

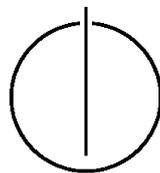
FAKULTÄT FÜR INFORMATIK

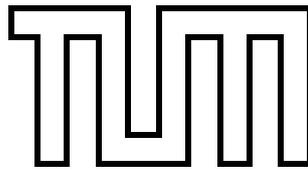
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Dissertation zum Erreichen des akademischen Grades eines
Dr. rer. nat. (Doktor der Naturwissenschaften)

**Konzept einer bionischen E/E-Architektur für
Fahrzeuge nach dem Vorbild des
menschlichen Körpers**

Daniel Adam





FAKULTÄT FÜR INFORMATIK

DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Konzept einer bionischen E/E-Architektur für Fahrzeuge nach dem Vorbild des menschlichen Körpers

Daniel Adam

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Informatik der Technischen Universität München zur Erlangen des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Alexander Pretschner

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Uwe Baumgarten
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jürgen Becker,
Karlsruher Institut für Technologie

Die Dissertation wurde am 22.12.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Informatik am 22.03.2016 angenommen.

Danksagung

Ich möchte mich bedanken bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Uwe Baumgarten für die Aufgabengestaltung und für die Betreuung während der Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jürgen Becker für die Übernahme des Zweitgutachtens bedanken. Ebenfalls bei den Mitautoren der Veröffentlichungen und den Kollegen in den Forschungsprojekten OSBORNE und ARAMiS für neue und interessante Einblicke in teilweise anderen Domänen und den daraus gewonnenen Erkenntnissen für mich. Ebenso bei den Teilnehmern und Unterstützern der Bausteine des BMW-Förderprogramms, vor allem bei dem Werkseinsatz bei Rolls-Royce Motor Cars in Goodwood, dem Serviceeinsatz in der BMW Welt und dem Orientierungseinsatz bei BMW Südkorea. Namentlich möchte ich Martin Salfer und Joachim Fröschl stellvertretend für alle Beteiligte nennen.

Bei meinen Mitdoktoranden am Lehrstuhl/Fachgebiet für Betriebssysteme an der Technischen Universität München. Zum Schluß möchte ich mich ebenfalls bei Alexander Giehl, welcher mit dieser Dissertation bereits meine dritte wissenschaftliche Abschlussarbeit Korrektur gelesen hat, und bei meinen Eltern bedanken.

„Strive for perfection in everything you do. Take the best that exists and make it better. If it does not exist design it.“

Sir Frederick Henry Royce (1863 – † 1933)*

Zusammenfassung

Das Bordnetz eines Fahrzeugs kann in einen elektrischen und einen elektronischen Bereich unterteilt werden. Der elektrische Bereich ist für die Spannungsversorgung der einzelnen Komponenten zuständig. Während der elektrische Bereich früher ebenfalls für die Kommunikation zwischen den Komponenten zuständig war, wurde diese Aufgabe im Laufe der Zeit im Automobilbau durch den zweiten Bereich - den elektronischen Bereich - abgelöst. Die diskrete Kommunikation wurde durch Buskommunikation ersetzt. Somit wird durch den elektronischen Bereich, neben der Datenkommunikation, ebenfalls der Softwareanteil abgedeckt. Neben dieser Entwicklung auf technischer Ebene, wurde das Bordnetz durch Umweltfaktoren in der Entwicklung beeinflusst.

Diese Entwicklung führt zu einer tatsächlichen Komplexität, welche hauptsächlich aufgrund des iterativen Entwicklungsvorgehens über der notwendigen Komplexität liegt. Hauptsächlich aufgrund der Abhängigkeit zwischen den einzelnen Funktionen und der damit hervorgehenden Kommunikationsbeziehung, entsteht eine Diskrepanz der beiden Komplexitäten.

Als ein möglicher Ansatz für zukünftige Bordnetze wurde der menschliche Körper im Rahmen dieser Arbeit als Vorbild herangezogen, entsprechend der Vision von Paul Horn aus dem Jahr 2001 für zukünftige Information- und Telekommunikationssysteme. Dazu wurde im ersten Schritt der Aufbau und die Funktionsweise des menschlichen Körpers analysiert. Im zweiten Schritt wurde entsprechend der gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse des menschlichen Körpers Regeln erstellt, welche im dritten Schritt zum Entwurf einer bionischen E/E-Architektur verwendet wurden. Abschließend wurde für die konzeptionelle Evaluierung des Konzeptes Funktionen nach dem bionischen Prinzip modelliert.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	v
Zusammenfassung	ix
Inhaltsverzeichnis	xv
I. Einleitung	1
1. Motivation	3
1.1. Gegenwärtige Situation	3
1.2. Zukunftsthesen	5
1.3. Anforderungen	6
2. Ziel dieser Arbeit	9
2.1. Eingrenzung der Arbeit	9
2.2. Leitgedanke der Arbeit	9
2.3. Problembeschreibung	12
2.4. Methodisches Vorgehen	12
3. Gliederung	13
II. Grundlagen	15
4. Begriffe	17
4.1. Bionik	17
4.2. Biotechnologie	17
4.3. Biologische Kybernetik	18
4.4. Natural Computing	18
4.5. Neuromorphic Computing	19
4.6. Pervasive Computing	20
4.7. Cyber Physical Systems	21
4.8. Industrie 4.0	21
4.9. Internet of Things	22
4.10. Organic Computing	23
4.11. Cloud	24
4.12. Multi- und Many-Core Prozessoren	25
4.13. Sicherheitssysteme	25

5. E/E-Architektur	27
5.1. Elektrischer Anteil/Energiebordnetz	28
5.2. Elektronischer Anteil/Datenbordnetz	30
5.3. ISO 26262	34
6. Informatik	39
6.1. Künstliche Intelligenz	39
6.1.1. Machine Learning	40
6.1.2. Learning Classifier System	41
6.1.3. Reinforcement Learning	41
6.1.4. Evolutionäre Algorithmen	41
6.2. Fuzzy Logik	43
6.3. Kommunikation	43
6.3.1. Übertragungstechnik	44
6.3.2. Ethernet	44
6.3.3. Power Line Communication	45
6.3.4. Datenzentrierte Kommunikation	46
6.3.5. Infrastrukturkomponenten	49
6.4. Namensschemata	49
6.5. Virtualisierung	50
6.6. Multiple Independent Levels of Security and Safety-Paradigma	52
6.7. MAPE-(K)/SMPA-Paradigma	53
7. Der Mensch	55
7.1. Nervensystem	55
7.2. Hormonsystem	57
7.3. Blutkreislauf	60
7.4. Blut	62
7.5. Gehirn	63
7.5.1. Verlängertes Mark und Brücke	64
7.5.2. Kleinhirn	64
7.5.3. Mittelhirn	65
7.5.4. Zwischenhirn	65
7.5.5. Großhirn	65
7.5.6. Interaktion zwischen den Hirnregionen	66
7.5.7. Ausführung mehrerer Aufgaben gleichzeitig	67
7.6. Gedächtnis	67
7.7. Rückenmark	69
7.8. Energie	70
7.8.1. Speicherung	71
7.8.2. Verhalten	72
7.9. Verstand und Gewissen	72
7.10. Wissensvermittlung	74
7.11. Evolution	74
8. Related Work	77

8.1. Fahrzeugbau	77
8.2. Elektronische Komponenten	80
8.3. Software Engineering	81
8.3.1. NASREM-Modell	82
8.3.2. fEPM - flexibles Energie und Power Management-Modell	83
8.3.3. Organic Computing-Modell	84
8.4. Elektrischer/Elektronischer-Bereich	85
8.5. Weitere Projekte	85
III. Konzept	87
9. Abgeleitete Erkenntnisse	89
10. Grobkonzept der bionischen E/E-Architektur	91
10.1. Funktionsumfang	91
10.2. Funktions- und Softwarearchitektur	91
10.3. Vernetzungsarchitektur	91
10.4. Komponententopologie	92
11. Konzeptionelle Details der bionischen E/E-Architektur	93
11.1. Softwarearchitektur	93
11.1.1. COS-Softwaremodell	93
11.1.2. Struktur der Informationsflüsse	95
11.1.3. Datenspeicherung	97
11.2. Vernetzungsarchitektur	97
11.2.1. Datenbordnetz	98
11.2.2. Energiebordnetz	100
11.2.3. Regelbasierte Steuerung	101
11.2.4. Datenschnittstelle	102
11.2.5. Datenzugriff	104
11.2.6. Partitionierung	105
11.2.7. Mehrfachnutzung der Verkabelung	106
11.3. Komponententopologie	108
11.3.1. 3C-Ausführungsorte	108
11.3.2. Zentrale Zone	110
IV. Evaluierung und Bewertung	111
12. Evaluierung	113
12.1. Energiemanagement	114
12.1.1. Stand der Technik	114
12.1.2. Bionischer Ansatz	114
12.1.3. Bewertung und Fazit	115
12.2. Passive Sicherheit	115
12.2.1. Aktueller Stand	115

12.2.2. Bionischer Ansatz	116
12.2.3. Bewertung und Fazit	117
12.3. Umfelderkennung	118
12.3.1. Stand der Technik	118
12.3.2. Bionischer Ansatz	119
12.3.3. Bewertung und Fazit	122
12.4. Watchdog	122
12.4.1. Stand der Technik	122
12.4.2. Bionischer Ansatz	122
12.4.3. Bewertung und Fazit	125
12.5. Optimierung des Ressourcenverbrauchs	125
12.5.1. Stand der Technik	125
12.5.2. Bionischer Ansatz	125
12.5.3. Bewertung und Fazit	130
12.6. Wakeup	130
12.6.1. Stand der Technik	130
12.6.2. Bionischer Ansatz	130
12.6.3. Bewertung und Fazit	132
12.7. Remotedienste	132
12.7.1. Stand der Technik	132
12.7.2. Bionischer Ansatz	132
12.7.3. Bewertung und Fazit	133
13. Bewertung	135
V. Fazit und Ausblick	137
14. Fazit	139
15. Ausblick	141
Anhang	144
A. Szenarien für gemeinsamen Einsatz von Power Over Signal und Signal over Power	145
B. Erhebungsorte	149
C. Industrielle Revolutionen	151
D. Publikationen	153
Abbildungsverzeichnis	157
Tabellenverzeichnis	160

Listingsverzeichnis	161
Glossar	163
Quellenverzeichnis	169

Teil I.

Einleitung

1. Motivation

In diesem Kapitel wird die Motivation für die Dissertation beschrieben. Dazu wird im ersten Abschnitt (siehe Abschnitt 1.1) die gegenwärtige Situation und die erwartete Entwicklung des E/E (Elektrisches/Elektronisches)-Architektur beschrieben. Im zweiten Abschnitt (siehe Abschnitt 1.2) werden die Zukunftsthesen beschrieben, welche die zukünftige Situation charakterisieren, die als Referenzukunft für das OSBORNE¹-Projekt verwendet wird und somit auch die Grundlage für das Dissertationsthema darstellt. Im dritten und letzten Abschnitt (siehe Abschnitt 1.3) werden die Anforderungen beschrieben, welche aus der gegenwärtigen Situation und den Zukunftsthesen abgeleitet wurden.

1.1. Gegenwärtige Situation

Abbildung 1.1 zeigt die Entwicklung der Komplexität der E/E-Architektur. Neben der tatsächlichen in petrol wird ebenfalls die eigentliche notwendige Komplexität in orange dargestellt. Das Delta der beiden Kurven bildet den vorherrschenden Mehraufwand ab.

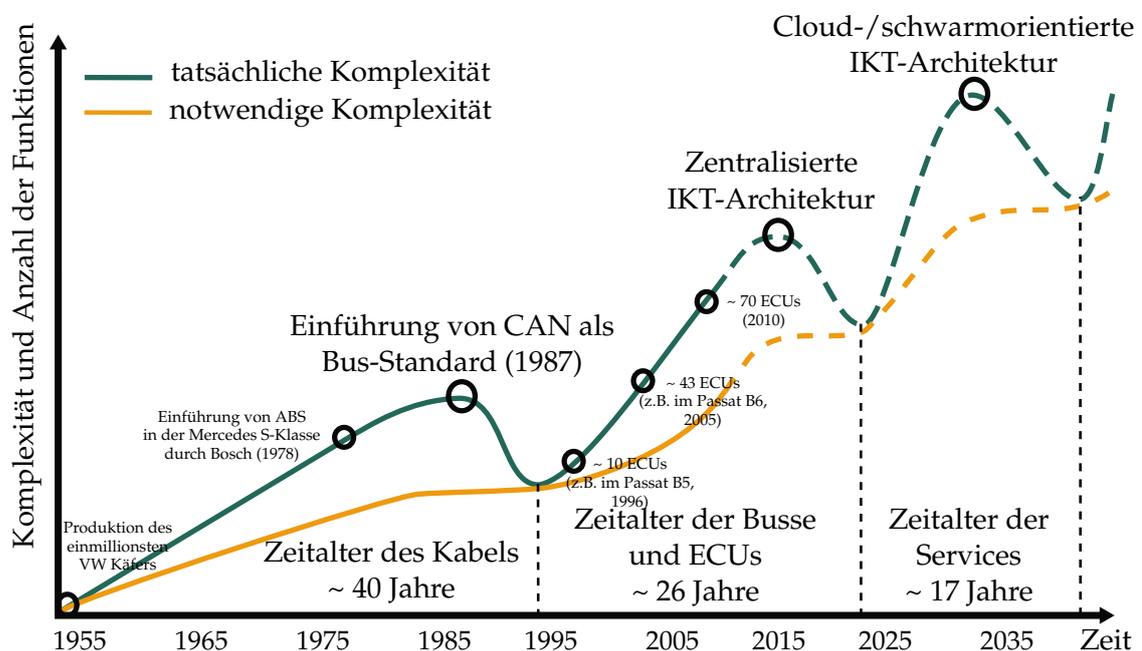


Abbildung 1.1.: Notwendige und tatsächliche Komplexitätsentwicklung von E/E-Architekturen (Quelle: [42, S. 6])

¹Name eines BMW internes Projektes zum Thema zukünftige E/E-Architektur.

Trotz des Einsatzes von Bussystemen und anderen aktuellen Technologien besteht in einem Fahrzeug, aus Sichtweise der E/E-Architektur, eine hohe, beziehungsweise vielleicht die bisherige höchste, Komplexität in der Geschichte des Fahrzeugbaus (siehe auch Abbildung 1.1). Wie aus der Abbildung ebenfalls entnommen werden kann, gab es im Jahr 1995 bereits eine Revolution im E/E-Bereich. Diese Revolution bestand darin, dass anstelle der bis dato verwendeten direkten Verkabelung bei der Datenkommunikation auf Busverkabelung umgestellt wurde. Die tatsächliche Ausprägung einer E/E-Architektur ist vom Fahrzeugmodell und der Ausstattung abhängig. Dabei bilden die kleineren Modelle, wie BMW 1er und MINI, eine Untergrenze mit ungefähr 50 verbauten ECUs (Electronic Control Units). Die größeren Modelle, wie 6er- und 7er-Modelle mit Vollausrüstung, stellen mit ungefähr 100 verbauten ECUs die Obergrenze dar.

Nicht nur die Anzahl der ECUs und Funktionen ist für die Komplexität verantwortlich sondern ebenfalls die beschriebene breite Variabilität, die sich aus der unterschiedlichen Serien- beziehungsweise den Sonderausstattungen ergibt. Daraus entstehen eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten von ECUs und die gegenseitige Kopplung beziehungsweise Abhängigkeiten der Funktionen. Dies resultiert aus dem Vorgehen, dass die einzelnen Funktionen nicht nur für ein Derivat² speziell entwickelt werden, sondern idealerweise für alle Derivate verwendet werden sollen. In diesem Kontext kann von dem Ziel der Derivatunabhängigkeit gesprochen werden. Dies ist vergleichbar mit dem WORA (Write Once, Run Anywhere)-Prinzip der Programmiersprache Java [279, S. 24].

Ebenfalls ein Grund für die hohe Komplexität ist der Einsatz von unterschiedlichen anwendungsspezifischen Bustechnologien. So werden gegenwärtig folgende fünf Bustechnologien verwendet: CAN (Controller Area Network) (Veröffentlichungs-/Einführungsjahr: 1986/Übertragungsgeschwindigkeit: 1 MBit/s), LIN (Local Interconnect Network) (1998/19 kBit/s), MOST (Media Oriented Systems Transport) (1998/10 MBit/s), FlexRay (1999/10 MBit/s), Ethernet (2008/100 MBit/s) [181, 204, 227].

Wird von fünf Bussystemen im Fahrzeug gesprochen, sind damit häufig die Bustechnologien - vergleiche vorherigen Absatz - gemeint. Tatsächlich ist ein aktuelles Bordnetz in mehrere unabhängige Teilbussysteme aufgeteilt. Eine eigene durchgeführte Auswertung der Bordnetzdatenbank von BMW hat ergeben, dass in einem BMW ungefähr 50 Teilbussysteme existieren. Während MOST, FlexRay und Ethernet jeweils nur in einem Teilbussystem genutzt werden, wird CAN in 15 und LIN in 30 Teilbussystemen genutzt.

Die Gründe hierfür sind vielfältig. Ein Grund ist, dass das Fahrzeug inmitten eines Spannungsfeldes unterschiedlicher Interessen befindet. Diese können, wie in der STEEP (Sociological, Technological, Economical, Environment and Political)-Analyse in fünf Bereiche eingeteilt werden (siehe Abbildung 1.2) [306, S. 23 ff.]. Ein ausgewählter spezifischer Grund aus den Faktoren „Technological“ und „Environment“ ist, dass BMW nicht nur im Wettbewerb mit etablierten Mitbewerbern steht, sondern auch mit Newcomern wie Tesla³ oder Google/Alphabet⁴. Diese Newcomern besitzen folgende zentrale Vorteile:

- Keine technische Altlasten und deswegen mehr Flexibilität
- Andere Entscheidungsprozesse, welche zu anderen Lösungen führen

²Als Derivat werden die unterschiedlichen Ausgestaltungen eines Fahrzeugmodells bezeichnet. Beispielsweise die 5er Limousine und der 5er Touring sind Derivate der 5er Modellreihe [65, S. 292].

³Webseite: <http://www.teslamotors.com>

⁴Webseite: <https://abc.xyz/>

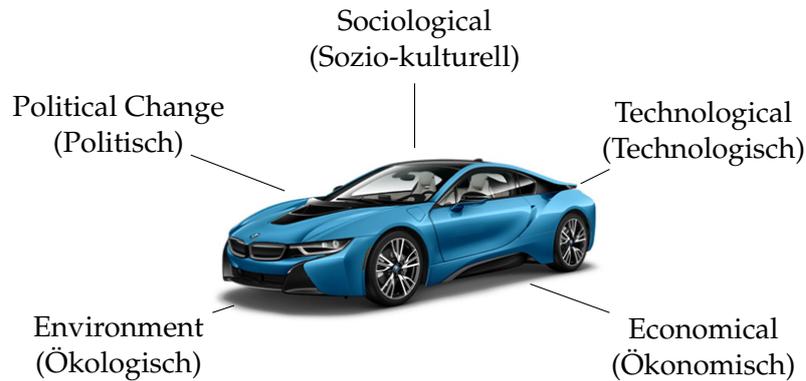


Abbildung 1.2.: Spannungsfeld in dem sich ein Fahrzeug befindet (Bildquelle: [53])

1.2. Zukunftsthese

Um zukünftige Anforderungen ermitteln zu können, wurden fünf zentrale Thesen im Rahmen der Projektdefinitionsphase von OSBORNE konkretisiert, damit eine Zukunftslandschaft für das Projekt vorhanden ist.

Diese Thesen wurden aus den Antworten der Frage „*Was sind die Game Changer, die eine zukünftige E/E-Architektur beeinflussen?*“ heraus entwickelt. Dazu wurden im Rahmen einer Vorstudie zunächst Workshops innerhalb des Projektkernteams von OSBORNE durchgeführt. Anschließend wurden mit Hilfe von Interviews diese Thesen verifiziert. In den rund 30 durchgeführten Interviews, durch Mitglieder des OSBORNE-Projektes, wurden sowohl interne Experten der BMW AG und der BMW Forschung und Technik GmbH befragt, als auch Experten aus dem universitären Umfeld, der Zuliefererbranche und dem nicht-automotiven Umfeld. Dabei entstanden folgende fünf Thesen mit je einem zugehörigen Schlagwort [198, 247, 248]:

- „*Das Fahrzeug ist eine Integrationsumgebung für Dienste und Funktionen*“ ⇒ **Car as a Plattform**
Unter dieser These wird verstanden, dass das E/E-System die Eigenschaften eines Baukastens bei Hard- und Software aufweist. Vergleichbar wie dies von Geräten aus dem Consumerbereich oder von Lego bekannt ist. Wie bei den zwei genannten Beispielen soll der Kunde weitreichende Möglichkeiten haben, die Funktionalität des Fahrzeugs zu ändern, um bestmöglich den Funktionsumfang und die Eigenschaften an den jeweiligen aktuell bestehenden Bedürfnissen anzupassen [198].
- „*Die Effiziente Nutzung von Ressourcen ist obligatorisch*“ ⇒ **Effiziente Ressourcennutzung**
Zukünftig wird es immer wichtiger sein, die zur Verfügung stehenden Ressourcen noch effizienter zu nutzen. Dabei ist ein Ziel von BMW, den elektrischen Energieverbrauch eines Fahrzeug aufgrund der E/E-Funktionen zu halbieren. Dies soll aufgrund von Massnahmen im E/E-Bordnetz der einzelnen Fahrzeuge geschehen, somit kann dies als eine lokale Optimierung gesehen werden.

Ebenfalls sollen fahrzeugübergreifende Massnahmen, wie ein intelligentes Verkehrsmanagement oder ein kooperatives Verhalten der Fahrzeuge, zur globalen Optimierungen führen [198].

- *„Systeme sind intelligent und treffen autonome Entscheidungen“* ⇒ **Autonome, kooperative Systeme**
Zukünftig sollen die Systeme im Fahrzeug nicht mehr statisch und isoliert sein, sondern flexible, kooperative und autonome Eigenschaften aufweisen. Dazu sind intelligente Bestandteile notwendig, um die genannten Eigenschaften zu gewährleisten. In der Literatur werden häufig die gewünschten Eigenschaften, wie Self-organization, -configuration, -optimization, -healing und -protection, auch als Self-X-Eigenschaften (siehe Abschnitt 4.10) zusammengefasst [198].
- *„Funktionen sind verteilt und die Systemgrenzen verschieben sich dynamisch“* ⇒ **Dynamische Systemgrenzen**
Diese These wird insbesondere von den aktuellen Schwerpunkten wie Pervasive Computing (siehe Abschnitt 4.6), IoT (Internet of Things) (siehe Abschnitt 4.9), Cloud (siehe Abschnitt 4.11) und Edge Computing getrieben. In diesem Kontext steht auch der Gedanke eine X-ECU einzusetzen. Aber auch die Entwicklung im Bereich von IoT und CPS (Cyber-Physical-Systems) (siehe Abschnitt 4.7) spielt dabei eine entscheidende Rolle [198].
- *„Komplexitätsbeherrschung und Robustheit erfordern neue Architekturen“* ⇒ **Komplexitätsbeherrschung und Robustheit**
Aufgrund von verschiedenen, teilweise rechtlichen, Anforderungen werden umfangreiche Zertifizierungs-, Validierungs- und Absicherungsmassnahmen durchgeführt. Dies dient unter anderem dazu, die funktionale Sicherheit sicherzustellen. Hierbei ist insbesondere die ISO 26262 (siehe Abschnitt 5.3) zu nennen [198].

1.3. Anforderungen

Bei der Analyse der gegenwärtigen Situation (siehe Abschnitt 1.1) und der zukünftigen Situation (siehe Abschnitt 1.2) wurden verschiedene Eigenschaften für zukünftige E/E-Architekturen extrahiert. Im Rahmen von OSBORNE wird zwischen folgenden drei Kategorien unterschieden: zentralen Eigenschaften, Querschnittseigenschaften und organisatorischen Prämissen.

Bei den drei Kategorien handelt es sich um nichtfunktionale Eigenschaften *„Non-functional requirements are qualities the product must have.“* [234, S. 10] an eine zukünftige E/E-Architektur, da die funktionalen Anforderungen *„Functional requirements are things the product must do.“* [234, S. 10] erst durch die Fixierung der Zielvereinbarung bei dem jeweiligen Fahrzeugderivat² definiert werden [54] [198] [234, S. 9 ff.].

Die Abgrenzung zwischen zentralen Eigenschaften und Querschnittseigenschaften sind, dass die Querschnittseigenschaften den zentralen Eigenschaften untergeordnet sind. Werden die oben genannten Definitionen von funktionalen und nicht-funktionalen Eigenschaften auf die Anforderungsklassen übertragen, entsprechen die zentralen Eigenschaften den funktionalen und die Querschnittseigenschaften den nicht-funktionalen Eigenschaften der Architektur.

Zentrale Eigenschaften

Zentrale Eigenschaften definieren die Menge an Eigenschaften, welche das komplette System erfüllen muss. Es wurden folgende zentrale Eigenschaften identifiziert [247]:

- *Funktionale Modularität*
- *Intelligent und adaptiv*
- *(zukünftige) Safety-Anforderungen*

Querschnittseigenschaften

Querschnittseigenschaften betreffen alle Komponenten und sind technisch motiviert. Es wurden folgende Querschnittseigenschaften identifiziert [247]:

- *Energie- und Leistungsmanagement*
- *Komplexitätsbeherrschung*

Organisatorische Prämissen

Während die zentralen Eigenschaften und Querschnittseigenschaften technisch motiviert sind, sind Prämissen⁵ organisatorisch begründet. Neben der technischen Umsetzbarkeit, müssen Ideen und Konzepte ebenfalls durch die Unternehmensorganisation unterstützt werden. Je größer das Unternehmen, desto schwieriger ist eine umfangreiche⁶ Organisations- beziehungsweise Produktänderung. Dies ist einer der großen Vorteile der bereits erwähnten Newcomer (siehe Abschnitt 1.1) der Branche, besonders wenn die Organisations- und die Produktstruktur korreliert. Zudem nimmt auch das Produktionsvolumen, die Kostenstruktur, langfristige Verträge und der lange Produktlebensweg⁷ in der Automobilbranche Einfluss auf die Prämissen. Bei einer zukünftigen E/E-Architektur wurden folgende Prämissen in [247] identifiziert:

- *Rückwärtskompatibilität zur heutigen Zielarchitektur ist nicht zwingend notwendig*
- *Kompatibel bleiben?/Warum?/Warum nicht?/Was ist wenn nicht?/Bewertung der einzelnen Alternativen?*
- *Kosten mit im Fokus!*
- *Kostenbewertung inkl. Sekundäreffekte*

⁵Der Begriff „Constraints“ kann dafür synonym verwendet werden [234, S. 11].

⁶Im Sinne von gesamtunternehmerischer Veränderung.

⁷Produktlebensweg = Produktentwicklungsphase + Produktionsphase + Produktnutzungsphase [223, S. 44]

2. Ziel dieser Arbeit

2.1. Eingrenzung der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist es, ein Konzept für eine E/E-Architektur für zukünftige Fahrzeuggenerationen zu erstellen, welches sich dabei, wie bei dem nachfolgenden Leitgedanken (siehe Abschnitt 2.2), den menschlichen Körper als Vorbild nimmt. Dabei wird der Fokus auf die Softwarearchitektur und die Gestaltung der Kommunikation gelegt. Diese beiden Disziplinen werden gemeinsam betrachtet, da die Disziplin der Softwarearchitektur, neben der Dekomposition, ebenfalls unter anderem die Verbindungen, Interaktionen und Verteilung der Software-Komponenten beinhaltet [167]. Um die aufgeführten Anforderungen im Zusammenhang mit den Zukunftsthesen zu erfüllen, werden dabei Methoden und Techniken verwendet, die von dem menschlichen Körper inspiriert sind.

