

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

Über Systeme und Technologien

Prof.Dr. Hartwig U. Steusloff

Fraunhofer-Institute for Information and Data Processing (IITB), Karlsruhe (Germany)

- **Verteilte Echtzeitsysteme: Warum?**
 - **Kommunikation & Systemstruktur**
 - **Axiomatische Definition, Echtzeit**
 - **Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Sicherheit**
 - **Planung und Entwurf (Engineering)**
- **Eingebettete Systeme**
 - **Definition**
 - **Technologiebeispiele**
- **Applikationstrends**
- **Technologietrends**
 - **Softwaretechnik**
 - **Skalierungseffekte**

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

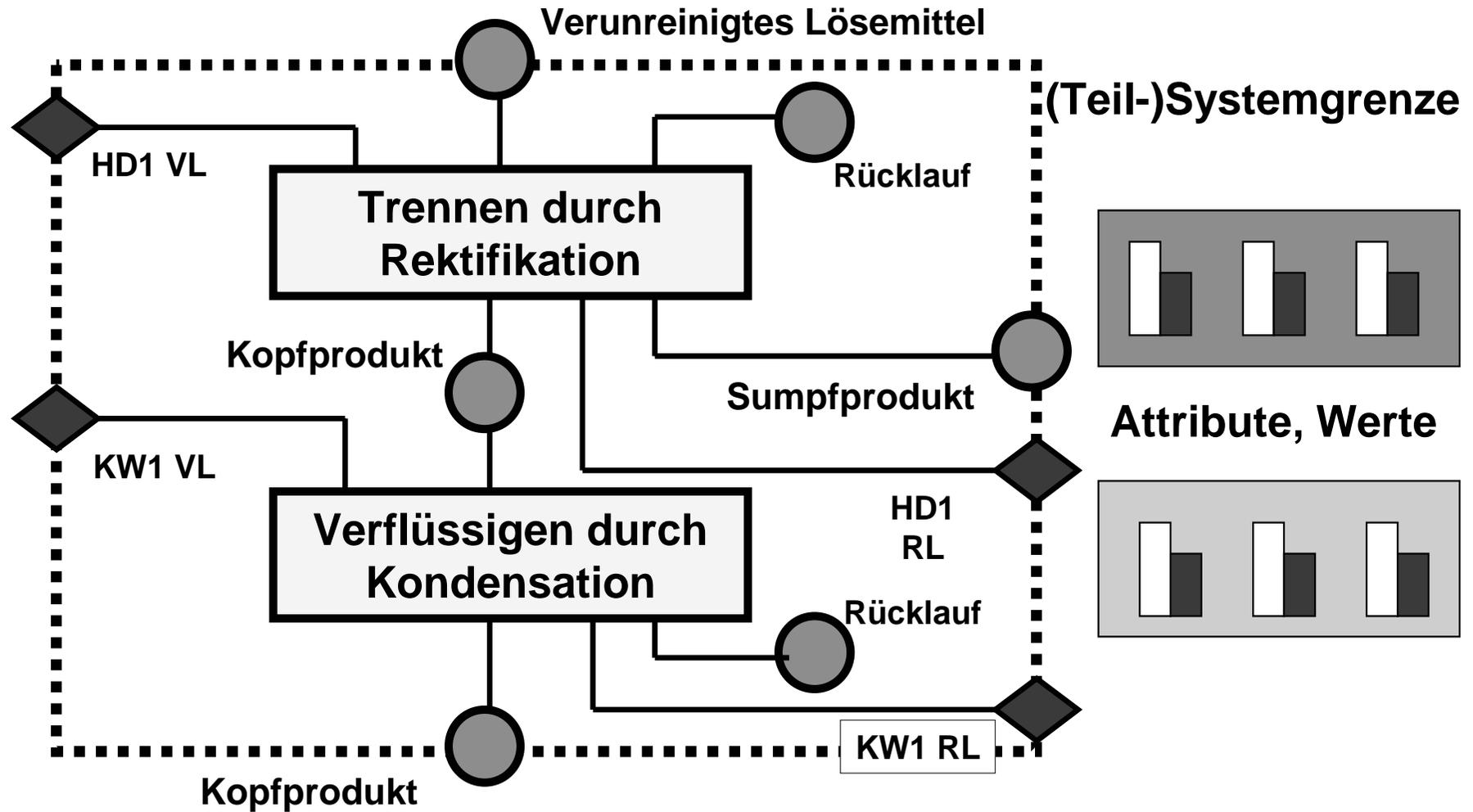


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

1

Systemmodell



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

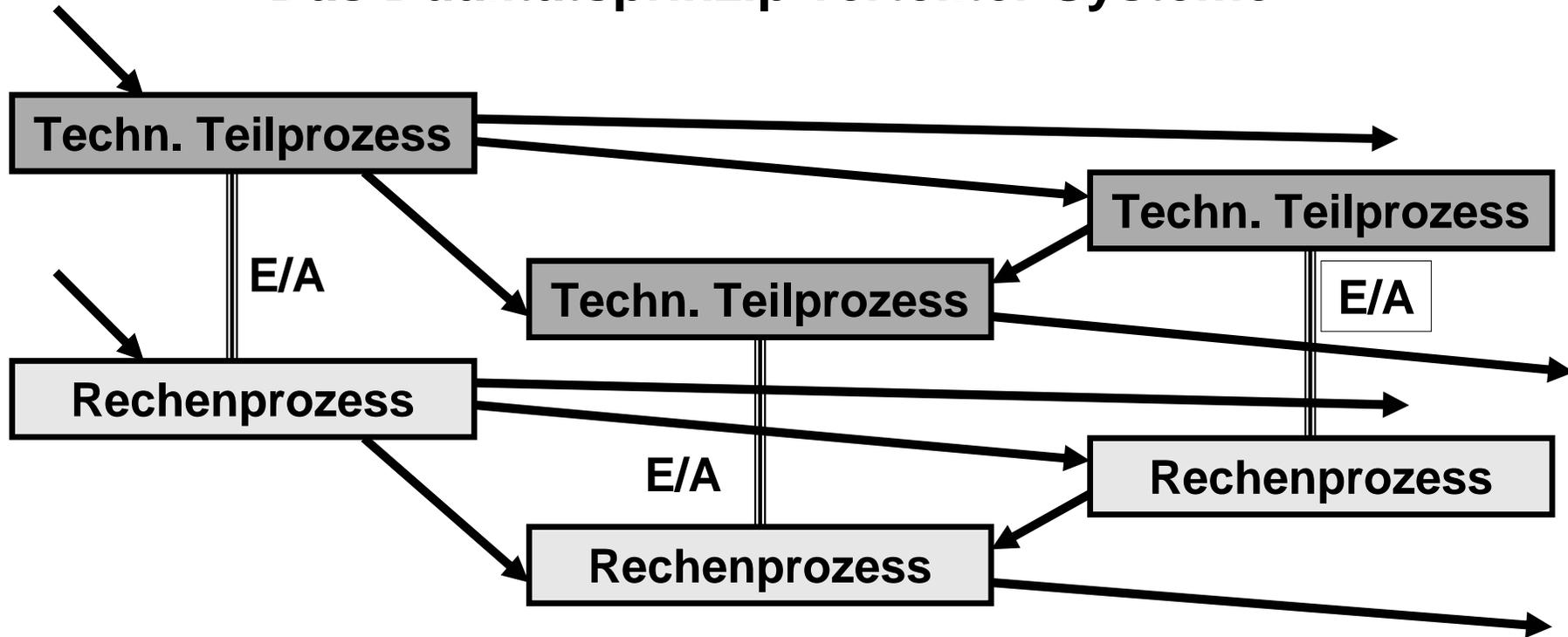


2

Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

Das Dualitätsprinzip verteilter Systeme



Technische Prozesse bestehen aus Teilprozessen, die parallel zueinander ablaufen und miteinander kommunizieren durch Austausch von Materie und/oder Energie;

Ein Automatisierungssystem besteht aus mindestens derselben Anzahl von Rechenprozessen, die miteinander in der gleichen Weise vernetzt sind.

Informationslogistik

Die „R“ der Logistik:

- Richtige Zeit
- Richtiger Ort
- Richtige Qualität
- Richtige Berechtigung
- Richtige Kosten

1. Erfassen von Daten/Information, Zugang zu Daten/Information

2. Transport von Daten (Kommunikation)

3. Speicherung von Daten

4. Modellierung von Daten / Information

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



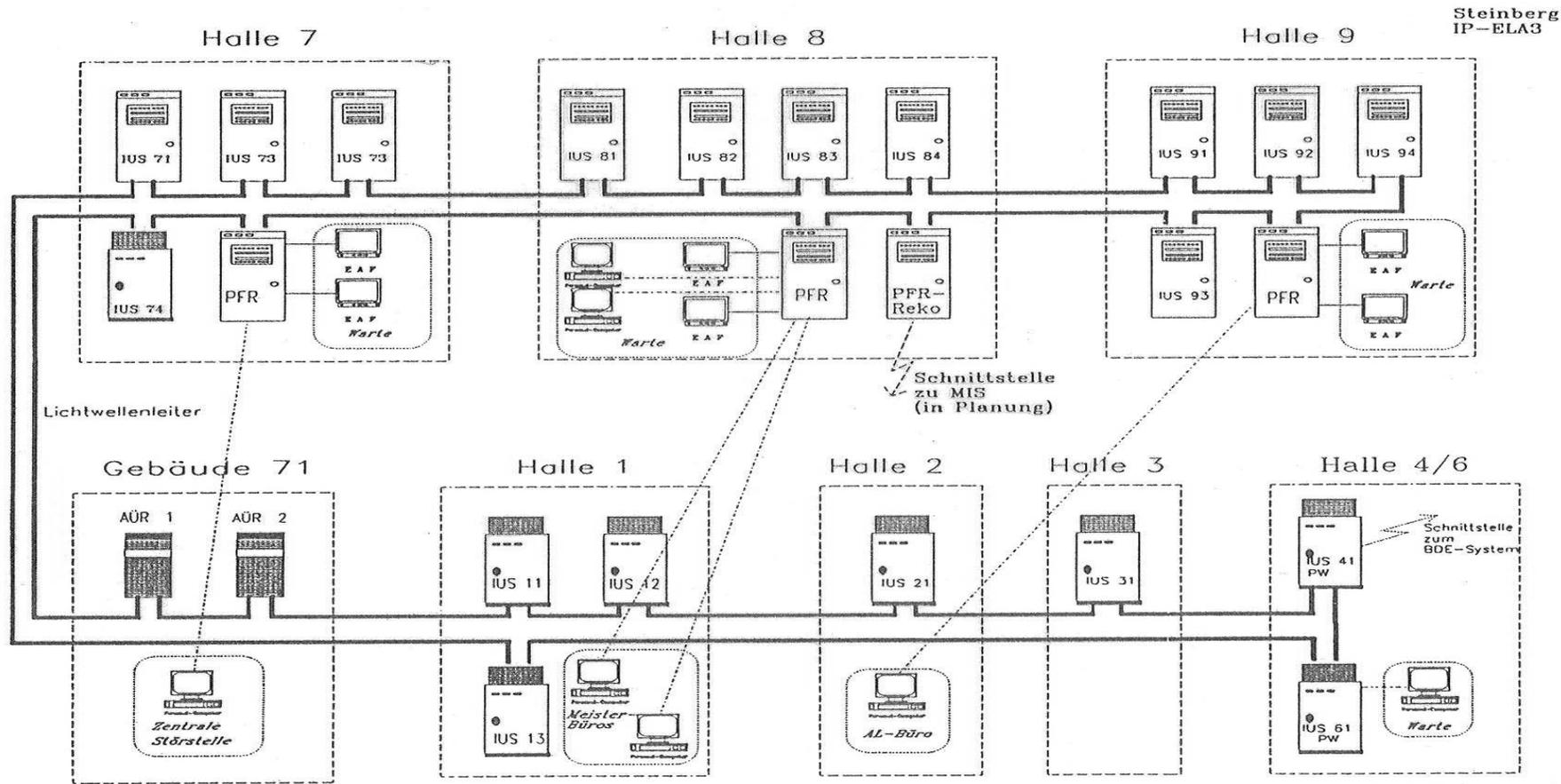
Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

