

# Antriebssicherheit mit System

Integrationstest mit modularer FPGA-Plattform  
für SIL-3-Antriebstechnik





Bei der Entwicklung des FPGA-basierten Antriebsreglers E-Darc setzt Ferrocontrol auf dSPACE-Hardware und -Software. Der Hersteller von Steuerungssystemen testet damit die einzelnen Module auf Sicherheit und Zuverlässigkeit und stellt so sicher, dass sie den strengsten Qualitätsrichtlinien genügen.

Wir bei Ferrocontrol entwickeln, fertigen und vertreiben Automatisierungskomponenten und komplette Automatisierungslösungen aus dem Bereich der Antriebstechnik (Hardware und Software) für Maschinenhersteller von Bearbeitungsmaschinen sowie für Endkunden. Unser Ziel ist es, auch für komplexe Systeme einen leicht konfigurierbaren und wartbaren Regler zu entwickeln, um hochgradig automatisierte Produktionsprozesse effektiv und wirtschaftlich zu gestalten. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, haben wir den FPGA-basierten Antriebsregler E-Darc entwickelt.

#### **FPGA-basiertes Antriebssystem E-Darc**

Der E-Darc ist speziell für Mehrachsenanwendungen in der Antriebs- und Automatisierungstechnik geeignet, beispielsweise für Verarbeitungszentren der Fenster- und Holzindustrie oder allgemein für CNC-Bearbeitungszentren. Achsmodule mit Ausgangsströmen von 2 bis 32 A und Versorgungsmodule im Bereich von 5 bis 25 kW decken ein großes Anwenderspektrum ab. Die Anzahl der angesteuerten Regler hängt alleine von der zur Verfügung stehenden Versorgungsleistung ab, E-Darc selbst setzt hier keine Grenzen



Abbildung 1: Der Antriebsregler E-Darc setzt sich aus mehreren Modulen zur Ansteuerung mehrerer Achsen zusammen.

(Abbildung 1). Wir haben das System so entworfen, dass die komplette Antriebsregelung parallel auf einem FPGA platziert, also „in VHDL gegossen“, ist. Mit dieser quasi-analogen Regelung ergibt sich eine höchstmögliche Dynamik auch für Positions- und Drehzahlregelung. Durch den Einsatz von Oversampling-Verfahren für die Positions- und Strommesswerterfassung verbessert sich die Regelgüte, ohne zusätzliche Latenzzeiten innerhalb der Regelschleifen zu generieren. Auf Istwertfilter kann somit verzichtet werden. Überlagerte Funktionalitäten wie der Profilgenerator oder die Zustandsmaschine des Reglers werden auf einem Soft-core-Prozessor, dem Nios II®, abgearbeitet. Da dieser Prozessor ebenfalls auf dem FPGA platziert wird, ergibt sich hier ein zentraler Baustein, auf dem die gesamte Firmware des Achsreglers ausgeführt wird. Den Regelalgorithmus haben wir mit MATLAB®/Simulink® entwickelt und später mit einem VHDL-Autocoder der Firma Synopsys übersetzt (Abbildung 2). Zusätzlich zum E-Darc bietet Ferrocontrol optional das Versorgungsmodul „RePower“ an. Es arbeitet

mit Rückspeisung und entnimmt dem Versorgungsnetz ausschließlich Wirkleistung.

#### Entwicklung mit dSPACE

Bei der Entwicklung des E-Darc kamen Entwicklungstools und -hardware der Firma dSPACE zum Einsatz (Abbildung 2). Unser Antriebssystem ist mit separaten Hardware-Modulen

VHDL-Codierung, Synthese und Place&Route. Dies ermöglichte uns, Module und Algorithmen unabhängig voneinander zu entwickeln und bereits in Entwicklungsvorstufen umfangreich zu testen und die Testergebnisse immer wieder iterativ in den Entwicklungsprozess einfließen zu lassen. Die Zusammenarbeit der einzelnen Module haben wir in Integrationstests überprüft. Sie wurden auf Basis der Testdatenbank in-Step von microTOOL erstellt und mit dSPACE AutomationDesk automatisiert. Die so erreichte Durchgängigkeit vereinfacht den Nachweis der funktionalen Sicherheit von sicherheitskritischen Modulen gemäß SIL 3.