2.2. Leitgedanke der Arbeit

Als grundlegender Leitgedanke für das erstellte Konzept dient der Gedanke von Paul Horn⁸ aus seinem im Jahr 2001 veröffentlichten Paper [129] zum Thema „*Autonomic computing*“. Das zentrale Zitat aus dem Paper ist „*Without new approaches, things will only get worse. Paradoxically, to solve the problem - make things simpler for administrators and users of I/T - we need to create more complex systems*“ aus [129]. Dabei nimmt Horn in seinem Paper die Funktionsweise des menschlichen Körpers als Referenzdesign für zukünftige IT-Systeme, zu denen schon heute und aber insbesondere zukünftige Fahrzeuge dazu zählen. Insbesondere ist es essenziell, dass das System die erwarteten Bedürfnisse der Funktionen kennt, damit sich die Funktionen auf deren eigentliche Kernaufgaben konzentrieren können. Als Beispiel ist der menschliche Gang zu nennen, welcher eine exakte Koordination von über 100 Gelenken und 700 Muskeln erfordert [176, S. 242 ff.].

Ein weiteres Zitat aus [129] ist „*But evolution via automation also produces complexity as an unavoidable byproduct. Computing systems especially have proved this true*“. Dies ist ebenfalls bei einem E/E-System zu sehen, wie bereits aus Abbildung 1.1 ersichtlich ist.

In dem Paper von Horn werden acht Schlüsselemente beschrieben, welche zu Teilen von Kephart und Chess in [155] aufgegriffen werden und von Müller-Schlör, Schmeck und Ungerer in [202] für die Self-X-Eigenschaften verwendet wurden [129]:

- „*To be autonomic, a computing system needs to „know itself“ - and comprise components that also possess a system identity.*“
- „*An autonomic computing system must configure and reconfigure itself under varying and unpredictable conditions.*“

⁸Paul Horn, amerikanischer Physiker (* 1946 –) [25]

2. Ziel dieser Arbeit

- „An autonomic computing system never settles for the status quo - it always looks for ways to optimize its workings.“
- „An autonomic computing system must perform something akin to healing — it must be able to recover from routine and extraordinary events that might cause some of its parts to malfunction.“
- „A virtual world is no less dangerous than the physical one, so an autonomic computing system must be an expert in self-protection.“
- „An autonomic computing system knows its environment and the context surrounding its activity, and acts accordingly.“
- „An autonomic computing system cannot exist in a hermetic environment.“
- „Perhaps most critical for the user, an autonomic computing system will anticipate the optimized resources needed while keeping its complexity hidden.“

Des Weiteren wird die Selbstständigkeit - Self-Government - im menschlichen Körper erwähnt [129], welches auch in dem Schichtenmodell aus [202] enthalten ist und welches Auswirkung auf die nachfolgenden Faktoren hat [202, S. 5 ff.]:

- *Grad der Variabilität*
- *Autonomie*
- *Komplexität*

Dies ist insbesondere in der Automobilindustrie relevant und ein essenzieller Faktor bei der Entscheidung bezüglich der Verwendung im Fahrzeug, da aufgrund von verschiedenen Anforderungen eine Absicherung unerlässlich ist. Die nachfolgende Ausführung soll dazu dienen, um die Notwendigkeit der detaillierten Analyse der Natur und die Bedeutsamkeit der bioinspirierten Ansätze (siehe Abschnitt 4.1) in der heutigen Gesellschaft darzustellen und zu motivieren.

Allgemein ist es bei einem bioinspirierten Ansatz wichtig, dass die Gründe und Prinzipien verstanden werden, auf Grundlage derer die Natur eine bestimmte Lösung favorisiert und wie diese Lösung im Einzelnen funktioniert. Die einzelnen heute sichtbaren und erforschten Lösungsansätze sind das Ergebnis der Evolution (siehe Abschnitt 7.11). Ein wohl bekanntes Beispiel ist die Fähigkeit des Fliegens. In der Natur existiert der Gleitflug (siehe Abbildung 2.2(a)). Während die Versuche von Leonardo da Vinci⁹, welche auch in „*Codice sul volo degli uccelli*“¹⁰ [299] beschrieben sind, diesen nachzuahmen (siehe Abbildung 2.2(b)) zu keinem erfolgreichen Flug führten, hatte Otto Lilienthal¹¹ die ersten erfolgreichen (Gleit-)flüge (siehe Abbildung 2.2(c)) absolviert. Lilienthal hat das Prinzip des Vogelflugs analysiert und beschrieben. Die in „*Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*“ [179] veröffentlichten Kenntnisse sind heutzutage noch gültig in der Luftfahrt (siehe Abbildung 2.2(d)) [180]. Obwohl die Abbildungen 2.2 jeweils ein ähnliches Konstrukt - mit

⁹Leonardo da Vinci, italienischer Vordenker (* 1452 – † 1519) [180, S. 96]

¹⁰Italienisch für: *Kodex über den Vogelflug* [180, S. 96]

¹¹Karl Wilhelm Otto Lilienthal, deutscher Luftfahrtpionier (* 1848 – † 1896) [180, S. 22 ff.]

Rumpf und zwei Flügeln - zeigen, waren nicht alle Lösungen erfolgreich¹². Lilienthal hat zwei Vorbilder - Landvogel und Seevogel/Möwe - für seinen Gleitflugapparat verwendet. Diese beiden Vorbilder unterscheiden sich unter anderem durch die Flügelstruktur (siehe Abbildung 2.1). Mit der Konstruktion nach dem Vorbild der Möwe war Lilienthal im Sommer 1891 erfolgreich und konnte damit bis zu 25 Meter fliegen [50, S. 14].

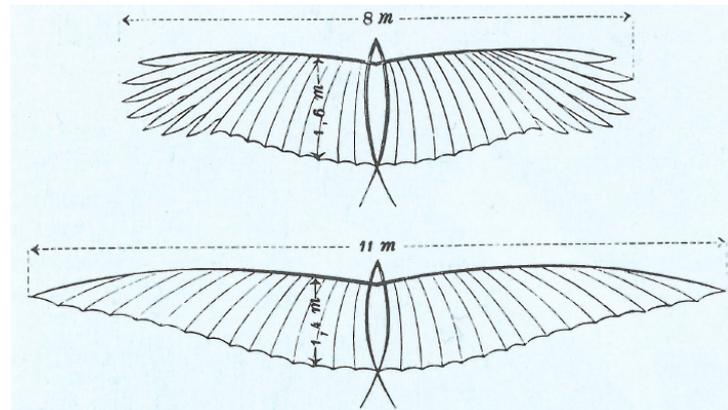


Abbildung 2.1.: Vorbilder aus der Natur für die Flügelstruktur (oben: Landvogel, unten: Seevogel) von Lilienthal (Quelle: [50, S. 14])

Abbildung 2.2 zeigt die vier erwähnten Meilensteine des *menschlichen* Fliegens. Die Forschungsdisziplin des *menschlichen* Fliegens ist noch nicht abgeschlossen, was durch verschiedene aktuelle Aktivitäten verdeutlicht wird. Beispielsweise sei der SmartBird¹³ genannt, welcher sich durch seinen mechanischen Flügelschlag stärker dem natürlichen Vorbild gleicht, als dies bei Flugzeugen der Fall ist [101].

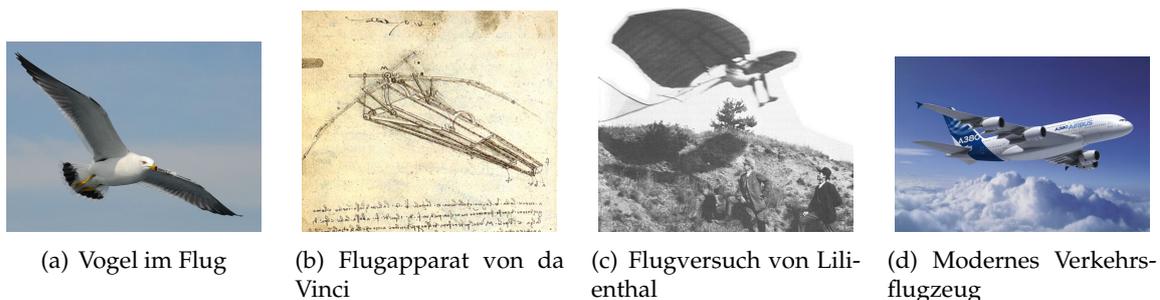


Abbildung 2.2.: Evolution des Fliegens - vom Vorbild bis heute (Quellen: [19, 34, 151, 298])

¹²Neben den Beiträgen von da Vinci und Lilienthal dürfen auch die Leistung anderer Pioniere aus dem Bereich der Luftfahrttechnik nicht vernachlässigt werden. Unter anderem stellvertretend sind die Gebrüder Wilbur (* 1867 – † 1912) und Orville Wright (* 1871 – † 1948) zu nennen, welche ebenfalls einen entscheidenden Schritt bei der Entwicklung der Luftfahrt durch die Motorisierung beigetragen haben [180, S. 95 ff.]. Ebenso Louis Blériot (* 1872 – † 1936), welcher als erster Mensch mit (s)einem Flugzeug über den Ärmelkanal geflogen ist [50, S. 22 ff.].

¹³Webseite: <https://www.festo.com/group/de/cms/10238.htm>

2.3. Problembeschreibung

Die Problembeschreibung dieser Dissertation ist das Finden neuartiger Designprinzipien für zukünftige E/E-Architekturen. Im Gegensatz zu anderen Projekten soll dabei nicht eine andere Industrie als Vorbild dienen, sondern der Mensch. Das abschließende Ziel ist dabei die Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in ein Gesamtkonzept und die Kombination oder Umsetzung des entwickelten Konzeptes mit technischen Verfahren.

2.4. Methodisches Vorgehen

Abbildung 2.3 zeigt das methodische Vorgehen, das in dieser Arbeit verwendet wird. Dabei war der initiale Auslöser die Idee des OC (Organic Computing)-Modell (siehe Abschnitt 4.10). Als Hauptinspirationsquelle für diese Arbeit diente die Veröffentlichung „Autonomic Computing“ [129] von Paul Horn⁸ aus dem Jahr 2001. Dies wurde zum Leitgedanken (siehe Abschnitt 2.2) dieser Dissertation.

Mit Hilfe von Literatur aus der Wissenschaftsdisziplin der Humanmedizin wurden Designprinzipien ermittelt. Um die notwendige Menge an Prinzipien festzustellen, wurden die Experteninterviews, welche im Rahmen des OSBORNE¹-Projektes geführt wurden, verwendet. Aus der Menge der ermittelten Prinzipien (siehe Abschnitt 9) wurde ein Konzept (siehe Abschnitt III) für eine bionische E/E-Architektur erstellt, welches anschließend evaluiert wurde (siehe Abschnitt IV).

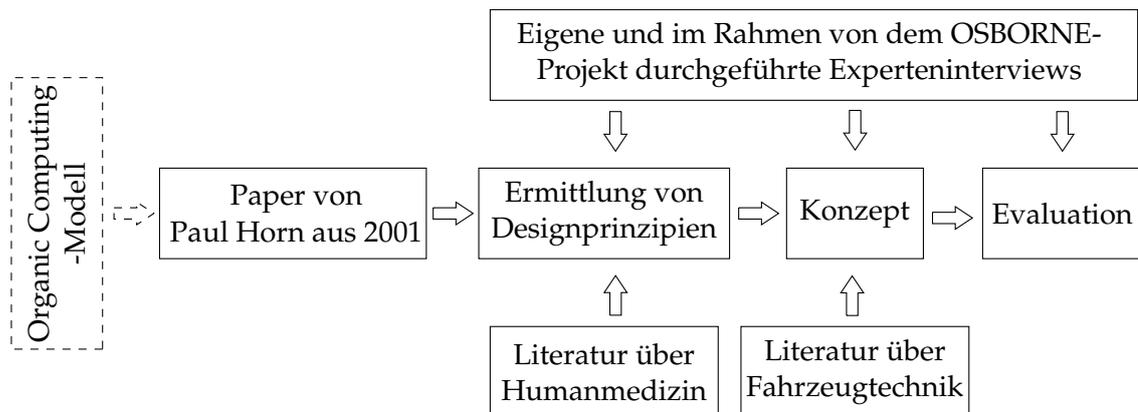


Abbildung 2.3.: Methodisches Vorgehen bei der Dissertation

3. Gliederung

Um eine übersichtliche und verständliche Beschreibung und Darstellung zu gewährleisten, wurde diese Dissertation in folgende fünf Hauptteile gegliedert:

Im ersten Teil (Einleitung) wird die Motivation und Zielsetzung der Arbeit beschrieben.

Im zweiten Teil (Grundlagen) werden die relevanten Grundlagen für das Konzept beschrieben.

Im dritten Teil (Konzept) wird das erarbeitete Konzept einer bionischen E/E-Architektur nach dem menschlichen Vorbild beschrieben.

Im vierten Teil (Evaluierung und Bewertung) wird die Evaluierung des Konzeptes mit Hilfe von ausgewählten Funktionen und einer Gesamtbewertung durchgeführt.

Im fünften Teil (Fazit und Ausblick) wird die gesamte Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick gegeben.

Teil II.

Grundlagen

4. Begriffe

In diesem Kapitel werden relevante, grundlegende Begriffe, die in dieser Arbeit verwendet werden, beschrieben und definiert.

4.1. Bionik

Der Begriff Bionik wird in [61, S. 204] folgendermaßen definiert:

„Bionik als Wissenschaftsdisziplin befasst sich systematisch mit der technischen Umsetzung und Anwendungen von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme.“

aus [61, S. 204].

Des Weiteren wird erklärt, dass die Bionik den Transfer von biologischen Erkenntnissen in die Technik enthält. Dabei handelt es sich nicht um simples kopieren, sondern um das Neuerfinden von technischen Realisierungen [61, S. 204]. Die Biologie fungiert dabei als Ideengeber für die Realisierungen [260, S. 98].

Bei dem Transfer zwischen der Biologie und der Technik existieren zwei Transferansätze. Bei dem Technology Pull, auch als Top-Down-Ansatz¹⁴ bezeichnet, erfolgt aufgrund von technischen Aufgaben eine gezielte Suche nach Lösungen aus der Biologie. Bei dem Biology Push, auch als Bottom-Up-Ansatz¹⁴ bezeichnet, hingegen erfolgt aufgrund erkannter Prinzipien aus der Biologie eine Entwicklung von neuen technischen Lösungen [61, S. 204] [260, S. 100 ff.].

Beide Ansätze mündeten bereits in eine Vielzahl von Forschungsaktivitäten und teilweise in den produktiven Einsatz. Unter anderem ist in diesem Zusammenhang der Lotus-Effekt, die Gestaltung von Oberflächen, Flugzeugoptimierung oder das Bionic Car (siehe Abschnitt 8.1) von DaimlerChrysler¹⁵ zu nennen. Weitere Beispiele sind in Abschnitt 8 zum Stand der Technik aufgeführt [61, S. 204 ff.].

4.2. Biotechnologie

Um eine eindeutige Abgrenzung zu ermöglichen, wird ergänzend zur Bionik der Begriff Biotechnologie beschrieben. Nach [260, S. 97] wird in der Biotechnologie die Biologie nicht als Ideengeber verwendet, sondern Material auf der mikro-, molekularbiologischen und biochemischen Ebene. Dies beinhaltet die Nutzung von lebenden Organismen oder ihren Produkten zum Vorteil der Menschen [260, S. 97] [282, S. 2 ff.].

¹⁴Diese Begriffe werden im Sinne der Wissenschaftsdisziplin Bionik verwendet und nicht im Sinn der üblichen Bedeutung aus der Informatik.

¹⁵Webseite: <http://www.daimler.com>

4.3. Biologische Kybernetik

Der Begriff „Kybernetik“ wurde von Norbert Wiener¹⁶ in [308] als „the science of control and communication, in the animal and the machine“¹⁷ aus [27, S. 1] definiert. Die Wissenschaftsdisziplin „Biologische Kybernetik“ beschäftigt sich als Teildisziplin mit den Steuerungs- und Regelungsvorgängen in biologischen Systemen. Dazu zählen neben Organismen, wie dem Mensch, auch Ökosysteme [232, S. 5] [261]. Frederic Vester¹⁸ hat in [294, S. 31 ff.] acht Grundregeln für Systeme nach dem Paradigma der biologischen Kybernetik aufgestellt [102, S. 64] [294, S. 31 ff.]:

- „Selbststeuerung durch negative Rückkoppelung. In verschalteten Regelkreisen müssten negative über positive Rückkoppelungen dominieren.“
- „Die Funktion eines Systems muss unabhängig vom Mengenwachstum bleiben.“
- „Funktionsorientierung statt Produktorientierung.“
- „Das Jiu-Jitsu-Prinzip: Steuerung und Nutzung vorhandener Kräfte, Energiekaskaden, -ketten und -kopplungen.“
- „Das Prinzip der Mehrfachnutzung von Produkten, Verfahren und Organisationseinrichtungen.“
- „Prinzip des Recycling unter Kombination von materiellen und energetischen Kreisprozessen.“
- „Prinzip der Symbiose unter Nutzung kleinräumiger Diversität.“
- „Biologisches Grunddesign, d.h. Vereinbarkeit technischer und ökologischer Strukturen. Feed-backplanung und -entwicklung.“

4.4. Natural Computing

Natural Computing ist ein Oberbegriff für Forschungsaktivitäten, die sich mit der Bionik (siehe Abschnitt 4.1) und Biotechnologie (siehe Abschnitt 4.2) in der Informatik beschäftigen, wie dies entsprechend im Zitat von Leonard Adleman¹⁹ aus dem Jahr 1998 beschrieben ist:

„Biology and computer science - life and computation - are related. I am confident that at their interface great discoveries await those who seek them.“

aus [16, S. 61].

Dazu lassen sich die Forschungsaktivitäten aus der kombinierten Wissenschaftsdisziplin Natural Computing in drei Ausrichtungen einteilen [68, S. 1 ff.] [69]:

¹⁶Norbert Wiener, amerikanischer Mathematiker (* 1894 – † 1964) [186, S. 371 ff.]

¹⁷dt.: „Wissenschaft der Steuerrung, Regulation und Koordination von Bewegungen sowie die Kommunikation in Lebewesen und Maschinen“ [44, S. 24]

¹⁸Frederic Vester, deutscher Publizist, Biochemiker und Biokybernetiker (* 1925 – † 2003) [296, S. 6.]

¹⁹Leonard Max Adleman, amerikanischer Mathematiker und Informatiker (* 1945 –) [17] [37] [166, S. 199]

- *„Computing inspired by nature.“*
Diese Ausrichtung befasst sich mit neuronalen Netzwerken (siehe Abschnitt 6.1), evolutionären Algorithmen (siehe Abschnitt 6.1.4) und der Schwarmintelligenz [68, S. 8 ff.] [69].
Dieser Natural Computing-Ausrichtung ist das OC- (siehe Abschnitt 4.10), das fEPM (flexibles Energie und Power Management)- (siehe Abschnitt 8.3.2) und das COS (Cyber Organic System)-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1) als bioinspirierter Software zuzuordnen.
Zusätzlich sind dieser Ausrichtung von Natural Computing Hardwareprojekte aus dem Forschungsgebiet des Neuromorphic Computing (siehe Abschnitt 4.5) zuzuordnen. Referenzprojekte sind dabei Truenorth und Neurogrid (siehe Abschnitt 8.2). Sowohl die Hard- und Softwareaktivitäten entsprechen der Disziplin der Bionik (siehe Abschnitt 4.1).
- *„The simulation and emulation of natural phenomena in computers.“*
Dieser Ausrichtung von Natural Computing sind die Wissenschaftsdisziplinen fraktale Geometrie und künstliches Leben zuzuordnen. In diesem Bereich werden Hilfsmittel für die Synthese und Analyse von natürlichen Phänomenen bereitgestellt, welche mit traditionellen Methoden nicht möglich sind [68, S. 11 ff.].
Diese Ausrichtung entspricht der Disziplin der Bionik (siehe Abschnitt 4.1).
- *„Computing with natural material.“*
Die dritte Ausrichtung von Natural Computing beschäftigt sich mit Hardwarekomponenten, welche anstelle von Silicium natürliches Material verwenden. Somit ist das Quantum und das Molecular/DNA (Deoxyribo Nucleic Acid)-Computing dieser Ausrichtung zuzuordnen [68, S. 13 ff.].
Diese Ausrichtung entspricht der Disziplin der Biotechnologie (siehe Abschnitt 4.2).

Die Ergebnisse von Natural Computing sind neue Problemlösungsansätze, neue Architekturen und neue Formen der Synthese von natürlichen Phänomenen [68, S. 7 f.].

4.5. Neuromorphic Computing

Die ersten Gedanken zu Neuromorphic Computing wurden 1990 in dem Paper *„Neuromorphic Electronic Systems“* [190] von Carver Mead²⁰ beschrieben [14, S. 151 ff.] [133].

Neuromorphic Computing befasst sich mit dem Entwurf von Hardware-Komponenten, wie Speicher und Prozessor (siehe Abschnitt 8.2), nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns (siehe Abschnitt 7.5). Dazu wird die Funktionsweise und Struktur von Neuronen und deren Verbindungen (Synapsen) übernommen und in Silicium umgesetzt. Das Ziel ist die Effizienz von Berechnungen zu erhöhen, indem eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung des Energieverbrauchs erfolgt [14, S. 151] [132, S. 247] [146, S. 716 ff.]. Dies entspricht einem bionischen Ansatz und ist in die Kategorie *„Computing inspired by nature.“* von Natural Computing (siehe Abschnitt 4.4) zuzuordnen.

Um eine Reduzierung des Energieverbrauchs zu ermöglichen, verfolgen die Komponenten eine asynchrone und eventbasierte Arbeitsweise. Aufgrund der Verschaltung von vie-

²⁰Carver Andress Mead, amerikanischer Elektrotechniker (* 1934 –) [77]

len einfachen Berechnungsbausteinen sind diese Hardware-Komponenten häufig adaptiv, fehlertolerant und können flexibel konfiguriert werden, um komplexe Berechnungen zu ermöglichen [133].

4.6. Pervasive Computing

Die ersten Vorläufer des Begriffs „*Pervasive Computing*“ wurden bereits 1991 unter anderem von Mark Weiser²¹ (siehe [304, 305]) als „*Ubiquitous Computing*“ definiert. Die tatsächliche Realisierung wurde erst in den letzten fünf bis zehn Jahren durch die Miniaturisierung und Preisdegression der notwendigen Komponenten möglich [62, XIX]. Da nun die notwendigen Schlüsseltechnologien, unter anderem die notwendigen Hardware-Komponenten, verfügbar sind. Beispiele hierfür sind Projekte wie Arduino²² und Raspberry PI²³ und CE (Consumer Electronic)-Produkte wie Smartphones and Tablets [241].

Pervasive Computing ist ein weiterer evolutionärer Schritt in einem Ast aus dem Computing-Stammbaum, welcher sich bis in die Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts zurückverfolgen lässt [241]. Vorläufer in diesem Ast sind die „*Distributed Systems*“ und das „*Mobile Computing*“. Dabei sind die Herausforderungen und die resultierenden Unterscheidungsmerkmale zwischen den drei einzelnen Hauptschritten wichtig, was in Abbildung 4.1 dargestellt ist. Für Pervasive Computing werden die Challenges nachfolgend beschrieben.

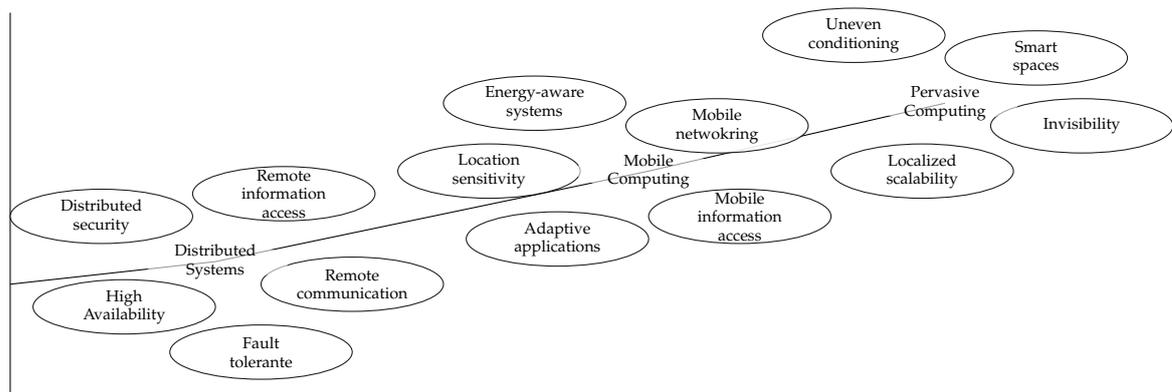


Abbildung 4.1.: Artenast „Pervasive Computing“

Smart Space

Bei Smart Spaces handelt es sich um definierte und begrenzte Lokalitäten, an denen durch Embedded Computing Infrastrukturen von unterschiedlichen Welten miteinander verbunden werden, welche bisher nicht vernetzt sind. Dadurch wird das Sensing und Control einer Welt durch eine andere Welt ermöglicht [241].

²¹Mark Weiser, amerikanischer Informatiker (* 1952 – † 1999) [301, S. 8 ff.]

²²Webseite: <http://www.arduino.cc/>

²³Webseite: <https://www.raspberrypi.org/>

Invisibility

Invisibility ist in diesem Kontext als unauffällig und unbemerkt zu verstehen. Die Technik soll dem Benutzer aus dem Bewusstsein verschwinden [241].

Localized Scalability

Unter dem Punkt „*Localized Scalability*“ ist die Skalierung der Kommunikation zwischen einzelnen Systemkomponenten beziehungsweise dem Benutzer gemeint. Die Intuition hierbei ist, nicht relevante Kommunikation zu vermeiden. Als Bewertungskriterium wird die physikalische Distanz zwischen den Kommunikationspartnern verwendet [241].

Uneven Conditioning

Dieser Punkt beschäftigt sich damit, inwieweit negative Einflüsse maskiert werden können, um dem Benutzer gegenüber das „*Pervasive Computing*“-Gefühl aufrechtzuerhalten. Dabei sind nicht nur technische Einflüsse zu beachten, auch solche aus den STEEP-Bereichen (siehe Abbildung 1.2) [241].

4.7. Cyber Physical Systems

In [109] werden CPS als „*Verbindung von physikalischer und informationstechnischer Welt*“ gesehen. CPS entstehen durch das komplexe Zusammenspiel [109, S. 17]:

- „*von eingebetteten Systemen, Anwendungssystemen und Infrastrukturen*“
- „*auf Basis ihrer Vernetzung und Integration*“
- „*und der Mensch-Technik-Interaktion in Anwendungsprozessen.*“

Neben der allgemeinen Ausrichtung existiert mit dem CPPS (Cyber-Physical-Production-Systems) eine spezielle Ausrichtung von CPS für Produktionssysteme. Dies bildet die technische Grundlage für die Aktivitäten im Bereich von Industrie 4.0 (siehe Abschnitt 4.8).