4

Verteilte Systeme IITB - RDC

Produktions- und Instandhaltungswartensystem Daimler - Benz Werk Bremen



Prof. Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



5

Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

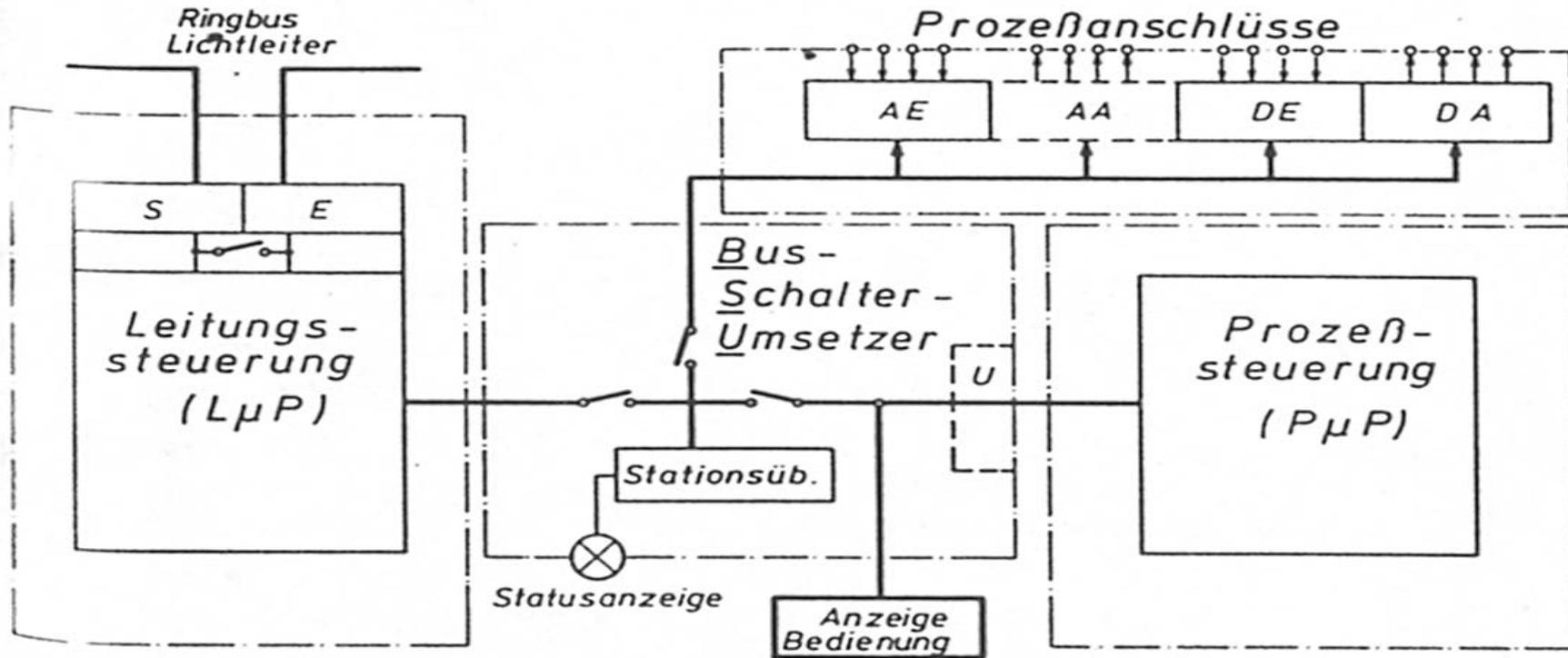


Bild 2: Struktur einer Mikroprozessorstation.

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

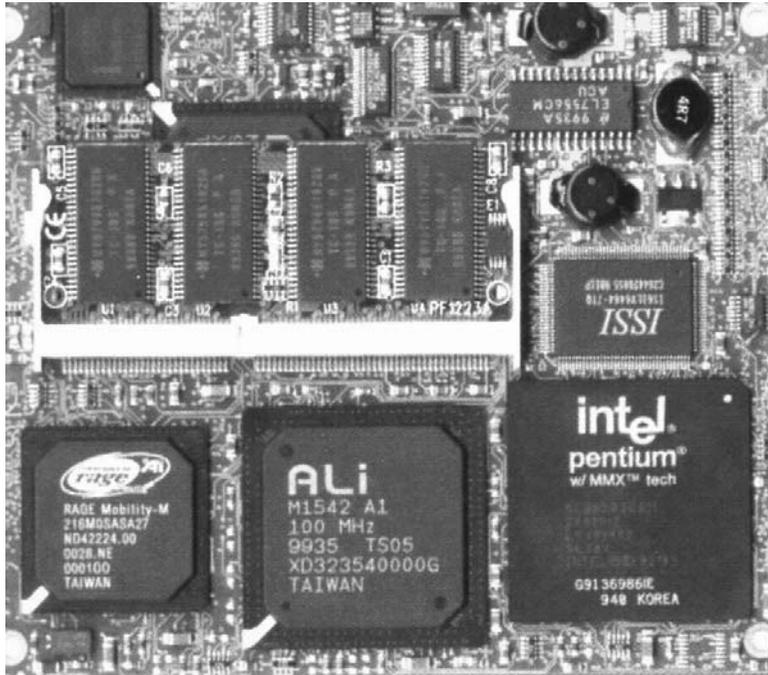


6

Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

Verteilte Systeme (?)



SoC:
 $n \cdot 10^3$ Proz./Chip
 10^{19} Ops/s & Chip
Verteiltes System
auf dem Chip ?

Standard PC ?

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

Verteilte Systeme: „Axiomatische“ Definition

1. Es existiert eine Menge $P = \{p_m\}$ von Rechenprozessen zur Erbringung von Systemfunktionen
2. Die Kommunikation zwischen den Prozessen p_m erfolgt mittels Nachrichten-/Paketaustausch auf einer gemeinsam genutzten Infrastruktur
3. Dieser Nachrichten-/Paketaustausch unterliegt variablen und von Null verschiedenen Verzögerungen (Physik, Org.)
4. Folgerung: Zu einem beliebigen Prozess $p_i \in P$ existiert kein anderer Prozess $p_j \in P$ mit derselben Sicht auf den Status des Gesamtsystems (Prozesszustände, Attribute, ...)
5. Systemweit wirkende Steuerfunktionen sorgen für eine dynamische Interprozesskommunikation & Ablaufkoordination

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

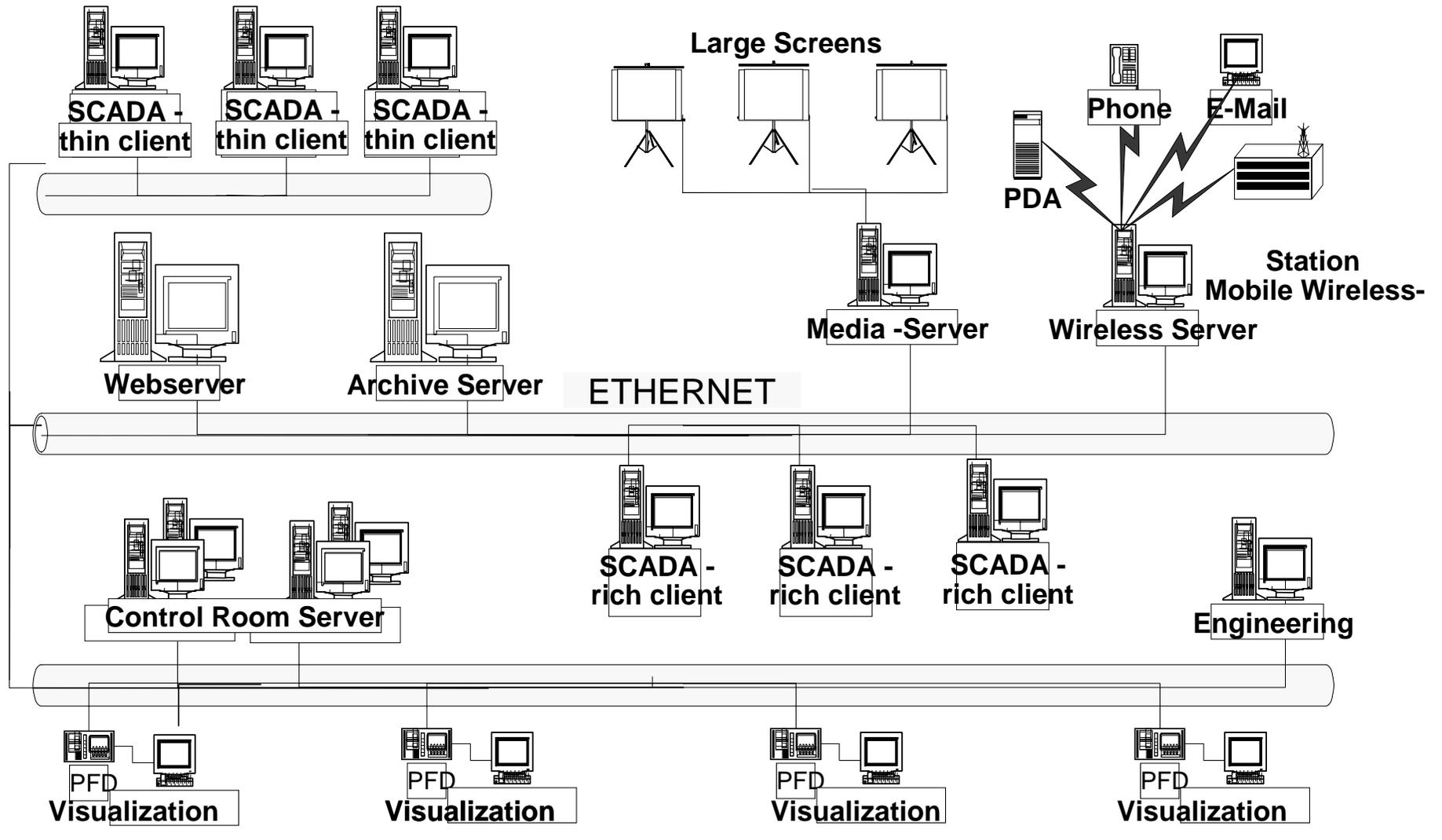


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

8

Service and Production Networks



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



9

Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

Verteilte Systeme DELTA 4 Fehlertolerant

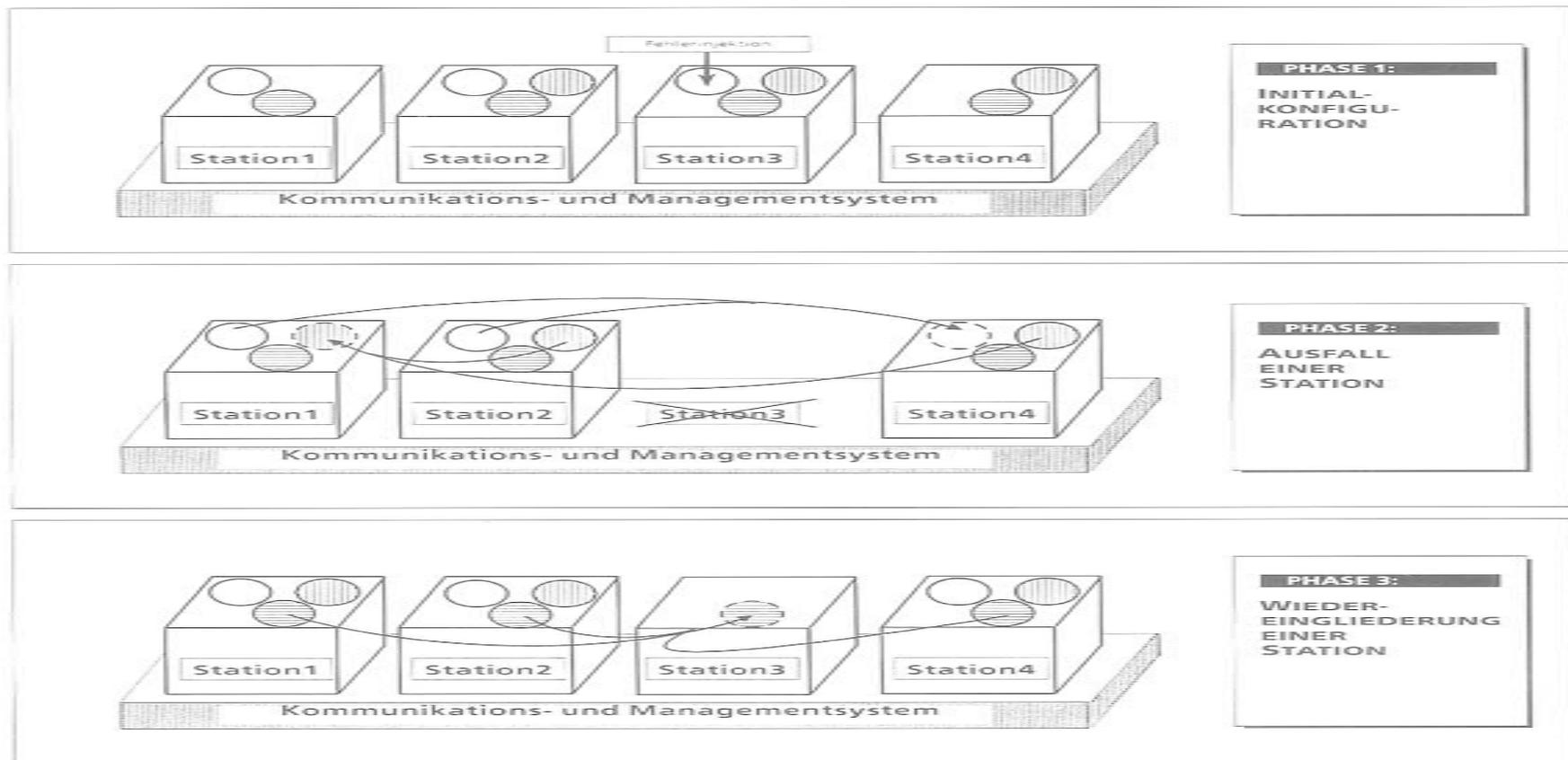


Abb. 3-1: Fehlererkennung, Fehlermaskierung und Rekonfiguration am Beispiel replizierter Dateien