#### Modularer Aufbau des E-Darc-Systems

Der modulare Achsregleraufbau des E-Darc beinhaltet nicht nur steckbare Geber-, sondern auch Feldbuseinschubkarten. Er unterstützt folgende Geber(-systeme):

- Resolver
- SSI
- Hiperface®
- EnDat® 2.1
- EnDat® 2.2 (Safety)

„Mit dem dSPACE-HIL-Prüfstand stellen wir sicher, dass der Antriebsregler E-Darc strenge Qualitätsrichtlinien, zum Beispiel für die Sicherheitstechnik, einhält.“

Andreas Pottharst, Ferrocontrol Steuerungssysteme

modular aufgebaut, beispielsweise Feldbuskommunikation, Geberauswertung und Leistungsteil. Mittels Simulation an einem dSPACE-HIL-Prüfstand konnten wir den Fortschritt der Produktreife einzelner Module leicht prüfen und somit den Entwicklungsprozess des gesamten Systems entscheidend beschleunigen. Der klassische Entwicklungsprozess einer FPGA-Plattform beinhaltet die Stationen

Zwei Einschubplätze stehen für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle zur Verfügung. Nachrüstbarkeit und Unabhängigkeit von einem bestimmten Feldbussystem garantiert das steckbare Feldbusmodul, wobei momentan Module für CANopen, SERCOS III und Ethercat verfügbar sind. Um eine hohe Störfestigkeit im Achsregler gewährleisten zu können, sind die einzelnen Module über rein digitale