4.8. Industrie 4.0

Unter dem Begriff „*Industrie 4.0*“ wird die vierte industrielle Revolution (siehe Anhang C) verstanden. In diesem Zug soll die Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette eine neue Stufe erreichen [49, S. 4]. Durch „*intelligente und digitale Produktionsverfahren*“ soll eine Smart Factory folgende Eigenschaften aufweisen [64]:

- „*Intelligente Maschinen koordinieren selbstständig Fertigungsprozesse,*“
- „*Service-Roboter kooperieren in der Montage auf intelligente Weise mit Menschen,*“
- „*intelligente (fahrerlose) Transportfahrzeuge erledigen eigenständig Logistikaufträge.*“

Als Basis dafür dient die Vernetzung der einzelnen Komponenten der Produktion, wie dies im Rahmen von CPS (siehe Abschnitt 4.7) bekannt ist.

4.9. Internet of Things

In [62] wird IoT als eine Metapher mit folgender Ausprägung beschrieben:

„Sie [Die IoT-Metapher] steht für eine grandiose Vision, in der das Internet über den Bildschirm hinaus Teil der physischen Welt wird, und in der jeder Gegenstand der realen Welt umgekehrt ein Teil des Internets werden kann. Alltagsdinge können so in direkter oder indirekter Weise mit Information versehen werden oder als physische Zugangspunkte zu Internet-Services dienen. Damit tun sich weitreichende und bis dato ungeahnte Möglichkeiten auf.“

aus [62, S. XIX].

Um einen stärkeren technischen Fokus in die Definition von IoT einzubringen, wird in [134, S. 6] der Begriff in dessen beiden Terme aufgeteilt. Der Term „Internet“ wird als „The world-wide network of interconnected computer networks, based on a standard communication protocol, the Internet suite (TCP/IP)“ und der Term „Things“ wird als „an object not precisely identifiable“ bezeichnet [30]. Zusammengefasst resultiert aus diesen beiden Teildefinitionen folgende Definition für IoT:

„[Internet of Things is] a world-wide network of interconnected object uniquely addressable, based on standard communication protocols.“

aus [134, S. 6].

Die Abgrenzung gegenüber CPS ist, dass nicht nur bereits existierende Teilsysteme eine Vernetzung mit dem Internet erfahren, sondern auch bisher unabhängige Alltagsgegenstände vernetzt werden. Welche Formen diese annehmen kann, zeigen aktuelle Produkte beziehungsweise Projekte welche im Allgemeinen dem IoT-Bereich zugeordnet werden. Neben zusätzlichen Modulen in elektronischen Gegenständen werden teilweise in Gegenständen ausschließlich Elektronik für die Vernetzung verbaut. Beispiele sind die vernetzte Waschmaschine (siehe Abbildung 4.2(a)) und der vernetzte Rasierer zur Bestellung von Rasierklingen (siehe Abbildung 4.2(b)) [107] [116] [270].



(a) Vernetzte Waschmaschine



(b) Vernetzter Rasierer

Abbildung 4.2.: Beispiele für IoT-Anwendungsfälle (Quellen: [56, 107])

4.10. Organic Computing

In einem gemeinsamen Positionspapier der GI (Gesellschaft der Informatik) und dem VDI (Verein Deutscher Ingenieure) aus dem Jahr 2003, ist der Begriff „*Organic Computing*“ beziehungsweise der dazugehörige deutsche Begriff „*Organischer Computer*“ definiert als:

„[*Organic Computing* ist ein] selbstorganisierendes System, das sich den jeweiligen Umgebungsbedürfnissen dynamisch anpasst.“

aus [23, S. 6].

Um dies zu erreichen, sind diese Systeme lebensähnlich aufgebaut, was der Bionik (siehe Abschnitt 4.1) beziehungsweise dem „*Computing inspired by nature*.“ aus Nature Computing (siehe Abschnitt 4.4) entspricht. Dies ist notwendig um eine stärkere Ausrichtung der Technik an das menschliche Nutzungs- und Kooperationsmuster zu ermöglichen [23].

Im Rahmen der Initiative entstand das OC-Softwaremodell (siehe Abschnitt 8.3.3). Dabei wird auf das MAPE (Monitor, Analyze, Plan, Execute)-Paradigma (siehe Abschnitt 6.7) zurückgegriffen. Neben dem Softwaremodell waren auch unterschiedliche Projekte (siehe Abschnitt 8.5) Bestandteil der OC-Initiative [202, S. v ff.].

Im OC-Kontext wird ein selbstorganisierendes System mit einer Menge von Eigenschaften charakterisiert, welche in der Literatur als Self-X-Eigenschaften zusammengefasst werden. Nachfolgend werden Self-X-Eigenschaften aufgeführt und auf deren Bedeutung eingegangen. Diese sind vergleichbar mit den Self-X-Eigenschaften nach Kephart und Chess [155] (siehe Abschnitt 2.2) und Müller-Schlör, Schmeck und Ungerer [202] [90, S. 23 ff]:

- *Self-Configuration*
Damit ist die Fähigkeit der Erstellung von passenden Systemkonfigurationen gemeint, welche abhängig von Umweltbedingungen, also äußeren Bedingungen, erzeugt werden [90, S. 23 ff].
- *Self-Management*
Damit ist die Fähigkeit der adaptiven Eigenwartung des Gesamtsystems und der einzelnen Komponenten in Abhängigkeit des Systemzustands gemeint [90, S. 23 ff].
- *Adaptability*
Die Fähigkeit der dynamischen Anpassung des Systems aufgrund von äußeren Einflussfaktoren [90, S. 23 ff].
- *Self-Diagnosis*
Die Fähigkeit zum Ausführen einer automatischen Systemüberprüfung und dem Abgleich der Werte mit Referenzwerten [90, S. 23 ff].
- *Self-Protection*
Die Fähigkeit zum Eigenschutz gegenüber ungewollten oder aggressiven äußeren Einflüssen auf das System [90, S. 23 ff].
- *Self-Healing*
Bei Self-Healing ist das Ziel einen Defekt einer Komponenten mit Hilfe von anderen Komponenten des Gesamtsystems zu maskieren beziehungsweise zu kompensieren [90, S. 23 ff].

- *Self-Repair*
Im Gegensatz zu Self-Healing, besteht bei Self-Repair der Fokus darauf die fehlerhafte Komponente zu reparieren [90, S. 23 ff].
- *Self-Optimization*
Die Fähigkeit zum Optimieren des Gesamtsystems auf globale Ziele durch die Anpassung der einzelnen Komponenten [90, S. 23 ff].

Werden Systeme oder Teilsysteme nach den Self-X-Eigenschaften gestaltet, wird die Systemkomplexität reduziert und die Systeme beherrschbarer gegenüber traditionellen Gestaltungsansätzen [22, S. 48]. Das dazugehörige Softwaremodell ist im Abschnitt 8.3 beschrieben.

4.11. Cloud

Die Kernidee der Cloud ist das Verschieben von Computerressourcen, welche bisher vor Ort erbracht wurden, in ein Rechenzentrum. Wie in [66] beschrieben, existieren mehrere unterschiedliche Sichtweisen zur Charakterisierung der Cloud. Unter anderem sind folgende Publikationen zu nennen [66] [277, S. 473]:

- „*A View of Cloud Computing*“ von Armbrust et al. [24]
- „*SP 800-145. The NIST (National Institute of Standards and Technology) Definition of Cloud Computing*“ von Mell und Grance [192]

Die Definition von NIST führt dabei fünf essentielle Charakteristika für die Cloud auf [192] [277, S. 495 ff.]:

- *On-demand self-service*
Dem Benutzer sollen die Ressourcen automatisch bereitstehen, ohne das menschliche Handeln notwendig ist [277, S. 495 ff.].
- *Broad network access*
Alle in der Cloud vorhandenen Ressourcen sollen über das Netzwerk verfügbar sein, damit unterschiedliche Geräte darauf zugreifen können [277, S. 495 ff.].
- *Resource pooling*
Die verfügbaren Ressourcen sollen von mehreren Benutzer genutzt werden, ohne das dem Benutzer genau bekannt ist, wo sich die tatsächlich genutzten Ressourcen befinden [277, S. 495 ff.].
- *Rapid elasticity*
Ressourcen sollen dynamisch, idealerweise automatisch, belegt und freigegeben werden, um dem aktuellen und tatsächlichen Bedarf des Benutzers zu genügen [277, S. 495 ff.].
- *Measured service*
Die Berechnung der genutzten Ressourcen sollen mit der tatsächlichen Nutzung übereinstimmen. Ein dafür verwendeter Begriff ist *Pay-by-use* [66] [277, S. 495 ff.].

Die Cloud wird dabei als eine Dienstleistung (Cloud-as-a-Service) betrachtet. Abhängig davon, welche Dienstleistung bereitgestellt wird, wird zwischen IaaS (Infrastructure-as-a-Service), PaaS (Platform-as-a-Service) und SaaS (Software-as-a-Service) differenziert [189, S. 1 ff.] [277, S. 496]. Diese drei Ansätze werden als XaaS (Everything-as-a-Service) zusammengefasst und aufgrund des Funktionsumfangs hierarchisch angeordnet [92].

Bei IaaS wird die notwendige Infrastruktur bereitgestellt, neben der eigentlichen Rechenressource beinhaltet dies ebenfalls weitere Komponenten für den Betrieb. Zu diesen Komponenten zählen neben Firewall und Load Balancer ebenfalls auch eigene Netzwerkverbindungen. Bei PaaS werden spezifische Laufzeitumgebungen für die eigenen Anwendungen bereitgestellt. Dies beinhaltet ein spezifisches Betriebssystem oder einen spezifischen Webserver. Bei SaaS werden hingegen spezifische Anwendungen bereitgestellt, wie beispielsweise für die Ausführung von gewöhnlichen Tätigkeiten in einem Büro benötigt werden [189, S. 1 ff.] [277, S. 496].

Unabhängig welche Dienstleistungsform bereitgestellt wird, werden die Ressourcen in der Cloud häufig als unendlich betrachtet. Die technische Realisierung erfolgt bei vielen Umsetzungen durch Virtualisierung (siehe Abschnitt 6.5), um eine Kapselung der Informationen bei gleichzeitiger Nutzung einer gemeinsamen Hardware zu ermöglichen. Dies dient zur höheren Auslastung der jeweiligen Hardware, aber auch dazu, Spitzenlasten flexibel auszugleichen [118] [277, S. 471 ff.].

4.12. Multi- und Many-Core Prozessoren

Bis ungefähr 2003 wurden Prozessoren für Computer als Single-Core ausgeführt. Gegenwärtig werden Prozessoren für Computer als Multi-Core- und Many-Core-Prozessoren umgesetzt. Der Grund für den Übergang von Single-Core- zu Multi-/Many-Core-Prozessoren war das Erreichen der Obergrenze der Taktfrequenz aufgrund der Hitzeentwicklung und der Energieaufnahme der Kerne. Dadurch war ebenfalls die Anzahl der ausführbaren Tasks pro Zeiteinheit und somit die Leistungsfähigkeit begrenzt [88].

Als Multi-Core werden derzeit Prozessoren klassifiziert, welche aus bis zu zehn Kernen bestehen. Ziel ist die Ausführungsgeschwindigkeit von sequentiellen Programmen auf einem Niveau zu halten, trotz eines geringen Taktes bei gleichzeitiger steigender Anzahl von Programmen. Dagegen beinhaltet ein Many-Core-Prozessor nach derzeitiger Definition bis zu einigen hundert Kernen. Ziel von Many-Core-Prozessoren ist die Optimierung der Ausführungsgeschwindigkeit von massiv-parallelen Programmen, wie beispielsweise Simulationen, zu erhöhen [88] [277, S. 527 ff.].

4.13. Sicherheitssysteme

Im Fahrzeug werden die Sicherheitssysteme unter anderem zwischen aktiven und passiven Systemen differenziert. Bei dieser Differenzierung wird der Betriebszeitraum der Sicherheitssysteme genommen. Aktive Sicherheitssysteme sollen die Insassen vor Unfällen schützen. Dagegen sollen passive Sicherheitssysteme die Insassen vor Verletzungen schützen. Abbildung 4.3 zeigt die unterschiedlichen Phasen und Arten von Sicherheitssystemen. Ergänzend enthält Tabelle 4.1 Beispiele für Aktionen und Sicherheitssysteme für die jeweilige Phase [229, S. 283].

4. Begriffe

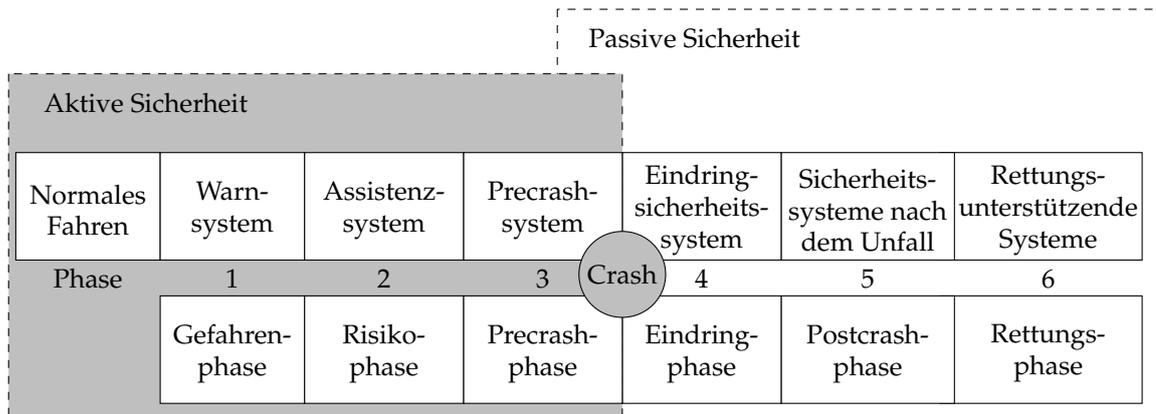


Abbildung 4.3.: Phasen und Arten von Sicherheitssystemen im Fahrzeug mit zeitlicher Einordnung relativ zu einem Unfall (Quelle: [229, S. 283])

Tabelle 4.1.: Unfallsphasen und die dazugehörigen Sicherheitssysteme und Aktionen (Quelle: [229, S. 283])

Nummer	Unfallphase	Art des Sicherheitssystem	Beispiele
1	Gefahrenphase	Warnsysteme	Spurhaltesysteme, Überwachung des toten Winkels
2	Risikophase	Assistenzsysteme	Abstandsregelung, Stabilisierungssysteme, Bremsassistent
3	Precrashphase	Precrashsysteme	Automatische Notbremsung, Lenkeingriff
4	Eindringphase	Eindringsicherheitssysteme	Airbag, Fußgängerschutzsysteme
5	Postcrashphase	Sicherheitssysteme nach dem Unfall	Absprengung der Batterie, Absperrung der Benzinzufuhr, Öffnung der Zentralverriegelung
6	Rettungsphase	Rettungsunterstützende Systeme	Automatischer Ruf eines Rettungsdienstes (e-Call)

5. E/E-Architektur

In diesem Kapitel werden Grundlagen zur E/E-Architektur beschrieben. Der Begriff der E/E-Architektur beinhaltet einen elektrischen - die Energieversorgung - und einen elektronischen - die Datenkommunikation und Software - Anteil. Dazu wird im ersten Abschnitt (siehe Abschnitt 5.1) auf das Energiebordnetz eingegangen. Im zweiten Abschnitt (siehe Abschnitt 5.2) wird das elektronische Bordnetz betrachtet. Im dritten Abschnitt (siehe Abschnitt 5.3) wird die Safety-Norm ISO 26262 beschrieben.

Wie in [271] beschrieben, kann neben der Aufteilung in einen elektrischen und einem elektronischen Anteil, die E/E-Architektur ebenfalls in vier Schichten (siehe Abbildung 5.1) gegliedert werden.

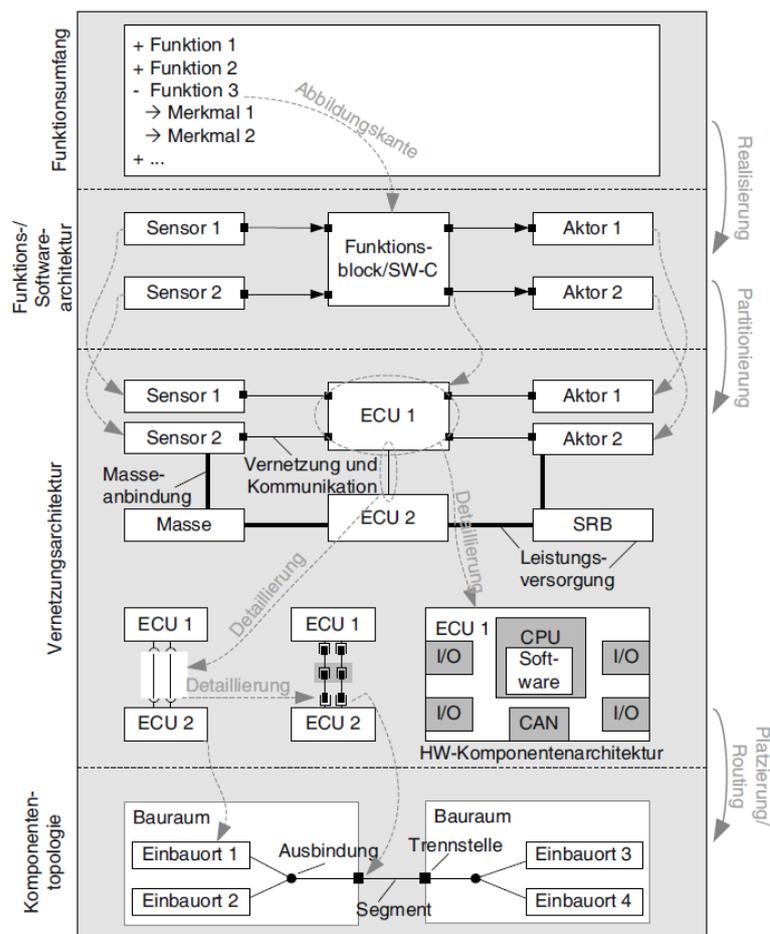


Abbildung 5.1.: Schichten der E/E-Architektur (Quelle: [271, S. 16])

Die oberste Schicht enthält die Liste der vorhandenen Funktionen und deren Merkmale. Die vorhandenen Funktionen werden in der darunterliegenden Schicht als Funktionsblöcke dargestellt und ergeben dadurch die Funktions- beziehungsweise Softwarearchitektur. In dieser Schicht befindet sich ebenfalls die logische Verknüpfung zwischen den einzelnen Funktionsblöcken. Die Partitionierung der Funktionsblöcke auf die Hardware-Komponenten wird in der darunterliegenden Schicht, die Vernetzungsarchitektur, dargestellt. Die Vernetzungsarchitektur beinhaltet ebenfalls die Kommunikationsstruktur, die Leistungsversorgung, die Komponentenarchitektur und den Leitungssatz. In der untersten Schicht wird die Komponententopologie dargestellt. Dazu werden die Bauräume der Komponenten und die Segmente der Leitungsführung beschrieben [271, S. 15 ff.].

5.1. Elektrischer Anteil/Energiebordnetz

Das Energiebordnetz, häufig als elektrisches Bordnetz bezeichnet, dient primär zur Energieverteilung im Fahrzeug. Abbildung 5.2 zeigt die schematische Struktur des Energiebordnetzes. Mit der Beleuchtung wurde 1905 die erste elektrische Komponente im Fahrzeug verbaut [225, S. 62]. Je nach Betriebszustand müssen unterschiedliche Aufgaben erfüllt werden. Soll das Fahrzeug gestartet werden, muss der Starter mit der notwendigen Energie versorgt werden. Ist das Fahrzeug gestartet, müssen eine Vielzahl, darunter auch teilweise sicherheitsrelevante Verbraucher, mit Energie versorgt werden. Dazu zählen unter anderem die Motorsteuerung, Komfortelektronik und die Beleuchtung des Fahrzeuges [227, S. 440 ff.].

Die aktiven Komponenten eines Energiebordnetzes in Fahrzeugen können in drei unterschiedliche Klassen eingeteilt werden. Die Klassen sind Energieerzeuger, zu der auch Energiewandler zählen, Energiespeicher, wie Batterien oder Kondensatoren (welche auch als Supercaps bezeichnet werden) und Energieverbraucher, welche anzahlmäßig die größte Klasse darstellt [207, S. 60 ff.] [228, S. 160 ff.]. Bei den Verbrauchern wird in der Literatur (unter anderem in [225]) zwischen drei Verbraucherkategorien (siehe Tabelle 5.1) unterschieden.

Tabelle 5.1.: Übersicht der Typen von Verbrauchern im Fahrzeug (Quelle: [225, S. 13 ff.]

Verbraucherkategorie	Betriebszeitraum ²⁴	Beispiele
Dauer	Ständig	Motorelektronik, Zündung, Kraftstoffpumpe
Langzeit	Längere Zeit	Begrenzungsbeleuchtungen, Anzeigen, Navigationssystem
Kurzzeit	Kurzzeitig	Blinker, Hupe, Sitzheizung

²⁴Bezogen auf dem Zeitraum des Fahrbetriebs.

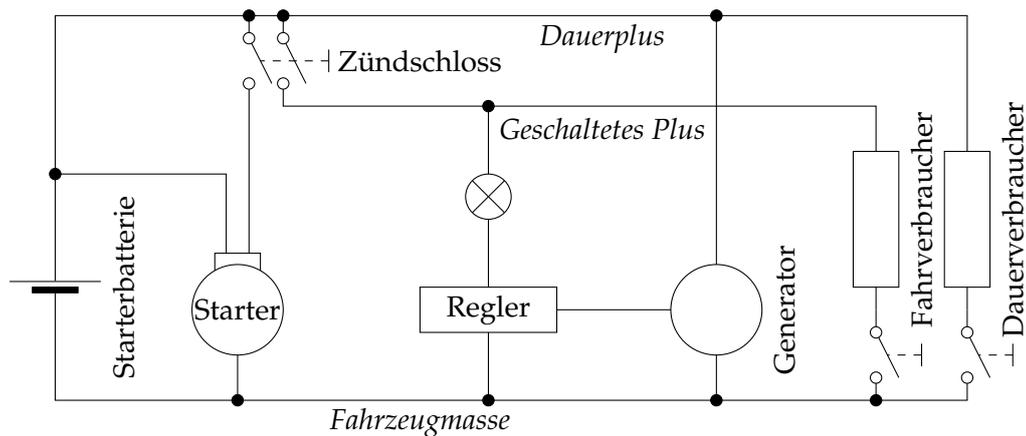


Abbildung 5.2.: Prinzipbild eines elektrischen Bordnetzes (Quellen: [1, 285])

Aufgrund des stetigen Wachstum des Energie- und Leistungsbedarfs durch stetige Innovationen und der Funktionszunahme im Fahrzeug, ändern sich auch die Anforderungen an das Energiebordnetz. So ist gegenüber von früheren Ansätzen ein flexibles Energie- und Leistungsmanagement notwendig. Die Entwicklung der Energiebordnetze bei BMW kann in folgende drei Entwicklungsstufen eingeteilt werden [103, S. 2] [104]:

Passives Energiebordnetz (bis ca. 2000)

Im passiven Energiebordnetz wurde kein aktives Energiemanagement angewendet. Die einzelnen Komponenten des Energiesystems, wie Generator, Batterie und Kabelbaum, wurden nicht gemeinsam geregelt [103, S. 2].

Aktives Energiebordnetz (ab ca. 2001)

Im aktiven Energiebordnetz wird das An- und Abschalten der einzelnen Stromverbraucher zentral durch eine Verbrauchslevelnachricht geregelt. Auch erfolgt bei dieser Generation von Energiebordnetz eine energetische Klemmensteuerung und Diagnose. Des Weiteren wurde ein Batteriezustands- und Lademanagement eingeführt. Dies wiederum ermöglicht weitere Funktionen, wie die Bremsenergieerückgewinnung und die Motor-Start-Stopp-Funktion [103, S. 2].

Kybernetisches Energiebordnetz (ab 2015)

Die nächste Generation des Energiebordnetzes muss aufgrund steigender Anforderungen an Effizienz und Leistungsfähigkeit noch weitere Eigenschaften aufweisen. Dazu zählen das situative und vorausschauende Energie- und Leistungsmanagement oder auch die vermehrte und notwendige Mehrspannungsfähigkeit unter anderem aufgrund von Elektroantrieb und der Erweiterung des Funktionsumfangs. Dabei sind neben der ursprünglichen 12 Volt, auch 24 Volt, 48 Volt und Hochvolt - für Hybrid- beziehungsweise Elektrofahrzeuge - notwendig [103, S. 2] [106] [227, S. 388 ff.].

Um diese zu erreichen, wurde von Joachim Fröschl der kybernetische Energiebordnetzansatz definiert (siehe Abbildung 5.3), welches als CPM (ConnectedPowerManagement)

im Zuge des neuen Modells der 7er-Baureihe bei BMW eingeführt wurde. Der Ansatz hat seinen Ursprung bei dem kybernetischen-biologischen Systemmodell von Stafford Beer²⁵. Das fEPM-Modell (siehe Abschnitt 8.3.2) besteht aus fünf Systemebenen, welche durch Hilfskomponenten zum Gesamtansatz für die nächste Generation eines Energiebordnetzes komplettiert werden [106].

Dieser Ansatz, ein modulares und adaptives Energiebordnetz, ist notwendig, um die ständigen steigenden Anforderungen an Effizienz und Leistungsfähigkeit zu erfüllen. Diese Anforderungen wurden primär durch externe Faktoren beeinflusst, wie beispielsweise durch gesetzliche Regelungen oder durch den Trend von zunehmender Ausstattung der Fahrzeuge mit zusätzlichen Funktionen [106] [225, S. 10 ff.].

Unabhängig von sich ändernden Anforderungen sind die Aufgaben an ein elektronisches Energiemanagement gleichgeblieben. So muss zu jedem Zeitpunkt eine Startfähigkeit des Fahrzeuges gewährleistet sein. Des Weiteren muss die Batteriespannung stabilisiert werden und Komfortsysteme unabhängig vom Betriebszustand den Fahrzeuginsassen zur Verfügung stehen [225, S. 10 ff.].

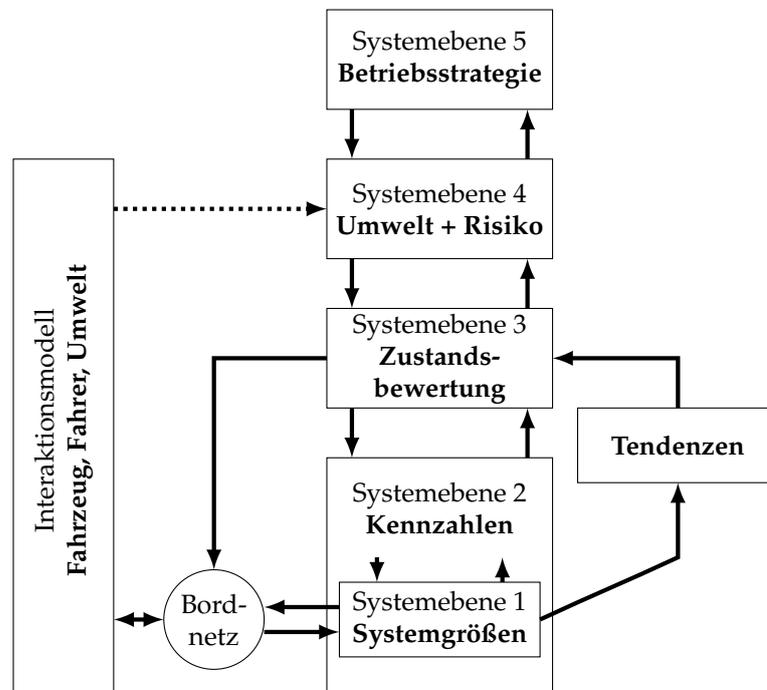


Abbildung 5.3.: Schichtenarchitektur des fEPM-Modelles (Quelle: [9])

5.2. Elektronischer Anteil/Datenbordnetz

Bei den elektronischen Bordnetzen der unterschiedlichen Hersteller lassen sich häufig die gleichen Designprinzipien erkennen. Abbildung 5.4 zeigt ein schematisches Datenbordnetz aus der Fachliteratur. Dabei wird jeweils das Gesamtsystem in Teilsysteme - sogenannte Domänen - aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgt nach deren Anwendungszwecken.

