

Development of Criteria for the Diversity Assessment of FPGAs and CPLDs in Safety Related I&C Systems

Dr. Manuela Jopen

14.10.2019

GRS, Germany

Motivation

- Complex electronic components (CECs) like FPGAs and CPLDs are increasingly applied in I&C systems of NPPs:
 - Implementation of new I&C systems
 - Upgrade of existing I&C systems or
 - Replacement of single components within I&C systems

→ *Regulatory approval is required for all safety or safety-related I&C*

- Diversity is an important aspect for regulatory approval of safety or safety-related I&C
 - Usage of different CEC in several redundancies
 - Safety requirements have to be fulfilled by CEC based I&C

→ *What means diversity of different CEC? What is “diverse enough”?*

Current Work with Regard to Diversity Assessment of Digital I&C

Diversity Matrix

- Comprises diversity criteria of digital I&C systems or their components
 - Criteria were derived from a generic digital I&C system
 - Criteria are structured according to the life cycle

Current Work with Regard to Diversity Assessment of Digital I&C

Diversity Matrix

- Comprises diversity criteria of digital I&C systems or their components
 - Criteria were derived from a generic digital I&C system
 - Criteria are structured according to the life cycle

CAMIC (Cyclic Analytic Methodology for I&C)

- Development of a generic, systematic approach for the assessment of digital I&C
- Computer-based realisation in progress
- Integration of digital version of diversity matrix in progress

Current Work with Regard to Diversity Assessment of Digital I&C

Diversity Matrix

- Comprises diversity criteria of digital I&C systems or their components
 - Criteria were derived from a generic digital I&C system
 - Criteria are structured according to the life cycle

CAMIC (Cyclic Analytic Methodology for I&C)

- Development of a generic, systematic approach for the assessment of digital I&C
- Computer-based realisation in progress
- Integration of digital version of diversity matrix in progress

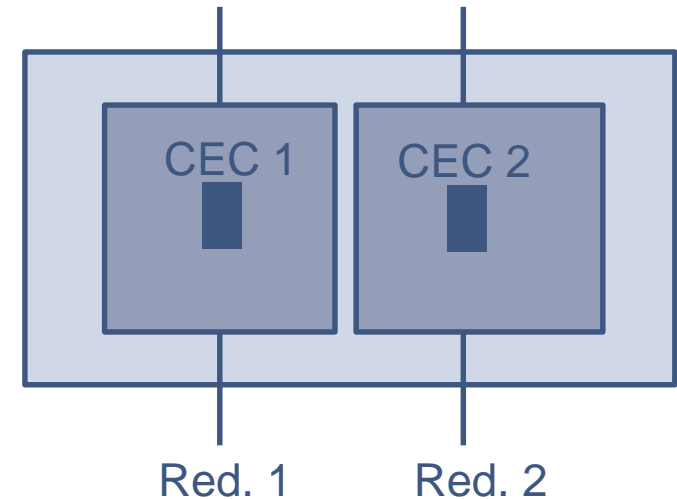
Development of Selection Criteria for CEC in I&C Systems

- Investigation of CEC to determine relevant diversity criteria
- Additional input for diversity matrix and CAMIC

Development of Selection Criteria for CEC in I&C Systems

- Study on the state of the art CECs (FPGAs, CPLDs) with focus on the following aspects
 - Which CECs are currently available on the market?
 - Which of these CECs are already implemented in I&C of NPPs?
 - What are the nuclear regulatory requirements concerning the choice of CECs?
 - What are diversity criteria for usage of different CEC in several redundancies of an I&C system?

- Strategy
 - Determination of relevant requirements
 - Determination of relevant manufacturers and CEC
 - Determination of relevant distinguishing characteristics of selected CEC
 - Derivation of diversity criteria
 - Extension of diversity matrix



Requirements Relevant for CEC Selection

General	
<ul style="list-style-type: none"> • General QA-measures of manufacturer (ISO 9000 certification) • Documented QA-measures specific for the product (e.g. according to DIN 61508, 60880, 62138) 	VDI/VDE 3528
<ul style="list-style-type: none"> • Dissimilar I&C differ with regard to <ul style="list-style-type: none"> – Hardware + Software, – Development tools + teams, – Manufacture, – Test and maintenance in a way that no systematic failure has to be postulated. 	German Safety Requirements
Documentation	
<ul style="list-style-type: none"> • Datasheets of programmable components must be provided, incl. data connections 	KTA 3503, 3505
<ul style="list-style-type: none"> • Is Information contained in datasheets about: <ul style="list-style-type: none"> – Failure rates und types of failures – Environmental conditions – Requirements for power supply – Information about version of the software-tool 	DIN IEC 61513 DIN EN 62566 KTA 3503, 3505

