wie zuvor beschrieben, berücksichtigt.

**Generischer SA:** TestingTechnologies hat im Lauf des Projektes einen generischen SA entwickelt. Dieser wurde in dieser Fallstudie eingesetzt. Dabei wurden hier z.T. gravierende Probleme entdeckt. Diese wurden lokalisiert, an TestingTechnologies berichtet, und die verbesserten Version erneut bewertet. Auch hier konnte der SA letztendlich auf einen Stand gebracht werden, dass die Kommunikation mit dem SUT über diesen generischen SA ohne Einschränkung möglich war.

**Testfallausführung:** In Zusammenarbeit mit Nokia Networks wurden einige Testfälle (ca. 10) entwickelt. Die Testfälle hatten unterschiedliche Komplexität in Bezug auf die Anzahl der Prozeduraufrufe und die Anzahl der verwendeten Schnittstellen. Zu Validierungszwecken wurde eine zweite Menge von Testfällen erstellt. Diese Testfälle simulierten das Verhalten des SUT. Mit diesen Testfällen konnten auch die Probleme in den Werkzeugen erkannt werden. Nach Verbesserung der Werkzeuge durch TestingTechnologies konnten die Testfälle sowohl gegen das simulierte SUT als auch das reale SUT erfolgreich ausgeführt werden. Die Ausführung der Testfälle gegen das reale SUT war sowohl am Standort des SUT (Tampere, Finnland), als auch vom Standort des ZE aus (Bochum) möglich. Mit diesen Testfällen und ihrer Ausführung gegen das SUT konnte nachgewiesen werden, dass sowohl die Methode als auch die Werkzeuge für das Testen CORBA-basierten Anwendungen geeignet ist.

**Verteilte Testfallausführung:** Bei der Entwicklung des SAs durch TestingTechnologies wurde der Schwerpunkt auf die allgemeine Verwendbarkeit des SAs gelegt. Dies ging jedoch mit Leistungseinbussen einher. Der verwendete SA ist daher für Leistungstesten selbst bei moderater Last nicht geeignet. Um dieses Problem zu umgehen wurde zusammen mit TestingTechnologies eine Verteilung der Testfallausführung auf zwei Rechner durchgeführt und erfolgreich bei Nokia Networks demonstriert. Die Verteilung konnte durch das Laufzeitsystem des Testsystems durchgeführt werden, die Beschreibung der Testfälle konnte unverändert übernommen werden. Damit konnte die Eignung der Werkzeuge für die verteilte Ausführung nachgewiesen werden.

**Kursmaterial:** Zusammen mit TestingTechnologies wurde ein zweitägiger Kurs 'Testen CORBA-basierter Anwendungen mit TTCN-3' entwickelt. Der Kurs beinhaltet das Vermitteln der TTCN-3 Sprachkonstrukte, der IDL nach TTCN-3 Abbildung, und vertiefende Übungen. Der Kurs wurde mit Mitarbeitern von Nokia Networks durchgeführt. Die Beispiele und Übungen im Kurs waren allgemein gehalten, so dass der Kurs auch ausserhalb von Nokia durch TestingTechnologies durchgeführt werden kann.

Durch die Durchführung der Fallstudie konnten Probleme in methodischen Aspekten, der IDL nach TTCN-3 Abbildung behoben werden. Desweiteren konnte die Werkzeugentwicklung anhand des realen Kontextes dermassen vorangetrieben werden, dass am Ende des Projektes der nötige Reifegrad für den industriellen Einsatz erreicht wurde. Um die Anwendung der Technik und Werkzeuge zu erleichtern, steht geeignetes Kursmaterial zur Verfügung. Durch die Ausdehnung auf verteiltes Testen konnten die ursprünglichen Ziele der Fallstudie bedeutend überschritten werden.

### 8.1.2 ITEA-TT-Medal Projektleitung

Durch den ZE wurde die Projektleitung des ITEA-Projektes TT-Medal geleistet. Dabei waren dreimal jährlich Treffen aller europäischen Projektpartner vorzubereiten und durchzuführen. Insgesamt zwei ITEA reviews waren durchzuführen. Diese haben zu überaus positiven Bewertungen geführt.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 40 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Das ITEA Projekt hat an zwei ITEA Symposien teilgenommen und jeweils mehrere Demonstrationen präsentiert. Auch die Teilnahme an den Symposien war durch den ZE vorzubereiten.

Der ZE war auch verantwortlich für die Erstellung der vierteljährlichen Fortschrittsberichte auf europäischer Ebene. Der ZE wurde hier durch den holländischen Projektpartner LogicaCMG unterstützt.

Ausser den technischen Beiträgen aller Projektpartner, hat auch die hier geleistete Arbeit dazu beigetragen, dass das Projekt den ITEA Achievement Award 2005 erhalten hat.

## 8.2 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN

Der voraussichtliche Nutzen lässt sich getrennt in einen indirekten und einen direkten Nutzen beschreiben. Der indirekte Nutzen umfasst die Verbesserung der Methoden und der Standards. Bei der Durchführung der Fallstudien konnten offene und problematische Punkte in den Methoden und in den Standards erkannt werden. Durch die Einbringung praxisrelevanter Vorschläge konnten die Methoden und Standards verbessert werden. Ebenso tragen die Erweiterungen der Standards, z.B. der Logging Schnittstelle, zu einer besseren Verwendbarkeit der Technologie bei.