²⁵Anthony Stafford Beer, britischer Unternehmensberater (* 1926 – † 2002) [224, S. 29]

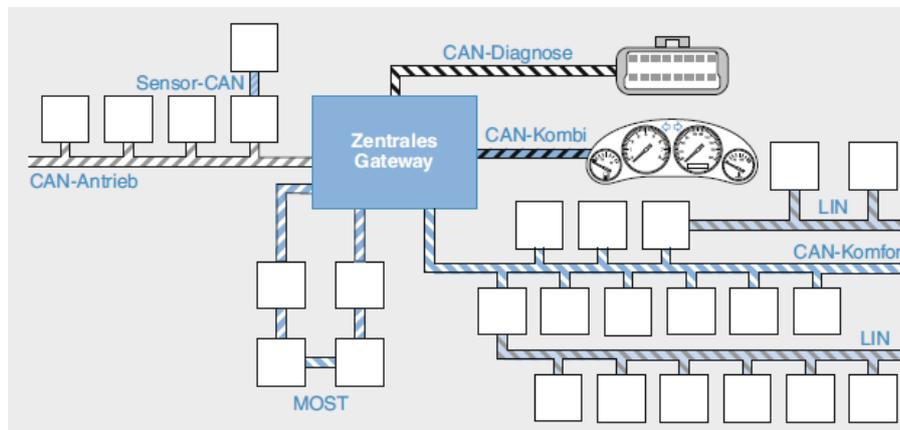


Abbildung 5.4.: Schematische Darstellung des Datenbordnetzes (Quelle: [227, S. 209])

Wie in [230] beschrieben und in Abbildung 5.5 dargestellt ist, unterscheiden sich die Anforderungen zwischen den einzelnen Domänen. Dabei ist es möglich, die Domänen aufgrund ihrer Anforderungen zu gruppieren. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen in jeder Domäne werden unterschiedliche Bustechnologien eingesetzt. Häufig sind die Teilsysteme über ein zentrales Gateway miteinander verbunden, welches die Kommunikation zwischen den Teilsystemen regelt. Auch notwendige Konvertierungen zwischen den Bussystemen werden durch ein zentrales Gateway durchgeführt [227, S. 209] [238, S. 8 ff.] [258, S. 12 ff.]. Neben den unterschiedlichen Bussystemen werden auch unterschiedliche Bustopologien bei den Domänen verwendet. Neben Gründen, die je nach Art des verwendeten Bussystems variieren, haben die Kriterien Kosten und Verlässlichkeit einen Einfluss auf die Auswahl der Topologie [258, S. 15].

Chassis	Data and communication for the operation of the chassis (stability, agility and dynamics of the car)	Runtime Environment: AUTOSAR 4.x
Powertrain	Data and communication for the operation of the power train (engine, gearbox, etc.).	Static Configuration
Driver Assistance	Autonomously operation data and communication (without user intervention) supporting the driving situation.	Safety: ISO 26262 ASIL QM-ASIL D
		Hard Realtime Requirements
		Different Suppliers
Infotainment	Data and communication interaction with the driver concerning the operation and driving situation of the car. Route and traffic-related information. Car and driving unrelated data; audio and video for entertainment.	Runtime Environment: Different GPOS, RTOS
		Dynamic Configuration
		Safety: ISO 26262 ASIL QM-ASIL B
		Security Requirements
		Early Audio, Video
		Different Suppliers
Comfort	Non-driving related data and communication concerning well-being and access for driver and passenger.	

Abbildung 5.5.: Anforderungen der unterschiedlichen Domänen (Quelle: [230])

Wie bereits in Abbildung 1.1 veranschaulicht, kann die Entwicklung der E/E-Architektur in mehrere Phasen unterteilt werden. Während Abbildung 5.4 eine schematische Darstellung eines E/E-Bordnetzes zeigt, werden nachfolgend unter anderem auch Hersteller-spezifische E/E-Bordnetze gezeigt. Abbildung 5.6 zeigt eine schematische Ausprägung eines aktuellen E/E-Bordnetzes aus der Literatur.

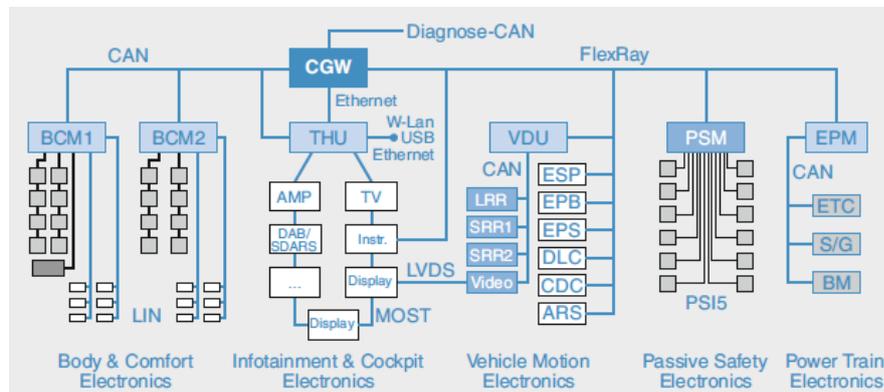


Abbildung 5.6.: Ausprägung einer elektronischen Architektur (Quelle: [227, S. 211])

Aktuelle Bordnetze

Abbildung 5.7 zeigt den elektronischen Anteil des Bordnetzes von Fahrzeugen der BMW Group, welches seit dem Modelljahr 2001 verwendet wird. Abbildung 5.8 zeigt im Vergleich dazu das Bordnetz eines Audi²⁶ Q5 aus dem Modelljahr 2008.

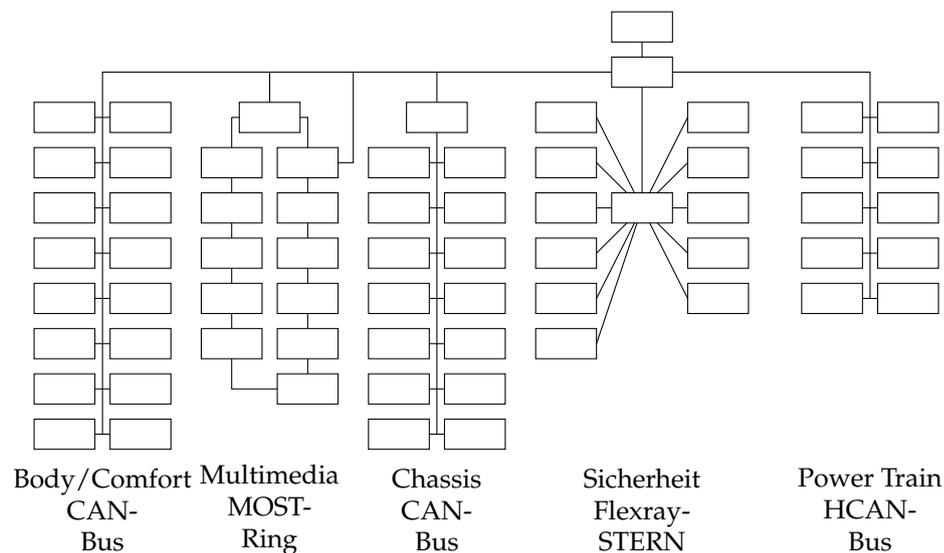


Abbildung 5.7.: Architekturbild der seit dem Modelljahr 2001 eingesetzten elektronischen Architektur bei BMW (Quellen: [1, 249])

²⁶Webseite: <http://www.audi.de>

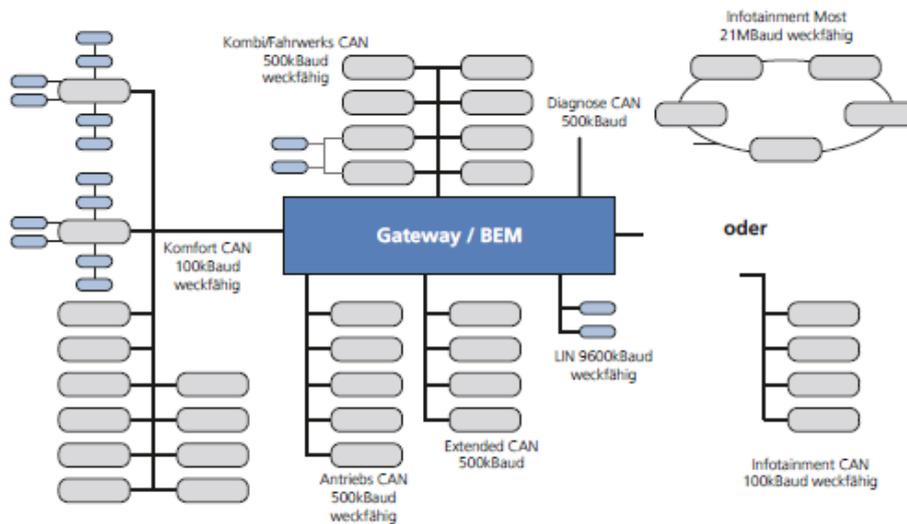


Abbildung 5.8.: Elektronische Architektur eines Audi Q5 (Quelle: [238, S. 9])

Geplante Bordnetze

Abbildung 5.9 zeigt den DLR (Domänenleitreechner)-Ansatz eines E/E-Bordnetzes. Dabei werden die ECUs in fünf unterschiedliche Domänen eingeteilt. Zu jeder Domäne existiert ein DLR welcher übergeordnete Aufgaben für die jeweilige Domäne übernimmt. Dazu zählt auch die domänenübergreifende Kommunikation, aber auch die Steuerung innerhalb der Domäne wird durch diesen Leitreechner übernommen. Für jede Domäne wird ein spezifisches Bussystem eingesetzt [199].

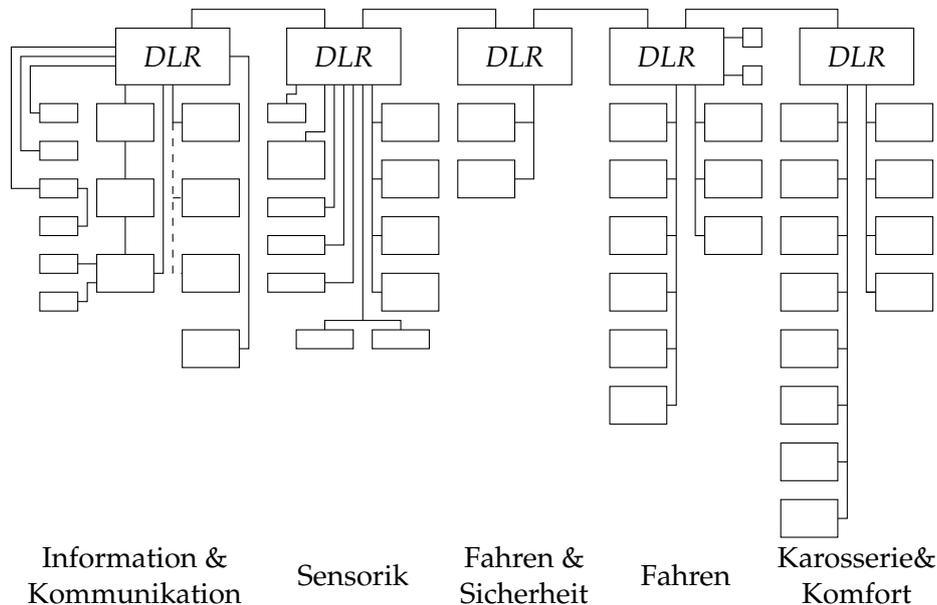


Abbildung 5.9.: Geplante elektronische Architektur von BMW (Quellen: [1, 199, 249])

Neben firmeninterne Projekten existieren weitere, teilweise öffentliche, Forschungsprojekte, welche sich mit zukünftigen E/E-Architekturen beschäftigen.

Ein Beispiel ist das RACE²⁷-Projekt. Ziel des RACE-Projektes ist neben einer Komplexitätsreduzierung gegenüber aktuellen E/E-Bordnetzen auch die Bewältigung von zukünftigen Herausforderungen, wie diese durch ADAS (Advanced Driver Assistance System)-Systeme entstehen. Abbildung 5.10 zeigt den Architekturvorschlag nach einem CPC (Centralized Platform Computer)-Paradigma. Bei dem CPC-Paradigma werden die höheren Funktionsanteile auf dedizierten ECUs ausgeführt. Niedrigere Funktionsanteile werden auf smarten Aktoren und Sensoren ausgeführt. Neben dem CPC-Paradigma, wie in Abbildung 5.10 dargestellt, werden ergänzend Ethernet-basierte Doppelringe (blau und rot) für die redundante Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten verwendet. Durch die redundante Kommunikation wird eine Voraussetzung des ASIL (Automotive Safety Integrity Level) D-Levels (siehe Abschnitt 5.3) erfüllt [259].

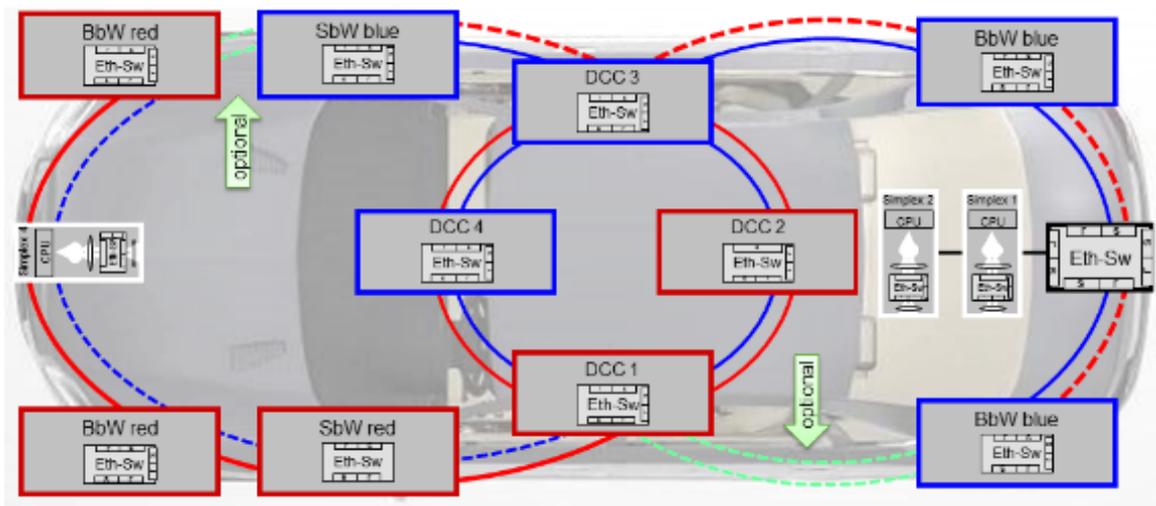


Abbildung 5.10.: Elektronische Architektur aus dem RACE-Projekt (Quelle: [259])

5.3. ISO 26262

Ein wichtiger Bestand der Fahrzeugtechnik und -entwicklung ist der ISO 26262 - Standard, welcher den offiziellen Titel „Road vehicles - Functional safety“ trägt. Die ISO 26262 ist eine internationale Norm für die Funktionssicherheit von Straßenfahrzeugen und stellt einen verbindlichen Rahmen für die sicherheitsgerichtete Entwicklung von Systemen mit E/E-Anteilen im Fahrzeug²⁸ dar. Die ISO 26262-Norm ist eine Anpassung der SIL (Safety Integrity Level)-Norm auf automotive Systeme [229, S. 256].

²⁷Webseite: <http://www.projekt-race.de/>

²⁸Dabei werden Personenkraftfahrzeuge betrachtet, welche in einer Serienfertigung hergestellt werden und in die Gewichtsklasse unter 3,5 t fallen. Des Weiteren sind Sonderfahrzeuge - wie Polizeifahrzeuge oder Sonderanfertigungen -, Motorräder und Lastkraftwagen von dieser Norm ausgeschlossen [139, S. 1].

Die oberste Zielsetzung der Aktivitäten zur Funktionssicherheit ist [52, S. 9]:

*„Eine intolerable Personengefährdung durch Fehlfunktion mechatronischer Fahrzeugfunktionen bei **bestimmungsgemäßigem Gebrauch** sowie zu **erwartendem Fehlgebrauch** ist zu **verhindern**.“*

aus [52, S. 10].

Als mechatronische Fahrzeugfunktionen werden Funktionen bezeichnet, welche durch Systeme mit einem E/E-Anteil realisiert oder überwacht werden [52, S. 11].

Die Fahrzeugsicherheit lässt sich zunächst in zwei Bereiche - „Sicherheit in Unfallsituationen“ und in „Sicherheit im Kundenbetrieb“ - aufteilen. Der letztere genannte Bereich lässt sich wiederum in die zwei Unterbereiche - „Gebrauchssicherheit“ und „Funktionale Sicherheit“ - einteilen. Dabei werden folgende Definitionen für die beiden Bereiche verwendet:

- Gebrauchssicherheit
„Keine intolerable Personengefährdung durch die Sollfunktion mechatronischer Fahrzeugfunktionen bei bestimmungsgemäßigem Gebrauch oder zu erwartendem Fehlgebrauch.“ aus [52, S. 9]
- Funktionale Sicherheit
„Keine intolerable Personengefährdung durch Fehlfunktionen mechatronischer Fahrzeugfunktionen bei bestimmungsgemäßigem Gebrauch oder zu erwartendem Fehlgebrauch.“ aus [52, S. 9]

Mit Hilfe von Bewertungskriterien (siehe Tabellen 5.4 - 5.6) wird im Rahmen eines Bewertungsprozesses für jede Gefährdung und Situation das notwendige ASIL-Level ermittelt. Bei der ASIL-Einstufung existieren vier Levels. Die ASIL-Level definieren neben der Methodik bei der Entwicklung oder die notwendigen Massnahmen zur Absicherung der Funktion auch die zulässige Ausfallwahrscheinlichkeit von Funktionen und die Fehlerentdeckungsrate. Bei der Fehlerentdeckungsrate wird zwischen Einzelfehler und latenten/versteckten Fehler unterschieden (siehe Tabelle 5.2). Die ASIL-Levels sind vergleichbar mit den SIL-Levels, in Abbildung 5.11 sind beide gegenüber gestellt [139, S. 10] [141] [229, S. 256 ff.] [307, S. 167].

Tabelle 5.2.: Übersicht der Anforderungen an die ASIL-Levels (Quellen: [35, S. 761 ff.] [141, S. 15 ff.]

Level	Ausfallwahrscheinlichkeit	Fehlererkennung	
		Einzelfehler	Latenten Fehler
ASIL A	–	–	–
ASIL B	$< 10^{-7}/\text{Stunde}$	$\geq 90 \%$	$\geq 60 \%$
ASIL C	$< 10^{-7}/\text{Stunde}$	$\geq 97 \%$	$\geq 90 \%$
ASIL D	$< 10^{-8}/\text{Stunde}$	$\geq 99 \%$	$\geq 90 \%$

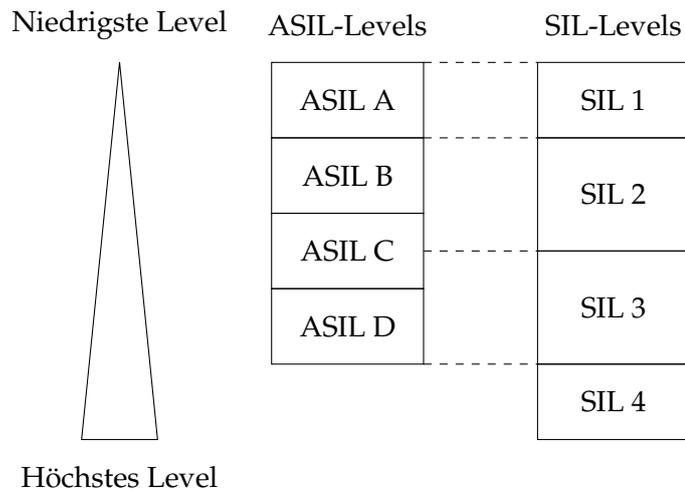


Abbildung 5.11.: Vergleich zwischen ASIL- und SIL-Levels (Quelle: [229, S. 257])

Für die Bewertung wird die „Schwere eines möglichen Schadens (Severity)“, der „Häufigkeit der Fahrsituation (Exposure)“ und die „Beherrschbarkeit durch den Fahrer (Controllability)“ als Kriterien miteinbezogen. Tabelle 5.3 zeigt das notwendige ASIL-Level aufgrund der drei genannten Bewertungskriterien.

Tabelle 5.3.: Benötigte ASIL-Levels aufgrund der Bewertungskriterien (Quelle: [123, S. 96])

		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	ASIL-A
	E4	QM	ASIL-A	ASIL-B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	ASIL-A
	E3	QM	ASIL-A	ASIL-B
	E4	ASIL-A	ASIL-B	ASIL-C
S3	E1	QM	QM	ASIL-A
	E2	QM	ASIL-A	ASIL-B
	E3	ASIL-A	ASIL-B	ASIL-C
	E4	ASIL-B	ASIL-C	ASIL-D

In Tabellen 5.4 - 5.6 werden die Bewertungskriterien beschrieben und quantifiziert. Bei der Quantifizierung der Schadensschwere wird der Verletzungsgrad von Personen miteinbezogen. Dazu wird die AIS (Abbreviated Injury Scale)-Skala (siehe Tabelle 5.7) in Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit der Verletzungsart angewendet. Für die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit, existieren nach dem ISO 26262-Standard zwei Ansätze. Neben dem relativen Bezug auf die Betriebszeit (siehe Tabelle 5.5), ist eine Quantifizierung bezüglich der Auftrittshäufigkeit möglich [140, S. 21].

Tabelle 5.4.: Übersicht zur Schadensbewertung (Quellen: [123, S. 96] [140, S. 9, S. 20])

Level	Beschreibung	Quantifiziert
S0	Keine Verletzungen	AIS 0 und Wahrscheinlichkeit < 10 % von AIS 1-6
S1	Leichte Verletzungen	Wahrscheinlichkeit > 10 % von AIS 1-6 (und nicht S2 und S3)
S2	Schwere Verletzungen, Überleben wahrscheinlich	Wahrscheinlichkeit > 10 % von AIS 3-6 (und nicht S3)
S3	Lebensgefährliche Verletzungen, Überleben unwahrscheinlich	Wahrscheinlichkeit > 10 % von AIS 5-6

Tabelle 5.5.: Übersicht zur Eintrittswahrscheinlichkeit (Quellen: [123, S. 96] [140, S. 9, S. 22])

Level	Beschreibung	Quantifiziert (Bezogen auf die Dauer)
E0	Unvorstellbar	Nicht spezifiziert ²⁹
E1	Sehr niedrige Wahrscheinlichkeit	Nicht spezifiziert
E2	Niedrige Wahrscheinlichkeit	< 1 % der durchschnittlichen Betriebszeit
E3	Mittlere Wahrscheinlichkeit	zwischen 1 % und 10 % der durchschnittlichen Betriebszeit
E4	Hohe Wahrscheinlichkeit	> 10 % der durchschnittlichen Betriebszeit

Tabelle 5.6.: Übersicht zur Kontrollierbarkeit (Quellen: [123, S. 96] [140, S. 10, S. 24])

Level	Beschreibung	Quantifiziert (Kontrollierbar)
C0	Gesetzliche Regelung	Im Allgemeinen kontrollierbar
C1	Einfach beherrschbar	von ≥ 99 % der Fahrer oder anderer Verkehrsteilnehmer
C2	In der Regel beherrschbar	von ≥ 90 % der Fahrer oder anderer Verkehrsteilnehmer
C3	Schwer beherrschbar	von < 90 % der Fahrer oder anderer Verkehrsteilnehmer

²⁹ Als Beispiele werden Unfälle genannt, die entweder mit einem Flugzeug erfolgen, welches auf einer Autobahn landet oder mit einem Fahrzeug, welches gefährliches Material transportiert [140, S. 21].

Tabelle 5.7.: Übersicht zum Verletzungsgrad nach AIS von 2005 (Quelle: [165, S. 109])

Level	Grad der Verletzung	Beispiele für Verletzungen
0	unverletzt	–
1	gering	Schürfung, Schnittwunden, Stauchung, Prellung; Verbrennungen 1. und 2. Grades bis 10 % der Oberfläche
2	mäßig	Großflächige Schürfung und Prellung, ausgedehnte Weichteilverletzungen, leichte Gehirnerschütterung mit Amnesie; Verbrennungen 2. Grades bis 15 % der Oberfläche
3	schwer nicht lebensgefährlich	Schädelfraktur ohne Liquorausstritt, Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit, Pneumothorax; Verbrennungen 2. Grades bis 25 % der Oberfläche
4	bedeutend lebensgefährlich, Überleben wahrscheinlich	Schädelfraktur mit Liquorausstritt, Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit bis 24 Stunden, Perforation des Brustkorbes; Verbrennungen 2. oder 3. Grade bis 35 % der Oberfläche
5	kritisch Überleben unsicher	Schädelfraktur mit Hirnstammlutung, Organriss oder -abriss; Verbrennungen 3. Grades bis 90 % der Oberfläche
6	maximal als praktisch nicht überlebbare gewertet	Massive Kopfquetschung, Hirnstammlazeration, Schädelbasisfraktur, Thoraxquetschung, Aorta- Ruptur und -Durchtrennung; Trennung zwischen Thorax und Becken
9	unbekannt	N/A

6. Informatik

In diesem Kapitel werden unterschiedliche, relevante Grundlagen aus dem Bereich der Informatik beschrieben. Im ersten Abschnitt (siehe Abschnitt 6.1) wird ein Überblick zum Bereich der KI (künstlichen Intelligenz) gegeben und die verschiedenen KI-Ansätze eingeordnet. Im zweiten Abschnitt (siehe Abschnitt 6.2) wird auf die Fuzzy Logik eingegangen. Im dritten Abschnitt (siehe Abschnitt 6.3) werden Grundlagen zur Datenkommunikation aufgeführt. Der vierte Abschnitt (siehe Abschnitt 6.5) enthält eine Übersicht der unterschiedlichen Virtualisierungstechniken. Die beiden letzten Abschnitte (siehe Abschnitt 6.6 und 6.7) dienen zur Definition weiterer Begrifflichkeiten, die für diese Arbeit benötigt werden.

6.1. Künstliche Intelligenz

Als KI werden die wissenschaftlichen Aktivitäten bezeichnet, die sich mit der „*synthesis and analysis of computational agents that act intelligently*“ beschäftigen [218, S. 3 ff.]. *Intelligently* wird in diesem Kontext mit folgenden Eigenschaften charakterisiert [218, S. 4]:

- „*What it does is appropriate for its circumstances and its goals,*“
- „*it is flexible to changing environments and changing goals,*“
- „*it learns from experience, and*“
- „*it makes appropriate choices given its perceptual and computational limitations. An agent typically cannot observe the state of the world directly; it has only a finite memory and it does not have unlimited time to act.*“

Eine der ersten Arbeiten in diesem Bereich ist die Veröffentlichung „*Computing Machinery and Intelligence*“ von Alan Turing³⁰ [40, S. 1 ff.].