Requirements Relevant for CEC Selection

Selection Criteria for CEC	
<ul style="list-style-type: none"> • CEC-vendor/ manufacturer • CEC-families • Produced in different factories • Programming technology: SRAM, flash, EEPROM, antifuse • Types of CLB: LUT or multiplexer • Chipsize, feature size • Architecture • Embedded functionality • Failure rates • Complexity • Simple soft IP-cores, different libraries for IP-cores • Different programming languages • Software-tools • Duration of vendor support for the chip • Operating experience 	<p>IAEA NP-T 3.17</p> <p>EPRI 1019181</p> <p>EPRI 1022983</p>

Manufacturers

	Manufacturer	Founding Year
1	Cobham	1934
2	Aeroflex	1937
3	Microsemi	1959
4	Intel	1968
5	Altera	1983
6	Lattice Semiconductor	1983
7	Atmel	1984
8	Xilinx	1984
9	Actel	1985
10	Quicklogic	1988
11	Microchip	1989
12	Achronix Semicond.	2004
13	SiliconBlue	2005

Manufacturers

	Manufacturer	Founding Year	Takeover
1	Cobham	1934	
2	Aeroflex	1937	Takeover by Cobham in 2014
3	Microsemi	1959	Takeover by Microchip in 2018
4	Intel	1968	
5	Altera	1983	Takeover by Intel in 2015
6	Lattice Semiconductor	1983	
7	Atmel	1984	Takeover by Microchip in 2016
8	Xilinx	1984	
9	Actel	1985	Takeover by Microsemi in 2010
10	Quicklogic	1988	
11	Microchip	1989	
12	Achronix Semicond.	2004	
13	SiliconBlue	2005	Takeover by Lattice Semiconductor in 2011

Manufacturers

	Manufacturer	Founding Year	Takeover
1	Cobham	1934	
	Aeroflex	1937	Takeover by Cobham in 2014
2	Microsemi	1959	Takeover by Microchip in 2018
3	Intel	1968	
	Altera	1983	Takeover by Intel in 2015
4	Lattice Semiconductor	1983	
	Atmel	1984	Takeover by Microchip in 2016
5	Xilinx	1984	
	Actel	1985	Takeover by Microsemi in 2010
6	Quicklogic	1988	
7	Microchip	1989	
8	Achronix Semicond.	2004	
	SiliconBlue	2005	Takeover by Lattice Semiconductor in 2011

Manufacturers – Selection

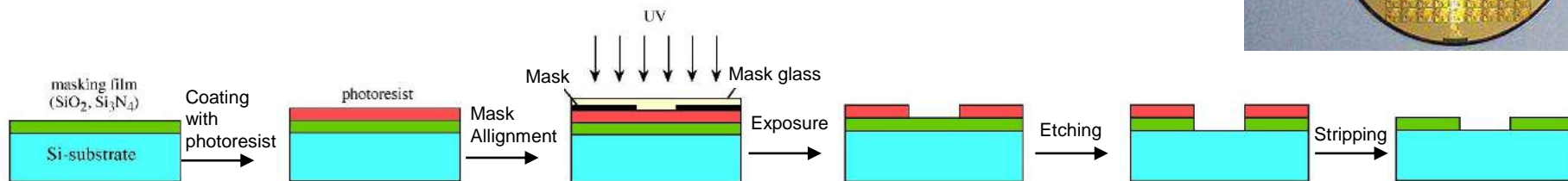
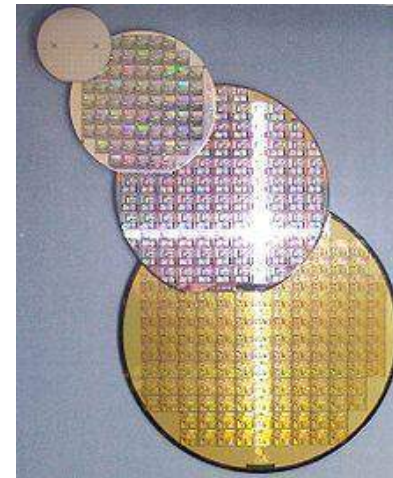
	Manufacturer	Safety Relevant Application	Standard Certificates
1	Intel/Altera	X	X
2	Xilinx	X	X
3	Lattice Semiconductor/SiliconBlue	X	X
4	Microchip/Atmel	X	X
5	Microsemi/Actel	X	X
	Cobham/Aeroflex	X	X
	Quicklogic	-	(X)
	Achronix Semicond.	-	-