Der direkte Nutzen ergibt sich bei der Anwendung der erzielten Ergebnissen in weiteren Projekten. Die Verbesserungen der Werkzeuge resultierend aus der CORBA-Fallstudie haben diesen direkten Nutzen. Thematisch an diese Fallstudie anknüpfend wird z.Zt. bei Nokia Networks ein Projekt durchgeführt. In diesem Projekt wird TTCN-3 und das Werkzeug TTworkbench für das funktionale und Performanztesten einer CORBA-basierten Managementanwendung verwendet. Der ZE ist an diesem Projekt nicht mehr beteiligt, durch die Fallstudie hat der nötige Technologietransfer und die Verbreitung des Wissens stattgefunden so dass dieser Geschäftsbereich in der Lage ist, TTCN-3 und die Werkzeuge selbstständig einzusetzen. Mit TTCN-3 steht dem Geschäftsbereich eine standardisierte Technologie zur Verfügung mit der die zuvor verwendete proprietäre Technologie abgelöst werden kann.

## 8.3 FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN

Während der Durchführung des Projektes wurden die Standards weiterentwickelt und neue Versionen verabschiedet. Insbesondere wurde TTCN-3 edition 3 und das UML2 Testing Profile von den entsprechenden Standardisierungsgremien verabschiedet. Auch die Werkzeuge anderer Hersteller wurden in dieser Zeitspanne verbessert. Dies gilt auch für das beim ZE hauptsächlich eingesetzte Werkzeug TauTester von Telelogic, dieses Werkzeug bietet jedoch keine umfassende IDL Unterstützung wie TTworkbench.

## 8.4 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN

Beiträge zu und Verbesserungen der Standards sind in diesen enthalten. Für TTCN-3 betrifft dies die Core Notation [1], die TCI Schnittstelle [35], und die Abbildung von IDL von TTCN-3 [40].

Während der Durchführung des Projektes waren Mitarbeiter des ZE und des finnischen TT-Medal Projektes von Nokia massgeblich an der Erstellung des ersten Textbuches zu TTCN-3 beteiligt:

[65] C. Willcock et.al., An Introduction to TTCN-3, Wiley & Sons, 2005.

Die Projektergebnisse, soweit nicht vertraulich, sind unter <http://www.tt-medal.org> verfügbar.

Weitere Veröffentlichungen sind:

[66] D4.1.D.4.1\_nok; Requirements Specification for testing methodology and tooling, TT-medal deliverable.

[67] D4.1.D.4.2.2; Consolidated Requirement Specification for Testing Methodology and Tooling, TT-medal deliverable.

[68] D1.4.1.2, Testing Profiles, TT-medal deliverable.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 41 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [69] N. Ioustinova et.al., TTCN-3 for Distributed Testing Embedded Systems, accepted for publication in Perspectives of System Informatics, LNCS, Springer
- [70] T. Deiß, TTCN-3 for Large Systems. In J. Garbajosa, J. Boegh, P. Rodriguez-Dapena, and A. Rennoch, editors, Proc. of 3rd Workshop on Systems Testing and Validation SV04. Fraunhofer IRB Verlag, 2004.
- [71] T. Deiß, TTCN-3 for Large Systems, <http://www.wiley.com/legacy/wileychi/ttcn-3/supp/largesystems.pdf>
- [72] D. Jebing, Optimized testing of encoding and decoding functions, University Dortmund, Department of Computer Science, 2005.
- [73] C. Willcock, The TTmedal project, TTCN-3 User Conference 2004, <http://www.ttcn-3.org/TTCN-3UC04/Home.htm>
- [74] C. Willcock, TTCN-3 for Dummies, TTCN-3 User Conference 2005, <http://www.ttcn-3.org/TTCN3UC2005/home05.htm>
- [75] M. Botteck, T. Deiß, C. Willcock, Making TTCN-3 work! – issues and strategies for its use in product development, TTCN-3 User Conference 2005, <http://www.ttcn-3.org/TTCN3UC2005/home05.htm>
- [76] T. Deiß, Test Generation for Codec Validation, TTCN-3 User Conference 2005, <http://www.ttcn-3.org/TTCN3UC2005/home05.htm>
- [77] S. Blom et.al., Simulated Time for Host-based Testing with TTCN-3, submitted for Publication in Software Testing, Verification & Reliability.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 42 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## 9. TESTING TECHNOLOGIES, FÖRDERKENNZEICHEN 01ISC11B

### 9.1 ERREICHTE ERGEBNISSE

Für den praktischen Einsatz einer Testmethodik im industriellen Systementwurf ist die Verfügbarkeit effektiver, an den Entwurfsprozess angepasster Werkzeuge entscheidend. Testing Technologies gehört zu den ersten Nutzern von TTCN-3 für Telekommunikationssysteme und ist maßgeblich an der Definition der Schnittstellen zur Ausführung von TTCN-3 Tests beteiligt. Es ist der erste Anbieter eines Compilers und einer Ausführungsumgebung für TTCN-3 Tests. Die Werkzeuge sollten mit diesem Projekt um Verteilungsaspekte und zusätzliche Aspekte der Testautomatisierung ausgebaut werden.

#### 9.1.1 Ziele des AP2

Testing Technologies war als Werkzeugentwickler in diesem Projekt vorrangig verantwortlich für die Realisierung der Testplattform und der Testframeworks für die Anwendungsgebiete. Testing Technologies leitete das AP2. Es realisiert die technische Infrastruktur des Projekts.

Die Aufgaben von Testing Technologies umfassten:

- Definition der Testplattform basierend auf TTCN-3 und der Schnittstellen TRI und TCI
- Realisierung der Testplattform
- Realisierung eines Testframeworks für Fahrzeugtechnik
- Realisierung und Anwendung des Testframeworks für Mobilkommunikation

#### 9.1.2 TTCN-3 Entwicklungs- und Ausführungsplattform

Testing Technologies' TTCN-3 Werkzeuge sind als Plugins der Eclipse Entwicklungsumgebung implementiert. Eclipse ist ein opensource Projekt, das eine herstellerunabhängige, offene Entwicklungsplattform für die Werkzeugintegration anbietet. Eclipse stellt dabei das Rahmenwerk dar, in das beliebige Hersteller ihre Software als Plugins integrieren können. Diese können sich somit auf Ihre Kernkompetenzen konzentrieren und Nutzen aus der Wiederverwendung der Plattform und anderer vorhandener Plugins ziehen. Sämtliche Basisfunktionalitäten heutiger Software-Entwicklungsumgebungen werden dabei bereits standardmäßig abgedeckt. Eclipse bietet daher die ideale Grundlage für eine TTCN-3 Entwicklungs- und Ausführungsumgebung.