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

10

Verteilte Systeme Verfügbarkeit

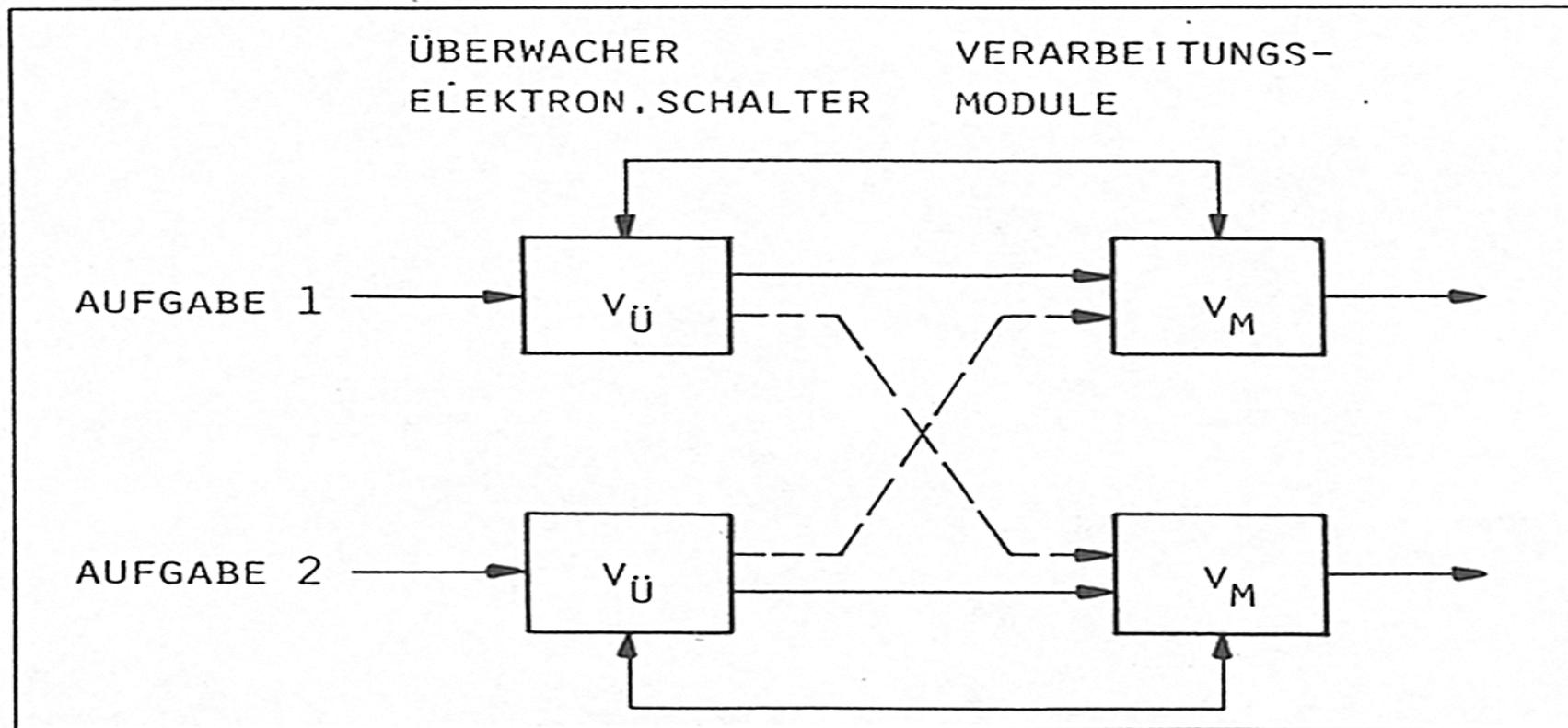


Bild 1: Prinzipschaltbild eines Systems mit funktionsbeteiligter Redundanz bei zwei Verarbeitungsmodulen

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



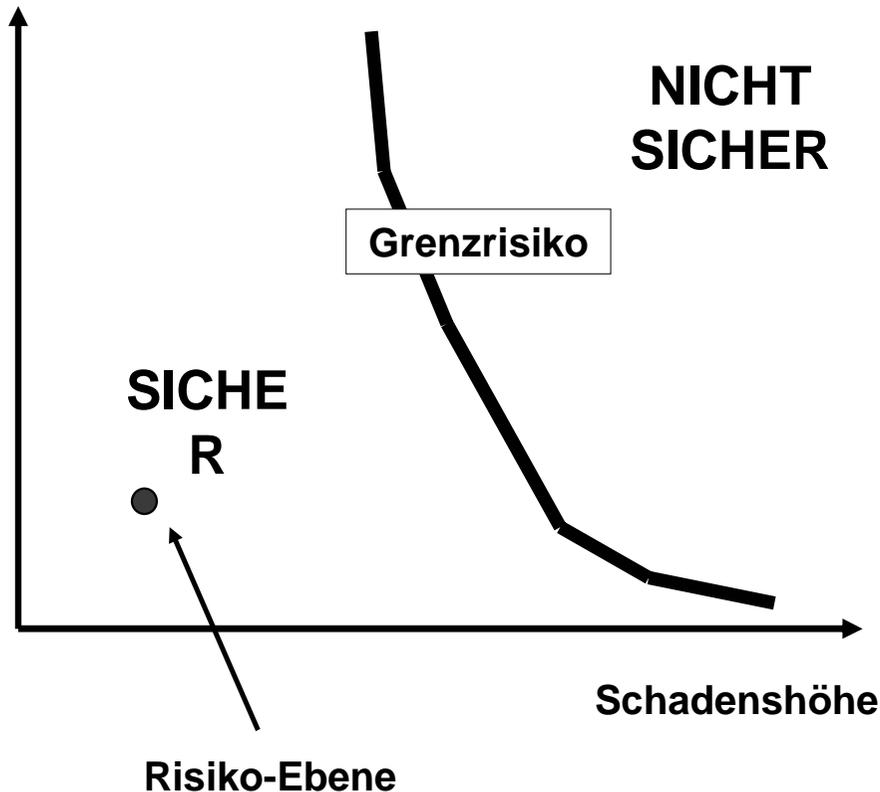
Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

11

Verteilte Systeme Sicherheit = Sachlage/Zustand

Eintrittswahrscheinlichkeit
für Systemstörung



Beeinflussung der Sicherheit:

- Verringerung der Eintrittswahrscheinl.
durch Fehlervermeidung
durch Fehlertoleranz
durch Automatisierung
durch Ausbildung
- Verringerung der Schadenshöhe
durch räumliche Verteilung
durch Katastrophenschutz
durch Versicherung
- Erhöhung der **Verlässlichkeit**