CEC in NPPs

	Platform	CEC-Manufacturer	CEC
Wolf Creek, Diablo Canyon, Vogle, VC Summer, USA	CS-Innovations, Westinghouse	Microsemi/Actel	ProASIC APA600-BG3461
Lungmen, Taiwan	Westinghouse	Microsemi/Actel	Smartfusion (SoC with ProASIC3 FPGA)
Temelin, Czech R.	Westinghouse	Microsemi/Actel	A14100A
South Texas, USA ABWR, Japan	Toshiba	Microsemi/Actel	SX-A: A54SX72A, A54SX32A (Antifuse)
Darlington, Canada	Radiy	Altera Xilinx	SRAM-Typ Virtex 5 XC5VLX 30/50/110
Kozloduy 5+6, Bulgaria	Radiy	Altera Microsemi/Actel	Cyclone (SRAM) ProASIC3 (Flash)
EDF 900, France	Rolls Royce Civil nuclear	Microsemi/Actel	A3P1000 (Flash)

Hardware Manufacture

- High-purity oder doped silicon
 - > 99% of ICs use silicon as substrate material
- Generating ingots
- Producing wafer by sawing the ingot in small slices
 - By means of inner diameter saw or wire saw
 - To maximize yield: production in **clean rooms**
 - **Smallest particles (< 0,1 μm) can cause the circuit to fail**
- Wafer processing
- Photolithography



Fabs

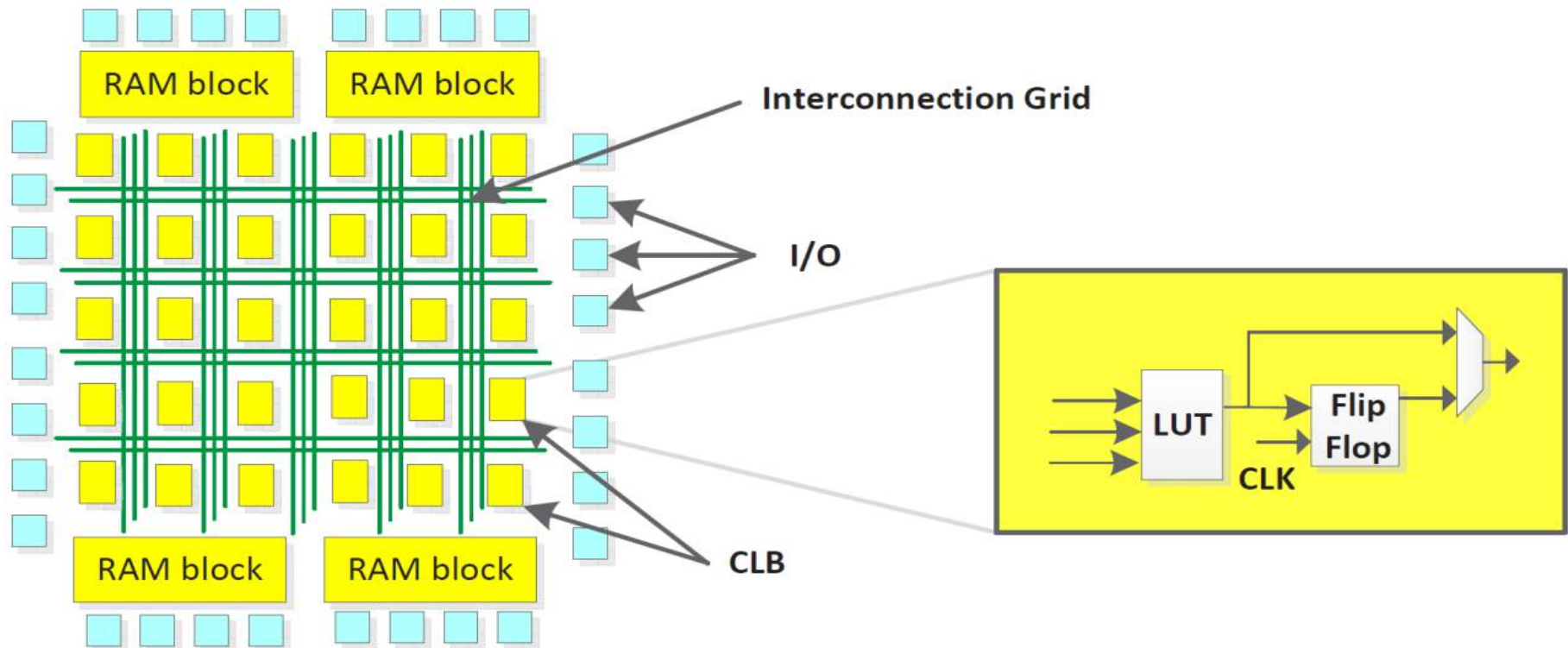
CEC Manufacturer	Fab	Comment
Intel/Altera	TSMC Intel	Stratix 5, Arria V, Cyclone 5/10
Lattice Semi	Seiko Epson Corp. UMC Fujitsu Microelectronics Limited TSMC	All qualified for <ul style="list-style-type: none"> - ISO 9001:2008 - ISO/TS 16949:2009 - ISO 14001:2004
Microchip	Microchip	
Microsemi	Microsemi	
Xilinx	TSMC	28, 20, 16 nm components