Die Architektur des TTCN-3 Compilers TTthree wurde dazu konzeptionell und implementierungsmäßig erneuert. Das Testmanagement und –ausführungswerkzeug wurde erweitert und in die TTCN-3 IDE integriert.

#### 9.1.3 TTCN-3 Metamodell

TTCN-3 standardisiert drei verschiedene Präsentationsformate, ein textuelles Format (Core Language), ein tabellarisches Format (TFT) und ein grafisches Format (GFT). Alle drei Formate sind untereinander austauschbar und eindeutig ineinander überführbar. Ein Metamodell als Basis der TTCN-3 Sprachdefinition ist im Standard allerdings nicht vorhanden. Als direkte sprachliche Unterstützung für TTCN-3 wurde ein neues TTCN-3 Metamodel in Zusammenarbeit mit Fraunhofer FOKUS entwickelt.

Die in den jeweiligen Modellen enthaltenen Informationen werden in so genannten Repositories abgelegt, die aus Metamodellen generiert werden, welche die semantischen Konzepte und deren Beziehungen untereinander widerspiegeln. Die Metamodelle werden in MOF (Meta-Object-Facility) der OMG beschrieben

Das in MOF definierte TTCN-3 Metamodel wurde als Grundlage für die TTCN-3 Werkzeugumgebung in Eclipse unter Verwendung des Eclipse Modelling Frameworks (EMF) adaptiert.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 43 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Dieses Metamodell wird in einer Kooperation mit Conformiq (ITEA Partner), Nokia und Fraunhofer FOKUS im Rahmen der Testvalidierung eingesetzt. Die Verwendung weiterer Sprachen, wie IDL und ASN.1, ist nun ebenfalls mit Hilfe von Mappings zu TTCN-3 über das Metamodell möglich.

#### 9.1.4 TCI Schnittstelle

Teil 6 des TTCN-3 Standards beschreibt die TTCN-3 Control Interfaces (TCI). Dazu gehören Test Management (TM), Coder/Decoder (CD) und Test Component Handler (CH). Testing Technologies' TTCN-3 Ausführungsplattform unterstützt diese Schnittstellen nun vollständig.

Für das Test Management Interface bietet die Plattform zwei verschiedene Implementierungen: eine Kommandozeilen Version und ein grafisches Execution Management inklusive eines grafischen Loggings.

Das Test Component Handler Interface wird lokal und verteilt angeboten. Die verteilte Testausführung erlaubt dabei

- die automatische Verteilung von Testkomponenten
- die integrierte Verteilung der entsprechenden benötigten Testsoftware
- die Spezifikation von Verteilungsalgorithmen
- die Integration unterschiedlicher Testhardware

Während der Implementierung der TCI Schnittstellen wurde der Bedarf eines detaillierteren Logging Interfaces offenkundig. In Zusammenarbeit mit FOKUS und Nokia wurde ein solches Logging Interface definiert und als Test Logging (TL) Interface in die TTCN-3 Standardisierung bei ETSI eingebracht. Dieses Test Logging Interface ist seit der Edition 3 des TCI Standards integraler Bestandteil. Sowohl die Kommandozeilenversion, als auch das grafische Execution Management unterstützen diese neueste Variante des Logging Interfaces.

#### 9.1.5 TRI Schnittstelle

Das TTCN-3 Runtime Interface (TRI) als Teil 5 des TTCN-3 Standards wird von je her von Testing Technologies unterstützt. Da der Testing Technologies' TTCN-3 Compiler TTCN-3 Core Language nach Java übersetzt und die TTCN-3 Laufzeitumgebung ebenfalls in Java implementiert wurde, wird auch das TRI-Mapping nach Java angeboten. Die Anforderungen der Projektpartner machten jedoch eine breitere Unterstützung über Java hinaus notwendig. Daraus resultierten zwei weitere Implementierungen der TRI Schnittstelle.

Das TRI C Mapping ist wie das TRI Java Mapping ebenfalls Bestandteil des TRI Standards. Testing Technologies hat dieses Mapping implementiert und bietet eine TRI C Library und ein dazu passendes Header File an. Nutzer können ihren System- und Plattformadapter direkt in C implementieren.

Über die beiden standardisierten TRI Mappings hinaus kann der Bedarf nach Unterstützung weiterer Programmiersprachen bestehen. Um die Zahl der möglichen weiteren Mapping möglichst gering zu halten, wurde der generische Ansatz eines TRI Datagramm Mappings gewählt. Dieses TRI Mapping ist proprietär und nicht standardisiert. Es bietet die größtmögliche Flexibilität und erlaubt eine Implementierung des System- und Plattformadapters in praktisch jeder verfügbaren Programmiersprache.

Die Datagramm API wurde im Projekt bereits um ausgewählte TCI Datagramm Methoden erweitert, um beispielsweise Test Management Anbindungen über die Datagrammschnittstelle zu ermöglichen.

#### 9.1.6 Codec Generierung

Im Rahmen des Projektes wurden öffentliche Werkzeugschnittstellen zur Codec-Generierung auf Basis des TTCN-3 Typsystems spezifiziert und implementiert. Die Codec-Generierung hat zum Ziel, den für die Implementierung von TTCN-3 Codecs notwendigen Aufwand zu minimieren sowie die innerhalb von TTCN-3 existierenden Artefakte wieder zu verwenden. Für die Klasse der „linear Codecs“ (auch „tabular codecs“ oder „bit-table codecs“ genannt) wurde dieses Ziel vollständig erreicht. Mit dem entworfenen Ansatz sowie der implementierten Lösung wurde ein Werkzeug geschaffen, das eine der fehleranfälligen Aufgaben bei

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 44 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

der industriellen Umsetzung von TTCN-3 Spezifikationen automatisiert. Als Ergebnis der Arbeiten steht eine werkzeugunabhängige TCI-konforme Codecimplementierung zur Verfügung.

