

TUCar - A Test Platform for Communication and Control in Cars

TUCar is a moving test platform for evaluating new concepts in communication and control of electronic controller units (ECUs). The mission of TUCar ist the testing of the following two goals for a future car:

- 1.) Improved data transmission between all electronic components
- 2.) Re-centralization of ECUs

Therefore, the two sub-projects **CarRing II** and **ConPar** have been defined. CarRing II allows for intra-car communication by means of a realtime computer network instead of field busses. ConPar bundles ECUs in one unit via emulating them in a reliable realtime parallel computer.

TUCar - Eine Testplattform für Kommunikation und Steuergeräte im Auto

TUCar ist eine fahrende Testplattform zur Erprobung neuer Konzepte für Kommunikation und für Steuergeräte. TUCar soll für ein Auto der Zukunft die folgenden zwei Zielsetzungen erkunden und testen:

- 1.) Eine verbesserte Datenübertragung zwischen allen Elektronikkomponenten
- 2.) Eine Rezentralisierung der Steuergeräte (ECUs)

Für diese Punkte wurden die beiden Teilprojekte **CarRing II** bzw. **ConPar** definiert. Beim Teilprojekt CarRing II erfolgt die Intra-Auto-Kommunikation über ein EchtzeitRechnernetz anstelle von Feldbussen. Beim Teilprojekt ConPar wird eine Rezentralisierung der Steuergeräte durch Echtzeit-Emulation derselben in einem zuverlässigen Echtzeit-Parallelrechner durchgeführt.

Das Ziel von TUCar ist es, die Intra-Auto-Kommunikation zu verbessern und die Zahl der Steuergeräte zu reduzieren. Dadurch sollen Probleme bei der Vernetzung, der Software-Qualität, dem Test und der Systemintegration von Sensoren, Aktoren und Steuergeräten verkleinert werden. Mit Hilfe einer besseren Datenübertragung im Auto und weniger Steuergeräten kann man einen kleineren Kabelbaum, eine Reduzierung der Zahl der Steckverbinder, mehr Softwarefunktionalität und -qualität und eine höhere Energieeinsparung erzielen. Die zugrunde liegenden Basistechniken sind Echtzeit-Rechnernetze und Echtzeit-Parallelrechner.

Die höhere Funktionalität und Qualität der Software in den Steuergeräten wird durch die Verwendung eines Rechnernetzes mit Protokollen anstelle der Feldbusse CAN, LIN und Flexray erreicht. CarRing II hat einen hohen Abstraktionsgrad auf der Anwenderebene. Es

implementiert nicht nur eine High Level-Programmierschnittstelle (API), sondern beruht auf Echtzeitprotokollen auf allen 7 Ebenen des ISO-Modells für geschichtete Kommunikation. Alle Schichten sind in VHDL auf einem FPGA implementiert und erlauben 3 Gbit/s Datenrate, deterministische Latenzen im Mikrosekundenbereich und eine zuverlässige Datenübertragung.

Die Interprozessorkommunikation von ConPar beruht ebenfalls auf CarRing II, so dass die Datenübertragung und -verarbeitung mit derselben Technik erfolgt. Heterogenität wird dadurch vermieden und die Anbindung von Sensoren und Aktoren an das Steuergerät vereinfacht. Mit Hilfe von CarRing II und ConPar sind neue Funktionen im Fahrerassistenz- und -infotainmentbereich implementierbar, ohne die Systemintegration wesentlich komplexer zu machen. Ein vollständiges X-By-Wire-Fahrzeug mit fortgeschrittenen Assistenz- und Informationssystemen wird einfacher realisierbar.

CarRing II und ConPar sind kompatibel zum Industriestandard AUTOSAR und zu den Feldbussen CAN, LIN, Flexray und MOST. Entsprechende Adapter werden zur Verfügung gestellt. Existierende Sensoren und Aktoren sollen an CarRing II angeschlossen werden können. Existierende Software der Steuergeräte soll in unveränderter oder in vereinfachter Form von ConPar ausgeführt werden können.

Im Gefolge dieser Verbesserungen entstehen im Automobil weitere Vorteile:

- 1.) das Fahrzeugzeuggewicht und damit der Treibstoffverbrauch werden vermindert
- 2.) die Kosten, die Montage und der Test des Kabelbaums sind reduziert und vereinfacht und dessen Qualität wird erhöht
- 3.) Das zentrale Steuergerät ConPar kann durch gezieltes Abschalten bzw. Stand-by einzelner Verbraucher den Stromverbrauch senken
- 4.) Platz- und Abwärmeprobleme der Elektronik werden verkleinert
- 5.) die Skalierbarkeit der Fahrzeuge wird verbessert. Mit Hilfe skalierbarer Systeme müssen nicht mehr verschiedene Steuergeräte für unterschiedlich große Automodelle entwickelt werden. Vielmehr wird das System entsprechend des Automodells und seiner Ausbaustufe konfiguriert. Bei ConPar erfolgt die Skalierung entweder in der Software, oder falls nötig auch in seiner Hardware durch den Einbau zusätzlicher Prozessoren. Das letztere ist möglich, weil dessen Architektur skalierbar ist.
- 6.) der Aufwand für Systemintegration und Test bei Aktoren, Sensoren sowie Steuergeräten wird geringer, da nur ein einziges Kommunikationssystem vorhanden ist und nicht mehr mehrere zueinander inkompatible Feldbusse.