Die Wissenschaftsdisziplin der KI lässt sich in mehrere Ausrichtungen unterteilen. Nachfolgend sind verschiedene Ausrichtungen der KI beschrieben, welche von Bedeutung für diese Arbeit sind. Abbildung 6.1 zeigt die Zusammenhänge der KI mit den Wissenschaftsbereichen der Biologie und Informatik.

³⁰Alan Turing, britischer Mathematiker (* 1912 – † 1954) [124]

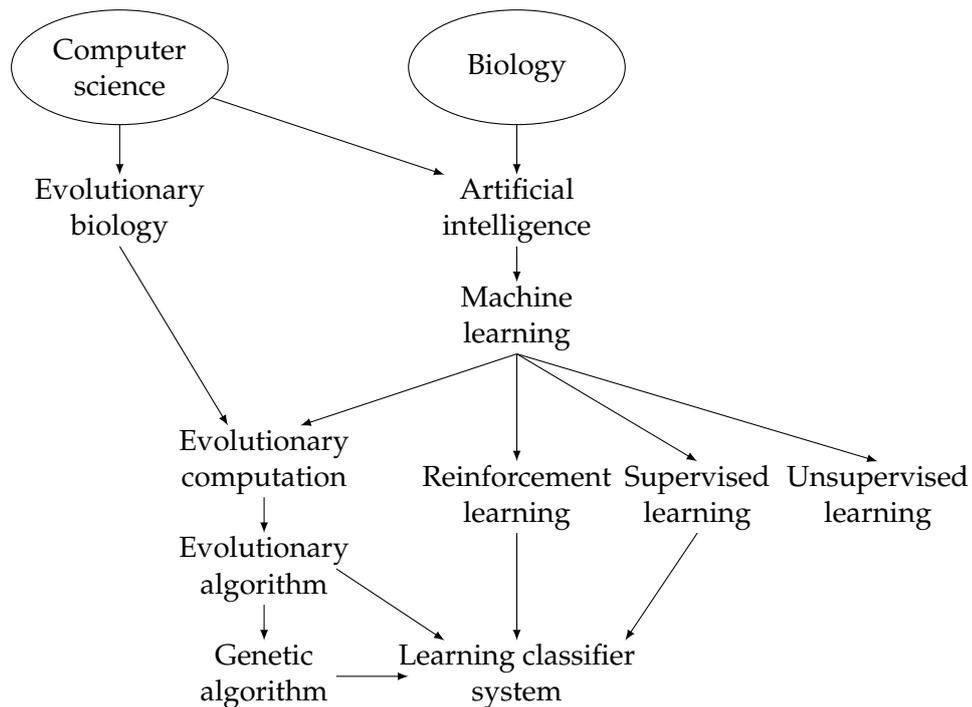


Abbildung 6.1.: Zusammenhänge von bionischen Aktivitäten in der Informatik (Quelle: [290, S. 2])

6.1.1. Machine Learning

Eine häufig verwendete Definition von Machine Learning stammt von Tom M. Mitchell³¹ und lautet [40, S. 2]:

„A computer program is said to learn from experience E with respect to some class of tasks T and performance measure P , if its performance at tasks in T , as measured by P , improves with the experience E .“

aus [200, S. 2 ff.].

Abhängig welche Informationen bei Aufgaben zur Verfügung stehen, lässt sich Machine Learning in folgende drei Kategorien unterscheiden [237, S. 525 ff.]:

- Supervised learning
- Unsupervised learning
- Reinforcement learning

³¹Tom Michael Mitchell, amerikanischer Informatiker (* 1951 –) [160, S. IV]

6.1.2. Learning Classifier System

Das LCS (Learning Classifier System)-Paradigma wurde 1976/1978 durch Holland³² eingeführt um adaptive Systeme zu realisieren. LCS kombinieren Machine Learning Algorithmen mit EA (Evolutionären Algorithmen) und weiteren Techniken. Um die Güte der bekannten Regelsätze der Machine Learning Algorithmen festzustellen, werden diese mit einem Gütewert versehen. Aufgrund der Gütewerte und den genetischen Operationen (siehe Abschnitt 6.1.4), wird die Liste der anzuwendenden Regelsätze aktualisiert [60, S. 1 ff.] [158, S. 23 ff.] [245, S. 19]. Um adaptive System zu realisieren, werden durch LCS folgende drei Machine Learning-Probleme adressiert [126, S. 3 ff.]:

- Parallelismus und Koordination
Damit wird das Problem der Koordination und der gleichzeitigen Ausführung einer großen Menge von Regeln adressiert.
- Vergabe der Güte
Damit wird die Vergabe einer Güte beziehungsweise die Bewertung einer vorrangegangenen Aktion für die Auswahl einer späteren zielführenden Aktion adressiert.
- Rule Discovery
Damit wird das Problem der Entwicklung neuer Regeln für eine umfangreiche Problemstellung adressiert.

Für die Adressierung der aufgeführten Probleme wird in [33] eine Umsetzung mit folgenden drei Komponenten vorgeschlagen:

- Das (eigentliche) Produktivsystem, welches das eigentliche Mapping erzeugt.
- Ein RA (Reinforcement Algorithmus) welcher die Parameteranpassung aufgrund des Feedbacks verwaltet.
- Ein Rule Discover, welcher die Liste der anzuwendenden Regelsätze aktualisiert.

6.1.3. Reinforcement Learning

Als RL (Reinforcement Learning) wird ein Lernparadigma bezeichnet, welches keine Vorgaben macht, welcher Regelsatz angewendet wird. Vielmehr wird derjenige Regelsatz ausgewählt, der bei seiner Verwendung einen Mehrwert liefert. Dazu wird bei RL ein Trade-Off zwischen Erkundung und Gewinnung („exploration and exploitation“) gesucht. Dazu erfolgt im Gegensatz zu anderen Ansätzen eine gesamtheitliche Betrachtung des Problems anstelle einer partiellen Problembetrachtung [274, S. 3 ff.].

6.1.4. Evolutionäre Algorithmen

Ein wichtiger Bestandteil bei evolutionären Algorithmen sind die aus der Evolutionlehre (siehe Abschnitt 7.11) bekannten Prinzipien und Operationen. Durch die Anwendung

³²John Henry Holland, amerikanischer Informatiker und Physiologe (* 1929 – † 2015) [32, S. 162] [142, S. 242] [240]

der genetischen Operationen (Mutation, Rekombination und Selektion), werden aus einer Generation durch die Erzeugung von Individuen basierend auf Variation (Mutation, Rekombination) eine neue Generation von Individuen beziehungsweise eine neue Population gebildet. Die neuen Individuen werden anschliessend bezüglich ihrer Güte³³ bewertet und selektiert. Abbildung 6.2 zeigt einen beispielhaften Arbeitszyklus [303, S. 24 ff.].

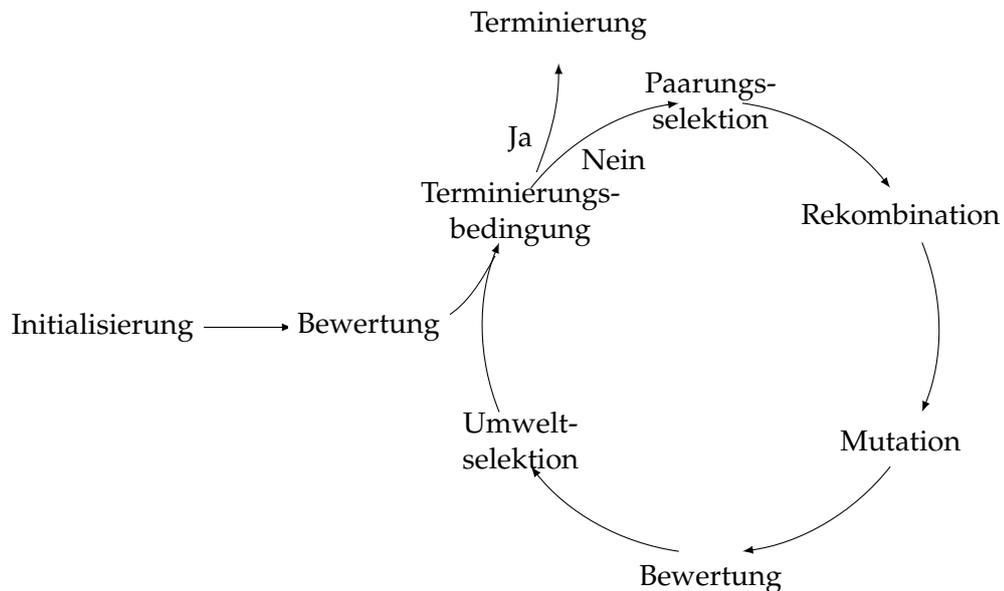


Abbildung 6.2.: Zyklus der Schritte bei evolutionären Algorithmen (Quelle: [303, S. 25])

Ausgehend von einer vorhandenen Population werden die darin enthaltenen Individuen zunächst bezüglich ihrer Güte bewertet. Diese Bewertung ist notwendig, um zu überprüfen, ob die beabsichtigte Zielgüte bereits erreicht wurde. Ist dies noch nicht erreicht, erfolgt im nächsten Schritt eine Paarungsselektion. Die Paarungsselektion dient dazu, zu bestimmen wie viele Kinderindividuen aus den Elternindividuen generiert werden. Die Anzahl wird anhand der Güte der Elternindividuen festgelegt. Die eigentliche Festlegung der Kinderindividuen erfolgt in den nächsten beiden Schritten. Dazu werden die Kinderindividuen aus der Rekombination der Merkmale der Elternindividuen erzeugt. Anschließend werden die Kinderindividuen durch Mutation angepasst. Durch die Mutation erfolgt nur eine geringe Veränderung der Individuen. Ist die Variation abgeschlossen, werden die neu erzeugten Individuen bewertet. Aus der Gruppe der Elternindividuen und der Kinderindividuen wird durch die Umweltselektion eine neue Generation gebildet. Dazu werden die Individuen mit der besten Güte aus den beiden Gruppen ausgewählt. Begrenzt wird dies durch eine maximale Generationsgröße. Dies kann dazuführen, dass alle Elternindividuen ersetzt werden. Wurde die Zielgüte erreicht, wird der Algorithmus terminiert. Wurde die Zielgüte nicht erreicht, erfolgt ein erneuter Durchlauf des Zyklus, beginnend mit der Paarungsselektion [303, S. 24 ff.].

³³Alternative Bezeichnungen sind Kosten oder Fitness.

6.2. Fuzzy Logik

Das Paper von Lotfi Zadeh³⁴ mit dem Titel „*Fuzzy Sets*“ aus dem Jahr 1965 ist eines der ersten Dokumente zum Thema Fuzzy Logik [235, S. 1 ff.] [313] [314, S. 1 ff.]. Die Fuzzy Logik grenzt sich zur üblichen Logiktheorie in der Informatik dadurch ab, dass diese anstelle von diskreten Werten, kontinuierliche Werte verwendet. Fuzzy Logik wird bei Algorithmen verwendet, bei denen eine Toleranz in der Entscheidung möglich ist, entsprechend dem Zitat von Lotfi Zadeh „*We must exploit our tolerance for imprecision.*“ [235, S. 1]. Dies kann zu einem geringeren Ressourcenverbrauch und zu einer schnelleren Lösungsfindung gegenüber Logiken mit diskreten Werten führen [235, S. 2 ff.]. Ein Einsatzbeispiel für Fuzzy Logik ist die U-Bahn in der japanischen Stadt Sendai [217, S. 7].

Abbildung 6.3 zeigt den Unterschied zwischen der klassischen Logik und der Fuzzy Logik. Dabei ist ebenfalls ersichtlich, dass bei der Frage, ob es Kalt oder Warm ist, eine genaue Abgrenzung bei 18°C nicht praktikabel ist, sondern dass ein fließender Übergang existiert. So ist beispielsweise bei 18°C es zu 20% Warm und zu 80% Kalt [193, S. 2 ff.].

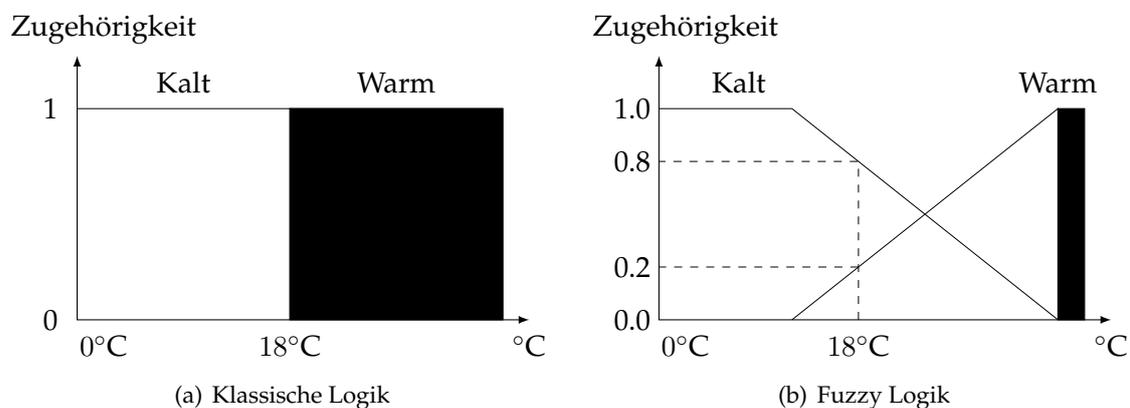


Abbildung 6.3.: Entscheidungsdiagramme von der klassischen und Fuzzy Logik bei der gleichen Anwendung (Quelle: [193, S. 2])

6.3. Kommunikation

Dieses Kapitel ist entsprechend der Reihenfolge der Schichten des in der Literatur (siehe [171, S. 47 ff.] [277, S. 48 ff.]) verwendeten Referenzmodells für Kommunikation (5 Schichten) strukturiert (siehe Tabelle 6.1). Das verwendete Referenzmodell ist eine Kombination aus dem TCP (Transmission Control Protocol)/IP (Internet Protocol)- (4 Schichten) und dem ISO (International Organization for Standardization)-Modell (7 Schichten) [171, S. 47 ff.] [277, S. 48 ff.]. Die erste Publikation zu TCP/IP erfolgte im Artikel „*A Protocol For Packet Network Intercommunication*“ [70] von Vint Cerf³⁵ und Robert Kahn³⁶ im Jahr 1974 [171, S. 231] [172, S. 116].

³⁴Lotfi Askar-Zadeh, amerikanischer Informatiker (* 1921 –) [314, S. 1 ff.]

³⁵Vinton „Vint“ Gray Cerf, amerikanischer Informatiker (* 1943 –) [29] [120, S. 41 ff.]

³⁶Robert „Bob“ Elliot Kahn, amerikanischer Informatiker (* 1938 –) [28] [120, S. 129 ff.]

Tabelle 6.1.: Kapitelstruktur in Anlehnung des in der Literatur genutzten Referenzmodells

Schicht	Relevanter Inhalt in diesem Abschnitt	
Anwendungsschicht	–	Infrastrukturkomponenten (siehe Abschnitt 6.3.5)
Transportschicht	Datenzentrische Kommunikation (siehe Abschnitt 6.3.4)	
Netzwerkschicht		
Datenschicht	PLC (Power Line Communication) (siehe Abschnitt 6.3.3) Ethernet (siehe Abschnitt 6.3.2)	
Physikalische Schicht	Übertragungstechnik (siehe Abschnitt 6.3.1)	

6.3.1. Übertragungstechnik

Bei der Klassifikation von Bussystemen bezüglich der Übertragungstechnik wird zwischen folgenden beiden grundsätzlichen Ansätzen unterschieden [171, S. 445 ff.] [278, S. 17 ff.]:

- Unicast/Point-to-Point
Beim Unicast- beziehungsweise Point-to-Point-Ansatz bestehen exklusive Kommunikationskanäle zwischen benachbarten Teilnehmern. Aus diesem Grund werden Datenpakete von einem Sender an nur einen Empfänger gesendet [278, S. 17 ff.].
- Broadcast
Beim Broadcast-Ansatz hingegen existiert ein gemeinsamer Kommunikationskanal zwischen allen Teilnehmern des Netzwerks. In dieser Situation werden gesendete Datenpakete von allen Teilnehmern empfangen [278, S. 17 ff.].

Diese beiden grundsätzlichen Ansätze sind nicht nur ausschließlich in der physikalischen Schicht zu finden, sondern auch in weiteren Schichten des Referenzmodells. Dabei wird teilweise eine veränderte Differenzierung angewendet. So wird in der Netzwerkschicht zwischen Uni-, Multi-, Any- und Broadcast differenziert [280, S. 10 ff.].

Die Übertragungstechnik ist abhängig von den eingesetzten Bussystemen. Diese Eigenschaft wird teilweise durch die Verwendung aktiver Infrastrukturkomponenten (siehe Abschnitt 6.3.5) beeinflusst. Wurde Ethernet (siehe Abschnitt 6.3.2) initial als Broadcast-Bussystem entwickelt, wird Ethernet gegenwärtig durch den Einsatz von Switches/Bridges (siehe Abschnitt 6.3.5) als Unicast-Bussystem genutzt [171, S. 461 ff.] [278, S. 20 ff.]. PLC (siehe Abschnitt 6.3.3) wird hingegen ausschließlich als Broadcast-Bussystem eingesetzt.

6.3.2. Ethernet

Ethernet geht auf eine Idee von Bob Metcalfe³⁷ aus dem Jahr 1983 zurück. Anfänglich, im ursprünglichen Patent [196] als „*Multipoint data communication system with collision detection*“ bezeichnet, wurde Ethernet zum Datentransfer zwischen Workstations (Xerox Altos³⁸) und Druckern im Xerox PARC (Palo Alto Research Center) genutzt [264, S. 3 ff.].

³⁷Robert „Bob“ Melancton Metcalfe, amerikanischer Informatiker (* 1946 –) [127, S. 308] [135]

³⁸Das Altos PC System gilt als eine Revolution in der Informatik. Dazu haben verschiedene integrierte Innovationen beigetragen. Unter anderem eine graphische Oberfläche mit Fenster und Icons, eine Maus und ein objektorientiertes Betriebssystem [43, S. 21 ff.].

Seit der ursprünglichen Spezifikation wurde das Ethernet mehrfach weiterentwickelt. Zu den Erweiterungen zählen die Unterstützung von verschiedenen Medientypen, Geschwindigkeiten und anderen Funktionalitäten. Eine dieser weiteren Funktionalität ist die zusätzliche Übertragung von Energie, welches als PoS (Power over Signal) bezeichnet wird. Dies mündete unter anderem im IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)-Standard 802.3af-2003 „Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI)“ [264, S. 5 ff.].

In [259] wurden verschiedene ethernetbasierte Bussysteme für die Verwendung im Fahrzeug betrachtet. Neben den TTEthernet (Time-Triggered Ethernet) und AFDX (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet), wurden ebenfalls auch AVB (Audio Video Bridging) und TSN (Time Sensitive Networking) betrachtet. Bei genauer Betrachtung sind AVB und TSN eine Menge von IEEE-Standards. TSN ist eine Fortsetzung der Aktivitäten aus dem AVB-Gremium [216, S. 59] [266].

Während die AVB-Spezifikation die Zielsetzung einer „Echtzeit Kommunikation“ hat, ist die Zielsetzung der TSN-Spezifikation eine „harte Echtzeit und eine verlässliche Kommunikation“ zu gewährleisten [266, S. 4]. Dazu wurden die Standards aus AVB weiterentwickelt beziehungsweise weitere eingeschlossen. Im Folgenden wird eine Übersicht der enthaltenen Standards der AVB- und TSN-Spezifikation gegeben.

Die nachfolgende Auflistung führt die in der AVB-Spezifikation enthaltenen IEEE-Standards auf [216, S. 59]:

- 802.1AS - Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks
- 802.1Qat - Stream Reservation Protocol
- 802.1Qav - Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams
- 802.1BA - Definition of profiles for AVB systems

Die nachfolgende Auflistung führt die in der TSN-Spezifikation enthaltenen IEEE-Standards auf [216, S. 60]:

- 802.1ASbt - Timing and Synchronization
- 802.1Qbv - Enhancements for Scheduled Traffic
- 802.1Qbu - Frame Preemption
- 802.1Qca - Path Control and Reservation
- 802.1CB - Frame Replication and Elimination for Reliability
- 802.1Qcc - Enhancements and improvements for stream reservation

6.3.3. Power Line Communication

PLC ist ein Ansatz, bei dem Daten- und Energieübertragung über ein gemeinsames physikalisches Medium übertragen werden. Die Unterscheidung zwischen PLC und PoE (Power over Ethernet) ist die Nutzung unterschiedlicher physikalischer Medien. Während bei

PoE ein Medium genutzt wird, welches ursprünglich für die Datenübertragung entworfen wurde, wird beim PLC ein Medium genutzt, welches ursprünglich für die Energieversorgung entworfen wurde.

Neben der Anwendung von PLC innerhalb von Gebäuden (HomePlug³⁹) und BPL (broadband PLC) für die kombinierte Übertragung von Daten und Energie zwischen Gebäuden (IEEE 1901), wurde ebenfalls ein PLC-Implementierung für die Kommunikation innerhalb von Fahrzeugen umgesetzt. Die Anpassung der bestehenden PLC-Protokolle wurde aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der beiden bestehenden Standards (HomePlug und IEEE 1901) gegenüber der Situation im Fahrzeug notwendig [108, 114].

6.3.4. Datenzentrierte Kommunikation

Wie im linken Teil in Abbildung 6.4 dargestellt ist, erfolgt die Adressierung in herkömmlichen IT-Netzen auf Grundlage von IP-Adressen. Die Ursache dafür ist, dass es sich häufig um einen Transfer zwischen zwei spezifischen Teilnehmern des Netzwerkes handelt. Beide Teilnehmer besitzen dazu mindestens eine IP-Adresse, was eine notwendige Grundlage darstellt. Deshalb wird dieses Prinzip ebenfalls als adresszentrierte Kommunikation bezeichnet [149, S. 9 ff.].

Bei der datenzentrierten Kommunikation steht anstelle der Zieladresse der Inhalt der Nachricht, das Datum, im Mittelpunkt der Kommunikation. Dies ist im rechten Teil der Abbildung 6.4 dargestellt. Das Datum wird für die Netzwerkaufgaben, Adressierung und das Routing verwendet [149, S. 9 ff.] [168, S. 139]. Dazu enthält eine Nachricht alle Informationen, die zur Verarbeitung notwendig sind [91, S. 4]. Im SANET (Sensor and Actor Networks)-Bereich wird aufgrund der Anwendungscharakteristika, die für diesen Bereich zutreffen, datenzentrierte Kommunikation angewendet. Tabelle 6.2 vergleicht die datenzentrierte und adresszentrierte Kommunikation im Bereich der Datenweiterleitung. Ergänzend dazu enthält Tabelle 6.3 einen Vergleich der Charakteristika zwischen traditionellen Computernetzwerken und SANET, um die unterschiedlichen Rahmenbedingungen darzustellen.

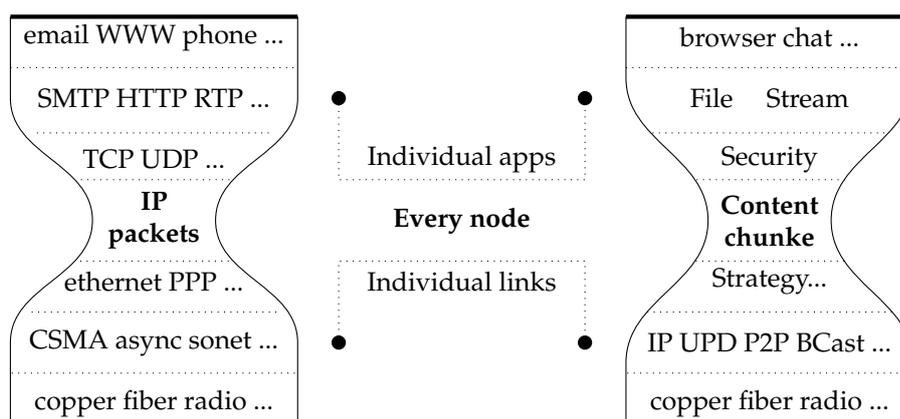


Abbildung 6.4.: Gegenüberstellung des TCP/IP- und CCN-Stacks (Quelle: [143])

³⁹Webseite: <http://www.homeplug.org/>

Gegenüber der nachrichtenorientierten Kommunikation grenzt sich die datenzentrierte Kommunikation dadurch ab, dass bei der nachrichtenorientierten Kommunikation keine netzwerkzentrierte Verarbeitung (siehe Abbildung 6.5) oder Synchronisation der Daten durch die Infrastruktur, wie der Kommunikationsmiddleware oder den Infrastrukturkomponenten, erfolgt. Aufgrund der zusätzlichen Funktionalität kann die datenzentrierte Kommunikation als eine Erweiterung der nachrichtenorientierten Kommunikation betrachtet werden [222, S. 257] [293, S. 108].

Tabelle 6.2.: Vergleich der Datenweiterleitung bei einer datenzentrierten und adressbasierten Kommunikation (Quelle: [90, S. 126 ff.])

	Adressbasiertes Routing	Datenzentrische Weiterleitung
Routing Ansatz	Ermittlung des Pfades anhand der Zieladresse	Ermittlung des Zieles anhand des Inhalts
Voraussetzung	Eindeutige Adressen im gesamten Netzwerk	Vordefinierte Nachrichteninhalte und Formate
Routing Techniken	Proaktives (ständige Aktualisierung) oder reaktives (nach Anforderung) Routing	(Probabilistisches) Flooding oder Interest-basiertes Reverse Routing
Vorteile	Gewöhnlich geringe Verzögerung bei Verbindungsaufbau und Datenweiterleitung	Keine Adressinformationen notwendig und einfache Self-Management und Redudanz
Nachteile	Eindeutige Adresse notwendig	Mehr Aufwand bei Einzelübertragung

Tabelle 6.3.: Vergleich der Charakteristiken von Internet und SANET (Quelle: [71, S. 164])

Internet	SANET
Unabhängige Rechner und Anwendungen	Abhängige Nodes, Gateways und angepasste Anwendungen
End-to-End Fluss (Statisch)	Zusammenfassung, Verarbeitung, Routing, Synchronisation (Dynamisch)
Infrastruktur	Ad-hoc
Menschliche Interaktion, Durchsatz ist hoch	Gleichmässig, geringe Auslastung mit gelegentliche Spitzen
Netzanschluss	Häufig Batteriebetrieben
Latenzen abhängig von der QoS (Quality of Services) der Verbindung, üblicherweise klein und vorhersagbar	Verzögerungen treten durch Startzeiten, unterbrochenen Pfade und Routing auf aber sind nicht vorhersagbar
Bandbreite ist relative günstig	Bandbreite ist teuer
In-Netzwerk Status ist vernachlässigbar, Anwendungsverhalten ist ziemlich stabil und vorhersagbar	Anwendungsverhalten wird durch die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen beeinflusst

Während datenzentrierte Kommunikation bei SANET weit verbreitet ist, existieren im Internetbereich verschiedene Projekte, die versuchen, die bisher genutzte Adressierung von Dokumenten auf Anwendungsebene durch die Datenzentrierung zu ersetzen. Dadurch sollen den neuen Anwendungen und deren Kommunikationcharakteristika Rechnung getragen werden. Die ersten Ideen zur datenzentrierten Kommunikation im Internet geht auf Idee von Ted Nelson⁴⁰ mit dem Xanadu Projekt aus den 1970er Jahren zurück [208] [212, S. 28]. Abbildung 6.4 stellt den Aufbau des TCP/IP-Stacks mit dem des CCN-Stacks gegenüber [18, 312].