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

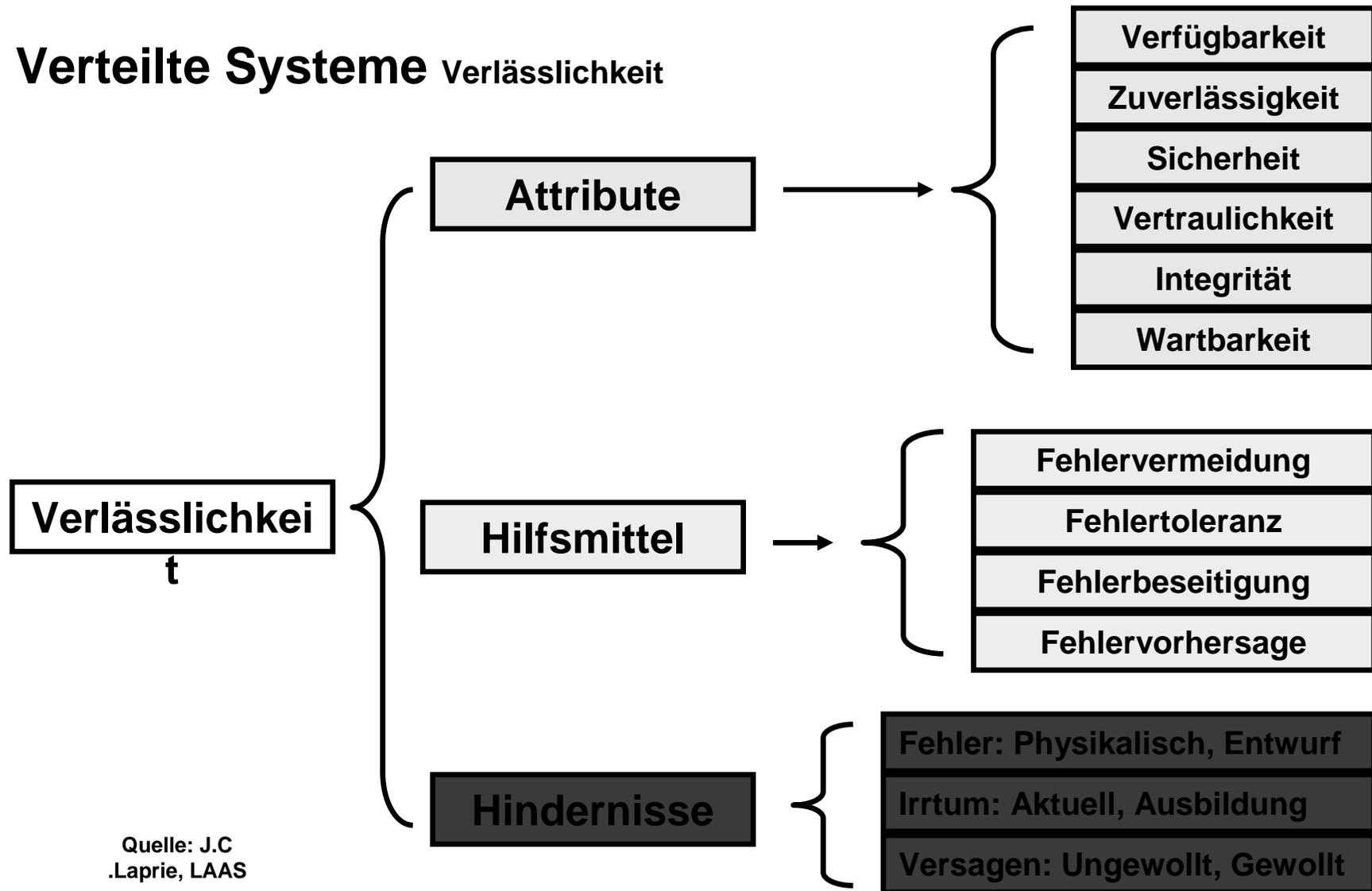


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

12

Verteilte Systeme Verlässlichkeit



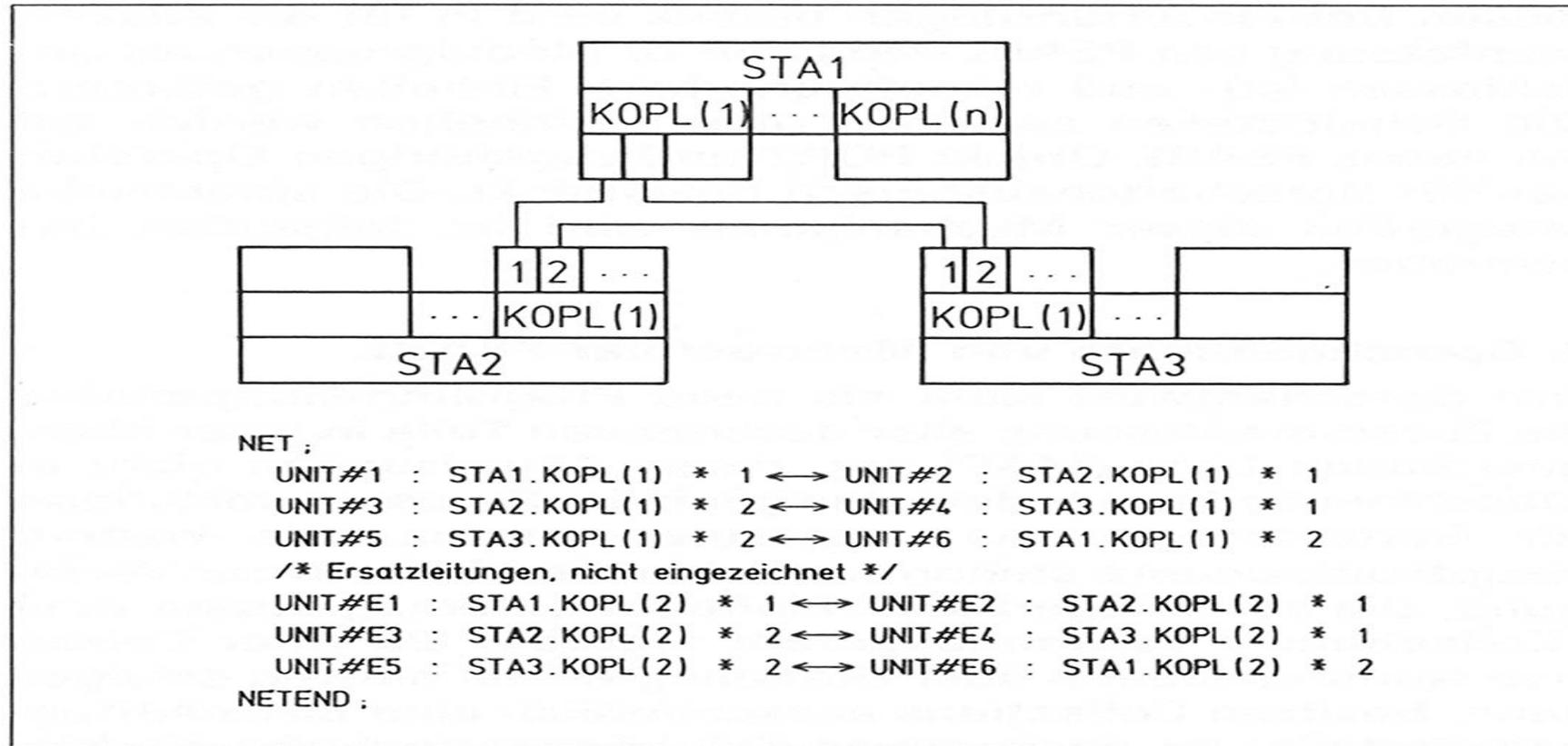


Bild 2: Beschreibung physikalischer Verbindungswege (bidirektionaler Doppel-Ring)

Engineering Verteilter Systeme DIN 66253 Part 3

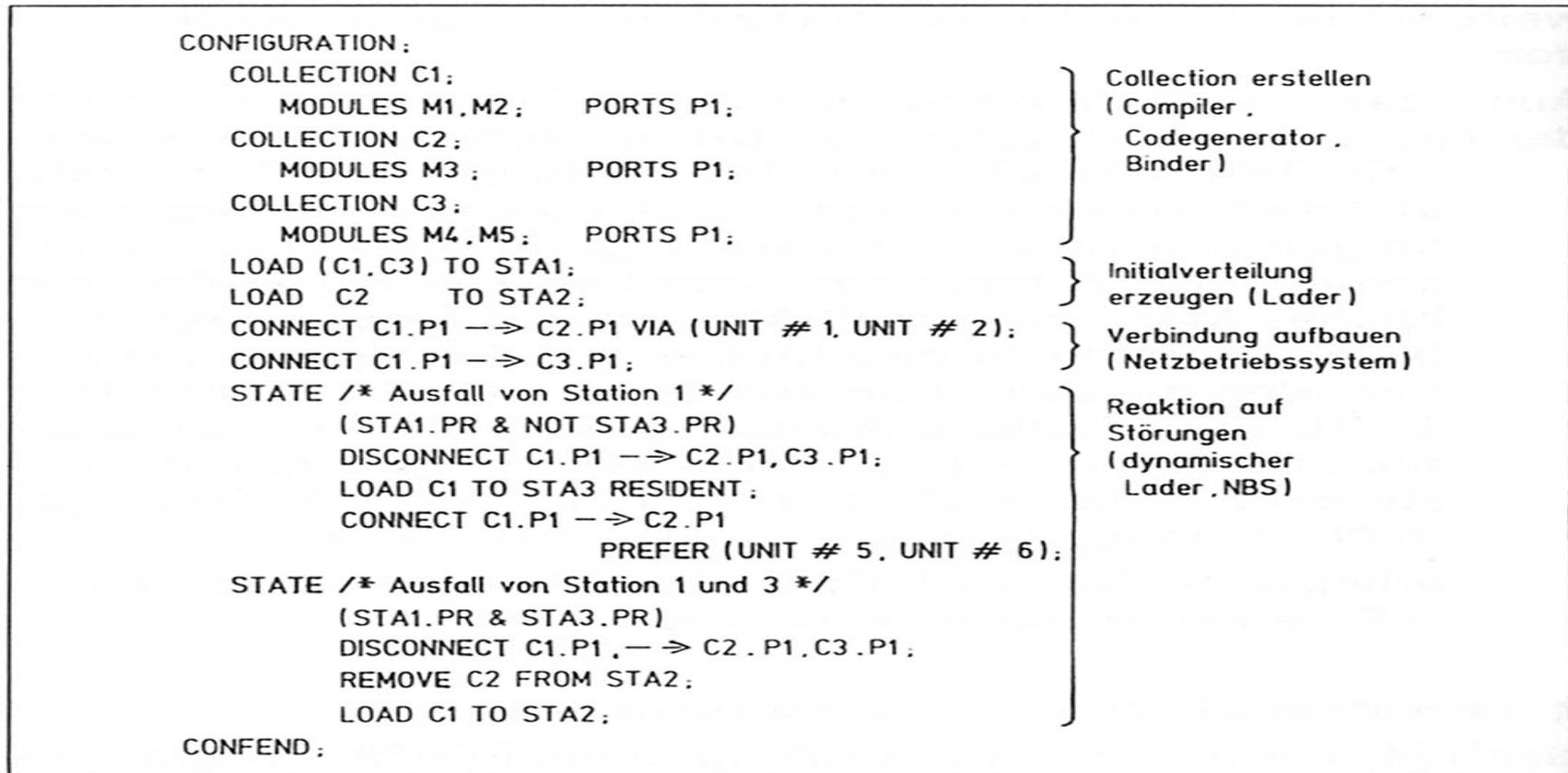


Bild 3: Beschreibung der Software-Konfiguration

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

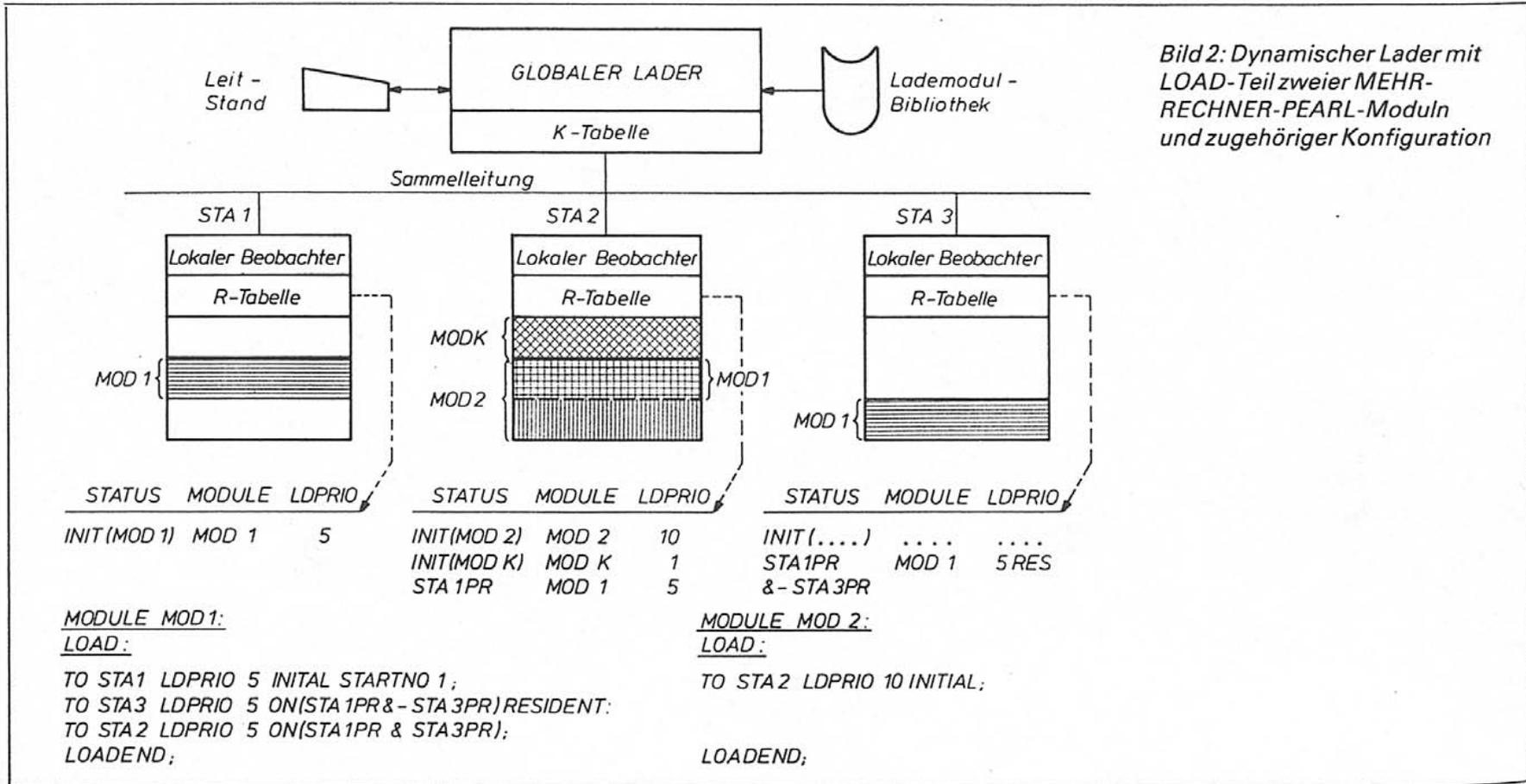


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

15

Engineering Verteilter Systeme Dynamische Rekonfiguration



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

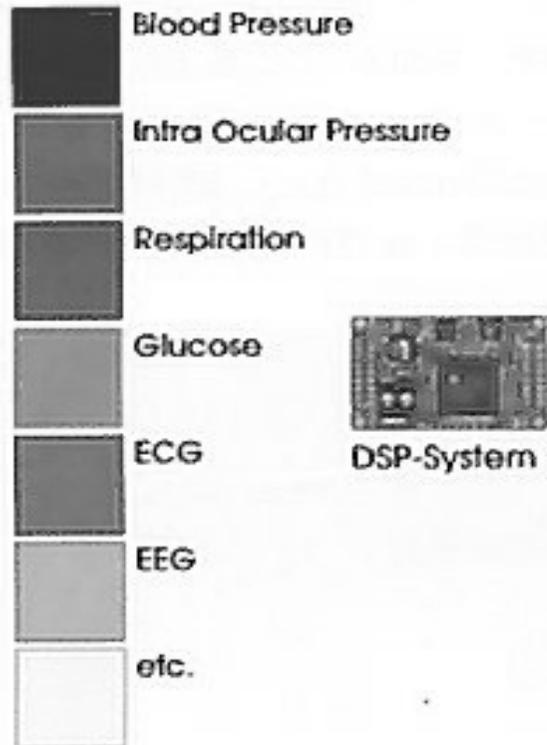


16

Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

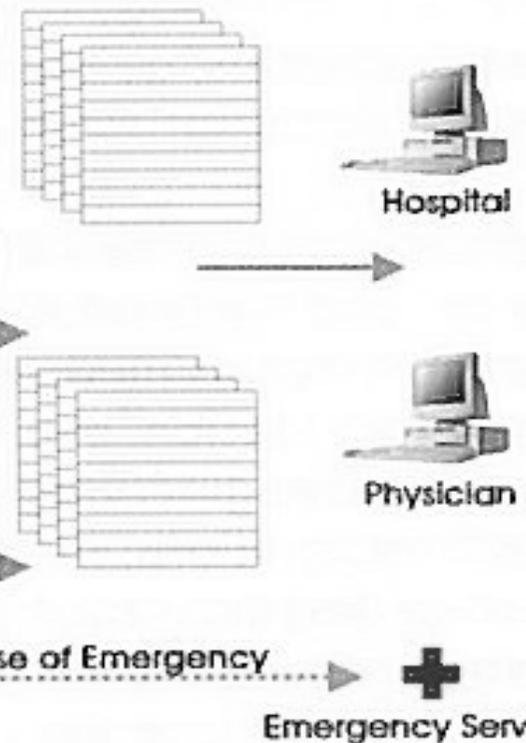
Sensors and Signal Processing Unit



Base Station



Data Base



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

17

Eingebettete Systeme: Definition

Kästner, Rieder 2002:

Embedded Systems are embedded in a physical environment and interact with it for measuring or controlling purposes

Steusloff 2003 (Vorschlag):

Eingebettete Systeme sind informationsverarbeitende Systeme, die

- **unter Nutzung informations- bzw. systemtechnologischer Mittel**
- **in ihre Anwendungsumgebungen physisch integriert sind und**
- **deren Eigenschaften durch diese Anwendungsumgebungen bestimmt sind.**

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

18

Begriffe und Konzepte :

- **Distributed Computing:** **Konzentrierte Rechnerknoten mit expliziter Kommunikation: Mainframes, PCs**
- **Ubiquitous Computing:** **Überall verfügbare Rechenleistung für allgemeine Zwecke**
- **Nomadic Computing:** **Unbegrenzt mobiles Rechnen**
- **Invisible Computing:** **Aufgabenbezogenes / -spezifisches verteiltes Rechnen**
- **Pervasive Computing:** **Rechner beeinflussen alle Aspekte des menschlichen Lebens / der Erde / des Universums (?)**

Ubiquitous Computing

Vernetzte Alltagsdinge:

**Sensoren, Aktoren, Mensch-System-Kommunikation
Smart Devices mit episodischem Gedächtnis**

Verschwindende Technologien

Positive Sicht (Weiser, PARC):

As technology becomes invisible and embedded, it calms out lives by removing the annoyances

The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.