Minimal Feature Size vs Component Density

Size/ Density	<1200	<5k	<50k	<100k	<150k	<500k	<1M	<2M	<6M
14 nm									Intel
16 nm								Xilinx	
20 nm					Intel	Intel		Xilinx	Xilinx
28 nm	Intel				Xilinx	Xilinx	Intel	Xilinx	
						Intel			
						MicSem			
45 nm					Xilinx				
55 nm			Intel						
65 nm			LatSem		MicSem	MicSem			
90 nm			LatSem						
130 nm		MicSem	MicSem						
		LatSem							
180 nm	MicCh CPLD	Intel CPLD							
	Xilinx CPLD								
220 nm			MicSem		MicSem		MicSem		
450 nm				MicSem					
600 nm			MicCh						

CEC Architecture

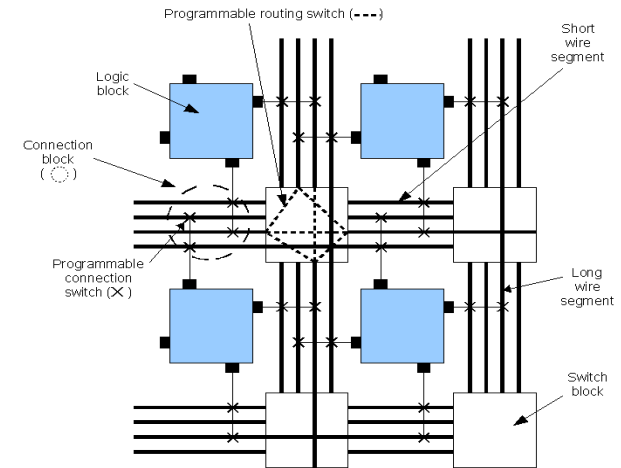
- Configurable Logic Blocks (CLB)
- Interconnections
- Input/ Output Blocks
- Memory Blocks



Architecture Types

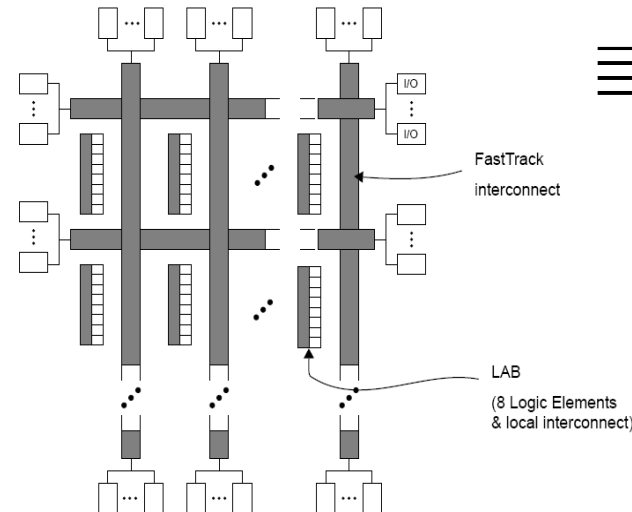
Island-Style

- Logic blocks or macro cells surrounded by short connection lines, which can be connected via switches with surrounding long lines



Hierarchical

- Local connections between elements of a logic block
- Global connections of logic blocks



Row-based

- Connection lines exclusively horizontal or vertical
- Neighbored logic blocks can be connected directly



Architecture Types

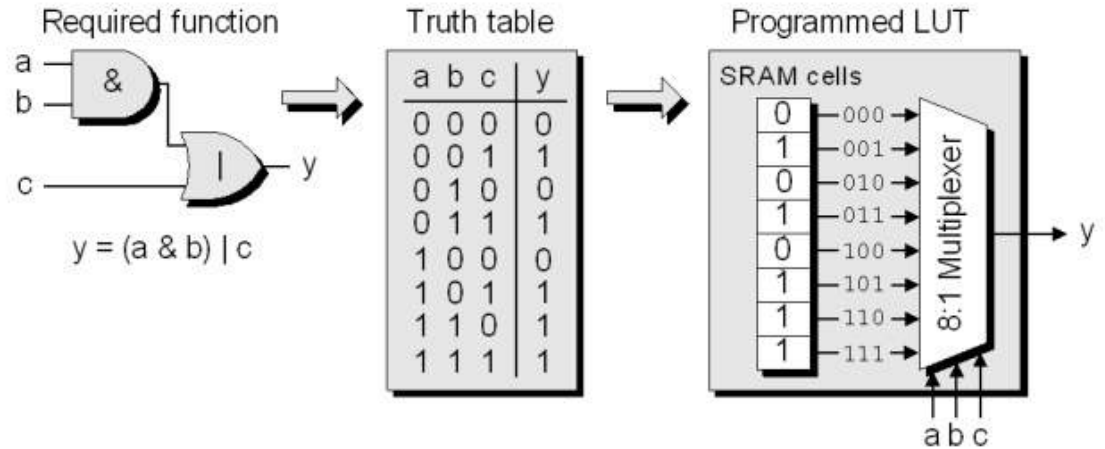
	Hierarchical	Island-Style	Row-based
Intel/Altera	Stratix, Arria, Cyclone, Max 10 <i>MAX II, V CPLD</i>		
Lattice Semi			MachXO, XP2, ECP3
Microchip		AT40K, ATF280F <i>ATF1504/2500C/750C CPLD</i>	
Microsemi			ProASIC3, ProASICplus Polarfire, IGLOO2, RTG4, eX, SX-A, MX
Xilinx		Spartan 6 Spartan/Virtex/ Kintex/ Artix 7, Zynq 7000 Virtex/Kintex Ultrascale Virtex/Kintex Ultrascale+ <i>Coolrunner II CPLD</i>	