Internet Während mit Xanadu bereits ein erstes Projekt zur Datenzentrierung gab, besteht mit TRIAD (Translating Relaying Internetwork Architecture integrating Active Directories) seit 1999 erneut ein Projekt, dass sich mit datenzentrischer Kommunikation im Internet befasst. Neben TRIAD existieren unter anderem mit DONA (Data-Oriented Network Architecture) und NDN (Named Data Networking) weitere Forschungsprojekte. Wie in [18] und [312] sind unter anderem die Benennung, die Namensauflösung und Datenweiterleitung die prägenden Unterscheidungsmerkmale der unterschiedlichen Ansätze.

SANET Während im Internet Datenzentrierung primär für die Datenweiterleitung und -pufferung angewendet wird, ist im Bereich von SANET die datenzentrierte Kommunikation in die Bereiche „Datenweiterleitung“ und „Netzwerkzentrierte Verarbeitung“ unterteilt (siehe Abbildung 6.5). Bei dem Bereich „Netzwerkzentrierte Verarbeitung“ erfolgt eine weitere Unterscheidung. Während dem Bereich der „Netzwerkzentrierte Vorverarbeitung“ die Vorverarbeitung von Daten und die statistische Auswertung zugeordnet sind, sind im Bereich „In-Netzwerk Verarbeitung und Kontrolle“ die Themen der dezentralen Arbeitsweise und der Verlagerung der Datenverarbeitungsaktivitäten in das Netzwerk verortet [90, S. 155 ff.].

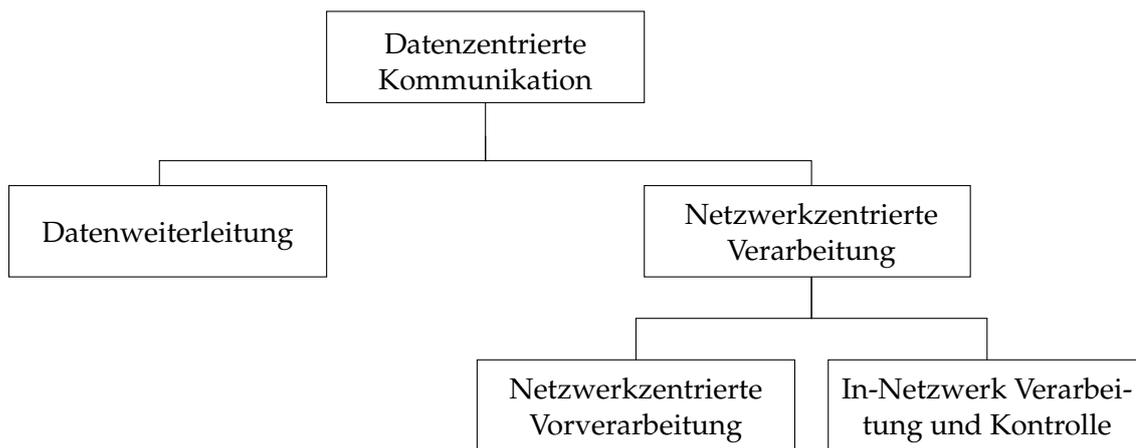


Abbildung 6.5.: Unterteilung von datenzentrierter Kommunikation im SANET-Bereich (Quelle: [90, S. 156])

⁴⁰Theodor „Ted“ Holm Nelson, amerikanischer Informatiker (* 1937 –) [283, S. 186]

6.3.5. Infrastrukturkomponenten

Wird das in der Literatur genutzte Referenzmodell (siehe Tabelle 6.1) genutzt, erfolgt die Unterscheidung von Infrastrukturkomponenten primär auf welcher Ebene die Komponenten agieren. Teilweise erfolgt eine weitere Unterscheidung innerhalb einer Schicht anhand der Anzahl der vorhandenen Anschlüsse der Komponenten. Tabelle 6.4 enthält eine Übersicht dieser Unterscheidung. Hierbei werden die verschiedenen Schichten des Referenzmodells (linken Spalte) den Infrastrukturkomponenten (rechte Spalte) gegenübergestellt [278, S. 340 ff.].

Tabelle 6.4.: Klassifikation von Infrastrukturkomponenten bezogen auf das Referenzmodell (Quelle: [278, S. 340])

Schicht	Infrastrukturkomponente
Anwendungsschicht	Application Gateway
Transportschicht	Transport Gateway
Netzwerkschicht	Router
Datenschicht	Bridge (2 Anschlüsse), Switch (> 2 Anschlüsse)
Physikalische Schicht	Repeater (2 Anschlüsse), Hub (> 2 Anschlüsse)

6.4. Namensschemata

Bei der Benennung von Daten kann im Allgemeinen zwischen einem flachen und einem hierarchischen Namen unterschieden werden. Je nach Anwendungsfall existieren unterschiedliche Möglichkeiten Namen aufzubauen. Aufgrund von Aktualisierungen oder neuen Fahrzeuggenerationen kommt es zu Änderungen im logischen Datenmodell. Ein Datum wird vermutlich aus organisatorischen Gründen dann weiterhin unter der bestehenden Hierarchie genutzt um eine Kompatibilität zu anderen Versionen des Datenmodells zu gewährleisten, obwohl dieses Datum damit schon länger in keiner Verbindung steht. Die Untergliederung des hierarchischen Zweiges in Abbildung 6.6 ist an den Anwendungsfall des Fahrzeugs angepasst.

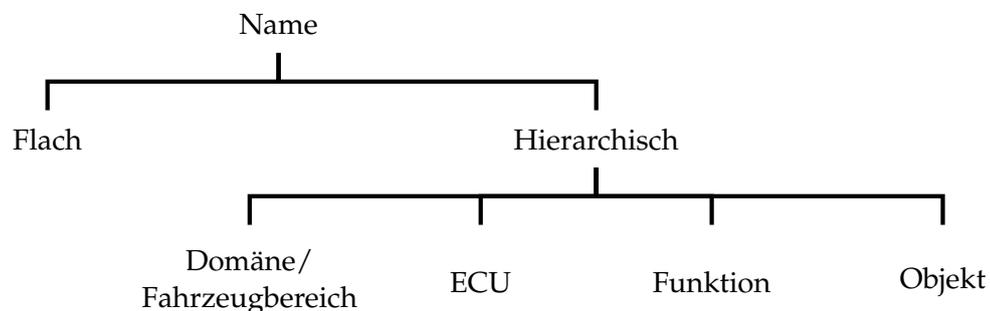


Abbildung 6.6.: Übersicht über mögliche Benennungsschematik

Funktion und Datum Eine Kombination aus Funktion und Datum ist möglich, was aber den Anforderung der Dauerhaftigkeit nicht genügt. Aufgrund von unterschiedlichen Ausstattungspaketen hat die nächste Fahrzeuggeneration häufig neue Funktionsnamen. Des Weiteren kann es aufgrund von Ausstattungsvarianten bei einem Fahrzeugderivat vorkommen, dass jeweils unterschiedliche Funktionen das gleiche Datum bereitstellen.

ECU und Datum Eine Kombination aus ECU und Datum ist aus den gleichen Gründen wie die Kombination aus Funktion und Datum nicht geeignet. Vor allem mit Hinblick auf Self-X (siehe Abschnitt 4.10), wo Funktionen häufig zwischen ECUs im Fahrzeug aufgeteilt sind oder in manchen Fällen sogar ins Backend ausgelagert werden, stellt die Kombination aus ECU und Datum ein Hindernis dar. Des Weiteren werden abhängig von der Ausstattungsvariante Funktionen unterschiedlich (statisch) auf die ECUs partitioniert.

Domäne/Fahrzeugbereich und Datum Zusätzlich zu den Gründen aus den beiden bereits genannten Kombinationen existieren bei Namensstrukturierung aus Domäne/Fahrzeugbereich und Datum weitere Hindernisse. Bei einem Verzicht auf eine klassische Domänenstruktur zur Gewinnung von mehr Flexibilität, stellt dieses Namensschemata einen Rückschritt dar, da für dieses Schemata wiederum (logische) Domänen eingeführt werden müssen.

Objekt und Datum Eine vierte Möglichkeit für eine Namensstruktur ist die Kombination aus Objekt und Datum. Dies stellt wegen der Öffnung⁴¹ von Systemen eine Evolution aus dem bisherigen Namensschemata dar.

6.5. Virtualisierung

Mit der Präsentation der Virtual Machine Facility/370 im Jahr 1972 hat IBM⁴² die erste Virtualisierungslösung vorgestellt. Neben der Anwendung im Großrechnerbereich, welches durch das Cloud-Zeitalter (siehe Abschnitt 4.11) wieder verstärkt in den Fokus rückt, kommt der Virtualisierungsansatz auch in anderen Bereichen zum Einsatz. Neben Anwendungen auf Workstations, existieren auch Anwendungsszenarien für Smartphones und Tablets. Im Großrechner- und Workstationbereich wird Virtualisierung zur Bereitstellung von unterschiedlichen und getrennten Ausführungsumgebungen genutzt. Im Smartphone-Bereich wird die Virtualisierung zur Separierung von Daten eingesetzt, in diesem Fall wird häufig zwischen geschäftlichen und privaten Daten unterschieden [41, S. 413 ff.] [275, S. 67 ff.]. In [118] werden folgende Gründe für den Einsatz von Virtualisierung gegeben:

- Abschottung
- Einsatz unterschiedlicher Betriebssysteme
- Funktionskonsolidierung

⁴¹Im Sinne einer Vernetzung von bisher autarken, unabhängigen Systemen.

⁴²Webseite: <http://www.ibm.com>

- Lastausgleich im Verbund
- Power Management im Verbund

Des Weiteren existieren Bestrebungen in der Automobil- und Avonikindustrie Virtualisierung in Fahr- und Flugzeugen einzusetzen. Ziel ist die Funktionskonsolidierung auf gemeinsamer Hardware, wobei die Funktionen unterschiedliche ASIL-Anforderungen besitzen. Mit der Virtualisierung sollen unter anderem die stetig steigende Leistungsanforderungen erfüllt werden [230]. Weiteres Ziel der Virtualisierung ist es, eine Komplexitätsreduzierung zu erreichen. Durch den Einsatz des MILS (Multiple Independent Levels of Security and Safety)-Paradigma (siehe Abschnitt 6.6) soll der Umfang der kritischen Softwareanteile reduziert werden. Dadurch soll eine einfache Zertifizierung ermöglicht werden [13].

Bei der technischen Umsetzung der Virtualisierung existieren mehrere Varianten, welche angewendet werden können. Nach [275, S. 574] wird auf einer abstrakten Ebene dazu zwischen folgenden Varianten unterschieden:

- Hypervisor im Schichtenmodell
Bei dem Schichtenaufbau wird zwischen Nativer (Typ1), User-Mode (Typ2) und der Dual-Mode Virtualisierung unterschieden [276, S. 568 ff.].
- Prozessorvirtualisierung
Bei der Prozessorvirtualisierung wird zwischen Voll-, Para- und Binärvirtualisierung unterschieden [276, S. 570 ff.].
- Speichervirtualisierung
Bei der Speichervirtualisierung wird zwischen Lösungen mit und ohne Hardwareunterstützung unterschieden [276, S. 574 ff.].
- I/O (Input/Output)-Virtualisierung
Bei der Virtualisierung von den I/O-Schnittstellen wird zwischen direkten und indirekten Zugriff unterschieden [276, S. 576 ff.].

Nachfolgend werden die beiden Begriffe VMM (Virtual Machine Monitor) und VM (Virtuelle Maschine) beschrieben.

Die bereitgestellte Ausführungsumgebung wird als VM bezeichnet. Die VM ist die Kombination aus echter Maschine und Virtualisierungssoftware. Dies kann als eine Laufzeitumgebung betrachtet werden und ist vergleichbar mit einem Software-Container. Die Bereitstellung der Laufzeitumgebung kann für einen einzelnen Prozess oder für ein vollständiges Betriebssystem erfolgen [257, S. 10 ff.].

Der Softwareanteil, welcher die VM bereitstellt, wird als VMM bezeichnet. Die Aufgabe ist die Bereitstellung einer Kopie der tatsächlich vorhandenen Hardware oder die Emulation von benötigten Hardware-Komponenten/-eigenschaften. Durch die Emulation von bestimmten Hardware- und Softwarefunktionen, wird es ermöglicht, auch Software auf einer Plattform auszuführen, welche originär den Anforderungen der auszuführenden Software nicht genügt. Ein Beispiel für eine emulierte Komponente ist der Befehlssatz eines spezifischen Prozessors beziehungsweise Systems [257, S. 10 ff.] [275, S. 67 ff, S. 568 ff.].

6.6. Multiple Independent Levels of Security and Safety-Paradigma

Wird die Beschreibung von MILS-Systemen aus [83] verwendet, kann dies mit einer Virtualisierung nach dem Schichtenmodell (siehe Abschnitt 6.5) verglichen werden. Während MILS ein Paradigma ist, das beschreibt wie mit Software von unterschiedlicher Kritikalität auf einer Hardwareplattform umgegangen werden soll, ist die Virtualisierung ein technischer Realisierungsansatz. Entsprechend dem MILS-Designprinzip kann zwischen zwei Schichten unterschieden werden (siehe Abbildung 6.7) [13].

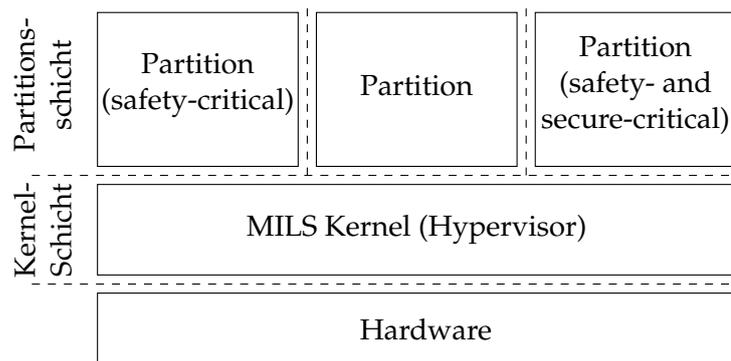


Abbildung 6.7.: Schichtenmodell nach dem MILS-Prinzip (Quelle: [83])

Die Kernel-Schicht, auch als Core-Layer bezeichnet, enthält die Kerndienste, welche zur Bereitstellung der Isolation notwendig sind. Die Partitionsschicht enthält die eigentlichen Anwendungen. Eine wichtige Aufgabe der Kernel-Schicht ist die Durchsetzung der Sicherheitsrichtlinien. Die Sicherheitsrichtlinien definieren dabei die Datenisolation und Kontrolle des Informationsflusses zwischen den Partitionen [83, S. 802 ff.]. Ein effektives MILS-System entspricht dem NEAT (Non-bypassable, Evaluatable, Always Invoked, Tamper-proof)-Prinzips. Nachfolgend werden die vier Grundsätze des NEAT-Prinzips beschrieben [83, 289]:

- **Non-bypassable**
Sicherheitsfunktionen können nicht umgangen werden [83, 289].
- **Evaluatable**
Sicherheitsfunktionen sind klein und einfach genug, um die Korrektheit durch eine mathematische Verifikation zu beweisen [83, 289].
- **Always Invoked**
Bei der Ausführung eines Befehls wird die Sicherheitsfunktionen immer ausgeführt [83, 289].
- **Tamperproof**
Sicherheitsfunktionen können nicht ohne Autorisierung geändert werden [83, 289].

Entspricht eine Sicherheitsfunktion nicht diesen vier Grundsätzen, gilt diese nicht als effektiv. Ein MILS-System folgt dem NEAT-Prinzip [289, S. 4].

6.7. MAPE-(K)/SMPA-Paradigma

Das MAPE (Monitor, Analyse, Plan, Execute)-Paradigma (siehe Abbildung 6.8(a)) wurde in [155] als abstrakte Struktur des Regelkreises von autonomen Agenten, welche auch im OC (siehe Abschnitt 4.10) eingesetzt werden, eingeführt. Vor der Veröffentlichung von MAPE existierte das SMPA (Sense, Model, Plan, Act)-Paradigma (siehe Abbildung 6.8(b)), welches von Rodney A. Brooks⁴³ in [58] definiert wurde [121]. Das SMPA-Paradigma wurde als Referenzarchitektur für die Steuerung von Robotern veröffentlicht. Eine Variation von MAPE enthält zusätzlich den Bestandteil das Knowledge, welches in der Literatur als MAPE-K (Monitor, Analyse, Plan, Execute-Knowledge) bezeichnet wird [174, S. 109].

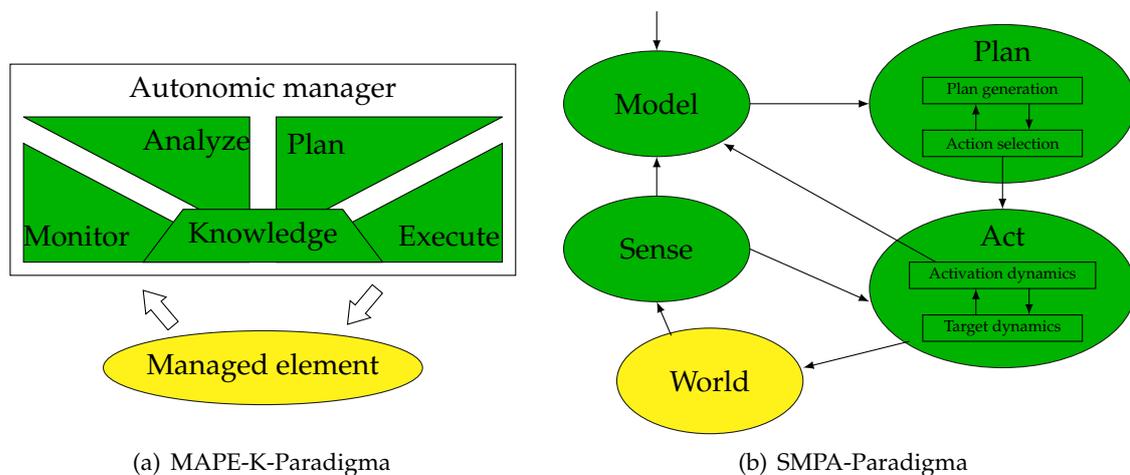


Abbildung 6.8.: Gegenüberstellung der MAPE/MAPE-K- und SMPA-Struktur (Quellen: [121, 155])

Um einen stärkeren Bezug zwischen dem MAPE-Paradigma und dieser Arbeit zu generieren, werden in Abbildung 6.9 die einzelnen MAPE-Phasen auf das noch einzuführende COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1) gelegt. Nachfolgend werden die einzelnen Phasen beschrieben [174, S. 109 ff.]:

- **Monitor/Sense**
Dient zur Erfassung der Daten und das Erzeugen einer Wissenbasis. Dazu werden die erfassten Daten gefiltert, transformiert und aggregiert.
- **Analyse/Model**
Dient zur Interpretation der aufbereiteten Daten aus der Monitor-Phase.
- **Plan/Plan**
Dient aus der interpretierten Situation die Anweisungen beziehungsweise eine Strategie zu entwickeln, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

⁴³Rodney Allen Brooks, australischer Informatiker (* 1954 –) [263, S. 140 ff.]

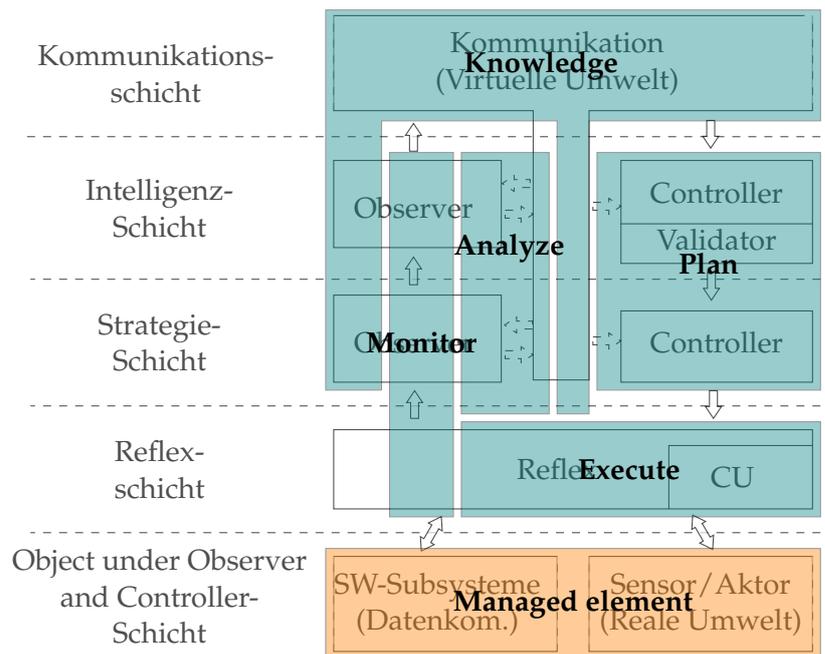


Abbildung 6.9.: MAPE-K-Phasen auf das COS-Modell gelegt

- **Execute/Act**
Dient zur Umsetzung der Anweisungen beziehungsweise der ausgearbeiteten Strategien zur Zielerreichung.

In der Erweiterung MAPE-K stellt das Knowledge den zentralen Punkt zwischen den übrigen MAPE-Phasen dar. In einer technischen Realisierung ist das Knowledge mit der Speicherung oder der Kommunikationsmiddleware vergleichbar. Im COS-Modell ist dies die Kommunikationsschicht beziehungsweise den Speichern in den unterschiedlichen Schichten [174, S. 109 ff.].

7. Der Mensch

In diesem Kapitel werden die notwendigen biologischen Grundlagen für das Konzept (siehe Teil III) der bionischen E/E-Architektur beschrieben. Dazu werden Teilaspekte über den Aufbau und die Funktionsweise des menschlichen Körpers betrachtet.

7.1. Nervensystem

Das Nervensystem (eines Menschen) dient dazu Informationen aufzunehmen, zu verarbeiten, weiterzuleiten und zu speichern. Während der Evolution (siehe Abschnitt 7.11) ergaben sich verschiedene anatomische Strukturen bei den Nervensystemen. Die Struktur des Nervensystems hat sich entsprechend der Entwicklung des jeweiligen Lebewesen weiterentwickelt. Abbildung 7.1 zeigt eine Übersicht der unterschiedlichen Strukturen. Je weiter die evolutionäre Entwicklung des Lebewesens fortgeschritten ist (von links nach rechts), desto zentraler ist das Nervensystem strukturiert [250, S. 90 ff.] [255, S. 431 ff.].

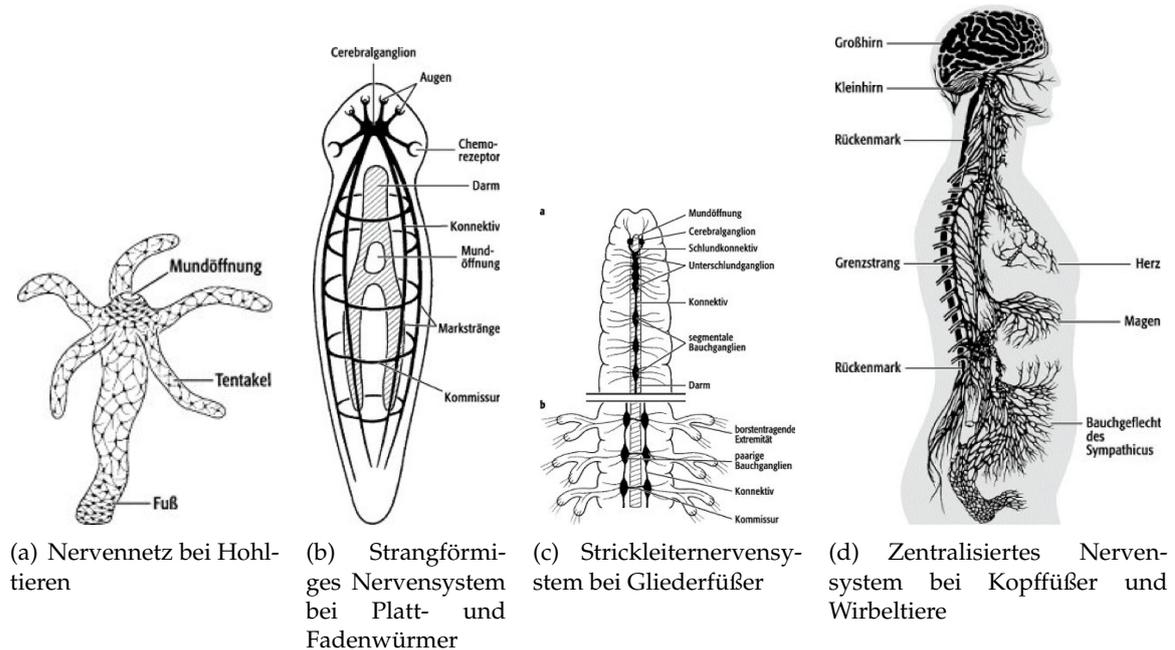


Abbildung 7.1.: Evolutionsschritte des Nervensystems (Quelle: [262])

Das Nervensystem im menschlichen Körper wird nach zwei Sichtweisen - nach der anatomische Struktur und der Funktion - unterschieden. Nach der anatomischen Struktur bestehen folgende zwei Teile:

- ZNS (Zentrales Nervensystem)

Das zentrale Nervensystem besteht aus dem Gehirn⁴⁴ (siehe Abschnitt 7.5) und dem Rückenmark⁴⁵ (siehe Abschnitt 7.7). Die Aufgaben sind neben der Weiterleitung auch die Verarbeitung der Informationen. Wobei im vorgesehenen Normalzustand beim Gehirn die Verarbeitung und beim Rückenmark die Weiterleitung im Vordergrund steht. Grund dafür ist, dass dadurch eine entsprechende feine willkürliche Steuerung der Bewegung ermöglicht wird. Aufgrund von evolutionären Residuum ist teilweise noch eine Autonomie der einzelnen Rückenmarksabschnitte vorhanden, um unter anderem bei einer Querschnittslähmung einzelne höhere Funktionen zu übernehmen. Schnelle Reflexe (< 40 Millisekunden) werden weiterhin im Rückenmark ausgeführt. Ein Beispiel für einen (schnellen und primitiven) Reflex ist der Muskeldehnungsreflex im besonderen der Trizepssehnen⁴⁶- und Patellarsehnenreflex⁴⁷ [250, S. 90 ff.].

- PNS (Peripheres Nervensystem)

Das periphere Nervensystem besteht aus den Hirn-⁴⁸ und den Spinalnerven⁴⁹. Beide Nerventypen bestehen aus zwei Nervenfasern beziehungsweise -leitungen^{50 51} und dienen zur Signalweiterleitung zu den unterschiedlichen Peripherieeinheiten⁵². Dabei leitet das PNS die Informationen nur weiter, eine Verarbeitung der Informationen wird nicht durchgeführt [250, S. 90 ff.]. Hirnnerven dienen zur motorischen und sensorischen Anbindung der Sinnesorgane im Körper. Die sensorischen Anbindungen haben aufgrund des höheren Informationsflusses einen größeren Durchmesser als die motorischen Anbindungen. Anders als die Spinalnerven, welche sich über das Rückenmark erstrecken, sind diese direkt an das Gehirn angeschlossen [250, S. 133 ff.].