Technologisch handelt es sich hierbei um die Umsetzung des Single-Source Prinzips, bei dem die in TTCN-3 bereits enthaltene Information um für die Codierung notwendige Regeln erweitert werden. Auf strikte Einhaltung des TTCN-3 Standards wurde dabei besonders Wert gelegt, damit die so angereicherten Spezifikationen TTCN-3 herstellerübergreifend genutzt werden können.

Im Rahmen des Projektes wurde dieser Ansatz unterschiedlich eingesetzt. Aber auch über die spezifischen Projektgrenzen hinaus, hat dieses Werkzeug bereits in erheblichem Umfang zur Effizienzsteigerung bei der Implementierung von TTCN-3 Testsystemen beigetragen.

### 9.1.7 IDL Plugin

Im Rahmen des Projektes wurde in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner NOKIA die Spezifikationen eines IDL nach TTCN-3 Mappings definiert und ihm Rahmen einer Case-Study validiert. Ausgangspunkt dieses Mappings ist eine initiale Vorverarbeitung standardkonformer IDL-Spezifikationen sowie eine nachgelagerte Übersetzung entsprechend der Mappingregeln nach TTCN-3 und deren Umsetzung in entsprechende Corba Aufrufe zur Laufzeit.

Im Rahmen der Case-Study wurden diverse Schwachpunkte des initialen Entwurfes identifiziert und behoben. Darüber hinaus wurde die implementierte Funktionalität in die TTCN-3 Entwicklungs- und Ausführungsumgebung integriert. Ziel hierbei war es, dem TTCN-3 Nutzer eine nahtlose Zusammenarbeit mit der IDL-Spezifikation zu ermöglichen und eine Zero-Coding Lösung anzubieten. Dieses Ziel wurde vollständig erreicht.

## 9.2 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN

Im Rahmen des TT-Medal Projektes wurden viele wertvolle Erfahrungen im industriellen Umgang mit TTCN-3 gesammelt sowie deren werkzeugtechnische Umsetzung validiert.

Testing Technologies profitierte und profitiert auch in Zukunft auf verschiedenen Ebenen von diesen Erfahrungen und Entwicklungen. Die im AP2 maßgeblich von Testing Technologies entwickelten Prototypen und die Erfahrungen aus den unterschiedlichen Case-Studies mündeten nach Abschluss des Projektes in die Produktisierung einzelner Komponenten.

Bereits in existierende Produkte eingeflossene Ergebnisse sind:

- TRI C / Datagramm Schnittstelle
- Logging Komponente
- IDL-Plugin

Diese Komponenten wurden in einer, dem Projekt nachgelagerten Produktisierungsphase in das Produkt TTworkbench (Testing Technologies' TTCN-3 Entwicklungs- und Ausführungsumgebung) integriert. Diese Komponenten dienen heute unter anderem zur Positionierung und Differenzierung von Testing Technologies gegenüber seinen Wettbewerbern in einem sich stetig entwickelnden TTCN-3 Markt.

Zum Berichtszeitpunkt ist auch über die konsequente Weiterführung des TTCN-3 Metamodell-Ansatzes zu berichten. Diese Fortführung hat es Testing Technologies ermöglicht einen wesentlich leistungsfähigeren Ansatz zur Compilerimplementierung umsetzen zu können und damit den Anforderungen der auch durch das Projekt neu erschlossenen Märkte langfristig gerecht zu werden. Ohne die grundlegenden Arbeiten im Rahmen des Projektes hätten diese Entwicklungen, wenn überhaupt nur sehr verzögert und auf wesentlich niedrigerem Niveau ausgeführt werden können.

Es konnten initial existierende Kontakte zu den industriellen Partnern und Forschungspartnern intensiviert und ausgebaut werden. Diese Erfahrungen haben einen direkten Einfluss in der Kommunikation und Darstellung des Unternehmens in Bezug auf die industriellen Partner.

## 9.3 FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 45 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

Wie erwähnt hatten Ergebnisse dieses Projektes direkten Einfluss auf die Weiterentwicklung der TTCN-3 Standards. Das vollständig neue Test Logging Interface (TCI-TL) wurde komplett von Mitgliedern des Konsortiums definiert und in den Standardisierungsprozess eingebracht. Heute ist es integraler Bestandteil des TTCN-3 Standards Edition 3.

#### 9.4 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN

Das TT-Medal Projekt erstellte über 40 Veröffentlichungen. Die folgenden Veröffentlichungen wurden unter maßgeblicher Mitwirkung von Testing Technologies im Rahmen des Projektes erstellt.

- [78] T. Vassiliou-Gioles, G. Din, I. Schieferdecker: Execution of External Applications using TTCN-3 Paper 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004) Oxford, United Kingdom March 2004 Proceedings, LNCS Springer Springer 2004
- [79] I. Schieferdecker, G. Din, D. Apostolidis: Distributed Functional and Load tests for Web services Paper - Heidelberg, Germany Jan2005 International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT) Springer 2005
- [80] D. Apostolidis, D. Tepelmann, A. Rennoch, A. Vouffo: Use of TTCN-3 for Development of SIGTRAN Tests Paper 18th Intern. Conference "Software & Systems Engineering and their Applications" (ICSSEA 2005) Paris, France Nov-Dec 2005 Proceedings University "Conservatoire National des Arts et Métiers" 2005
- [81] TT-Medal consortium Future Vision on Automated Testing Paper White Paper Online Sept 2005 [www.tt-medal.org](http://www.tt-medal.org)