Kritische Sicht:

Pervasive Computing = Alles durchdringende Technologie

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

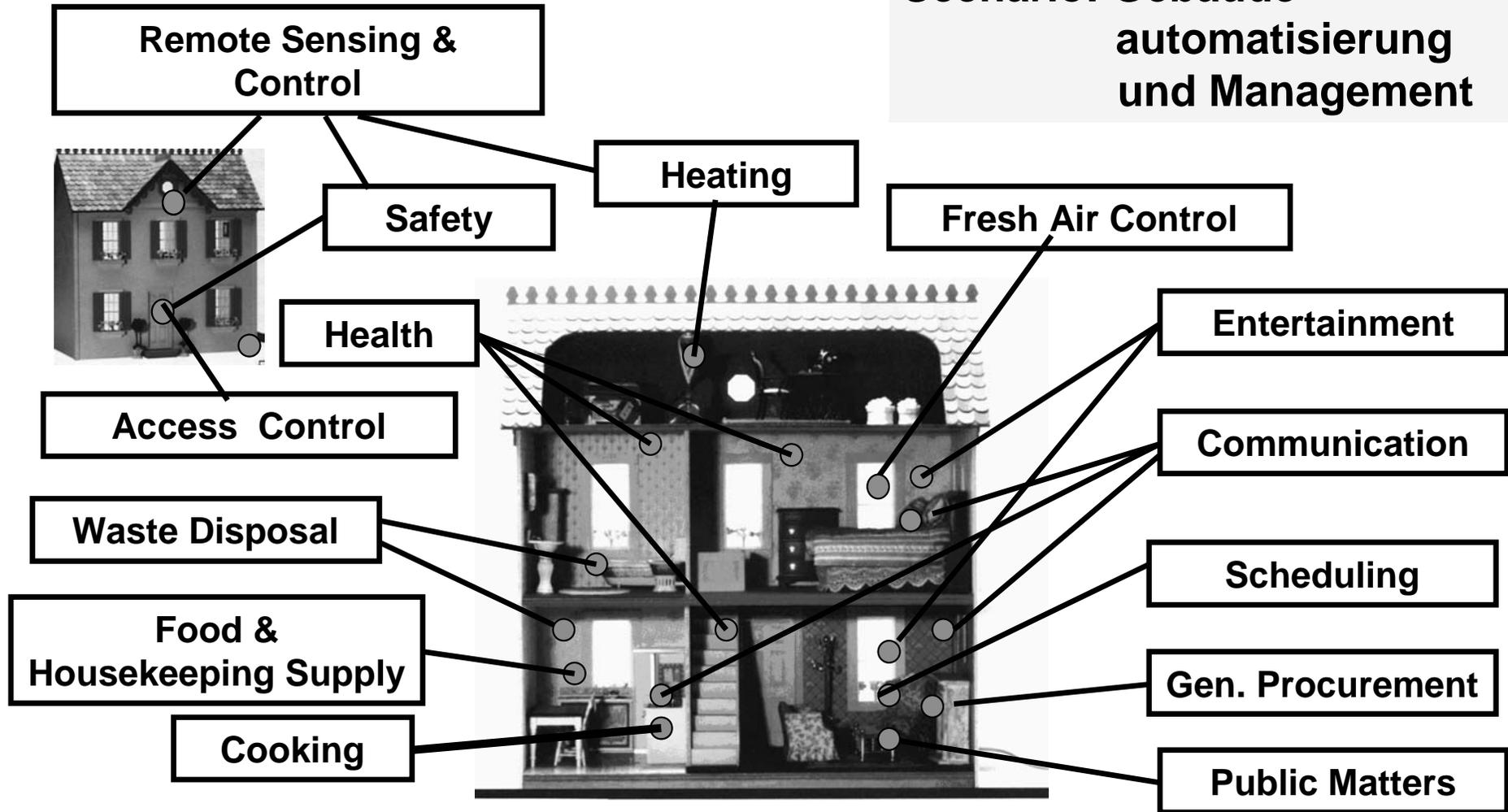


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

20

Scenario: Gebäude-automatisierung und Management



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



21

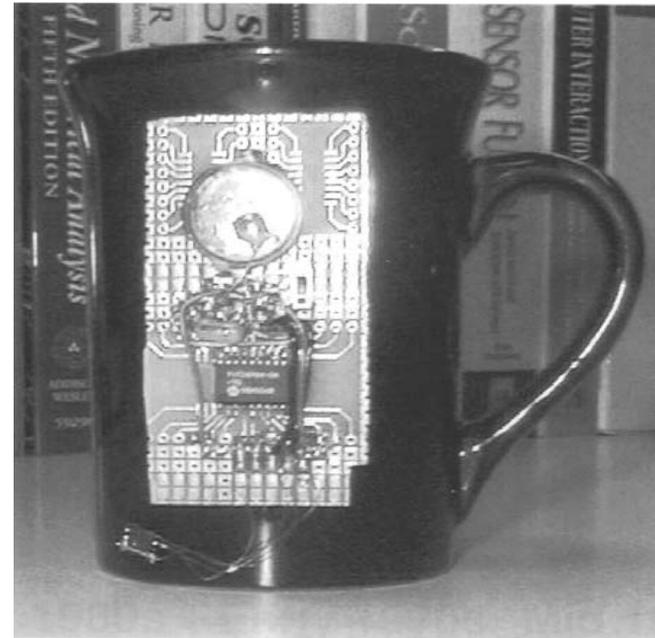
Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung



IntelliMUG

Quelle: Universität Karlsruhe



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

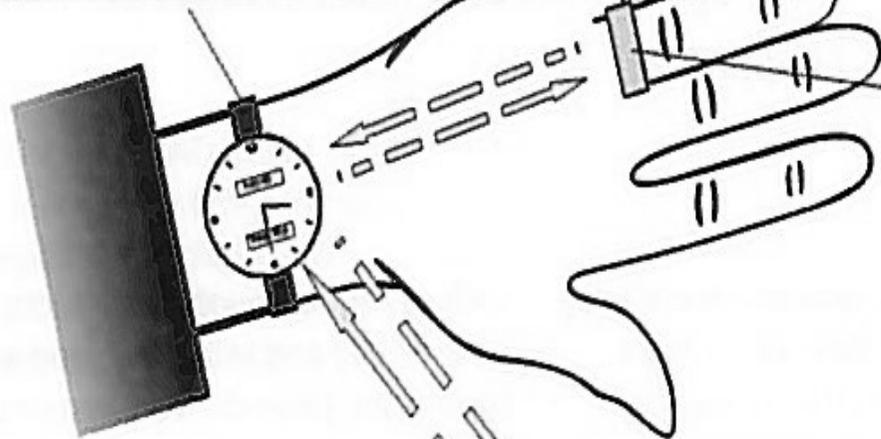


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

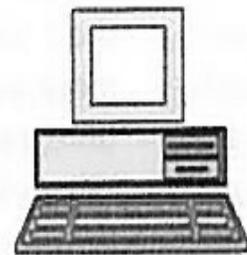
22

Watch with integrated communication electronics



Flexible ring with integrated microsensors and electronics

Signal Transmission
(e. g. by mobile phones)



Central Supervision

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme
GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL
Boppard, 27. November 2003

Wearable Computing / Computers

BAN = Body Area Networks

TAN = Textile Area Networks

FAN = Fabric Area Networks

SoFs = Systems on Fibers

IFI = Intelligent Fashion Interface

Ziel:

**Orts- und Zeitunabhängige Verfügbarkeit von
maschineller Intelligenz**

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

24

Tragbare Rechner



1980



(b)
Mid 1980s



(c)
Early 1990s



(d)
Mid 1990s



(e)
Late 1990s



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

25



Smart Sensor Web:

2 October 2001

Lt Col Eileen Bjorkman

Smart Sensor Web Project Manager
Defense Modeling and Simulation Office

Experimentation and Analysis in the MOUT Environment



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

26

Smart Sensor Web

Vision: An intelligent, web-centric distribution and fusion of sensor information . . . that provides greatly enhanced situational awareness, on demand, to warfighters at lower echelons.

“... extracts information from large arrays of local sensors joined with other assets: imagery, weather, weapons, simulations, the world-wide-web, etc. . . .”



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

27

Anwendungsszenarium - Katastrophenmanagement

- **Vielzahl von kooperierenden Akteuren**
- **Sensorik - Unzugängliche Bereiche - Gefährliche Bereiche**
- **Aktorik in unzugänglichen Bereichen**
- **Komplexe Entscheidungen, Entscheidungsunterstützung**

Anwendungsszenarium - Verkehrssysteme

- **Vielzahl von autonomen Verkehrsobjekten**
- **Kooperation von Verkehrsobjekten: Kollisionsvermeidung
Verkehrsflusssteuerung
Verkehrsprognose
Objekt-Zustand,**

Technologische Entwicklung für Eingebettete Systeme

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

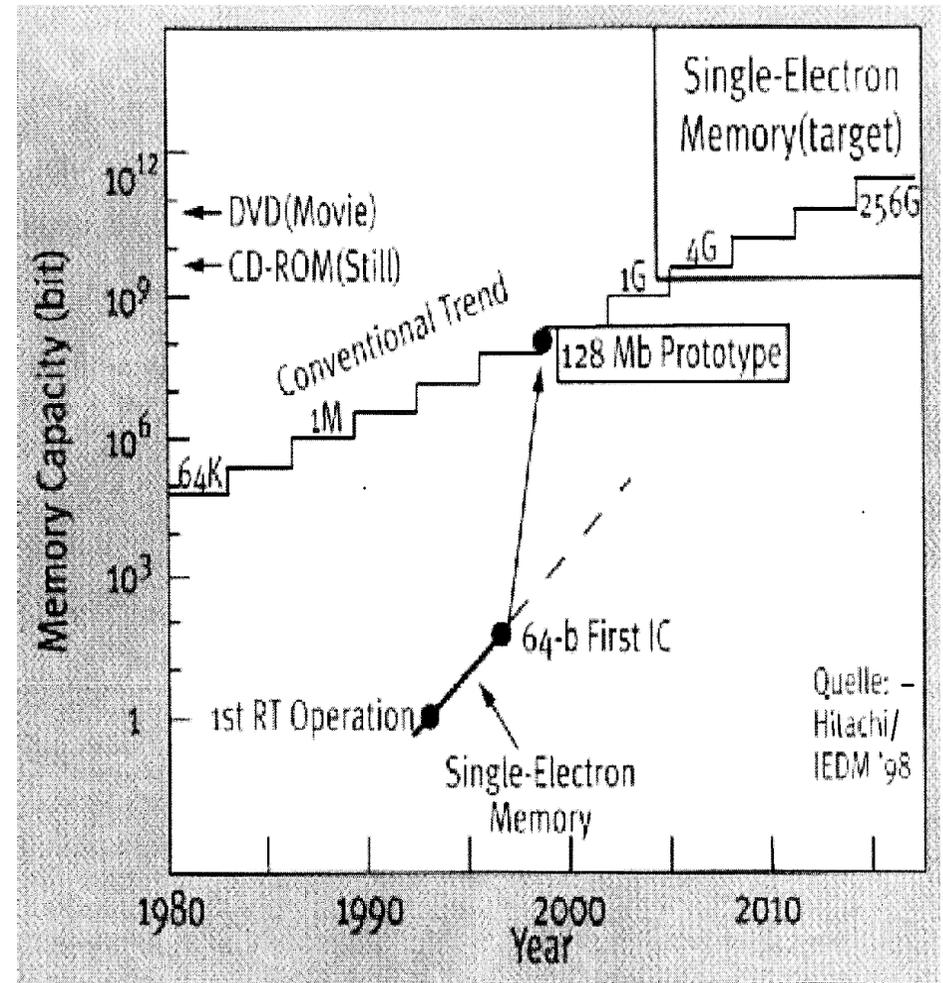
29

Rechnertechnologie: Erforderlich/Verfügbar

- Klein
- Stabil, Robust
- Niedriger Energieverbrauch

SoC:
 $n \cdot 10^3$ Proz./Chip
 10^{19} Ops/s &
 Chip
 Verteiltes System
 auf dem Chip