Types of Memory

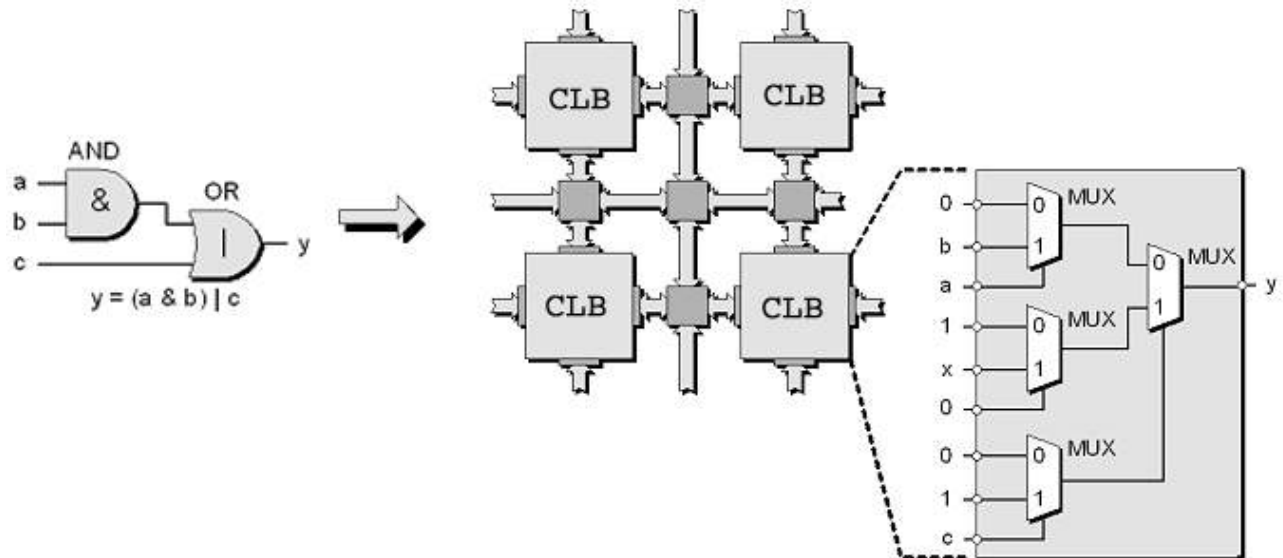
Volatile (S-/D-/ultra-RAM)	Non-Volatile (Flash, EEPROM)	Both (SRAM+Flash, SRAM+PROM)	Antifuse
Intel/Altera Stratix 5/10, Arria 10/V, Cyclone V E, Cyclone 10 GX	Intel/Altera <i>MAX II, V CPLD</i>	Intel/Altera MAX 10	
Lattice Semi ECP3		Lattice Semi MachX0, XP2	
Microchip AT40k, ATF280F	Microchip <i>ATF1504, ATF2500C, ATF750C CPLD</i>		
Microsemi MX		Microsemi 1) IGLOO2, ProASIC3, ProASICplus 2) Polarfire, RTG4	Microsemi ex, SX-A
Xilinx Spartan 6, Zynq 7000, Spartan/Virtex/Kintex/Artix 7, Virt./Kint. Ultrascale/Ultrascale+		Xilinx Virtex 5 <i>Coolrunner II CPLD</i>	