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 46 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## 10. LISTE DER VERÖFFENTLICHUNGEN

Dieser Abschnitt fasst die Veröffentlichungen der deutschen Projektpartner von TT-Medal zusammen:

- [TT-Medal 1] W. Fokkink, M. Kärki, J.v.d. Pol, A. Rennoch, I. Schieferdecker, M. Sihvonen: Three Countries Offensive towards Testing with Advanced Languages, ERCIM News No. 58, April 2004.
- [TT-Medal 2] S.Schulz: Derivation of Abstract Protocol Type Definitions for the Conformance Testing of Text-Based Protocols, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004
- [TT-Medal 3] Z.R. Dai, J. Grabowski, H. Neukirchen, H. Pals: From Design to Test -- Applied to a Roaming Algorithm for Bluetooth Devices, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004
- [TT-Medal 4] T. Vassiliou-Gioles, G. Din, I. Schieferdecker: Execution of External Applications using TTCN-3, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004
- [TT-Medal 5] H. Batteram, W. Hellenthal, W. Romijn, A. Hoffmann, A. Rennoch, A. Vouffo: Implementation of an Open Source Toolset for CCM Components and Systems Testing, 16th IFIP International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2004), Oxford, United Kingdom, March 2004
- [TT-Medal 6] M. Born, H.-G. Gross, P. Santos, I. Schieferdecker: Model-Driven Development and Testing - A Case Study, First European Workshop on Model Driven Architecture with Emphasis on Industrial Application, Enschede, The Netherlands, March 2004
- [TT-Medal 7] Z.R. Dai, I. Schieferdecker: Time Concepts for UML 2.0 Based Testing, Workshop on the usage of the UML profile for Scheduling, Performance and Time (SIVOES 2004), hold in conjunction with the 10TH IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS 2004), Toronto, Canada, June 2004
- [TT-Medal 8] I. Schieferdecker: The Testing and Test Control Notation TTCN-3, GI-Tagung TAV (Test, Analyse und Verifikation von Software), Berlin, Germany, June 2004
- [TT-Medal 9] I. Schieferdecker: Eine TTCN-3 Testplattform für reaktive Systeme, Eröffnungskonferenz zur Softwareoffensive, Berlin, Germany, July 2004
- [TT-Medal 10] P. Baker, Z.R. Dai, J. Grabowski, Ø. Haugen, S. Lucio, E. Samuelsson, I. Schieferdecker, and C. Williams : The UML 2.0 Testing Profile, Conquest 2004, Nuremberg, Germany, Sep 2004
- [TT-Medal 11] A. Vouffo-Feudjio and I. Schieferdecker : Test Pattern with TTCN-3, FATES 2004, Linz, Austria, Oct. 2004
- [TT-Medal 12] I. Schieferdecker, G. Din: A Metamodel for TTCN-3, ITM 2004, Toledo, Spain, Oct. 2004
- [TT-Medal 13] I. Schieferdecker: The Testing and Test Control Notation TTCN-3, TIMNA 2004, Beijing, China, Oct. 2004
- [TT-Medal 14] I. Schieferdecker: The UML 2.0 Testing Profile, TIMNA 2004, Beijing, China, Oct. 2004
- [TT-Medal 15] G. Din, J. Zander, S. Pietsch: Test execution logging and visualization techniques, Software & Systems Engineering and their Applications (ICSSEA04), Paris (F), 38321

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 47 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [TT-Medal 16] M. Born, I. Schieferdecker, O. Kath and C. Hirai: Combining System Development and System Test in a Model-centric Approach, RISE 2004, Luxembourg, Luxembourg, Nov 2004
- [TT-Medal 17] D. Jeaca, G. Din, A. Rennoch: Importing XMLSchema datatypes into TTCN-3, Systems Testing and Validation Workshop 2004 (SV'04), Paris (F), Dec. 2004
- [TT-Medal 18] T. Deiß: TTCN-3 for Large Systems, 3rd Workshop on Systems Testing and Validation, Fraunhofer IRB Verlag, Paris, France, Dec. 2004
- [TT-Medal 19] T. Deiß, TTCN-3 for Large Systems, <http://www.wiley.com/legacy/wileychi/ttcn-3/supp/largesystems.pdf>
- [TT-Medal 20] S. Burton, A. Baresel, I. Schieferdecker: Automated testing of automotive telematics systems using TTCN-3, 3rd Workshop on Systems Testing and Validation, Paris, France, Dec. 2004
- [TT-Medal 21] I. Schieferdecker: Integrated System and Test Development with the UML 2.0 Testing Profile, EuroStar 2004, Cologne, Germany, Dec. 2004
- [TT-Medal 22] I. Schieferdecker, G. Din, D. Apostolidis: Distributed Functional and Load tests for Web services, -, Heidelberg, Germany, Jan 2005
- [TT-Medal 23] C. Willcock, T. Deiß, S. Tobies, S. Schulz, S. Keil, F. Engler: An Introduction to TTCN-3, Wiley, June 2005
- [TT-Medal 24] J. Zander, Z.R. Dai, I. Schieferdecker, G. Din: From U2TP Models to Executable Tests with TTCN-3 - An Approach to Model Driven Testing, IFIP 17th Intern. Conf. on Testing Communicating Systems - TestCom 2005, Montreal/Canada, June 2005
- [TT-Medal 25] I. Schieferdecker, A. Rennoch: Industrial use of TTCN-3 - Scope and Limits, International Conference on Software Tests, ICSTEST 2005, Düsseldorf/Germany, 38443
- [TT-Medal 26] I. Schieferdecker, A. Rennoch, E. Höfig: TTCN-3 – A Test Technology for the Automotive Domain, Simulation und Test in der Funktions- und Softwareentwicklung für die Automobilelektronik, Berlin/Germany, March 2005
- [TT-Medal 27] S. Blom, N. Ioustinova, J. van de Pol, A. Rennoch, and N. Sidorova: Simulated time for testing railway interlockings with TTCN-3, 5th International Workshop on Formal Approaches to Testing of Software, FATES 2005, Edinburgh/UK, July 2005
- [TT-Medal 28] I. Schieferdecker: The UML 2.0 Test Profile as a Basis for Integrated System and Test Development, GI Jahrestagung, Informatik 2005, Bonn, Germany, Sep 2005
- [TT-Medal 29] A. Vouffo Feudjio: Towards Pattern-Oriented Test Development based on Abstract Test Notations, 2nd European Symposium on Verification and Validation of Software System and Testing in Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, Sep 2005
- [TT-Medal 30] Z.R. Dai, P. H. Deussen, M. Busch, L. Pianta Lacmene, T. Ngwangwen, J. Herrmann, M. Schmidt: Automatic Test Data Generation for TTCN-3 using CTE, 18th Intern. Conference "Software & Systems Engineering and their Applications" (ICSSEA 2005), Paris, France, Nov-Dec 2005
- [TT-Medal 31] D. Apostolidis, D. Tepelmann, A. Rennoch, A. Vouffo: Use of TTCN-3 for Development of SIGTRAN Tests, 18th Intern. Conference "Software & Systems Engineering and their Applications" (ICSSEA 2005), Paris, France, Nov-Dec 2005
- [TT-Medal 32] I. Schieferdecker, G. Din: TTCN-3 Technology, Software Competence Web Site, Kaiserslautern, Germany, Aug 2005