- Standard
- Leistung ↑↑
- „Vergessbar“
unsichtbar



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

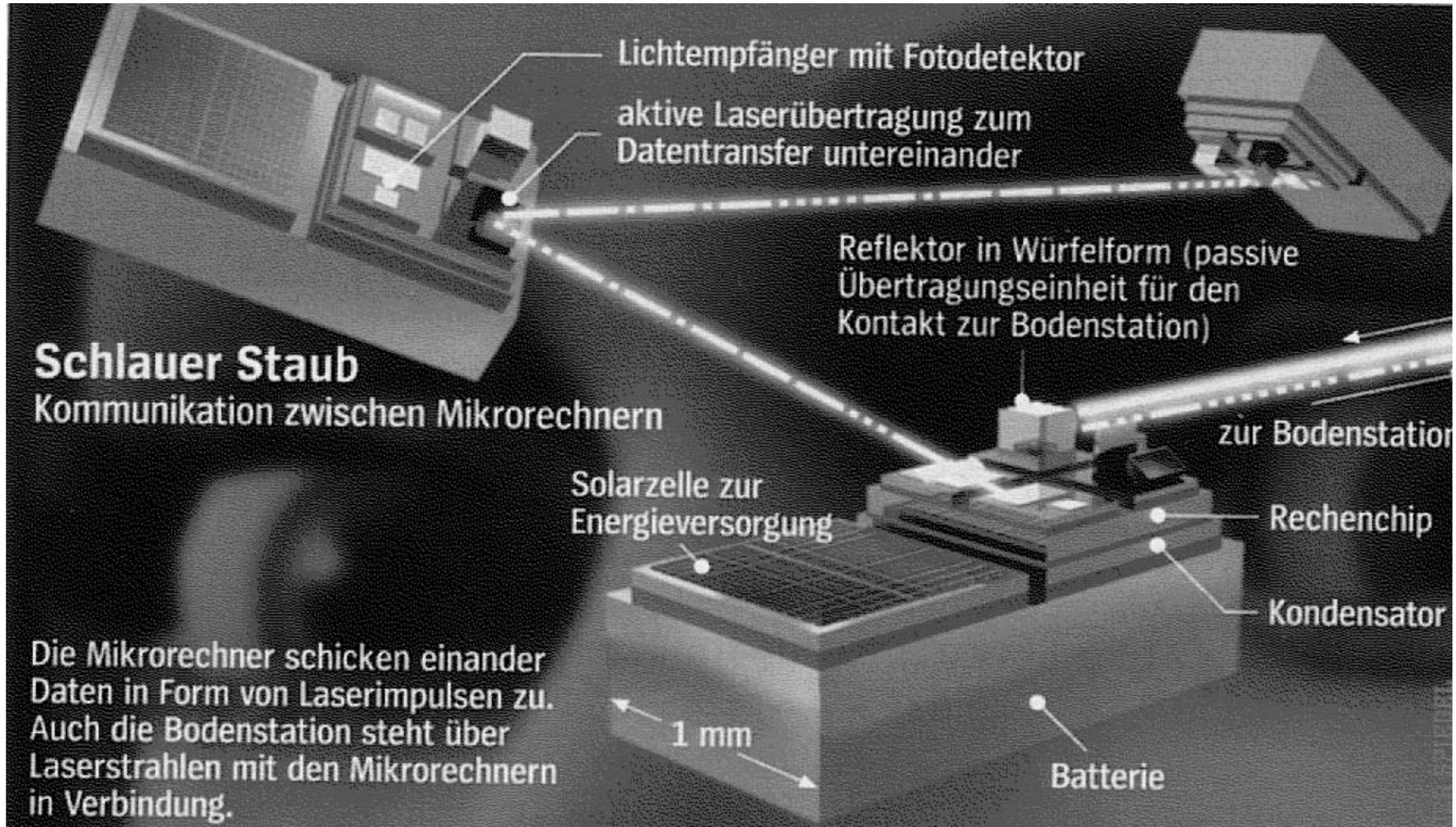


30

Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

Intelligenter Staub (Quelle: Spiegel)



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

31

Verlässliche Eingebettete Systeme

Organisation und Management

- **Dynamische Systemstrukturierung: Spontane Vernetzung**
Jini, SLP, UPnP, Bluetooth/SDP
HAVi, Salutation, Chai(HP), SDS(UCB), DEAPspace(IBM)
- **Umgebungs- und Ressourcenmanagement**
Struktur - Modellierung
Ressourcen - Modellierung
Ressourcen - Administration und Brokerage
- **Task und System Management**
Sicherheit, Verfügbarkeit, Schutz
Aktivitätsüberwachung und -steuerung
Authentifizierung, Security, Vertrauenswürdigkeit

Verlässliche Eingebettete Systeme sind Verläßliche Verteilte Systeme

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

32

Engineering versus Selbstorganisation

Start: Menschen-ähnliches Problemlösungsvorgehen !

- Kreative, intuitive Aufgabenplanung
- Aufgaben(ver)teilung, Kooperation
- Mobile, parallele, status-gestützte Aufgabendurchführung

Aufgabenlösung durch Dienste-Kollektiv
Dynamische Aufgabenzuweisung
Dynamische Ressourcenzuweisung
Dynamische Ausfallbehandlung (Redundanz)

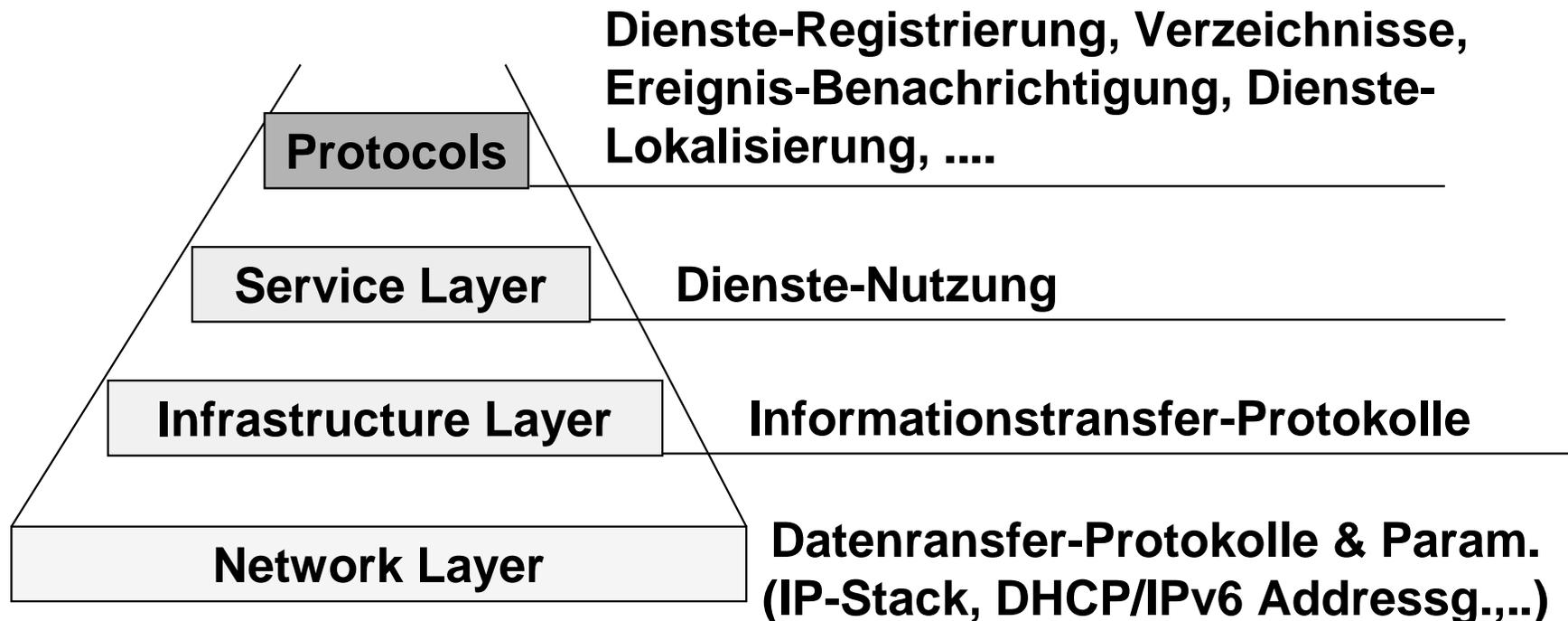
Dienste implementiert mittels

- Menschen
- Maschinen

Spontane Vernetzung (1)

Automatische Integration von Diensteanbietern und -nutzern:

„Dienste-Föderation“



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

34

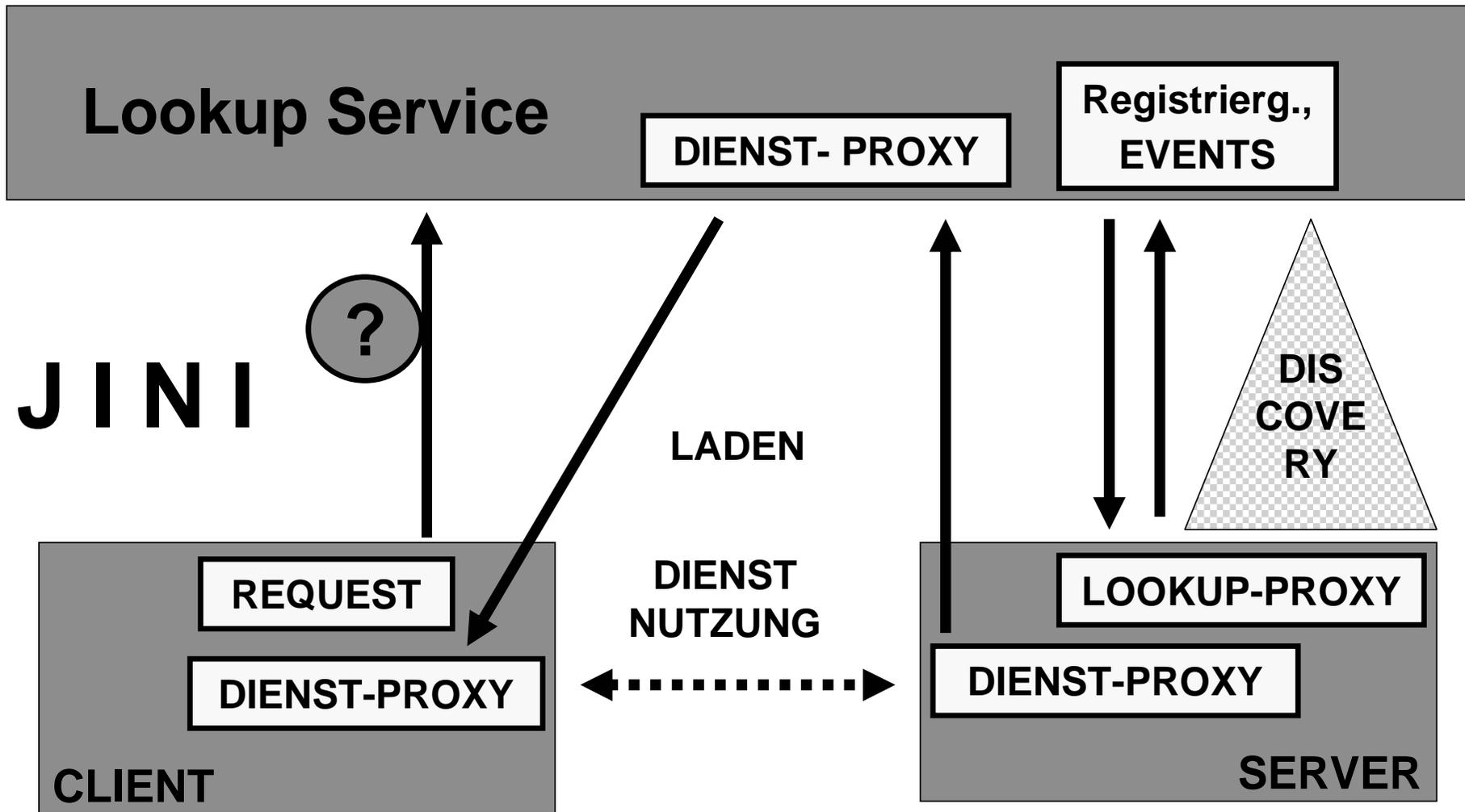
Spontane Vernetzung (2)