Configurable Logic Blocks

- Look-Up Table = RAM + Multiplexer



- Multiplexer-Tree

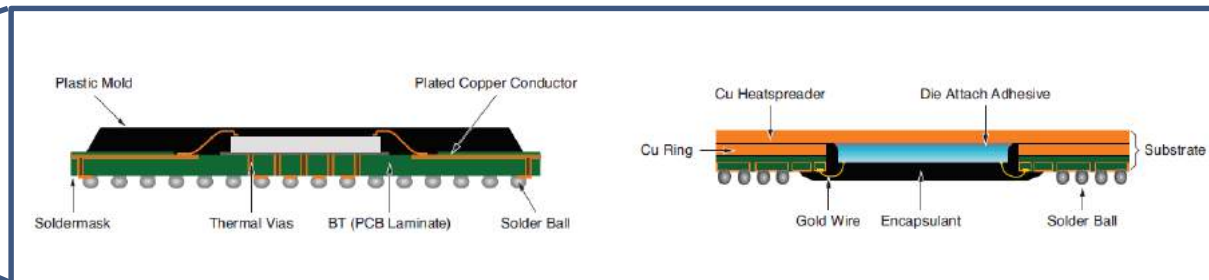
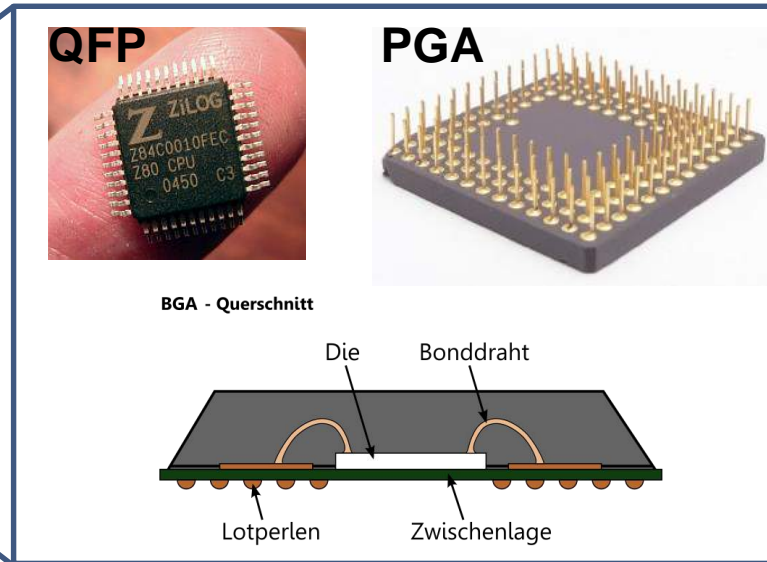
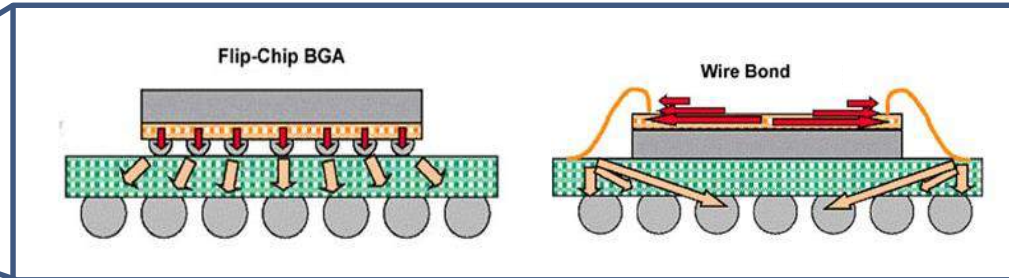


Configurable Logic Blocks

Manufacturer	LUT-Based	Multiplexer-Based
Intel/Altera	Stratix 5/10, Cyclone V/10, Arria 5/10 MAX 10 MAX II, V CPLD	
Lattice Semi	Mach XO, XP2, ECP3	
Microchip	AT40K	
Microsemi	Polarfire, IGLOO2 RTG4	eX, SX-A MX ProASIC3e ProASICplus
Xilinx	Virtex 5 Spartan 6 Sp/V/K/A 7, Zynq 7000 Virtex/Kintex Ultrascale/US+	

Package

- Type of Bonding
 - Flip-chip, wire bond
- Dimensions
 - Number of pins
 - Package size
 - Pitch: Distance between pins
- Type of Package
 - BGA, PGA, QFP, PLCC, etc.
- Materials
 - Plastic
 - Ceramic
- Manufacturer
- Mounting direction
 - from above
 - from below



Development Tools

Tool Provider	Intel/Altera	Xilinx	Microsemi	Lattice Semi
Aldec, Inc.	X	X	X	X
Altium	X		X	
Blue Pearl Software Inc.	X	X		
Bluespec	X			
Cadence Design System, Inc.	X	X	X	
Concurrent EDA. LLC		X	X	
Mentor Graphics/ Siemens: Mentor, a Siemens Business	X		X	
NEC	X			
Real Intent	X			
Sigasi	X	X		
Symphony EDA	X			
SynaptiCAD	X		X	
Synopsys	X	X	X	X
Temento Systems	X			
TransEDA	X			