Die Ergebnisse von TUCar könnten zuerst im Rennsport- und im Nutzfahrzeugbereich Anwendung finden. Bei letzterem ist sowohl an Lastkraftwagen als auch an mobile Arbeitsmaschinen wie Traktoren und Mähdrescher gedacht. Die Gründe dafür sind zum einen die Kosten, die für den Einbau von CarRing II und Conpar im Fahrzeug anfallen werden. Diese tragen bei Einzelanfertigungen wie Rennwagen oder bei Nutzfahrzeugen nur wenig zu deren Gesamtkosten bei, sind also vernachlässigbar. Zum anderen verkörpern diese Fahrzeuge - zusammen mit den PKW-Oberklasselimosinen - die derzeit größtmögliche Komplexität, was Steuergeräte, Sensoren, Aktoren und deren Vernetzung anbetrifft, so dass der

Gewinn durch Vereinfachung hierbei am größten ist. Die von TUCar entwickelten Technologien können auch in der Automatisierungstechnik (CarRing II), beim Hochleistungsrechnen (ConPar) sowie in eingeschränktem Maße bei öffentlichen Kommunikationsnetzen eingesetzt werden.

Im Einzelnen ist TUCar eine fahrende Plattform mit Elektroantrieb in den Maßen und mit den Komponenten eines VW Golf V. Der Umfang der X-by-Wire-Funktionen von TUCar umfasst Steer-by-Wire, Accelerate-by-Wire und Break-by-Wire. Ferner werden die Frontscheinwerfer, Blinker, Bremslicht und Aussenspiegel über CarRing II angesteuert. Bei TUCar werden die Sensoren und Aktoren mit Hilfe von 12 CarRing II-Kommunikationsknoten an das zentrale Steuergerät, angeschlossen. Die Kommunikationsknoten sind auf 3 Ringtopologien verteilt; je einer für Antrieb/Bremsen, Lenkung und alle anderen Komponenten. Die Ringe wiederum sind über CarRing II-Router gekoppelt. In jedem Knoten sind Kommunikationsprozessoren vorhanden, die die CarRing II-Protokolle in Echtzeit ausführen. Alle 7 Schichten des ISO-Modells sind in VHDL implementiert. Zusammen mit zwei Fahrkameras zur Fahrerassistenz bildet TUCar ein fortgeschrittenes mechatrisches System. Ein Teststand für CarRing II wurde bereits auf der Hannover Messe, der CeBit und der Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) in Frankfurt gezeigt. Dasselbe Messeprogramm ist auch für TUCar geplant.

Das Echtzeitrechnernetz CarRing II wird seit 5 Jahren in der Abteilung „Technische Informatik und Rechnersysteme“ der TU Clausthal entwickelt und erprobt. ConPar wurde unlängst gestartet. TUCar wird zusammen mit dem Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik der TU Clausthal entwickelt. Dieses Institut hat den mechanischen Teil des Projekts übernommen. Das Institut für Elektrische Energietechnik und das Institut für Elektrische Informationstechnik der Universität unterstützen das Projekt logistisch. TUCar wurde bzw. wird von der Volkswagen AG, der IAV GmbH und der Lenze GmbH gefördert. Eine Kooperation gibt es ferner mit DHB Componentes Automotivos in Brasilien.

H. Richter
18.2.08

Projektbeschreibung CarRing II, TUCar V0 und V1

Motivation

In modernen PKW und Geländewagen wird die Verkabelung der elektrischen Komponenten untereinander und mit der Peripherie zunehmend zu einem Problem. Im neuen Audi Q7 beispielsweise sind ca. 4 km Kupferkabel verlegt. Je nach Ausstattung können es auch mehr sein, und an jedem Kabelende sitzt ein Stecker. Insgesamt gibt es im Q7 Hunderte von Steckverbindern, von denen die meisten individuell sind, d.h. i.d.R. ist kein Stecker

wie der andere. Zwar ist die Automobilindustrie bemüht, Stecker soweit wie möglich entfallen zu lassen, aber aufgrund von Montagegegebenheiten, aus Kostengründen, wegen der Stecksicherheit und zur Vermeidung von Verwechslungen lassen sich beim bisherigen Kabelbaumkonzept der Automobilindustrie die meisten der individuell angefertigten Stecker leider nicht vermeiden.