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 48 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [TT-Medal 33] TT-Medal consortium: Future Vision on Automated Testing, White Paper, Online, Sep 2005
- [TT-Medal 34] I. Schieferdecker, J. Grossmann: Testing of Embedded Control Systems with Continuous Signals, 2nd Workshop on Modelling of Embedded Systems, Dagstuhl, Germany, Jan 2006
- [TT-Medal 35] D. Vega, C. Rentea, G. Din: An Approach of Model-Based Testing with TTCN-3: Testing of Web Services, 4th Intern. Workshop on Systems Testing and Validation, Potsdam, Germany, March 2006
- [TT-Medal 36] D. Serbanescu: Implementation and Application of a U2TP FrontEnd, 4th Intern. Workshop on Systems Testing and Validation, Potsdam, Germany, March 2006
- [TT-Medal 37] D. Jebing, Optimized testing of encoding and decoding functions, University Dortmund, Department of Computer Science, 2005.
- [TT-Medal 38] C. Willcock, The TTmedal project, TTCN-3 User Conference 2004, <http://www.ttcn-3.org/TTCN-3UC04/Home.htm>
- [TT-Medal 39] C. Willcock, TTCN-3 for Dummies, TTCN-3 User Conference 2005, <http://www.ttcn-3.org/TTCN3UC2005/home05.htm>
- [TT-Medal 40] M. Botteck, T. Deiß, C. Willcock, Making TTCN-3 work! – issues and strategies for its use in product development, TTCN-3 User Conference 2005, <http://www.ttcn-3.org/TTCN3UC2005/home05.htm>
- [TT-Medal 41] T. Deiß, Test Generation for Codec Validation, TTCN-3 User Conference 2005, <http://www.ttcn-3.org/TTCN3UC2005/home05.htm>
- [TT-Medal 42] S. Blom et.al., Simulated Time for Host-based Testing with TTCN-3, submitted for Publication in Software Testing, Verification & Reliability.
- [TT-Medal 43] C. Tudorache: Testing of DHCP v6 with TTCN-3, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [TT-Medal 44] S. Tolea: Load Test Distribution Algorithms, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [TT-Medal 45] D.A. Serbanescu: Graphical Front-End for UML 2.0 Testing Profile, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [TT-Medal 46] C. Rentea: Testing of Web-based Applications with TTCN-3, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2005 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [TT-Medal 47] Justyna Zander: Generierung von ausführbaren Tests von UML 2.0 Test Spezifikationen, Diplomarbeit, TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, Februar 2005
- [TT-Medal 48] W. Kroll: Entwicklung eines Editors für GFT-Diagramme innerhalb der Eclipse-Plattform. Diplomarbeit, TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, October 2004.
- [TT-Medal 49] D.-E. Vega: Integration of TTCN3 Tools into Eclipse Hyades, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2004 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 49 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [TT-Medal 50] C. Doras: TTCN-3 Debugger. MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2004 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [TT-Medal 51] D.M. Jeaca: XML Schema to TTCN-3 Mapping: Importing XMLSchema datatypes into TTCN-3, MSc Thesis, Politehnica University of Bucharest, Department of Computer Science, September 2004 (in cooperation with Prof. Dr. - Eng. Valentin Cristea).
- [TT-Medal 52] J. R. Calame: Test von Softwareagenten und Interagentenkonnektoren. Diplomarbeit, Universität Potsdam, Institut für Informatik April 2004 (in cooperation with Prof. Erika Horn).
- [TT-Medal 53] D. Apostolidis: Handling of Test Components in Distributed Test Setups. Diplomarbeit, TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, März 2004.
- [TT-Medal 54] Z.R.Dai: An Approach to Model-Driven Testing – Functional and Real-Time Testing with UML 2.0, U2TP and TTCN-3, Eingereichte Promotion, Fakultät IV der Technischen Universität Berlin, Juni 2006.