JINI (SUN) SLP (IETF) UPnP (HP/MS) Bluetooth

S-Announcem.	Multicast	-----	Multicast	-----
S-Registration	Multicast + Callback	Authenticated Multicast	Multi-/Unicast	Local (Piconet)
S-Type	JAVA	STRING	STRING	UUID
S-Description	JAVA-Obj.	Attrib./Values	XML-Instance	Attrib./Values
Client-Comm.	Multicast + Callback	Multi-/Unicast	Multicast	Specific
Client-Request	JAVA-Obj.	Boolean Expr.	STRING	UUID
Decentralized	NO	POSSIBLE	POSSIBLE	ONLY
Security (Use)	-----	s.a.	-----	-----

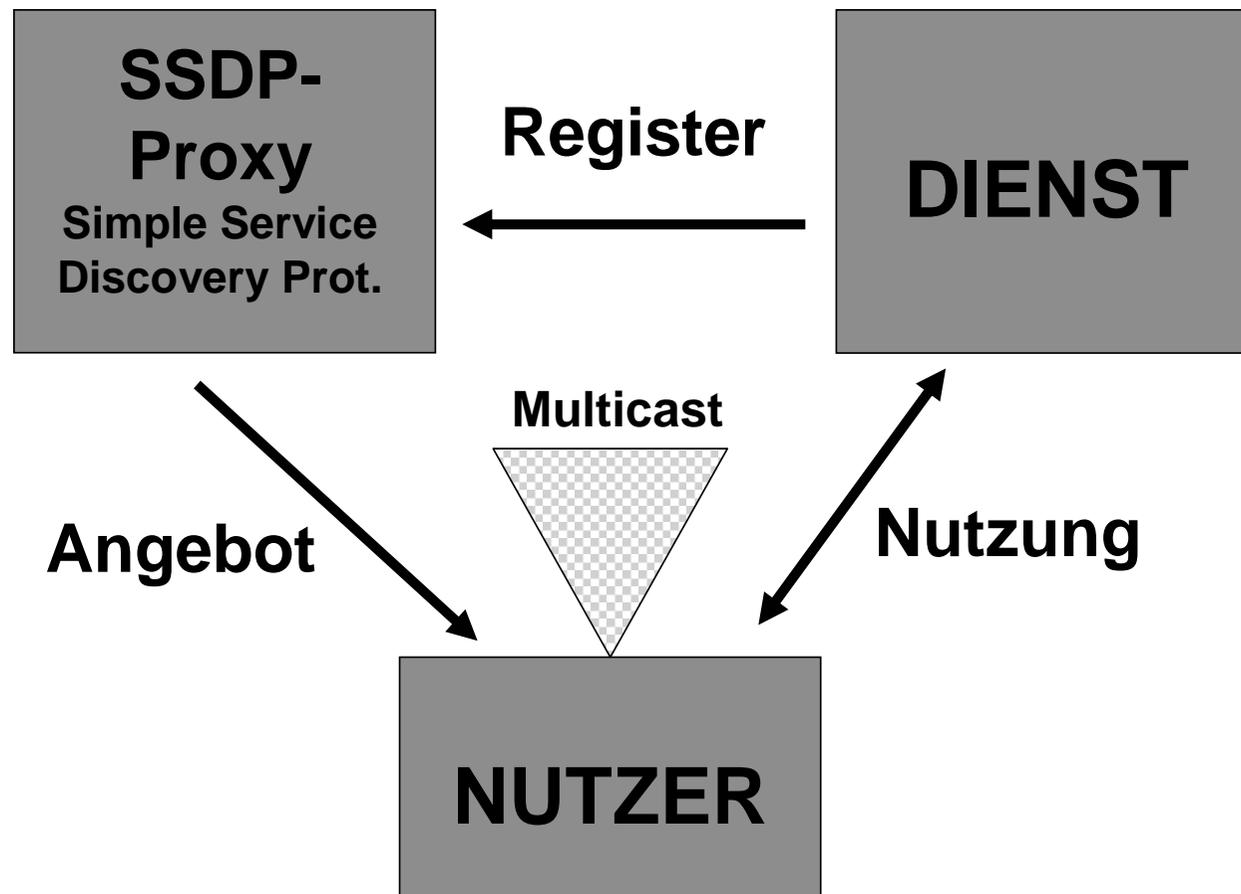
Source: R. Kehr, Darmstadt

Kein Ansatz vollständig!