Kupfer ist jedoch teuer und schwer und Steckverbinder sind korrosionsanfällig und fehlerträchtig. Das Gewicht beim Q7-Kabelbaum beispielsweise beträgt ca. 30 kg. Hinzu kommt: das Erstellen, Verlegen und Testen des Kabelbaums ist ein arbeitsintensiver Vorgang, also ebenfalls teuer. Insgesamt wird seitens der Industrie ein großer Aufwand betrieben, die Steckverbindungen noch sicherer zu machen und die Qualität einzuhalten, bis hin zu End-of-Line-Prüfungen.

Schließlich ist selbst der moderne Kabelbaum des Q7 aus elektrischen Gründen nicht in der Lage, breitbandige Sensorsignale von Fahrerassistenzsystemen (FAS) wie Kamera, Spurhalteassistent, Spurwechselassistent, Abstandradar oder Nachtsicht zu übertragen. Hierzu ist zusätzliche Spezialverkabelung in Form des Multimediabusses MOST erforderlich. Ähnlich ist die Situation bei Fahrerinformationssystemen (FIS) wie Navigation, Radio und DVD.

FAS und FIS nutzen bereits die neuesten Busentwicklungen auf diesem Gebiet (FLEXRAY und MOST), jedoch handelt es sich wiederum "nur" um Busse, nicht um ein Rechnernetz. Außerdem sind die Datenraten mit maximal 10 Mbit/s bei FLEXRAY bzw. 30 MBit/s bei MOST eher moderat.

An genau dieser Stelle wollen wir mit einem neuen, ringbasierten Kommunikationssystem ansetzen, das alle Anforderungen an die Kommunikation und Vernetzung im automobilen Sektor erfüllt. Dieses System ist das derzeit an der TUC entwickelte Echtzeitrechnernetz CarRing II. CarRing II kann alle herkömmlichen Bussysteme im Auto ersetzen, d.h. CAN, FLEXRAY, LIN und MOST werden ebenso überflüssig wie ein aufwendiger Kabelbaum. Verdrahtung und Steckverbinder werden durch verdrehte und abgeschirmte Kupferkabel, die in mehreren Ringen gekoppelt sind, auf ein Minimum reduziert. Die Daten werden mit 1 Gbit/s 1000 mal schneller als bei CAN übertragen. Zusätzlich steht mit CarRing II erstmalig die volle Software-Funktionalität eines ISO-7-Schichten Rechnernetzes auch im Automobil zur Verfügung.

Überblick über das CarRing II-Projekt

In derzeitigen Autos ist der Stand der Technik charakterisiert durch Signalübertragungen auf Bussen, für die im Fahrerassistenzbereich (FAS) sogenannte Feldbusse wie CAN, LIN und FLEXRAY eingesetzt werden. Feldbusse sind jedoch im ISO-7-Schichten-Modell auf die Bitübertragungs- und Medienzugangsschicht beschränkt. Außerdem stellen sie eine Technologie der 1980er-Jahre dar. CAN, der prominenteste Vertreter der Gattung Feldbus, ist mittlerweile mehr als 25 Jahre alt. Dennoch ist CAN selbst im neuesten Porsche Cayenne zu finden, obwohl dieses Fahrzeug den Kunden bereits 145 000 € in der Grundausstattung kostet. Im Fahrerinformationbereich (FIS) werden Consumer-Technologien

wie MOST, USB oder Firewire verwendet. Diese sind hinsichtlich Ihres Produktzyklus rel. kurzlebig.

Es kommt hinzu, daß zukünftige Automobile verteilte mechatronische Systeme auf vier Rädern sein werden, in denen Kommunikation und Vernetzung zentrale Technologien darstellen, während die klassische Mechanik, Hydraulik und Elektrik zunehmend in den Hintergrund treten wird. Verbesserungen im Automobil und seine Wertschöpfung wird mehr und mehr bei FIS und FAS stattfinden. Abgesehen von Aspekten des besseren Designs, der höheren Sicherheit, des niedrigeren Verbrauchs und der geringeren CO₂-Emission werden zudem Konkurrenten aus China und zeitversetzt auch aus Indien in wenigen Dekaden den klassischen deutschen Maschinenbau komplett kopiert haben, bei gleichzeitig sehr viel niedrigeren Produktionskosten.