Diversity Matrix

	Personal bei Betrieb und Instandhaltung	Diversitätsmerkmale																							
		Bewilligte Personal			Betrieb und Instandhaltung			Systemaufbau und Technologie						Herstellung und Entwicklung											
		Personal bei Herstellung und Entwicklung	Tests und Prüfungen	Hand- / Software-Management	Anklopfung an die Vertriebswirtschaft	Logik	Eingesetzte Hardware	Eingesetzte Software	Tests	Entwicklung und Fertigung der Hardware	Softwareerstellung	Design	Personal bei Herstellung und Entwicklung	Tests und Prüfungen	Hand- / Software-Management	Anklopfung an die Vertriebswirtschaft	Logik	Eingesetzte Hardware	Eingesetzte Software	Tests	Entwicklung und Fertigung der Hardware	Softwareerstellung	Design		
	Tests für die Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Systemen (Wartung, Reparaturen, etc.)	
Senden																									
Empfangen																									
Verarbeiten																									
Anzeigen																									
Schutzmaßnahmen																									

Processing

Non-programmable Modules without Software Parts

Non-programmable Modules with Software Parts (e.g. Firmware not modifiable by user)

Programmable Modules

Computer-based Modules

Computer

Programmable Modules
- CEC

Diversity Matrix

		Bedeutung des Prozesss														Bedeutung des Produkts																				
		Personal bei Betrieb und Instandhaltung				Personal bei Herstellung und Entwicklung				Tests und Prüfungen				Wart- / Software-Management		Anpassung an die Vertriebsansätze		Logik		Eingesetzte Hardware		Eingesetzte Software		Tests		Entwicklung und Fertigung der Hardware				Softwareerstellung				Design		
Eigenschaften	Sonder	Personal bei Betrieb und Instandhaltung	Personal bei Herstellung und Entwicklung	Tests und Prüfungen	Wart- / Software-Management	Anpassung an die Vertriebsansätze	Logik	Eingesetzte Hardware	Eingesetzte Software	Tests	Entwicklung und Fertigung der Hardware	Softwareerstellung	Design	... (repeated for all other specific tasks)																						
		Merkmal	Maschinen ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Maschinen mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Bedienelemente ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Bedienelemente mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Involved Staff **Operation and Maintenance** **System Construction and Technology** **Manufacture and Development**

Diversity Matrix

		Projektphasen																																								
		Belastungs-Zentrum								Belastungs-Überschneidungen												Belastungs-Überschneidungen												Wegleitung und Einweisung								
		Personal bei Betrieb und Instandhaltung		Personal bei Herstellung und Entwicklung						Tests und Prüfungen		Hard- / Software-Management		Anpassung an die Vertriebsphase		Logik		Eingesetzte Hardware		Eingesetzte Software		Tests		Entwicklung und Fertigung der Hardware				Softwareerstellung				Design										
<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung	<small>Einrichtung</small> Montage Wartung									
	Sonden	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Einrichtung	Messumformer ohne Softwarebestandteile	Involved Staff								Operation and Maintenance								System Construction and Technology								Manufacture and Development																
	Messumformer mit Softwarebestandteilen	Involved Staff								Operation and Maintenance								System Construction and Technology								Manufacture and Development																
	Bedienelemente ohne Softwarebestandteile	Involved Staff								Operation and Maintenance								System Construction and Technology								Manufacture and Development																
	Bedienelemente mit Softwarebestandteilen	Involved Staff								Operation and Maintenance								System Construction and Technology								Manufacture and Development																
Montage	nicht programmierbare Baugruppen ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	nicht programmierbare Baugruppen mit Softwarebestandteilen (ggf. vom Anwender nicht verbindliche Firmware)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	programmierbare Baugruppen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	rechnerbasierte Baugruppen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Einrichtung	Rechner	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Kopiergeräte ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Kopiergeräte mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Altkomoren	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Anlagen (mechanisch Meßeinrichtungen) ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Anlagen (mechanisch Meßeinrichtungen) mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Einrichtung	Kabel / Leitungen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Einrichtungen der Stromversorgung (Gleich- und Wechselrichter, Batterien, Generatoren etc.) ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Einrichtungen der Stromversorgung mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Aggregatenschutz ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Aggregatenschutz mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sonstige Schutzvorrichtungen ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sonstige Schutzvorrichtungen mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Diversity Matrix