Wird das gesamte Nervensystem, sowohl das ZNS als auch das PNS, nach der Funktion unterschieden, existieren folgende zwei Aufteilungen [250, S. 90 ff.]:

- Somatisches (animalisches) Nervensystem

Das somatische Nervensystem dient dazu Informationen zwischen der Umwelt und dem Organismus weiterzuleiten. Wesentliche Merkmale sind dabei die bewusste Wahrnehmung, die willkürliche Bewegung und eine schnelle Informationsverarbeitung [100, S. 532 ff.].

⁴⁴lat. Encephalon [250, S. 91]

⁴⁵lat. Medulla spinalis [250, S. 91]

⁴⁶Streckung im Ellenbogen [250, S. 100].

⁴⁷Streckung im Knie [250, S. 100].

⁴⁸Davon sind im menschlichen Körper zwölf Paare vorhanden [250, S. 92].

⁴⁹Auch als Rückenmarksnerven bezeichnet, es sind 31 - 32 Paare im Körper vorhanden [250, S. 92].

⁵⁰sogenannte Axonen [250, S. 91 ff.]

⁵¹Dabei wird zwischen der afferenten (hinführenden) und efferenten (wegführenden) Faser unterschieden [250, S. 91 ff.].

⁵²Beispielsweise: Organe oder Muskeln

- Vegetatives (autonomes) Nervensystem
Das vegetative Nervensystem dient dazu die Homöostase - also die Konstanthaltung des inneren Milieus - zu regulieren. Dabei müssen die Organfunktionen entsprechend der Umwelteinflüsse angepasst werden [100, S. 532 ff.].

Abbildung 7.2 zeigt das Bahnsystem des motorischen Systems im menschlichen Körper.

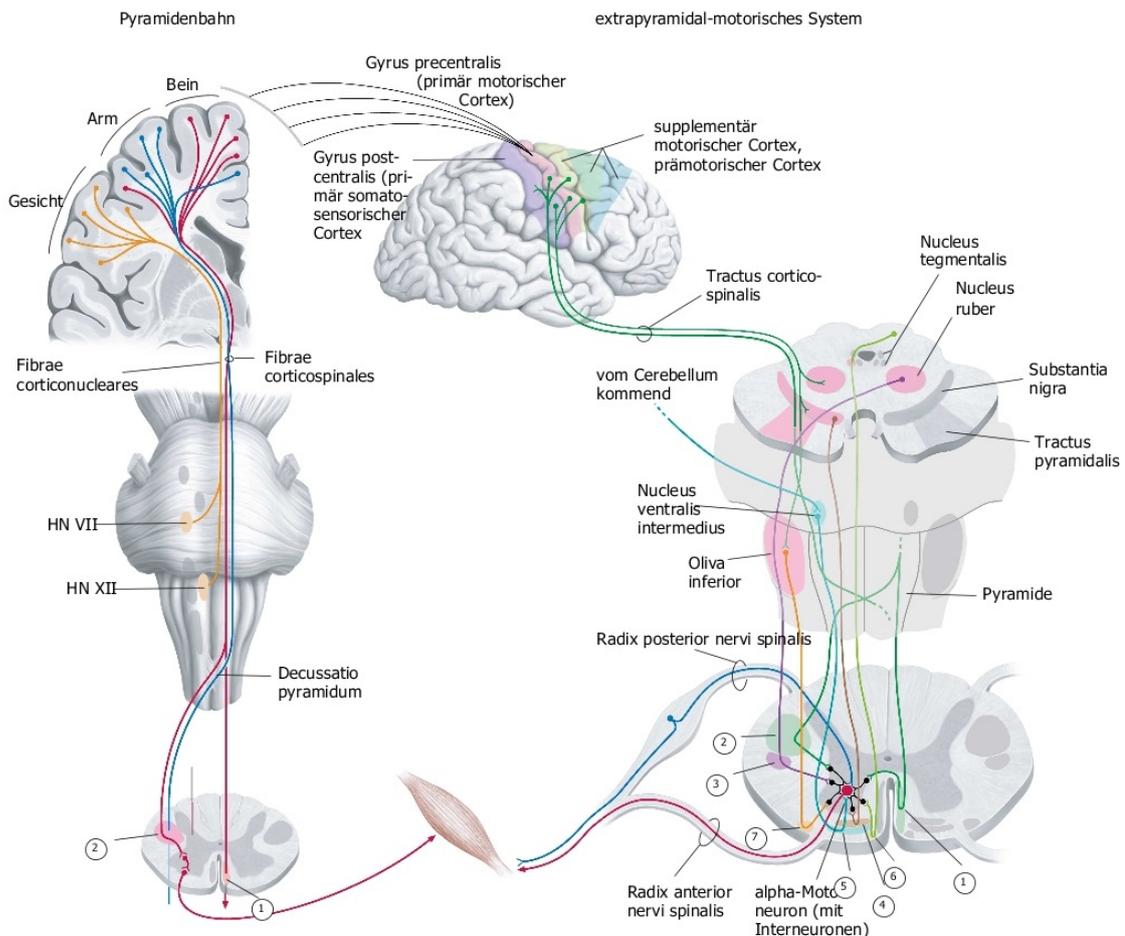


Abbildung 7.2.: Motorisches System: Synopse der Bahnsysteme (Quelle: [112])

7.2. Hormonsystem

Das Hormonsystem hat teilweise ähnliche Aufgaben wie das Nervensystem, dabei ist die Güte der Aufgaben ein andere, siehe Tabelle 7.6 [250, S. 73].

Neben einer Unterscheidung der Hormone in eine von vier Klassen⁵³ nach dem biochemischen Aufbau, können Hormone aufgrund ihrer Wirkungsweise in eine der drei nachfolgenden Klassen aufgeteilt werden [250, S. 72]:

⁵³Die vier Klassen sind: Amine, Peptidhormone, Steroidhormone, Archidonsäure [250, S. 73].

- **Echte Hormone**
Werden von Drüsenzellen abgegeben und über den Blutkreislauf (siehe Abschnitt 7.3) von den Zielkörperzellen mit Hilfe von Rezeptoren aufgenommen. Dabei existiert für jeden Hormontyp ein eigener Rezeptor [250, S. 72].
- **Gewebehormone**
Gewebehormone werden direkt von einer Zelle an die benachbarte Zelle ohne Zuhilfenahme des Blutkreislaufs an die benachbarten Zellen abgegeben [250, S. 72].
- **Autokrine Hormone**
Autokrine Hormone werden innerhalb der erzeugenden Zelle verwendet und nicht an andere Zellen abgegeben [250, S. 72].

Ziel des Hormonsystems ist es, ein stabiles inneres Gleichgewicht des Körpers zu erreichen. Dabei wird mit Hilfe von Messfühlern innerhalb der Zellmembranen die zu regelnde Größe (Regelgröße) gemessen. Weicht die Regelgröße vom Sollwert ab, wird versucht mit Hilfe von Stellgrößen⁵⁴ den tatsächlichen Wert an den Soll-Wert anzupassen. Die Anpassung erfolgt mit Hilfe von Stellgliedern, unter anderem sind das der Darm, die Nieren und das Knochensystem [250, S. 87 ff.].

In der Steuerung der Hormonproduktion spielt das Zwischenhirn (siehe Abschnitt 7.5), durch die Bereiche: Thalamus, Hypothalamus und Hypophyse, eine wichtige Rolle in der Regulation der Hormonproduktion. Endokrine Organe, wie beispielsweise die Nebennieren oder die Schilddrüse, produzieren aufgrund von Stimulationshormonen ebenfalls Hormone [221, S. 589 ff.] [250, S. 87 ff.]. Abbildung 7.3 zeigt die Organisationsstruktur der Regulation im Hormonsystem. Dabei können die Hormone fördernd (grüne Linie) beziehungsweise hemmend (rot Linie) wirken.

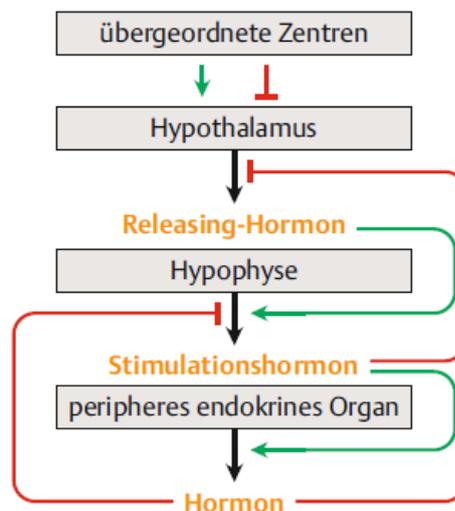


Abbildung 7.3.: Grundprinzip der Regulation im Hormonsystem (Quelle: [221, S. 588])

⁵⁴Im Beispiel des Calciumwertes: Dieser wird mit Hilfe von den Stoffen Parathormon und Kalzitinin beeinflusst [250, S. 88].

Primär wird das Hormonsystem über eine negative Rückkopplung gesteuert. Hierbei wird bei einer Abweichung des Ist-Wertes vom Soll-Wert mit Hilfe des Hormonsystems gegengesteuert. Einzelne ausgewählte Funktionen, beispielsweise die Austreibungswehen bei dem Geburtsvorgang - mit Hilfe der Ausschüttung von Oxytocin - werden wiederum durch eine positive Rückkopplung gesteuert [250, S. 89].

Das Hormonsystem im menschlichen Körper ist hierarchisch aufgebaut, wie dies in Abbildung 7.4 dargestellt ist. Dabei werden vom Hypothalamus (siehe Abschnitt 7.5) Steuerhormone - entweder Liberine⁵⁵ oder Statine⁵⁶ - ausgeschüttet. Diese beeinflussen die Hormonproduktion der Hypophyse, welche wiederum zwei unterschiedliche Hormonarten produziert. Die „glandotrope“ Hormone wirken auf Hormondrüsen, welche wiederum die eigentlichen Hormone ausschütten, diese wirken wiederum auf die Zielzellen. Dagegen wirken die „nicht glandotrope“ Hormone direkt auf die Zielzellen.

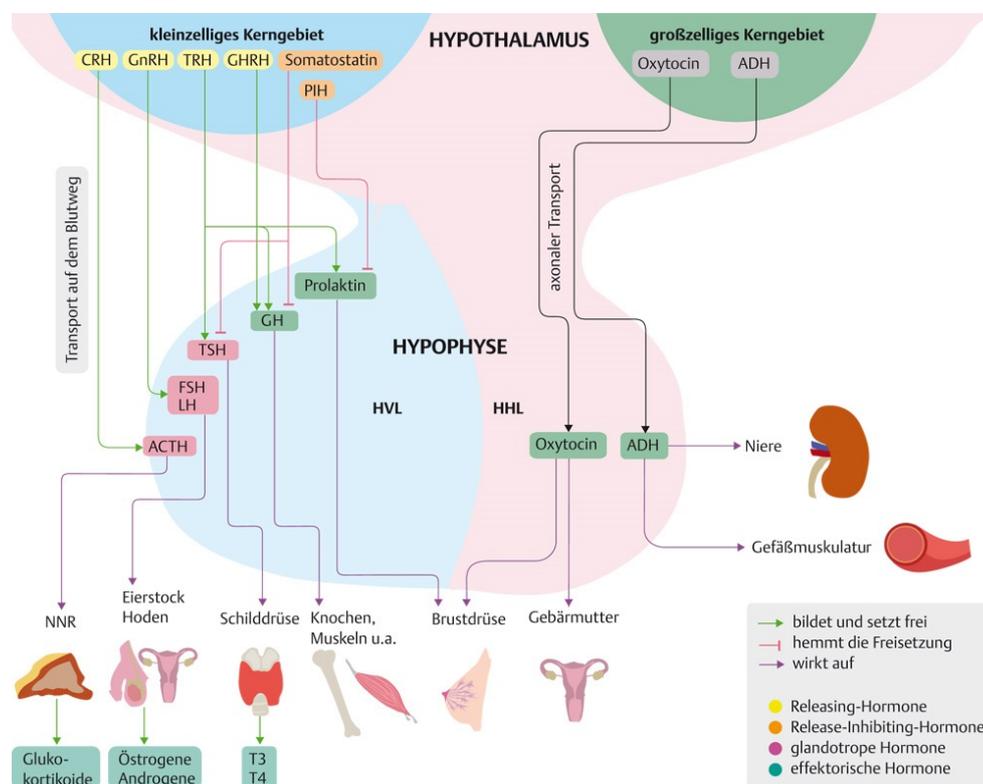


Abbildung 7.4.: Hypothalamus-Hypophysen-Achse (Quelle: [110])

Wichtige Hormone im menschlichen Körper sind Stresshormone, auch als Katecholamine, bezeichnet. Stresshormone werden in den Nebennieren in Form von Noradrenalin und Adrenalin produziert. Diese dienen dazu, den Körper auf Kampf- oder Fluchtreaktionen einzustellen, welche eine kurze andauernde physische Höchstleistung erforderlich machen. Dazu werden beispielsweise Gefäße verengt, die Verdauungsprozesse verringert oder der Stoffwechsel entsprechend angepasst [255, S. 540 ff.].

⁵⁵Fördernde Hormone

⁵⁶Hemmende Hormone

7.3. Blutkreislauf

Der Kreislauf des Blutes im menschlichen Körper besteht aus zwei Teilkreisläufen - dem Lungen- und dem Körperkreislauf - wie dies schematisch in der Abbildung 7.6 dargestellt ist. Der Körperkreislauf wird zusätzlich in einen oberen und unteren Kreislauf aufgeteilt. Der obere Kreislauf versorgt die oberen Körperregionen und der untere Kreislauf entsprechend die unteren Körperregionen. Der Lungenkreislauf verbindet die Lunge und das Herz [100, S. 228 ff.] [250, S. 242 ff.].

In der genannten Abbildung ist ebenfalls eine Unterscheidung der Gefäße zu sehen. Die Arterien - rot dargestellt - transportieren sauerstoffreiches Blut vom Herz zu den Organen⁵⁷. Die Venen - blau dargestellt - transportieren sauerstoffarmes Blut von den Organen zum Herz⁵⁸ [100, S. 228 ff.] [250, S. 242 ff.].

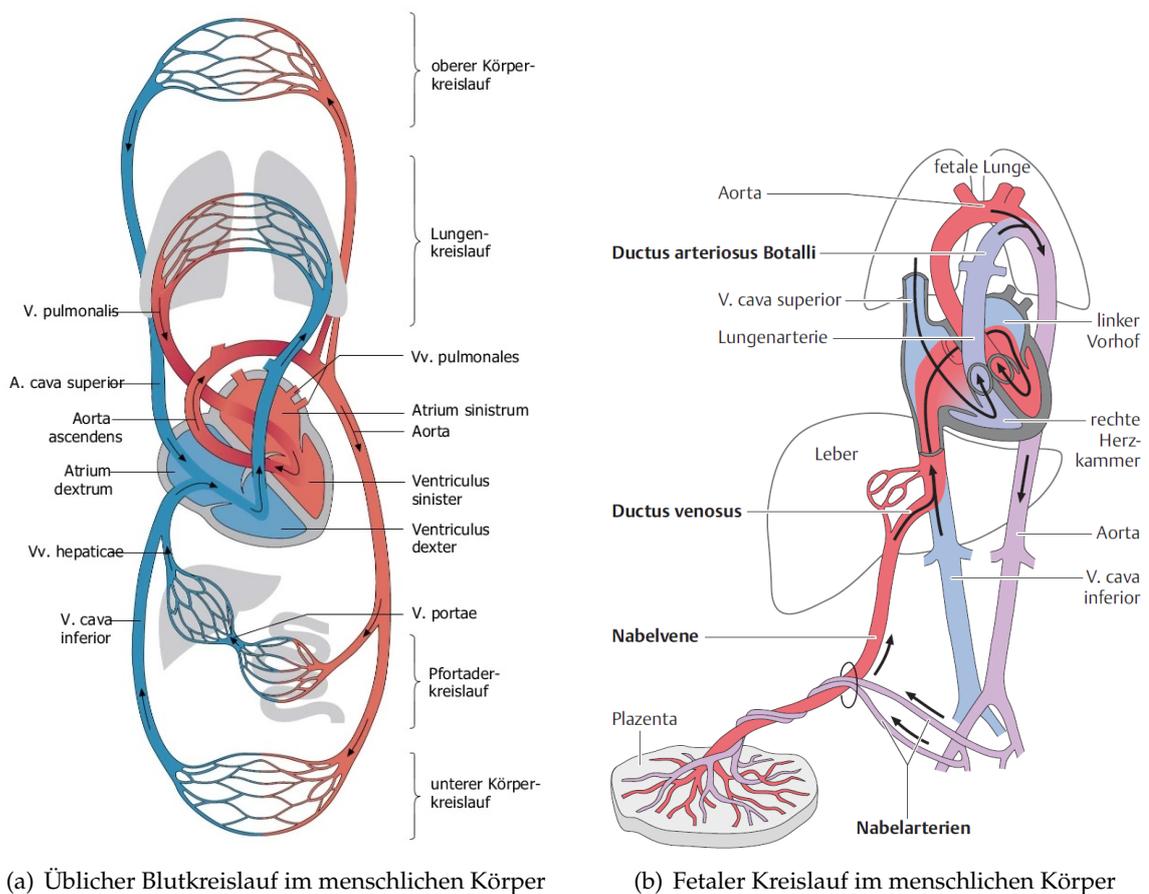


Abbildung 7.5.: Kreislauf des menschlichen Körpers in zwei unterschiedlichen Lebenssituationen (Quellen: [112, 131])

⁵⁷Die Verbindung von der Lunge zum Herz wird als Vene bezeichnet, obwohl in diesem Fall sauerstoffreiches Blut transportiert wird [250, S. 242 ff.].

⁵⁸Der Verbindung vom Herz zur Lunge wird als Arterie bezeichnet, obwohl in diesem Fall sauerstoffarmes Blut transportiert wird [250, S. 242 ff.].

Bisher wurde der prinzipielle Aufbau und die Funktionsweise des Kreislaufs mithilfe schematischer Darstellungen verdeutlicht. Bei der Übertragung auf den menschlichen Körper ergibt sich die Verteilung, die in Abbildung 7.6 dargestellt ist. Wird ein detaillierter Ausschnitt, beispielsweise die Fußsohlen (siehe Abbildung 7.7), betrachtet, ist ein weiterer Kreislauf zu finden. Dieser sogenannte Kollateralkreislauf⁵⁹ ist im gesamten Bereich des großen Kreislaufs - sowohl bei den Arterien als auch bei den Venen - zu finden und stellt alternative Kreislaufwege bereit. Diese alternativen Kreislaufwege dienen bei einer Unterbrechung des Hauptkreislaufweges dazu, dass ein ausreichender Blutfluss vorhanden ist. Um einen ausreichenden Blutfluss auch mit Hilfe der alternativen Kreisläufen zu gewährleisten, werden in diesem Fall die entsprechenden Gefäße erweitert. Ebenfalls ist auch das Gehirn beziehungsweise der Kopf über mindestens zwei Arterien - einer Halsschlagader und einer Wirbelarterie - und Venen mit dem Blutkreislauf unterhalb des Nackens verbunden [100, S. 236].

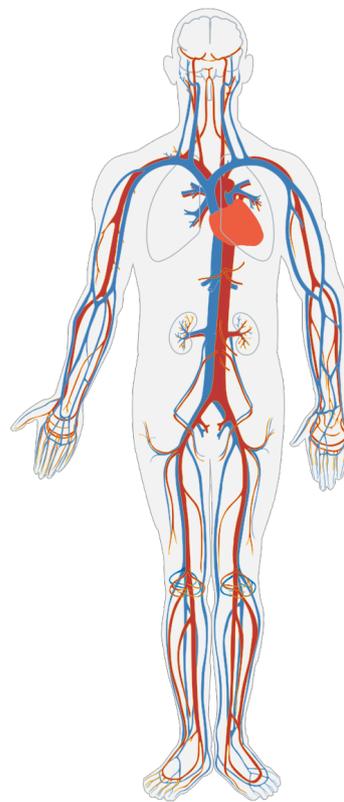


Abbildung 7.6.: Menschlicher Blutkreislauf (Quelle: [297])

Neben den drei bereits genannten Kreisläufen - kollateraler, großer und kleiner Kreislauf - existieren weitere Arten. Diese Kreislaufarten werden teilweise nur in bestimmten Entwicklungsstadien oder Situationen des menschlichen Körpers eingesetzt. In der Literatur existieren unter anderem folgende Arten [100, S. 234] [317, S. 166 ff.]: Fetalen (siehe Ab-

⁵⁹Auch als Umgehungskreislauf bezeichnet [100, S. 240].

bildung 7.5(b)), postnataler und pfortader Kreislauf. Der hauptsächliche Unterschied zu dem üblichen Kreislauf ist entweder ein veränderter Blutfluss, der Blutdruck oder eine teilweise veränderte Sauerstoffsättigung. Des Weiteren haben die Organe einen reduzierten beziehungsweise einen anderen Funktionsumfang [100, S. 235] [253, S. 232].

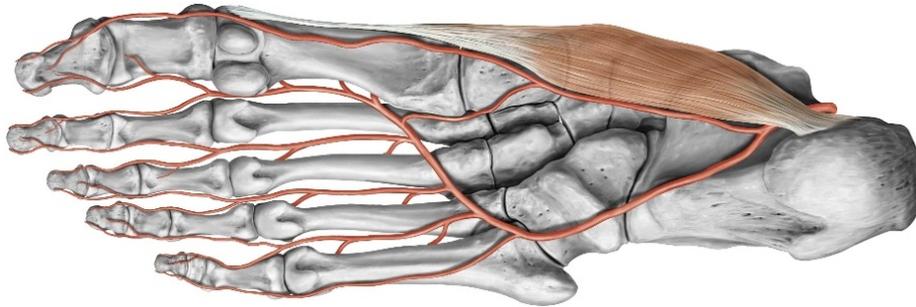


Abbildung 7.7.: Arterien der Fußsohle (Quelle: [112])

7.4. Blut

Das Blut dient als Transportmedium im menschlichen Körper, dabei werden durch das Blut folgende Aufgaben wahrgenommen [161, S. 278 ff.]:

- **Transport**
Neben dem Stoffaustausch (Sauerstoff und Kohlendioxid) zwischen Organen und Gewebe werden außerdem Hormone im Körper durch das Blut transportiert [100, S. 302 ff.] [161, S. 278].
- **Homöostase**
Sorgt neben den Wasserausgleich zwischen den Zellen und Extrazellulärbereich, auch für eine Wärmeableitung der innenliegenden stoffwechselaktiven Organe [100, S. 302 ff.] [161, S. 278].
- **Abwehr**
Ebenfalls zum Transport von Stoffen des Immunsystems zur Abwehr von Krankheitserregern und körperfremden Stoffen wird das Blut genutzt [100, S. 302 ff.].
- **Selbstschutz**
Bei Gefäßverletzungen werden eigene Mechanismen in Gang gesetzt, damit der Blutverlust so gering wie möglich gehalten werden kann [161, S. 278].

Das Blut lässt sich in unterschiedliche Bestandteile aufteilen, welche unterschiedliche Aufgaben haben. Dabei lässt sich zwischen geformten und ungeformten beziehungsweise zellulären und nicht zellulären Bestandteile des Blutes unterscheiden [100, S. 302 ff.]. In der Literatur, beispielsweise nach [100], wird zwischen folgenden Bestandteilen unterschieden:

- **Rote Blutkörperchen**⁶⁰
Die roten Blutkörperchen dienen zum Austausch von Atemgasen zwischen Lunge

⁶⁰lat. Erythrozyten

und dem Gewebe. Dazu wird Sauerstoff von der Lunge zum Gewebe und Kohlendioxid in umgekehrter Richtung transportiert [250, S. 36]

- Weiße Blutkörperchen⁶¹
Die weißen Blutkörperchen dienen dazu die notwendigen Abwehrstoffe des Immunsystems von den Bildungsstätten (Knochenmark) an die Wirkungsstätten zu transportieren [100, S. 302 ff.].
- Blutplättchen⁶²
Die Blutplättchen dienen zum Erreichen der Hämostase im Körper [161, S. 274].
- Blutplasma⁶³
Das Blutplasma ist eine wässrige, gelbliche Lösung und enthält mehrere Bestandteile⁶⁴. Es ist primär ein Transportmedium und dient dazu, verwendete Nährstoffe (siehe Abschnitt 7.8) von den Aufnahmestellen, den Darmzotten, zu Verbrauchern, den Organen, zu transportieren. Ebenfalls werden die Stoffwechselprodukte zu den Ausscheidungsorganen, wie der Niere, transportiert. Ebenfalls werden Hormone mit Hilfe des Blutplasmas an die Wirkungsstelle transportiert (siehe Abschnitt 7.2) [100, S. 311 ff.] [161, S. 274 ff.] [250, S. 35 ff.] [254, S. 96 ff.].
- Blutserum⁶⁵
Bei dem Blutserum handelt es sich um ein Blutplasma welches nicht mehr gerinnungsaktiv ist, da der notwendige Eiweißstoff entzogen wurde [250, S. 36].

7.5. Gehirn

Das Gehirn⁶⁶ bildet den oberen Abschluss des zentralen Nervensystems (siehe Abschnitt 7.1) und ist die zentrale Steuerungskomponente des menschlichen Körpers. Dabei lässt sich das Gehirn in der aktuellen Evolutionsstufe von unten nach oben in folgende sechs Abschnitte einteilen [250, S. 105 ff.]:

- verlängertes Mark (lat.: Medulla oblongata) (siehe Abschnitt 7.5.1)
- Brücke (lat.: Pons) (siehe Abschnitt 7.5.1)
- Kleinhirn (lat.: Cerebellum) (siehe Abschnitt 7.5.2)
- Mittelhirn (lat.: Mesencephalon) (siehe Abschnitt 7.5.3)
- Zwischenhirn (lat.: Diencephalon) (siehe Abschnitt 7.5.4)
- Großhirn (lat.: Telencephalon) (siehe Abschnitt 7.5.5)

⁶¹lat. Leukozyten

⁶²lat. Thrombozyten

⁶³Blutflüssigkeit

⁶⁴Die Bestandteile sind [161, S. 274]: Elektrolyten, Nahrungsstoffe, Metaboliten, Proteinen, Vitaminen, Spurenelementen und Signalstoffen.

⁶⁵Aufgrund der Vollständigkeit wurde das Blutserum hier ebenfalls aufgeführt.

⁶⁶lat. Encephalon

Aufgrund der Evolution kann dabei zwischen einem „alten“ und „neuen“ Anteil unterschieden werden. Dies ist ebenfalls mit einer „niedrigeren“ und „höheren“ Position der jeweiligen Region im Gehirn gleichbedeutend. Je neuer die Gehirnregion ist, desto höher sind die Hirnfunktionen in dieser Region. So sitzt im Großhirn unter anderem die logische Denkfähigkeit, die Sprache, das Bewusstsein und das Gedächtnis (siehe Abschnitt 7.6) [250, S. 105 ff.] [255, S. 443 ff.]. In Abbildung 7.8, dazugehörige Legende in Tabelle 7.1, ist die Anordnung der einzelnen Regionen im Gehirn als Längsschnitt grafisch dargestellt.