Wir schlagen deshalb für FIS und FAS anstelle von Kabelbaum und Steckern ein neues, dediziertes, Echtzeit-Rechnernetz, genannt CarRing II vor, das über einen großen Funktionsumfang verfügt, indem es alle 7 ISO-Schichten implementiert. CarRing II zielt auf die gesamte Intra-Auto-Kommunikation ab, die aus Systemsicht betrachtet wird. CarRing II wird zukünftige Fahrerassistenz- und Informationssysteme optimal unterstützen. Seine 4 Ziele im Vergleich zu Feldbussen und Consumer-Technologien sind besseres Echtzeitverhalten bei grösserer Zuverlässigkeit, Handhabbarkeit und Effizienz. Es basiert auf Kupferkabeln mit 1 Gbit/s Datenrate, die in bis zu 256 Ringen angeordnet sind. Sein neues Medienzugangsverfahren ist fair, vermeidet Verklemmungen, garantiert eine Obergrenze für die Paket-Zustellzeit (Latenz) und eine hohe Auslastung der verfügbaren Bandbreite. CarRing II sorgt für automatisches Auto-weites Routing von Datenpaketen über eine 48 Bit-Adressierung aller elektronischen Komponenten in einem Automobil. Die ersten 16 Bit dieser „Komponentenadresse“ wird zur Adressierung der Ringe (bis 256), der Knoten (bis zu 16 pro Ring) und der an die Knoten angeschlossenen Sensoren, Stellern und Steuergeräte (bis zu 16 pro Knoten) verwendet. Die verbleibenden 32 Bit adressieren bis zu 4 GB an Hauptspeicher oder Registerspeicher in jeder einzelnen Elektronikkomponente. Dies ist das Konzept des verteilten gemeinsamen Speichers (Distributed Shared Memory).

Darüberhinaus sorgt CarRing II ähnlich wie eine Middleware im Internet für Authentifizierung und Autorisierung bei remote login in Fahrzeugkomponenten, sowie für ein gemeinsames Datenaustauschformat zwischen Steuergeräten. CarRing II ist in diesem Sinne eine Middleware für Echtzeitkooperation. Der Unterschied zur eigentlichen TCP/IP-basierten Internet-Middleware liegt jedoch in seiner Echtzeit-Fähigkeit, die durch Separierung von Kommunikation und Anwendung in getrennten Einheiten, durch Verzicht auf ein Betriebssystem bei den Kommunikationsknoten, sowie durch den Einsatz von Knoten-internen Prozessoren mit deterministischen Programmausführungszeiten gewonnen wird. CarRing II-Knoten bestehen intern aus maßgeschneiderter Hard- und Software, die nur einem Zweck dient, der Bereitstellung von komfortablen Programmaufrufen (CALLs) für die Echtzeitkooperation zwischen Fahrzeugkomponenten. Auf jeder Schicht von CarRing II ist eine Programmierschnittstelle (API) definiert und für Autohersteller und Zulieferer zugänglich. Die Schnittstelle von CarRing II zum Anwender ist ein neues Programmiermodell basie-

rend auf remote Interrupts, remote DMA, verteiltem gemeinsamen Speicher über remote READ und WRITE mit Semaphore Locking, sowie Prozesskommunikation über Portadressen mit Hilfe von SEND und RECEIVE. Durch diese Funktionen und das von Rechnernetzen bekannte Quality-of-Service-Konzept zeichnet sich CarRing II bei der Intra-Auto-Kommunikation gegenüber vielen anderen Lösungen aus.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik gibt es einen Mangel bei Middleware für Echtzeitkooperation, der sich nicht nur im automobilen Sektor sondern auch in der Automatisierungstechnik, der Robotik, der Messdatenerfassung, sowie der Steuerung und Regelung zunehmend bemerkbar macht. CarRing II versucht, diesen Mangel zumindest bei Automobilen zu beheben.

Schließlich ist die Integration von CarRing II in AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) leicht möglich. Zum einen, weil AUTOSAR eine entsprechende Flexibilität bietet, zum anderen, weil die AUTOSAR-Integration bereits im Konzept von CarRing II berücksichtigt wurde.

Die Zuverlässigkeit von CarRing II ist ein wichtiges Thema, das ebenfalls von Anfang an berücksichtigt wurde. Es ist beabsichtigt, sicherheitskritische Systeme über Doppelring und Doppelknoten redundant auszulegen, zusammen mit einem Voter auf dem Chip und einem Bypass pro Knoten, um defekte Knoten zu umgehen. Darüberhinaus unterstützt die Schicht 3 von CarRing II adaptive Wegewahl im Fehlerfall, so dass auch dann noch Komponenten über Umwege im Auto erreicht werden können, wenn der vorgesehene Hauptpfad ausgefallen ist. Die adaptive Wegewahl setzt voraus, dass es mehrere Ringe im Auto gibt, was aus Performanz- und Zuverlässigkeitsgründen wichtig ist. Bis zu 256 Ringe sind möglich. Schließlich sorgt ein Transaktionskonzept, ähnlich wie es von Datenbanken her bekannt ist, für konsistente System- und Speicherzustände, auch wenn ein Knoten oder ein Ring mitten bei der Ausführung eines READ oder WRITE-Kommandos bzw. bei SEND oder RECEIVE ausfallen sollte. Last, but not least wird auf den Schichten 2 und 5 über automatische Paketwiederholungen im Fehlerfall für weitere Zuverlässigkeit unter reduziertem Echtzeitverhalten gesorgt.