		Bereinigtes Personal		Betrieb und Instandhaltung				Systemaufbau und Technologie							Herstellung und Entwicklung						
		Personal bei Betrieb und Instandhaltung	Personal bei Herstellung und Entwicklung	Tests und Prüfungen	Wart- / Software-Management	Anpassung an die Wertstromspeicher	Logik	Eingesetzte Hardware	Eingesetzte Software	Tests	Entwicklung und Fertigung der Hardware	Softwareerstellung	Design								
Anforderung	Anforderung	Technische Voraussetzungen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen		
		Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen	
Einzelne	Senden	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Messumformer ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Messumformer mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Bedienelemente ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Verarbeitend	Bedienelemente mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	nicht programmierbare Baugruppen ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	nicht programmierbare Baugruppen mit Softwarebestandteilen (z.B. von Anwender nicht veränderbare Firmware)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	programmierbare Baugruppen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Anlagen	rechnerbasierte Baugruppen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Rechner	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Kopplene ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Kopplene mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Stromversorgung	Altkonstruktion	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Anlagen (mechanisch Meßeinrichtungen) ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Anlagen (mechanisch Meßeinrichtungen) mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Kabel / Leitungen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Sicherheitsvorrichtungen	Einrichtungen der Stromversorgung (Gleich- und Wechselrichter, Batterien, Generatoren etc.) ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Einrichtungen der Stromversorgung mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Aggregatenschutz ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Aggregatenschutz mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Sonstige Schutzvorrichtungen ohne Softwarebestandteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Sonstige Schutzvorrichtungen mit Softwarebestandteilen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

System Construction and Technology

Manufacture and Development

Design

Software Development

Development and Manufacture of Hardware

Tests

Used Software

Used Hardware

Logic

Coupling to Process Engineering

Diversity Matrix

		Personal				Betriebs- und Instandhaltung				Systemaufbau und Technologie				Herstellung und Entwicklung												
		Personal bei Betriebs- und Instandhaltung		Personal bei Herstellung und Entwicklung		Tests und Instandhaltung		Wart- / Software-Management		Anpassung an die Vertriebspackets		Logik		Eingesetzte Hardware		Eingesetzte Software		Tests		Entwicklung und Fertigung der Hardware		Softwareerstellung		Design		
		Handwerkliche Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten	Montagearbeiten
		Manufacture and Development										System Construction and Technology														
		Hardware Manufacture					Software Development					Used Hardware			Used Software											
		<p>Location of Manufacture</p> <p>Production Process</p> <p>Supplier</p> <p>Subcontractor</p> <p>Manufacturer incl.</p> <p>Used Software</p> <p>HW Development Method</p> <p>Prefabricated Software</p>					<p>Programming Language</p> <p>Supporting Libraries</p> <p>Manufacturer, incl.</p> <p>Subcontractor</p> <p>Prefabricated Software</p>					<p>Type of Assembly</p> <p>Parts and Components</p> <p>Computer Architecture</p> <p>Data Storage</p>			<p>Software Architecture</p> <p>System-/ Application Software</p> <p>Programme Structures</p> <p>Data Structures</p>											

Extension of Diversity Matrix for Assessment of CEC

Manufacture and Development		System Construction and Technology	
Hardware Manufacture	Software Development	Used Hardware - Architecture and Characteristics	Used Hardware - Package
<p>CEC Manufacturer</p> <p>Wafer Manufacturer</p> <p>Location of Manufacture</p> <p>Manufacture Process</p>	<p>Seller/ Manufacturer incl. Subcontractors of Software Developer of Synthesis Tools</p> <p>Synthese Tools</p> <p>Hardware Description Language</p> <p>Programming Language</p>	<p>Complexity</p> <p>Minimal Feature Size</p> <p>Component Density</p> <p>Clock Management</p> <p>I/O</p> <p>Type of Memory</p> <p>Type of CLB</p> <p>Architecture</p> <p>CEC Family</p>	<p>Pitch</p> <p>Number of Pins</p> <p>Package Manufacturer</p> <p>Package Material</p> <p>Package Size</p> <p>Type of Package</p> <p>Type of Bonding</p>

Summary

- Computer-based approach for the assessment of digital I&C in progress
- Diversity Matrix for digital I&C developed
- Investigation of CEC with regard to distinguishing characteristics nearly finished
- Different diversity criteria derived by distinguishing characteristics of CEC
 - Some diversity criteria can be fulfilled by CEC of only one manufacturer
- Next Step: Update of diversity matrix and implementation in computer-based diversity assessment

Summary

- Computer-based approach for the assessment of digital I&C in progress
- Diversity Matrix for digital I&C developed
- Investigation of CEC with regard to distinguishing characteristics nearly finished
- Different diversity criteria derived by distinguishing characteristics of CEC
 - Some diversity criteria can be fulfilled by CEC of only one manufacturer
- Next Step: Update of diversity matrix and implementation in computer-based diversity assessment



Contact:
Dr. Manuela Jopen
GRS gGmbH
Germany
Manuela.jopen@grs.de