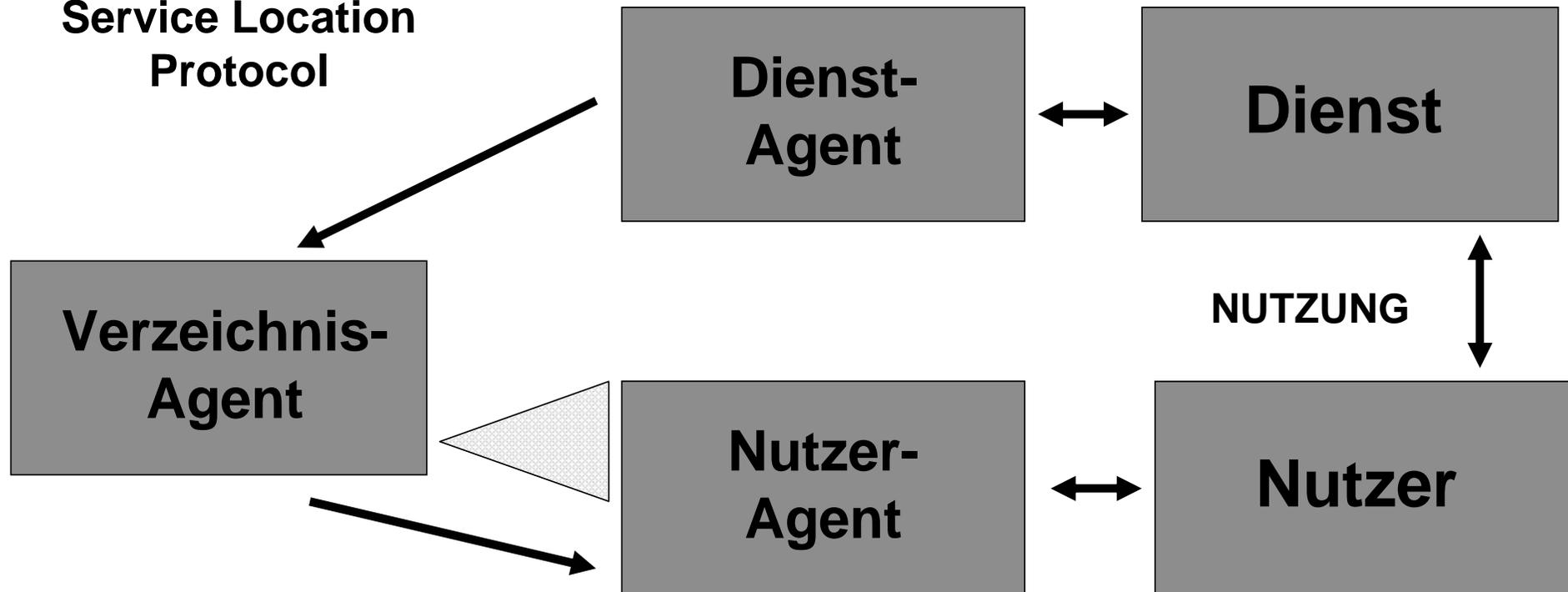
UPnP

Universal
Plug and Play

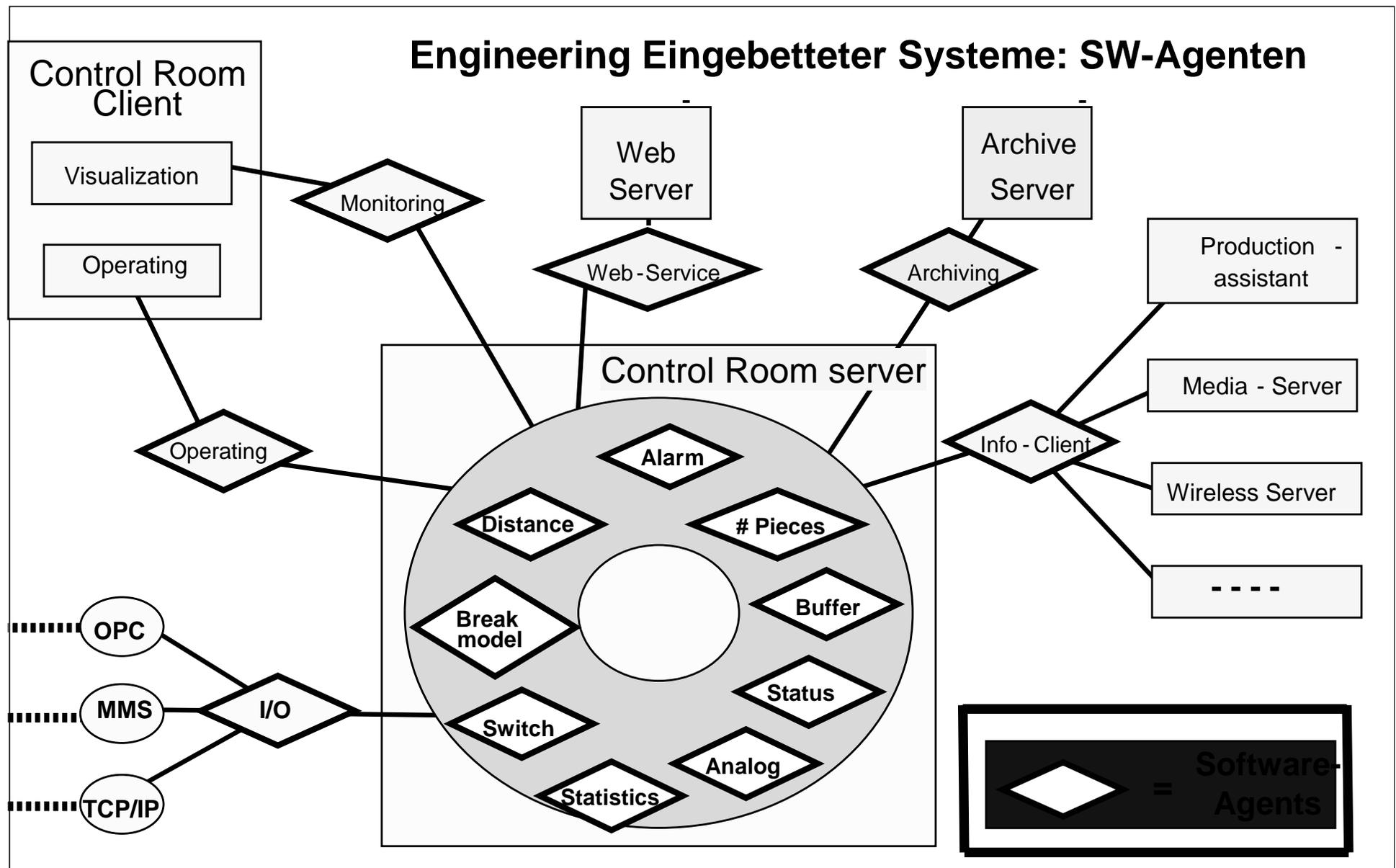


SLP

Service Location
Protocol

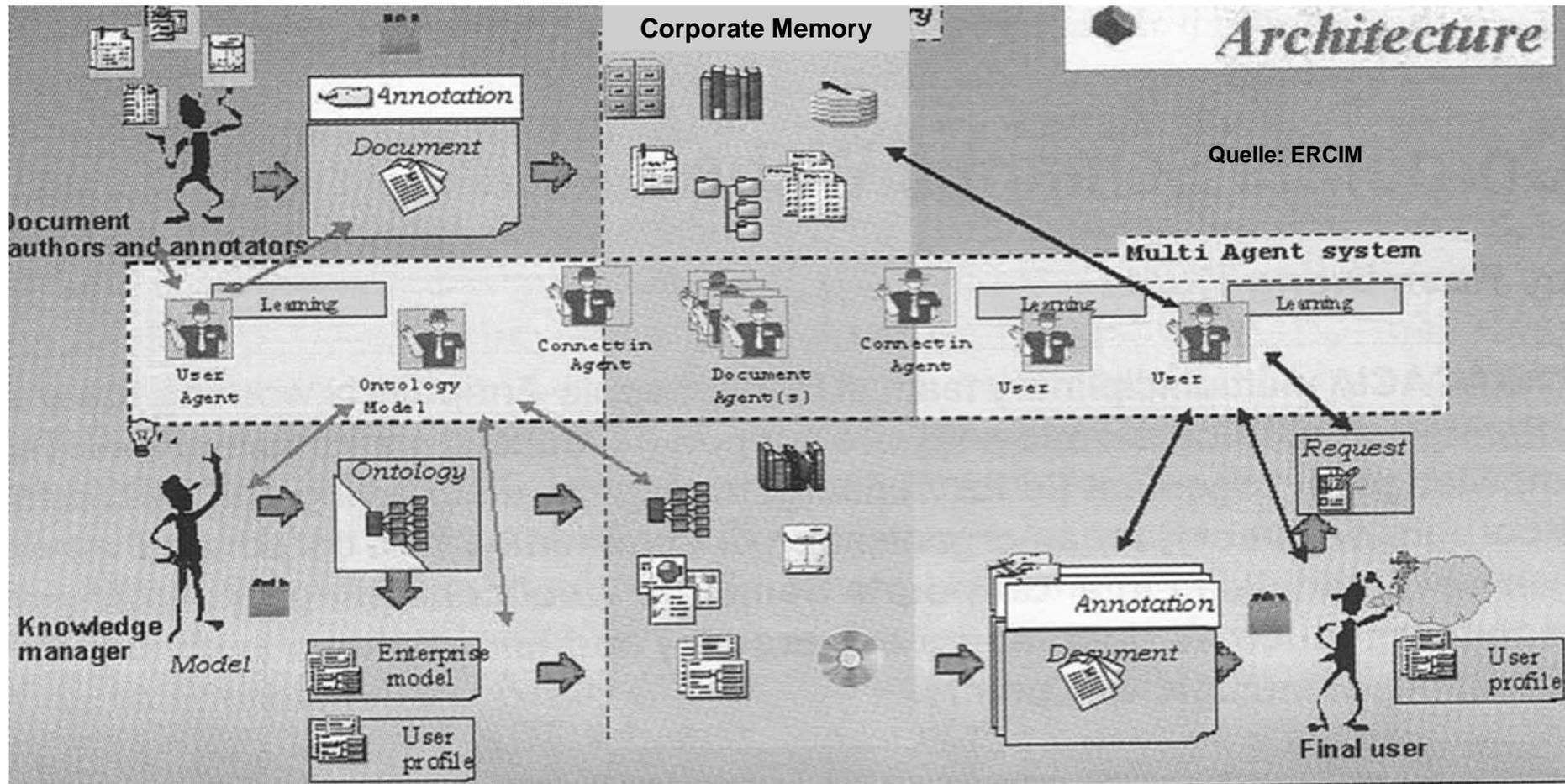


Engineering Eingebetteter Systeme: SW-Agenten



Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme
 GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL
 Boppard, 27. November 2003

Verteilte Agenten Systeme



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

40

Engineering Verteilter Systeme mit hoher Komplexität

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003

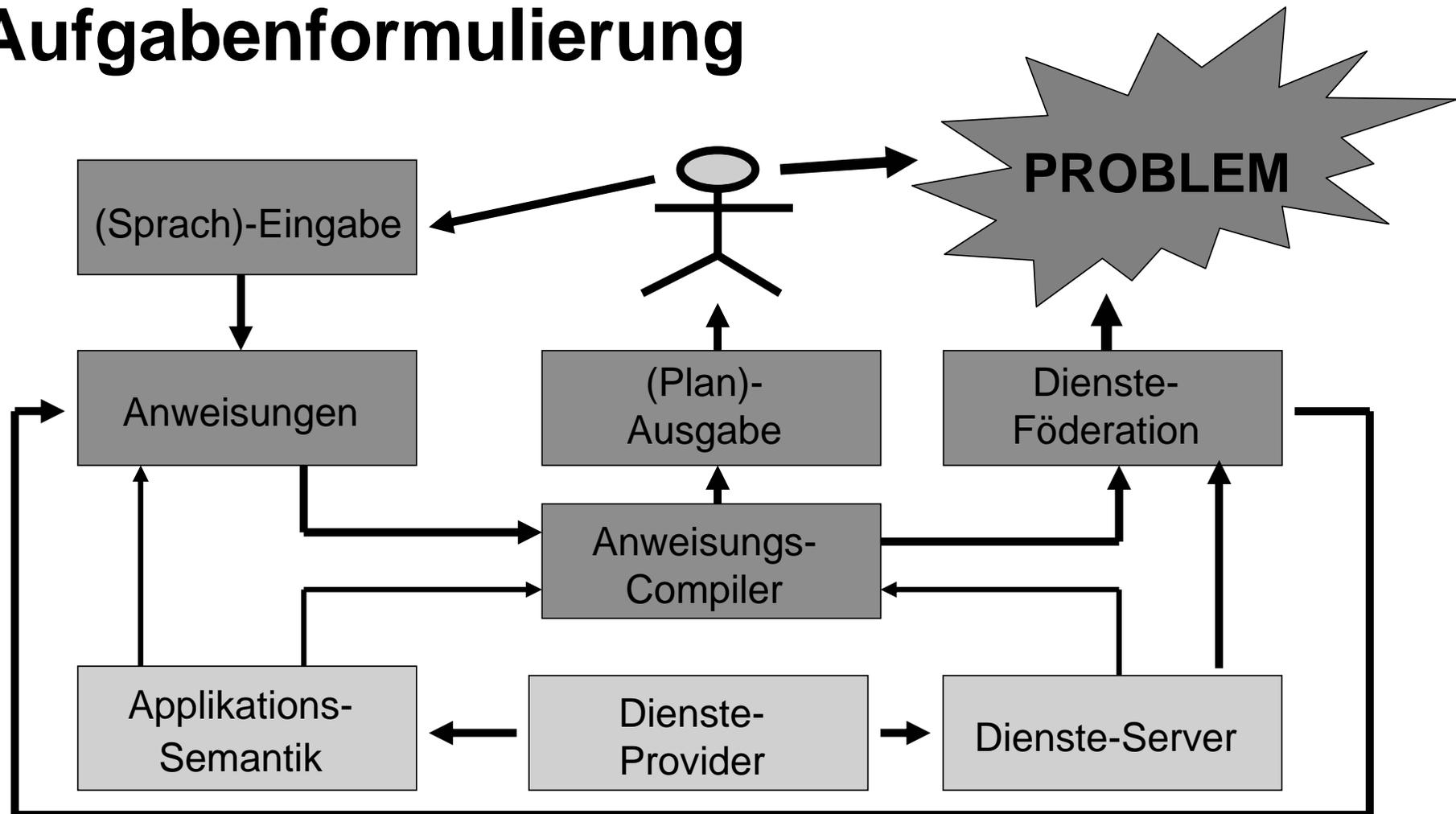


Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

41

Aufgabenformulierung



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



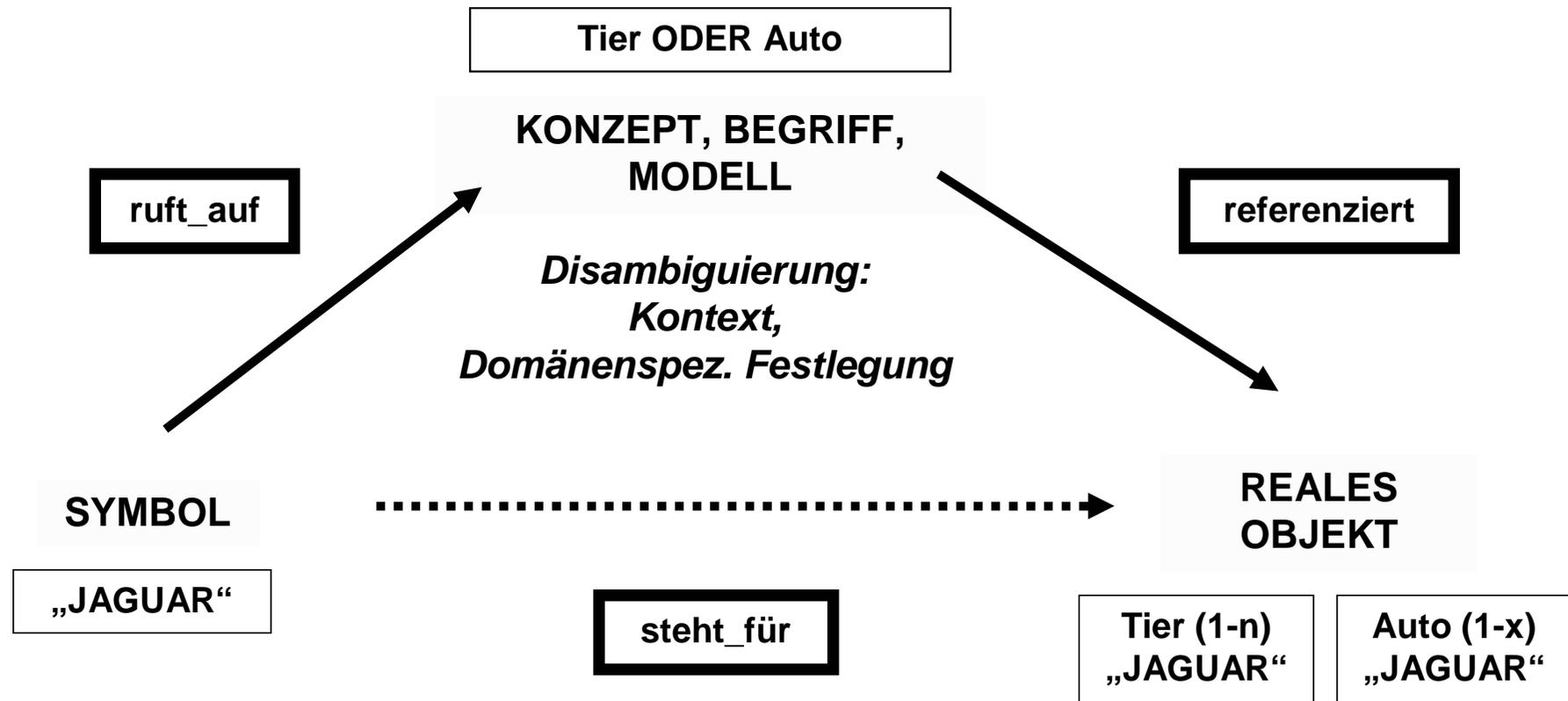
Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

42

Formale Beschreibung von Prozessen & Content

Ontologie (im Sinne der Informatik): formalisierte Beschreibung von Objekten und Relationen



Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

43

USW: Unternehmenssprache (1)

Konsequenzen für die Unternehmenssoftware:

- **Alle Objekte eindeutig mit Begriffen verbunden,**
- **Symbole, Begriffe, Relationen eindeutig/einmalig/sprechend:**

UNTERNEHMENSSPRACHE mit formal definierter SEMANTIK !

- **Maschinelle Unterstützung v. Produkt- / Produktionsmanagement:**
 - **Spezifikationen (u.a. Schnittstellen)**
 - **Lasten-/Pflichtenhefte (Prozesswissen)**
 - **Produktklassen**
 - **Dokumentationen**
 - **Arbeitsanweisungen**
 - **Umsetzung zwischen Unternehmenssprachen**
(auch verschiedener Unternehmen in einer Prozesskette !)

USW: Unternehmenssprache (2)

Konsequenzen für die Unternehmenssoftware:

- **Maschinell unterstütztes Softwaremanagement:**
 - **Spezifikation von Komponenten-SW**
 - **Implementation/Dokumentation von SW-Komponenten**
 - **Kooperation von Komponenten (Agenten)**
 - **Kommunikationsschnittstellen zwischen Komponenten**
 - **Dynamische Anpassung v. USW-Systemen (automatisierbar)**

- **Systemmanagement (Begriffe, Relationen, Lexika, ...)**
- **Werkzeuge, Organisation, Einführung , Schulung, ...**
- **Unterstützung durch Dienstleister**



Fazit

- **Verteilte Echtzeitsysteme = Systemparadigma**

unabhängig von spezifischen
Anwendungsbedingungen

- **Eingebettete Systeme = Informationstechnologie**

abhängig von aktueller
Anwendungsumgebung und
Technologienentwicklung

**Eingebettete Systeme: Großes Potential für
Verteilte Echtzeitsysteme**



**Der Weg zu Verteilten
Echtzeitsystemen!**

DANKE

Prof.Dr. Hartwig Steusloff

Verteilte Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

GI-FG 4.4.2 Echtzeitprogrammierung und PEARL

Boppard, 27. November 2003



Fraunhofer

Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

47