Es ist das Ziel, daß CarRing II alle Kommunikationsaufgaben übernehmen kann, auch die sicherheitskritischen. Aufgrund der dazu benötigten Sicherheitsfunktionen sowie der geltenden Abnahmevorschriften muß CarRing II mindestens dieselbe Zuverlässigkeitsrate wie herkömmliche Systeme erreichen. Klar ist, dass dieses Ziel nur in langjähriger Kooperation mit der Automobilindustrie erreichbar ist. Das Projekt CarRing II ist deshalb längerfristig angelegt. Fest steht ferner, dass der beschriebene Funktionsumfang nicht zum Nulltarif zu haben sein wird. Preise für Computerchips haben aber eine beständig fallende Tendenz. Sie werden entweder bei gleicher Funktionalität von Generation zu Generation um den Faktor zwei billiger, oder sie steigern bei gleichem Preis ihre Funktionalität um den Faktor zwei von Generation zu Generation. Die Zeitkonstante einer Generation beträgt dabei nur zwei Jahre (Moorsches Gesetz). Die Probleme heutiger Informatik-Systeme liegen deshalb im Großen und Ganzen weniger bei der Hardware als bei der Software, bzw. deren Fehlerfreiheit. Dies gilt auch für CarRing II, dessen zentrale Hardware-Komponente ein einziger pro-

grammierbarer Logikbaustein (FPGA) darstellt. Die Software-Funktionen von CarRing II sind bislang in C und VHDL teilimplementiert.

Teilprojekte von CarRing II

CarRing II hat derzeit 3 Teilprojekte: 1.) den Teststand, der bereits auf diversen Messen wie der Hannover Messe und der IAA gezeigt wurde, 2.) den Simulator, der die Protokolle von FLEXRAY simulativ mit denen von CarRing II hinsichtlich ihrer Leistung vergleicht und 3.) das TUCar. Das Rahmenprojekt CarRing II und seine drei Teilprojekte sind auf folgenden web-Seiten ausführlicher beschrieben:

<http://www.in.tu-clausthal.de/abteilungen/technische-informatik-und-rechnersysteme/forschung/abteilung-rechnernetze/projekt-carring-ii/>

Die zugrunde liegenden Technologien und Überlegungen sind in einem Video auf Deutsch und Englisch dokumentiert. Das deutsche Video ist unter http://video.tu-clausthal.de/kurzfilme_forschung/ifi/carRingII_deu/ zu finden, die englische Version liegt unter http://video.tu-clausthal.de/kurzfilme_forschung/ifi/carRingII_eng/. Zur Wiedergabe der Filme muß ein sog. MPEG-Decoder auf dem Rechner installiert sein. Dann kann ein Standard-Player wie z.B. der von Windows verwendet werden. Zusätzlich können DVDs der Filme mit hoher Auflösung und Qualität beim Projektleiter angefordert werden.

Teilprojekt TUCar

Das Teilprojekt TUCar realisiert Automobile in einem schrittweisen Prozess, d.h. in mehreren Versionen. Die Version 0 von TUCar ist bzgl. seiner Mechanik ein Studentenprojekt, das mit einigen Serienteilen eines VW Golf V realisiert werden wird. TUCar V0 soll hinsichtlich seiner Elektronik aber bereits eine prototypische Teilimplementierung von CarRing II-Knoten samt beispielhafter Anbindung an VW-Komponenten beinhalten. TUCar V1 wird aus einem modifiziertem VW Golf V bestehen, der zwar nicht über den Funktionsumfang eines echten Fahrzeugs verfügt, aber näher an der Realität ist als TUCar V0. Der Zweck von TUCar V0 und TUCar V1 besteht darin, die Eigenschaften von CarRing II einigermaßen realistisch zu testen und zu demonstrieren. Eine funktionierende CarRing II-basierte Komponentenvernetzung wiederum bildet eine sehr gute technische Basis für die Vision vom Autonomen Fahren, die seit geraumer Zeit von der Automobilindustrie verfolgt wird; von VW beispielsweise in einem Ausseninstitut der Stanford University in Palo Alto. Im folgenden werden die Konzepte von TUCar V0 und V1 erläutert.

Konzept TUCar V0

TUCar V0 ist ein ferngesteuertes, fahrendes Vehikel, d.h. ein Rover, der von einem Leitstand aus gelenkt wird. Das heißt, TUCar V0 besteht aus zwei Teilen, einem stationären Leitstand und einem mobilen Rover.