Die folgende Liste fasst wesentliche Beiträge der Projektpartner zu nat. und int. TT-Medal Deliverables zusammen:

- [TT-Medal 55] Automotive Case Study Description (3rd Release), TT-Medal Deliverable D4\_5\_DC, 30.6.05
- [TT-Medal 56] Automotive Case Study Demonstrator Manual, TT-Medal Deliverable D4\_7\_DC, 30.6.05
- [TT-Medal 57] DaimlerChrysler Requirements for TT-Medal Testing Methodology and Tooling, TT-Medal Deliverable D4\_1\_DC, 31.3.04
- [TT-Medal 58] Consolidated Requirements (2nd Release), TT-Medal Deliverable D4\_2\_2, 31.1.05
- [TT-Medal 59] Automotive Case Study Evaluation, TT-Medal Deliverable D4\_8\_DC, 30.11.05
- [TT-Medal 60] Automotive Case Study Description, TT-Medal Deliverable Z31, 18.11.04
- [TT-Medal 61] Test Description of the Automotive Telematics Case Study, TT-Medal Deliverable Z32, 22.04.05
- [TT-Medal 62] Consolidated Case Study Evaluation Report, TT-Medal Deliverable D4\_8, 17.1.06
- [TT-Medal 63] D4.1.D.4.1\_nok; Requirements Specification for testing methodology and tooling, TT-medal deliverable.
- [TT-Medal 64] D4.1.D.4.2.2; Consolidated Requirement Specification for Testing Methodology and Tooling, TT-medal deliverable.
- [TT-Medal 65] D1.4.1.2, Testing Profiles, TT-medal deliverable.
- [TT-Medal 66] ITEA D1.1.1: FOKUS contributions on test infrastructure elements and on terminology, 2004
- [TT-Medal 67] ITEA D1.2.3: FOKUS contribution on test validation with T3CN, 2005
- [TT-Medal 68] ITEA D1.3.1: FOKUS contribution on TTCN-3 test pattern, 2004/2005
- [TT-Medal 69] ITEA D1.4.1: FOKUS contributions on test system specification with UML 2.0, U2TP, and TTCN-3, 2004

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 50 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

[TT-Medal 70] ITEA D2.1.1: FOKUS contributions to test system adaptation for Corba, 2004/2005

[TT-Medal 71] ITEA D2.2.1: FOKUS chapter on test derivation, 2004

[TT-Medal 72] ITEA D2.3.1: FOKUS contribution on integration of TTCN-3 in CTE, 2005

[TT-Medal 73] ITEA D2.4.1: FOKUS contribution on U2TP and its transformation to TTCN-3, 2005

[TT-Medal 74] ITEA D2.5.1: FOKUS contribution on TLI definition, 2005

[TT-Medal 75] ITEA D4.1: FOKUS requirements specification, 2003

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 51 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

## 11. VERÖFFENTLICHUNGEN ANDERER STELLEN/AUSSERHALB DES PROJEKTS

- [1] ETSI ES 201-873-1: The Testing and Test Control Notation TTCN-3: Core Language.
- [2] I. Schieferdecker, S. Pietsch, T. Vassiliou-Gioles: Systematic Testing of Internet Protocols - First Experiences in Using TTCN-3 for SIP. 5th IFIP Africom Conference on Communication Systems, Cape Town, South Africa, May 2001.
- [3] J. Grabowski et.al.: An Introduction into the Testing and Test Control Notation (TTCN-3), Computer Networks, 42, 3, pages 375–403, 2003.
- [4] I. Schieferdecker, B. Stepien: Automated Testing of XML/SOAP based Web Services, 13. Fachkonferenz der Gesellschaft für Informatik (GI) Fachgruppe "Kommunikation in verteilten Systemen" (KiVS), Leipzig, 26.-28. Febr. 2003.
- [5] ETSI ES 201 873-3: The Testing and Test Control Notation TTCN-3: Graphical Presentation Format of TTCN-3 (GFT)
- [6] I. Schieferdecker, J. Grabowski: The Graphical Format of TTCN-3 and its Relation to UML and MSC. 3rd Intern. Workshop on SDL and MSC - Telecommunication and Beyond, SAM 2002, Aberystwyth, UK, June 2002.
- [7] OMG: The UML Testing Profile, Mar 2002, <http://www.fokus.gmd.de/U2TP/>.
- [8] I. Schieferdecker et.al.: The UML 2.0 Testing Profile and its Relation to TTCN-3, IFIP 15th Intern. Conf. on Testing Communicating Systems - TestCom 2003, Cannes, France, May 2003.
- [9] ISO/IEC IS 9646: Conformance Testing Methodology and Framework. Parts 1.7, 1994.
- [10] ISO JTC1/SC21/WG1/Project 54.1: Formal Methods in Conformance Testing. 1995.
- [11] R. Milner: Communication and Concurrency, Prentice Hall, 1989.
- [12] R. De Nicola, M. Hennessy: Testing equivalences for processes. Theoretical Computer Science, 34: 83 - 133, 1984.
- [13] E. Brinksma: A theory for the derivation of test cases. Protocol Specification, Testing and Verification VIII, North-Holland, Seiten 63 - 74, 1988.
- [14] J. Tretmans: A Formal Approach to Conformance Testing. PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 1992.
- [15] J. Tretmans: Test generation with inputs, outputs and quiescence. Second International Workshop on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (TACAS .96), Lecture Notes in Computer Science 1055, Springer-Verlag, pp 127 - 146, 1996.
- [16] G. Gönenc: A Method for the Design of Fault Detection Experiment. IEEE Transactions on Computers, 19: 551 - 558, 1970.
- [17] T. Chow: Testing Software Design Modeled by Finite-State Machines. IEEE Transactions on Software Engineering, 4:178 - 187, 1978.
- [18] S. Naito, M. Tsunoyama: Fault Detection for Sequential Machines by Transition-Tours. FTCS-11 International Symposium on Fault-Tolerant Computing, pp. 238 - 243, 1981.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 52 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