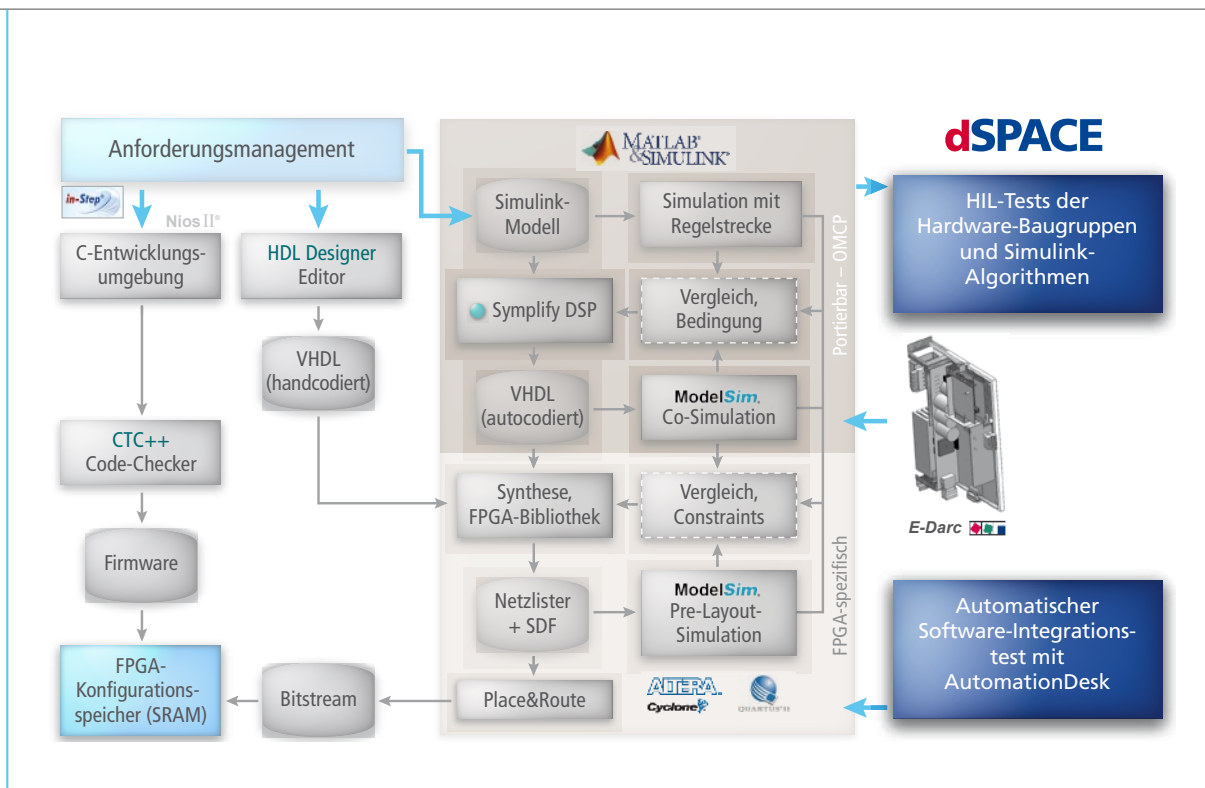


Abbildung 2: Der Entwicklungsprozess für den Antriebsregler E-Darc.

Schnittstellen (SPI, Serial Peripheral Interface) miteinander verbunden. So können wir einzelne Module losgelöst vom Achsregler testen und entwickeln.

Mit Hilfe des DS4121 ECU Interface Boards und eines DS551 ECU Interface Plug-on-Devices (POD), angebunden an ein FPGA Evaluation Board (Abbildung 3), können wir sämtliche SPI-Kommunikationsstellen zu dem jeweiligen Modul simulieren und somit alle Module unabhängig voneinander testen. Zu diesem Zweck besitzt das FPGA Evaluation Board neben der Anbindung an das POD des IP-Cores eine standardisierte SPI-Schnittstelle. Das POD kommuniziert über eine schnelle LVDS mit einer Frequenz von 20 MHz mit dem ECU Interface Board. Durch das dSPACE Real-Time Interface Blockset können wir verschiedene Parameter unter MATLAB/Simulink über ein „Schieberegister“ austauschen, ähnlich einem Dual-Port Memory.

#### Optionales Sicherheitsmodul

Dieses modulare System (Abbildung 4) kann wahlweise mit einem Safety-Modul mit zertifizierter Sicherheits-

technik nach Performance Level e (ISO 13849) bzw. SIL 3 (EN 61508) ausgestattet werden. Das Modul ist frei parametrierbar und ermöglicht verschiedene Sicherheitsfunktionen (Abbildung 5).

#### Software-Integrationstest nach Qualitätsrichtlinien

Bei der Zertifizierung des Safety-Moduls wird nicht nur die Hardware begutachtet, sondern der gesamte Entwicklungsprozess. Dieser Prozess (Abbildung 2) der Hard- und Software-Entwicklung des E-Darc unterliegt strengen Qualitätsrichtlinien, die sich im Bereich der Medizintechnik der Unternehmensgruppe etabliert haben und von Ferrocontrol übernommen wurden. Eine entscheidende Rolle spielt der Integrations-test, bei dem Hard- und Software zum ersten Mal komplett zusammengeführt werden (Black-Box-Test) und die grundlegende Funktionalität nachgewiesen werden muss. Bei der Testspezifikation und Ausführung dieses Tests wurde die Testfalldatenbank mit in-Step erzeugt und die Integrationstests mit AutomationDesk automatisiert. Das gesamte Anforderungs-

management wird mit in-Step durchgeführt. Indem wir einzelne Anforderungen mit Testfällen der unterschiedlichen Detaillierungsgrade verlinken, lässt sich der Entwicklungsprozess nachweislich durchgehend verfolgen und überwachen. Als Plattform für die mit AutomationDesk erzeugten Testsequenzen wird der Prüfstand in Abbildung 3 verwendet. Den Kern

## Glossar

**FPGA** – Field Programming Gate Array (programmierbarer integrierter Schaltkreis), der vom Anwender frei konfiguriert werden kann.

**VHDL** – Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language ist eine Hardwarebeschreibungssprache.

**SIL 3** – Sicherheitsintegritätslevel zur Beurteilung der Zuverlässigkeit elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme.

**CNC** – Computerized Numerical Control (computerisierte numerische Steuerung) ist eine elektronische Methode zur Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen.