Leitstand und Fernsteuerung sind nötig, um in dieser Phase des Projekts Personenschäden zu vermeiden, denn der Rover ist unbemannt. Als Leitstand wird das bereits existierende Fahrermodul aus dem CarRing II-Teststand verwendet. Bitte sehen Sie dazu das oben angegebene Video zum Teststand. Das Fahrermodul enthält alle üblichen Bedienelemente eines Autos wie Bedienknöpfe, Pedale, Lenkung und Schaltknüppel in einem einfachen, Auto-ähnlichen Cockpit, dessen Bedienelemente jedoch nicht mechanisch, sondern über Sensoren von einer Software abgefragt werden. Die so gewonnenen Daten werden durch einen Steuerrechner ausgewertet und über ein funkbasiertes Rechnernetz (WLAN) zum Rover gesendet. Funk ist nötig, damit sich der Rover frei bewegen kann.

Als Kommunikationsmedium wird CarRing II in einer Teilimplementierung sowohl im Fahrermodul als auch im Rover eingesetzt. Sitz und Lenkrad sind original VW-Golf V-Teile, Pedale und Schaltknüppel sind Bedienelemente aus dem Consumer-Bereich, die intern Potentiometer enthalten. Durch Drücken eines Pedals bzw. durch Bewegen des Schaltknüppels wird ein Potentiometer verstellt, wodurch sich sein Widerstandswert ändert. Diese Änderung wird von einem Analog/Digital-Wandler erfaßt und kann sowohl in eine Fahr-Simulator-Software eingespeist als auch zur Steuerung des Rovers von TUCar V0 verwendet werden.

Der Rover ist der Bodengruppe eines **VW-Golf V Variant** nachempfunden und benützt als wesentliche Komponenten dessen Vorder- und Hinterachsen, zusammen mit einem selbstentwickelten Fahrgestell. Die Vorderachse soll über das Lenksystem des Golf V gesteuert werden. Diese beinhaltet bereits im Original eine elektrische Lenkkraftunterstützung. Die herkömmliche durch die mechanische Lenksäule vorgegebene Lenkbewegung erfolgt im Rover durch einen numerisch gesteuerten Ersatzantrieb auf Basis eines Servomotors. Die Lenkimpulse kommen vom Fahrermodul, das wiederum den Ersatzantrieb der Lenkung ansteuert (= Steer-by-Wire-Prinzip). In Gegenrichtung überträgt der Rover von geeigneten Kameras Bilder zurück an den Bildschirm des Fahrermoduls, so dass der dort sitzende Bediener den Rover visuell fernsteuern kann.

Der beim TUCar V0 verwendete Leitstand (Fahrermodul) ist eine Verallgemeinerung von Steer-by-Wire, genannt X-by-Wire, wobei das X für alle manuellen Bedienelemente im Auto steht, d.h. für Bedienknöpfe, Gas, Bremse, Kupplung oder Schaltknüppel, deren Stellungen über CarRing II vom Fahrermodul zum Rover übermittelt werden. Davon werden bei TUCar V0 die Bedienknöpfe, Gas und Bremse ausgewertet, sowie beim Schaltknüppel die Tatsache, ob ein Vorwärts- oder Rückwärtsgang oder der Leerlauf eingelegt ist. Der optional zuschaltbare Software-Fahr-Simulator wertet allerdings alle X-by-Wire-Bedienelemente des Leitstandes aus.

Darüberhinaus ist das Fahrermodul in der Lage, ein eingeschränkt-realistisches Fahrgefühl zu vermitteln. Dazu hat das Fahrermodul ein Lenkrad und den Sitz vom Golf V und sog. Force Feed back. Force Feed back reproduziert die Kräfte, die bei Kurvenfahrt und bei Strassenunebenheiten normalerweise auf das Lenkrad ausgeübt würden. Hierfür werden an den Einzelradaufhängungen Drehmoment- bzw. Kraftsensoren installiert, die zusätzlich zu den normalen Beschleunigungskräften die durch Fahrbahnbeschaffenheit und -verlauf er-

zeugte Kräfte und Momente registrieren. Das Ziel ist es, dem Bediener des Rover mit Hilfe des Lenkrads eine taktile Rückmeldung über Kurvenfahrt und Strassenunebenheiten zu geben. Diese ist im Hinblick auf den späteren Einsatz von X-by-Wire in einem bemannten Fahrzeug von hoher Wichtigkeit, damit ein sensitives und situationsangepasstes Lenken über die menschlichen Sinne möglich ist. Force Feed back ist damit ein wichtiger Faktor für die Kundenakzeptanz.

Die für TUCar wichtigen Fragestellungen der inneren Regelungstabilität und Latenzzeiten der Lenkung und des Force Feed Back wird von der Professur für Regelungstechnik an der TUC bearbeitet werden.