- [19] K. Sabnani, A. Dahbura: A New Technique for Generating Protocol Tests. SIGCOMM 85, Seiten 36 - 41, 1985.
- [20] K. Sabnani, A. Dahbura: A Protocol Test Generation Procedure. Computer Networks and ISDN Systems, 15, 1988.
- [21] CAIDA: Cooperative Association for Internet Data Analysis, <http://www.caida.org/>.
- [22] C. Fraleigh et.al.: Design and Deployment of a Passive Monitoring Infrastructure, Workshop on Passive and Active Measurements on the Internet, Proceedings, Amsterdam, The Netherlands, 23-24 April 2001.
- [23] M. Murray, K. Claffy: Measuring the Immeasurable: Global Internet Measurement Infrastructure, Workshop on Passive and Active Measurements on the Internet, Proceedings, Amsterdam, The Netherlands, 23-24 April 2001.
- [24] N. Kroth, L. Mark, J. Tiemann: A Framework for Testing IP QoS over ATM Networks: Implementation and Practical Experiences, Proc. of the 2nd Intern. Conf. On ATM (ICATM.99), Colmar, France, 21-23 June 1999.
- [25] Schieferdecker, I.; Stepien, B.; Rennoch, A.: PerfTTCN, a TTCN Language Extension for Performance Testing., in: Kim, M.; Kang, S.; Hong, K. (eds.), Testing of Communication Systems, Vol. 10, 10th International IFIP TC6/WG6.1 Workshop on Testing of Communication Systems, Cheju Island (Korea), 08 - 10 Sept. 1997, London (UK).
- [26] I. Schieferdecker et.al.: Eine Leistungstestmethodik und ihre Anwendung auf ATM Protokolle. -PIK 3/98, Saur Verlag, München 1998. PIK, 1998.
- [27] R. Gesce, P. Kremer, J.Z. Szabo: HTTP Performance Evaluation with TTCN, 13th IFIP International Workshop on Testing Communicating Systems (Testcom 2000), Ottawa, Kanada, August 2000.
- [28] T. Walter, I. Schieferdecker, J. Grabowski. Test Architectures for Distributed Systems - State of the Art and Beyond. Eingeladener Beitrag in: "Testing of Communicating Systems" (Herausgeber: A. Petrenko, N. Yevtushenko), Volume 11, Chapman & Hall, September 1998.
- [29] T. Walter, J. Grabowski. A Framework for the Specification of Test Cases for Real Time Distributed Systems. In: "Information and Software Technology", Volume 41, Elsevier, Juli 1999.
- [30] Mercury: WinRunner Test Product, [www.mercury-interactive.com](http://www.mercury-interactive.com).
- [31] Seque: Seque Testing Tool Series, [www.seque.com](http://www.seque.com).
- [32] Rational: Rational Robot, Performance Studio Tools, [www.rational.com](http://www.rational.com).
- [33] Rational Software: Component Testing with Rational Quality Architect, White Paper, Rational Software, 2001.
- [34] ETSI ES 201 873.5 : The TTCN-3 Runtime Interface (TRI); Concepts and Definition of the TRI
- [35] ETSI ES 201 873.6: The TTCN-3 Control Interfaces (TCI); Concepts and Definition of the TCI
- [36] C. Jard, T. Jeron: TGV: theory, principles and algorithms. Proc. Of the 6th world conference in Integrated Design and Process Technology (IDPT02), Pasadena (CA), USA, 2002.
- [37] J. Grabowski. Test Case Generation and Test Case Specification with Message Sequence Charts. Inauguraldissertation, Universität Bern, Feb. 1994.
- [38] S. Pickin: Test des composants logiciels pour les telecommunications, Submitted PhD, IRISA, 2003.

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 53 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

[39] E. W. Dijkstra, Goto considered harmful. Communications of the ACM, vol 11, no3, pp 147 - 148, 1968.

[40] ETSI ES 201-873-1: The Testing and Test Control Notation TTCN-3: The IDL to TTCN-3 Mapping

[41] E. W. Dijkstra, Shmuel Safra's version of termination detection, EWD998-0, Univ. Texas, Austin (1987).

[42] MOST (Media Oriented System Transport) Cooperation: [www.mostnet.org](http://www.mostnet.org)

[43] CAN (Controller Area Network): <http://www.can-cia.org/can/>

[44] Optolyzer for MOST: [www.smsc-ais.com](http://www.smsc-ais.com)

[45] Testing Technologies: [www.testingtech.de](http://www.testingtech.de)

[46] Conformiq: [www.conformiq.com](http://www.conformiq.com)

[47] UML 2.0 Test Profile: [www.omg.org](http://www.omg.org)

[48] DaimlerChrysler Test-Technologien: [www.systematic-testing.com](http://www.systematic-testing.com)

## 12. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AP	Arbeitspaket
ASN.1	Abstract Syntax Notation number 1
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSC	Base Station Controller
BER	Basic Encoding Rules
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CR	Change Request
CTMF	Conformance Testing Methodology and Framework
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
FMCT	Formal Methods in Conformance Testing
GSM	Global System for Mobile Communications
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IDL	Interface Definition Language
IPv4	Internet Protocol version 4
ISO	International Standardisation Organization
ITEA	Information Technology for European Advancement
ITU	International Telecommunications Union
LTS	Labelled Transition Systems
MSC	Message Sequence Chart
NE	Netzwerkelement
ORB	Object Request Broker
PDE	Positioning Determination Entity
RMI	Remote Method Invocation
RPP	Remote Positioning Protocol
SA	SUT Adapter
SMLC	Serving Mobile Location Center
SUT	System Under Test
TCI	TTCN-3 Control Interface
TCP	Transmission Control Protocol
TLI	TTCN-3 Logging Interface
TRI	TTCN-3 Runtime Interface
TT-Medal	Test and Testing Methodologies for Advanced Languages
TTCN-3	Testing and Test Control Notation version 3
UDP	User Datagram Protocol
UML	Unified Modelling Language

	TT-Medal Abschlussbericht	Seite : 55 of 55
		Version: 1.0 Datum: 03/08/2006
		Status : Final

U2TP      UML2 Testing Profile  
XML      eXtensible Markup Language  
ZE        Zuwendungsempfänger