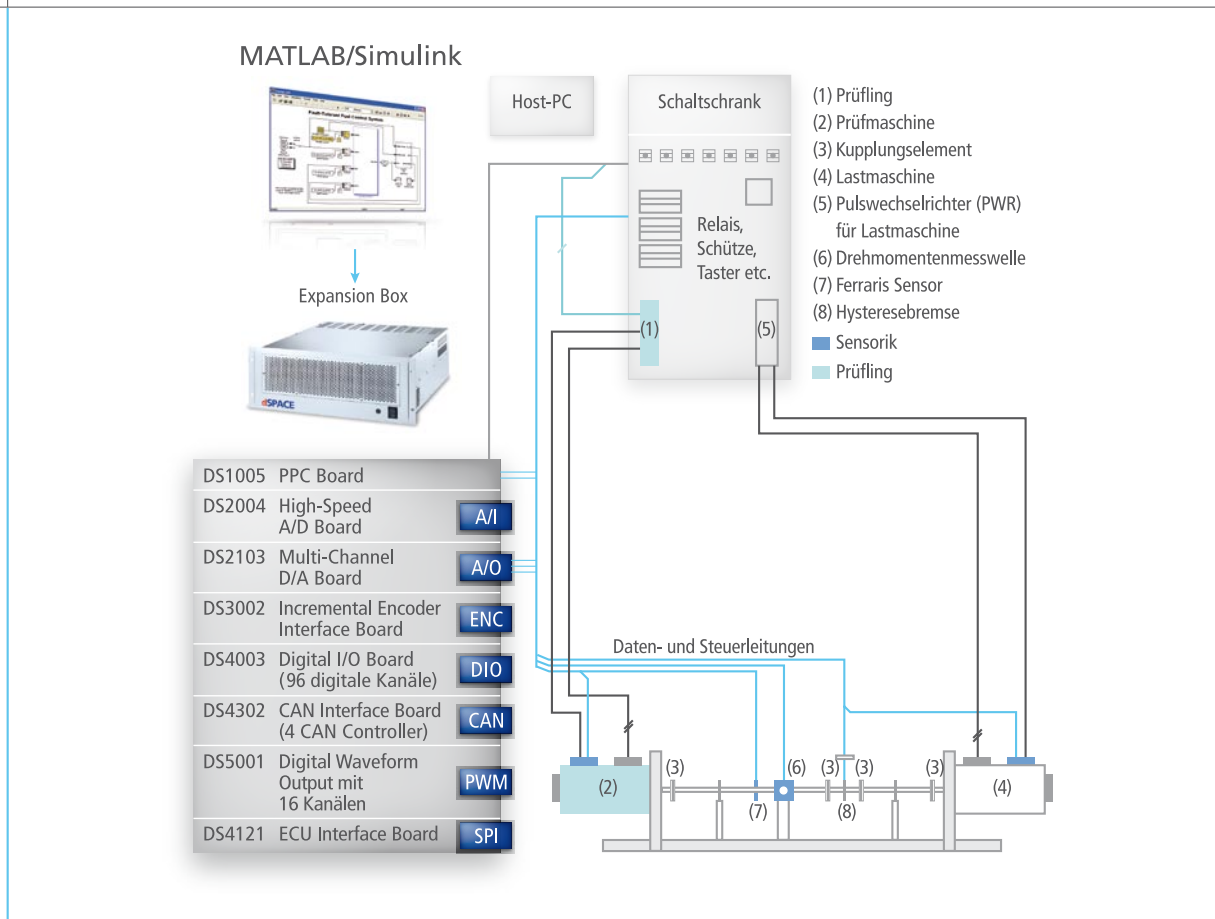


Abbildung 3: Integrations- und HIL-Prüfstand.

bildet ein modulares System der Firma dSPACE, das aus einem DS1005 PPC Board besteht, an das die I/O-Boards über den PHS (Peripheral High-Speed)-Bus angebunden

sind. Aufgrund der vielfältigen und flexiblen I/O dieses Systems, über das sämtliche äußeren Schnittstellen des E-Darcs angesteuert und überwacht werden können, ist eine

umfangreiche Testtiefe möglich, die für den Test sicherheitskritischer Systeme unabdingbar ist:

- So lassen sich zum Beispiel mit Hilfe der Lastmaschine unter-

Abbildung 4: FPGA Evaluation Board (Altera 3C120) mit DS551.