Für die Realisierung von X-by-Wire im TUCar-Rover sind mehrere Schritte notwendig: zuerst messen Sensoren die wesentlichen Kräfte und Momente, die die Strasse auf die Vorderräder ausübt, während der Rover in einer Kurve ist oder über ein Schlagloch fährt. Danach werden diese Sensordaten mit Hilfe von CarRing II zum Fahrermodul zurück übertragen. Mit dieser Information wird ein separater Force Feed Back-Elektromotor angesteuert, der mit dem Lenkrad verbunden ist. Dieser Elektromotor repliziert die Sensordaten, die zuvor gemessen wurden. Als Resultat spürt der Fahrer die Strasse in ähnlicher Weise wie bei einer mechanischen Lenkung.

Der Rover wird mit Hilfe zweier Elektromotoren von jeweils 2,2 KW angetrieben. Damit stehen in TUCar V0 ca. 10% der Antriebsleistung eines echten Fahrzeugs zur Verfügung. Die beiden Elektromotoren dienen ausschließlich der Demonstration, dass CarRing II ein fahrendes Vehikel präzise steuern und vernetzen kann. Die Drehzahl der Elektromotoren wird über Getriebe untersetzt, um Drehmoment zu gewinnen. Die Getriebe sind über Wellenkupplungen mit den Golf V-Gelenkwellen verbunden, die das linke bzw. rechte Vorderrad antreiben. Die Antriebsmodule befinden sich mit allen elektrischen Einheiten bis auf die Batterie in unmittelbarer Nähe der Vorderachse.

Beide Motoren verfügen zusätzlich über je eine Ventilator-gekühlte Bremse, die als mechanische Rückfalllösung auch die Funktion einer Feststellbremse übernehmen kann. Die Dauergeschwindigkeit des Rovers soll 10 km/h betragen, und die Maximalgeschwindigkeit ca. 20 km/h. Das Vehikel kann mit Hilfe von Blei-Gel-Akkus als Energieversorgung ca. 1 h lang autonom zu fahren. Bei Vollast reduziert sich die Betriebsdauer auf ca. 30 Minuten. Werden moderne Lithium-Ionen-Akkus wie z.B. der Typ SCIB von Toshiba verwendet, erhöht sich die Betriebsdauer beträchtlich.

CarRing II dient nicht nur zur Ansteuerung der Antriebsmotoren, des Lenkmotors und der Bremsen. Zusätzlich werden im Rover das Fahr- und Abblendlicht, die Bremslichter und die Hupe eines Golf V installiert und können über das Fahrermodul zu Demonstrationszwecken ein- und ausgeschaltet werden. Da CarRing II ein Rechnernetz darstellt, ist bidirektionaler Datentransfer inklusive. Dementsprechend kann das Fahr-, Abblend- und Bremslicht des Rovers nicht nur über vier CarRing II-Knoten, die mit Leistungstransistoren versehen sind, ein- und ausgeschaltet werden, sondern es wird auch ein Lampenausfall als Fehlermeldung an das Fahrermodul zurück übermittelt, zusammen mit den bereits erwähnten Force Feed back- und Kamerasignalen.

Hinzu kommen die Steuerungen oder Regelungen für Steer-by-Wire, Clutch-by-Wire, Bra-

ke-by-Wire, Throttle-by-Wire und Shift-by-Wire, sowie eine gemischte 12V/230V-Energieversorgung für Elektroantrieb und CarRing II. Das 230 Volt-Bordnetz reduziert die Kabelquerschnitte in TUCar V0 wesentlich. Dies ist für Version 0 wesentlich, um Standardkomponenten bei Antrieb und Rechner verwenden zu können. Grundsätzlich werden aber auch bei Version 1 Energie und Information in jeweils eigenen Leitungen im Fahrzeug verteilt, wobei für die Energieversorgung ein Baum und für die Datenversorgung ein System aus Ringen eingesetzt wird.

Zusammengefaßt kann gesagt werden, dass das Ziel von TUCar V0 darin besteht, eine CarRing II-basierte Intra-Auto-Kommunikation unter realitätsnahen Bedingungen in einem unbemannten Fahrzeug zu testen. Es werden hierbei wesentliche Komponenten eines Serienfahrzeugs verwendet.

Mechanischer Aufbau des Rovers

TUCar V0 besteht aus zwei mechanischen Hauptkomponenten dem Rahmen und dem Aufbau. Der Rahmen besteht aus einem Fahrgestell aus Edelstahl und approximiert die Grundrissform eines Golf V. Er dient als Aufnehmer für alle Komponenten des TUCar V0. Diese sind:

- Komplette Vorder- und Hinterachse
- Lenkung
- Elektroantrieb
- Energiespeicher
- Leistungselektronik (Netzteile, Umrichter)
- Steuerrechner für X-by-Wire
- Sensorik
- Rechnernetzkopplung von Steuergeräten mit Peripherie (= CarRing II-Knoten u. Kabel)

Rahmen

Der Rahmen ist ein Träger zur Kraftaufnahme und wird für ein Gesamtgewicht von 600 kg ausgelegt. Er enthält alle Querträger und Halterungen, die für die Komponenten von TUCar V0 nötig sind, sowie abschnittsweise Bodenbleche, die leicht entfernt werden können. Die Bodenbleche haben keine Tragefunktion sondern dienen zum Schutz der Baugruppen gegen Einflüsse von unten. Die Aussenmaße des Trägers werden von der Bodengruppe des Golf V übernommen, genauso wie die Form. Die wichtigsten Halterungen sind die der Vorder- und Hinterachse, des Lenkbocks sowie der Lampenkomponenten vorne und hinten. Es sind an den Achsen diejenigen Haltepunkte im Raum, d.h. in 3D anzustreben, die auch beim Vorbildfahrzeug verwendet werden.