## Fazit

- Umfangreiche Modultests, basierend auf Prototyping mit angebundener FPGA-Plattform, beschleunigen die Entwicklung des E-Darc-Antriebs-systems. Fehler werden frühzeitiger erkannt.
- Eine vollständige Testfalldatenbank mit daraus abgeleiteten automatisierten Tests ist ein wichtiger Bestandteil für die Zertifizierung von antriebstechnischen Baugruppen des E-Darcs für die funktionale Sicherheit.
- Automatisierte Tests verringern dauerhaft den Testaufwand bei der Einführung neuer Firmware-Stände.



schiedlichste und aufwendige Lastprofile simulieren, die Vorgänge an realen Kundenmaschinen nachbilden. Bei diesen Testläufen besteht dann nicht die Gefahr, dass im Fehlerfall die reale Maschine beschädigt oder ein Werkzeug zerstört wird.

- Mit Hilfe des RTI CAN MultiMessage Blocksets konnte der hierzu notwendige CANopen-Master nachgebildet werden, indem unter anderem ein DBC-File basierend auf dem aktuellen Objektverzeichnis in Simulink eingebunden wurde. Dieser CANopen-Master kann die komplette CNC-Steuerung einer Maschine simulieren.

Nach Ablauf einer Testreihe generiert AutomationDesk einen Testreport, der

zeigt, ob die neue Firmware-Version für die jeweiligen Module freigegeben werden kann oder nicht. Zeitintensiv gestaltet sich hierbei allerdings das Einpflegen der Testergebnisse per Hand in die Testfalldatenbank, um den aktuellen Stand einer Firmware zu dokumentieren. Eine Software-Schnittstelle, über die automatisch die Testergebnisse in diese Datenbank eingepflegt werden, wie sie beispielsweise bereits für die Anforderungsverfolgungs-Software IBM® Rational® DOORS® existiert, ist in einer weiteren Ausbaustufe geplant. ■

*Dr.-Ing. Andreas Pottharst  
Leiter Entwicklungsabteilung  
Ferrocontrol Steuerungssysteme  
Deutschland*



*Dr.-Ing. Andreas Pottharst*

*Dr.-Ing. Andreas Pottharst leitet die Entwicklungsabteilung für Antriebs- und PC-Technik bei Ferrocontrol Steuerungssysteme in Herford.*

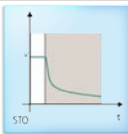
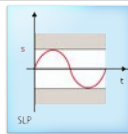
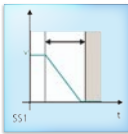
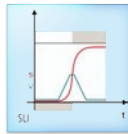

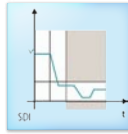
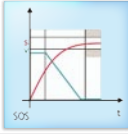

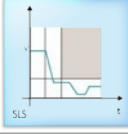
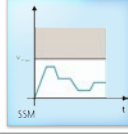
STO – Safe torque off		SLP – Safely limited position	
SS1 – Safe stop category 1		SLI – Safely limited increment	
SS2 – Safe stop category 2		SDI – Safe direction	
SOS – Safe operating stop		SBC – Safe brake control	
SLS – Safely limited speed		SSM – Safe speed monitor	

Abbildung 5: Sicherheitsfunktionen des E-Darc-Safety-Moduls.

## Firmenprofil

Als Steuerungshersteller ist Ferrocontrol seit 36 Jahren der Innovationspartner der Fenster- und Holzindustrie. Seit 2006 gehört das Unternehmen zu der Eckelmann AG mit Sitz in Wiesbaden. Die Produkte und Dienstleistungen von Ferrocontrol umfassen das gesamte Spektrum der Fensterfertigung, von Steuerungen für Lager, Zuschnittzentren, Sägen, Schweißmaschinen über Eckenverputzmaschinen sowie Beschlagsmontageautomaten bis hin zu Puffersystemen im Versandbereich sowie Logistik, Fertigungssteuerungs- und Leitsystemen. Bei der Entwicklung von branchenspezifischen Lösungen, die auf Anforderungen und Wünsche der Kunden bzw. des Marktes abgestimmt sind, setzt man auf die Entwicklung, Projektierung und Fertigung eigener Hard- und Softwarekomponenten.