CAD-System

Für die Konstruktion von TUCar V0 wird ein CAD-System verwendet, für das Erfahrung im Umgang und eine Datenaustauschmöglichkeit mit der Software der beteiligten mechanischen Werkstätten existiert. Der momentane Stand des Projekts ist in Bild 6.0.1 gezeigt.



Bild 6.0.1: Stand des Projekts (Vorderansicht).

Räder

Es werden vier kommerzielle Räder von Volkswagen verwendet.

Achsen

Die Golf V-Achsen sind aufwendige Neukonstruktionen von Volkswagen und bestehen aus jeweils einem Träger, der mit dem TUCar V0-Rahmen verschraubt ist, sowie Anbauten mit den kompletten Einzelradaufhängungen wie Federdämpfer, Wellen, Lager und Stangen. Die Federbeine sowie alle zugehörigen Achslenker bekommen dem Original entsprechende Aufhängepunkte am TUCar V0-Träger. Darüberhinaus kann die Federsteifigkeit gemäß des kleineren Gewichts von TUCar V0 angepaßt werden. Die Scheibenbremsen werden beim TUCar V0 nicht verwendet, vielmehr gibt es eine Bremsung mit Hilfe der Antriebsmotoren und der Bremswiderständen in den Stellern. Zusätzlich gibt es zwei elektrisch gesteuerte (Feststell)-Bremsen, die auch bei Stromausfall anziehen. Zum Achsantrieb werden Drehstrom-Synchronmotoren verwendet, die über Frequenzumrichter (= Steller) in ihrem Drehmoment in Abhängigkeit von der Gaspedalstellung gesteuert werden und die Vorderräder individuell antreiben. Das Differential ergibt sich durch die getrennten Antriebe und die Regler in den Frequenzumrichtern.

Energieversorgung

Als Energieversorgung dient eine Hochtemperatur-Batterie vom Typ Zebra von der Fa. MES-DEA S.A. mit ca. 15 KWh Kapazität. Insgesamt sind vier voneinander getrennte

Stromkreise vorhanden. Diese teilen sich auf in zwei einphasige 230 V-Wechselstromkreise mit je 2,7 KW Maximalleistung, ein 230 V-Wechselstromkreis mit 0,5 KW und eine 12 Volt Gleichstromkreis mit 1 KW Dauerleistung. Diese Stromkreise werden über 4 Spannungswandler aus dem Stromkreis der Batterie realisiert. Zwei der Wechselstromkreise dienen der Versorgung der beiden Antriebsmotoren, die dritte versorgt die PCs von TUCar. Der 12 V-Stromkreis versorgt alle übrigen automobilen Verbraucher wie Lampen, Sensoren, CarRing-Knoten und Lenkmotor. Die Umrichter für die Motoren arbeiten mit 400 V Zwischenkreisspannung. Jeder CarRing-Knoten hat intern eine Spannungsstabilisierung und eine Akku-gestützte Notstromversorgung von ca. 5 W Leistung, um Störspannungen, Spannungsschwankungen und Spannungsausfälle zu eliminieren.

Konzept TUCar V1

TUCar V1 sollte aus einem VW Golf V bestehen, der über einen modifizierten Antriebsstrang, Blechfreischnitte und einen reduzierten Kabelbaum verfügt. Die Modifikation des Antriebsstrangs ist wegen des Elektroantriebs nötig, Blechfreischnitte sind sowohl für die Installation der CarRing-Knoten als auch zur Erzielung eines Schaufeffekts notwendig. Sie sollten für Messen wie der IAA mit Formteilen aus PMMA-Glas abgedeckt werden können. Die beim reduzierten Kabelbaum weggelassenen Verbindungen werden durch CarRing II funktionsgleich ersetzt.

Durch die Verwendung eines echten Fahrzeugs in Phase II des TUCar-Projekts wird u.a. erreicht, dass das dynamische Fahrverhalten mit Hilfe üblicher Methoden geprüft und Fahrzeugparameter wie Sturz und Spur einfacher eingestellt werden können. TUCar V1 hat in einem eingeschränkten Betriebsbereich ein einigermaßen realistisches Fahrverhalten.