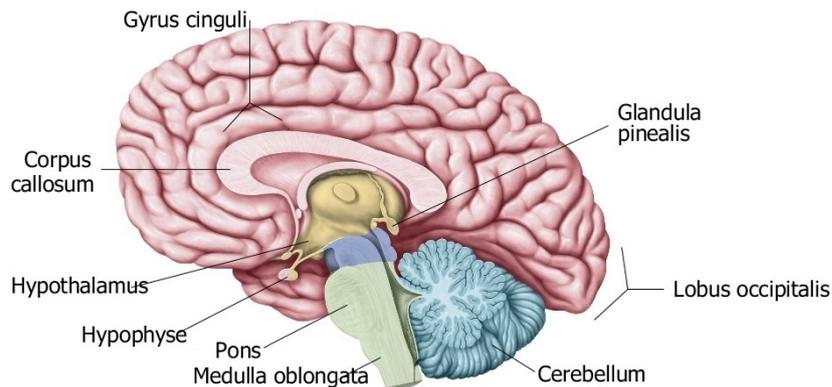


Abbildung 7.8.: Median-Sagittal-Schnitt mit Ansicht der medialen Fläche der rechten Hemisphäre (Quelle: [112])

Tabelle 7.1.: Legende zum Median-Sagittal-Schnitt

Farbe	Bestandteil	Abschnitt
Grün	Mark und Brücke	siehe 7.5.1
Petrol	Kleinhirn	siehe 7.5.2
Violett	Mittelhirn	siehe 7.5.3
Gelb	Zwischenhirn	siehe 7.5.4
Rot	Großhirn	siehe 7.5.5

7.5.1. Verlängertes Mark und Brücke

Der Aufbau des verlängerten Marks, siehe unterer grüner Bestandteil in Abbildung 7.8, ist vergleichbar mit dem des Rückenmarks (siehe Abschnitt 7.7). Durch die anschließende Brücke, siehe oberer grüner Bestandteil in Abbildung 7.8, wird zwischen dem Rückenmark - also dem restlichen Körper - und dem Kleinhirn eine Verbindung zu dem (zentralen) Nervensystem hergestellt [100, S. 549 ff.] [250, S. 105 ff.].

7.5.2. Kleinhirn

Das wie ein Rucksack, siehe Bestandteil in Petrol in Abbildung 7.8, angehängte Kleinhirn (Cerebellum) übernimmt Aufgaben bei der Feinabstimmung von Bewegungen, dem Halten des Gleichgewichts und dem Muskeltonus⁶⁷ [250, S. 106].

⁶⁷Muskeltonus: Spannungszustand des Muskels [100, S. 549 ff.].

7.5.3. Mittelhirn

Das an der Brücke anschließende Mittelhirn, siehe violetter Bestandteil in Abbildung 7.8, ist ebenfalls für die Kontrolle von Bewegungen zuständig, aber primär auf die unwillkürlichen Mitbewegungen [250, S. 107].

7.5.4. Zwischenhirn

Im Zwischenhirn, siehe gelber Bestandteil in Abbildung 7.8, befindet sich unter anderem der Thalamus, der Hypothalamus und die Hypophyse. Dabei nehmen die drei Bereiche unterschiedliche Aufgaben wahr:

- **Thalamus**
Der Thalamus ist eine zentrale Schaltstation für unterschiedliche sensible Nervenbahnen unter anderem für Schmerz, Temperatur, Druck, Berührung, Sehen und Hören [100, S. 546 ff.].
- **Hypothalamus**
Dieser lebenswichtige Bereich ist unter anderem für folgende Aufgaben zuständig [46, S. 23] [100, S. 546 ff.]: Kontrolle der Körpertemperatur, Regulation des Wasserhaushalts, Schlaf-Wach-Rhythmus, Steuerung der Nahrungsaufnahme und die Kontrolle über das vegetative Nervensystem (siehe Abschnitt 7.1).
Die Steuerung erfolgt durch hormonelle Befehle, welche an die Hypophyse weitergegeben werden (siehe Abbildung 7.4). Alternativ erfolgt die Abgabe direkt in das Blut. Somit ist der Hypothalamus die Nahtstelle zwischen dem Hormon- und Nervensystem [250, S. 106].
- **Hypophyse**
Bei der Hypophyse handelt es sich um das Hauptorgan der hormonellen Steuerung im menschlichen Körper. Dazu wird mit Hilfe der Steuerhormone - sogenannten Liberine⁶⁸ und Statine⁶⁹ - die Produktion und die Freisetzung der Hormone angestoßen [100, S. 546 ff.].

7.5.5. Großhirn

Im Großhirn, siehe roter Bestandteil in Abbildung 7.8, sitzen die höheren und somit die neueren Hirnfunktionen wie die logische Denkfähigkeit, die Sprache, das Bewusstsein und das Gedächtnis (siehe Abschnitt 7.6). Dabei ist das Großhirn in eine linke und rechte Hemisphäre aufgeteilt und mit dem Balken⁷⁰ verbunden. Welche Fähigkeiten⁷¹ in welcher Hemisphäre des Großhirns beheimatet sind, kann nicht generell gesagt werden. Häufig ist die Händigkeit ein äußerlicher Indikator für die Verteilung der Fähigkeiten auf die beiden Hemisphären [250, S. 123].

⁶⁸Liberine sind Hormone, welche die Hormonproduktion fördern [128, S. 337 ff.].

⁶⁹Statine sind Hormone, welche die Hormonproduktion vermindern [128, S. 337 ff.].

⁷⁰lat.: Corpus callonsum [255]

⁷¹Beispielsweise: Abstraktes Denken und Logik, Rechnen, Lesen und Schreiben [236, S. 56]

Neben den vier Lappen des Großhirns: Front- (rötlich), Parietal- (bläulich), Occipital- (grünlich) und Temporallappen (gelblich), sind in Abbildung 7.9 ebenfalls die funktionellen Areale der Großhirnrinde beschrieben. Dabei wird zwischen drei Arealtypen unterschieden: Dem sensorischen, dem motorischen und dem assoziativem Areal [255, S. 449 ff.].

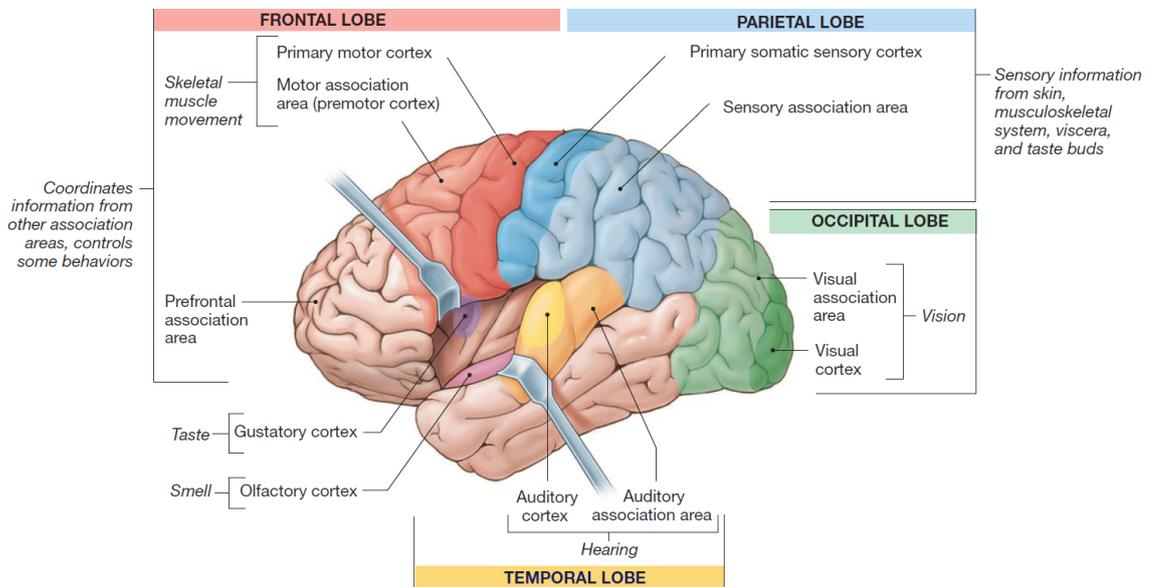


Abbildung 7.9.: Funktionelle Areale der Großhirnrinde (Quelle: [256, S. 306])

7.5.6. Interaktion zwischen den Hirnregionen

Die Interaktion der einzelnen beschriebenen Regionen im Gehirn und der Fluss von sensorischen und motorischen Information ist in Abbildung 7.10 dargestellt. In dieser Abbildung wird der Fokus auf das Gehirn gelegt und das restliche Nervensystem der Vollständigkeit wegen nur reduziert abgebildet.

Der Begriff „Hirnstamm“ ist ein Sammelbegriff und vereinigt folgende Bestandteile des Gehirns [286, S. 118]: Mittelhirn, das verlängerte Mark und die Brücke. Das Zerebellum ist ein Teil des Kleinhirns. Der Thalamus ist ein Bestandteil des Zwischenhirns [250]. Die Basalganglien ist eine Ansammlung von Kernen im Mark des Großhirns [286, S. 220]: Striatum (Nucleus caudatus und Putamen) und Pallidum. Die Hauptaufgabe der Basalganglien ist die Regulierung der Motorik. Dazu werden unter anderem die Bewegungsentwürfe aus den motorischen Rindfeldern durch propriozeptiven Rückmeldungen mit den tatsächlichen initiierten Bewegungen vergleichen und nach Notwendigkeit angepasst [45, S. 340]. Das Striatum ist eine der zentralen Schaltstellen für motorische Impulse, bei welcher die inhibitorische⁷² Funktion dominiert. Im Gegensatz dazu dominiert beim Pallidum die exzitatorische⁷³ Funktion [286, S. 220 ff.].

⁷²Die eine unterdrückende Wirkung aufweise [286, S. 220 ff.].

⁷³Die eine stimulierende Wirkung aufweisen [286, S. 220 ff.].

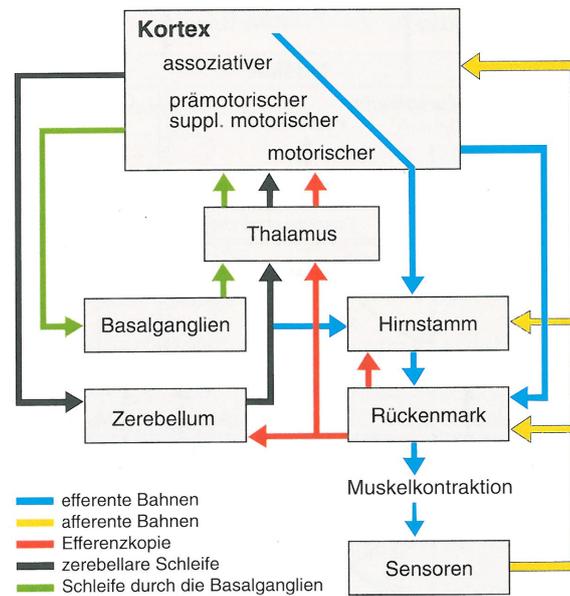


Abbildung 7.10.: Blockschaltbild der Gehirnregionen (Quelle: [93, S. 191])

7.5.7. Ausführung mehrerer Aufgaben gleichzeitig

Jeder Mensch hat eine unterschiedliche Menge⁷⁴ an Fähigkeiten. Neben dieser Einschränkung⁷⁵ kann diese Menge erneut eingeschränkt werden. Diese erneute Einschränkung ist die gleichzeitig durchführbaren beziehungsweise einzusetzenden Fähigkeiten. Wie in [246] beschrieben, ist es den meisten Menschen nur möglich mehrere Aufgaben gleichzeitig durchzuführen, wenn nur eine der durchgeführten Aufgaben ein bewusstes Denken beziehungsweise Handeln voraussetzt und die übrigen Aufgaben überwiegend automatisiert ablaufen [269, S. 82].

7.6. Gedächtnis

In der Literatur zum menschlichen Körper werden hauptsächlich zwischen vier Gedächtnisarten unterschieden, wie in Tabelle 7.2 aufgeführt.

Tabelle 7.2.: Gedächtnisarten im menschlichen Gehirn (Quelle: [250, S. 124 ff.])

Name	Art	Speicherdauer
sensorisches Gedächtnis	Ultrakurzzeit	kleiner 1 Sekunde
primäres Gedächtnis	Kurzzeit	Sekunden bis mehrere Minuten
sekundäres Gedächtnis	Kurzzeit	Minuten bis Jahre
tertiäres Gedächtnis	Langzeit	Lebenslang

⁷⁴Im Sinne der Mengenlehre aus der Mathematik

⁷⁵Von einer (wahrscheinlich) unendlichen Anzahl von existierender Fähigkeiten.

Wie Abbildung 7.11 zeigt, ist das Gedächtnissystem kaskadierend aufgebaut. Ausgangspunkt sind die Sinnesorgane von denen die Informationen zunächst in das sensorische Gedächtnis übertragen werden. Danach wird zwischen einer verbalisierten und unverbalisierten Weiterverarbeitung unterschieden. Die verbalisierten Informationen werden im primären Gedächtnis mit Hilfe von Assoziationsketten verknüpft um einen späteren Abruf zu ermöglichen. Im sekundären Gedächtnis werden die (aufbereiteten) Informationen aus dem primären Gedächtnis und die unverbalisierten Informationen aus dem sensorischen Gedächtnis abgelegt. Die letzte in der Literatur erwähnte Stufe der Kaskade ist das tertiäre Gedächtnis in dem die Informationen des sekundären Gedächtnis durch häufiges Üben lebenslang abgelegt sind. Um diese lebenslange Verfügbarkeit sicherzustellen, werden die Informationen dort redundant abgelegt [250, S. 124 ff.] [317, S. 342 ff.].

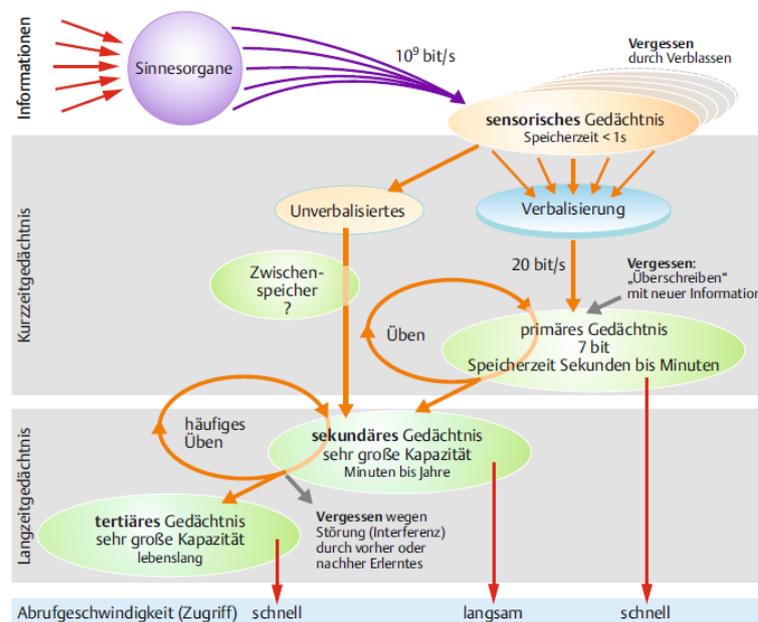


Abbildung 7.11.: Gedächtnissystem im menschlichen Körper (Quelle: [317, S. 345])

Neben den erwähnten vier Gedächtnisarten, existieren weitere Gedächtnisarten. Diese sind der Vollständigkeit halber in Tabelle 7.3 dargestellt, welche sich aufgrund der nachfolgenden Eigenschaften unterscheiden [317, S. 345]: Speicherart, Bedeutung und Speicherkategorie.

Tabelle 7.3.: Weitere Gedächtnisarten [317, S. 345]

Art	Abspeicherung von
deklaratives Gedächtnis	überwiegend Einzelereignissen
episodisches Gedächtnis	spezifischen Fakten und Tatsachen
semantisches Gedächtnis	Regeln
prozeduales Gedächtnis	Handlungsabläufen
Quellengedächtnis	Informationen über Ort und Zeit

7.7. Rückenmark

Neben dem Gehirn (siehe Abschnitt 7.5) ist das Rückenmark einer der beiden Bestandteile, welche dem ZNS zugeordnet ist. Die Aufgabe des Rückenmarks ist die Weiterleitung der Informationen zwischen dem Gehirn, den einzelnen Organen und dem Gewebe im Körper. Ebenfalls ist die Reflexbehandlung im Rückenmark angesiedelt (siehe Abschnitt 7.1). Das Rückenmark befindet sich in der Wirbelsäule aufgrund des Schutzes gegenüber mechanischen Beschädigungen. Der Übergang zwischen den beiden Bestandteilen ist das verlängerte Mark. Das Rückenmark wird in fünf Segmente unterteilt [250, S. 92 ff.]:

- 8 Halssegmente
- 12 Brustsegmente
- 5 Lendensegmente
- 5 Kreuzbeinsegmente
- 1-2 Steißsegmente

Neben dem ähnlichen Aufbau des Querschnitts des Rückenmarks (siehe Abbildung 7.12) und des Mittelhirns, besteht das Rückenmark, wie das Gehirn, ebenfalls aus einer grauen und weißen Substanz. In der grauen Substanz sind primär die Nervenzellen beheimatet, in der weißen Substanz die Nervenfasern, welche von oder zu den Organen oder dem Gewebe führen [250, S. 92 ff.].

Ebenfalls sind in Abbildung 7.12 die Spinalnerven abgebildet, welche von beziehungsweise zu jedem Rückenmarksegment führen. Dabei wird zwischen Vorder- und Hinterwurzel unterschieden. Die Vorderwurzel leitet den motorischen Befehl an die Peripherie weiter und die Hinterwurzel stellt den Gegenpart dar, welche die sensorischen Impulse zum Rückenmark leitet [250, S. 92 ff.].

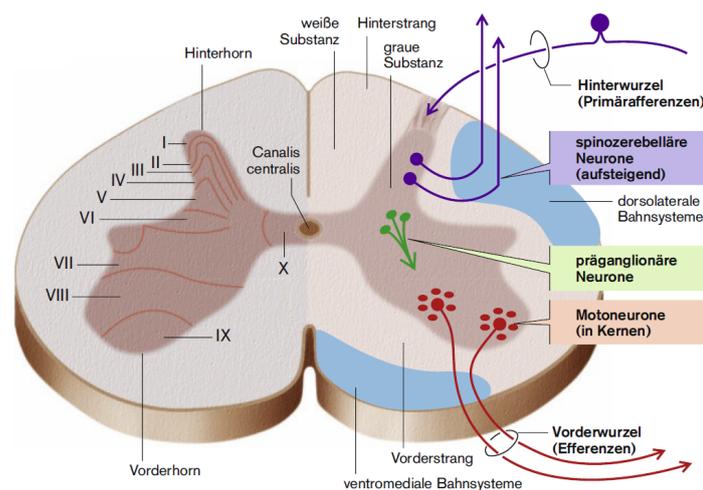


Abbildung 7.12.: Querschnitt des Rückenmarks mit afferenten und efferenten Fasern von den Rezeptoren und den Effektoren (Quelle: [213, S. 824])

7.8. Energie

Abbildung 7.13 zeigt den Hormonregelkreis (siehe Abschnitt 7.2) für die Energieversorgung des menschlichen Körpers. Angefangen mit dem Pankreas⁷⁶, welches mit Hilfe der beiden Steuerhormone - Glukagon und Insulin - das weitere Energiesystem steuert. Damit wird das Produktions- und Speicherungsverhalten und somit auch der Glukosegehalt - Blutzuckerspiegel - im Körper beeinflusst. Des Weiteren sind die unterschiedlichen Speicherplätze - Leber, Muskel und Fettgewebe - abgebildet [265, S. 45 ff.].

Im Körper existieren verschiedene Speicherorte zum Vorhalten von Energie, was im ersten Unterabschnitt beschrieben wird. Im zweiten Unterabschnitt wird das Verhalten der Energieversorgung bei Über- und Unterversorgung thematisiert. Die Energieumsätze im menschlichen Körper werden in drei Kategorien eingeteilt. Diese sind in Tabelle 7.4 zusammengefasst [47, S. 22 ff.].

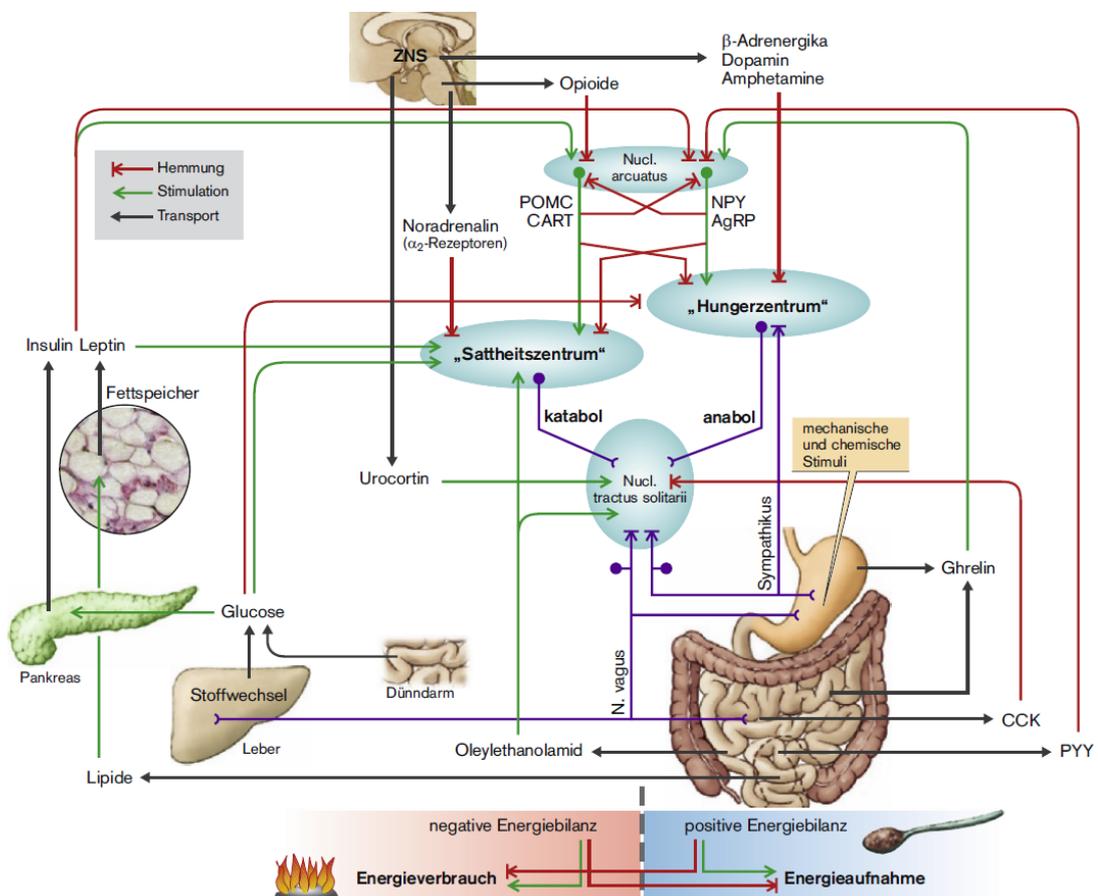


Abbildung 7.13.: Schematische Darstellung des Energiesystems im menschlichen Körper (Quelle: [213, S. 562])

⁷⁶lat.: Bauchspeicheldrüse

Tabelle 7.4.: Energieumsatzklassen im menschlichen Körper (Quelle: [47, S. 22 ff.])

Art	Anteil am gesamten Energieverbrauch
Lebenswichtige Funktionen (Grundumsatz)	60 - 75 %
Körperliche Aktivitäten	15 - 30 %
Nahrungsinduziert	6 - 10 %

7.8.1. Speicherung

Tabelle 7.5 gibt einen Überblick über die Strukturierung der Energiespeicherung im Körper. Zunächst zeigt die Tabelle die drei/vier unterschiedlichen Stoffarten die bei den Energiereserven verwendet werden. Auch die Speicherung der Energiereserven in den fünf oben erwähnten Gewebearten ist in Tabelle 7.5 enthalten. Des Weiteren wird ersichtlich, welches Gewebe wie viel Brennstoffreserven in Kilokalorie (kcal) speichert⁷⁷. Dabei speichert die Muskulatur hauptsächlich mobilisierbare Proteine und das Fettgewebe Triglyceride [47, S. 26 ff].

Tabelle 7.5.: Reserven am Beispiel eines 70kg schweren Mannes (Quelle: [47, S. 27])

	Blut	Leber	Gehirn	Muskel	Fettgewebe
Glucose oder Glycogen	60 kcal	390 kcal	8 kcal	1 200 kcal	80 kcal
Triglyceride	45 kcal	450 kcal	0 kcal	450 kcal	135 000 kcal
mobilisierbare Proteine	0 kcal	390 kcal	0 kcal	24 000 kcal	37 kcal

Im Fettgewebe wird ungefähr 80 % der Brennstoffreserven im menschlichen Körper vorgehalten. Die in der Muskulatur vorgehaltenen Proteine dienen als Vorstufen, welche vor dem Abruf in Glucose umgewandelt werden müssen. Um eine rasch verfügbare Energiereserve zu haben, ist in der Muskulatur zusätzlich eine kleine Menge an Glucose vorhanden, welche sofort zur Verfügung steht. Da der Körper nur beschränkte Möglichkeiten hat Glycogen zu speichern, wird überschüssige Glucose in Triglyceride umgewandelt. Das erzeugte Triglyceride wird anschließend in einer unlöslichen Form und somit osmotisch⁷⁸ inaktiv abgelagert. Dies ermöglicht eine langfristige Speicherung von Triglyceride [162, S. 372 ff.] [255, S. 1034 ff.].

Zusätzlich zu den Stoffen zur Speicherung von Energie, existiert der spezialisierte ATP (Adenosintriphosphat)-Stoff für die Energieübertragung, welcher von den einzelnen Zellen aufgenommen wird. ATP wird durch den Abbau von Glucose im Glycolyse-Prozess produziert [255, S. 154 ff.].

⁷⁷Eine relative Aufschlüsselung beziehungsweise Verteilung über dem Körper ist aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten nicht möglich.

⁷⁸Osmatische aktive Stoffe binden Wasser. Wird zu viel Wasser gebunden, platzen die entsprechenden Zellstoffe auf und eine Speicherung ist nicht mehr möglich [128, S. 108] [182, S. 293] [221, S. 168].

7.8.2. Verhalten

Des Weiteren existiert ein Unterschied bei der Abgabe der Reserven. Während die gespeicherten Brennstoffreserven von der Leber und dem Fettgewebe auch anderen Zellen bereitgestellt werden, werden die Brennstoffreserven in der Muskulatur nicht mehr abgegeben, sondern nur selbst von der jeweiligen Muskelzelle verbraucht. Damit bei einer plötzlichen Aktivitätssteigerung Brennstoff zur Verfügung steht [47, S. 26 ff].

Verbraucht der Körper mehr Energie als diesem zur Verfügung steht, sinkt der Glukose-spiegel im Blut. Ist eine starke Absenkung vorhanden wird von einer Hypoglykämie gesprochen. Ist dies der Fall, sind zunächst die höheren Gehirnfunktionen davon betroffen. Danach kann dies von einer Bewusstseinsstrübung und -losigkeit bis hin zu einer unwiederbringlichen Zerstörung von Gehirnzellen führen [250, S. 296 ff.] [254, S. 284].

7.9. Verstand und Gewissen

Der Verstand und das Gewissen eines Menschen ist ein Teil des Strukturmodells von Sigmund Freud⁷⁹. Dieses Strukturmodell entstand ungefähr im Jahr 1920 aus dem topischen Modell, welches ebenfalls von Freud im Jahr 1900 veröffentlicht wurde. Dieses wiederum entstand aus der damaligen bekannten Unterteilung des ZNS (siehe Abschnitt 7.1). In der Abbildung 7.14 sind diese drei Entwicklungsschritte dargestellt [72, S. 52 ff.].

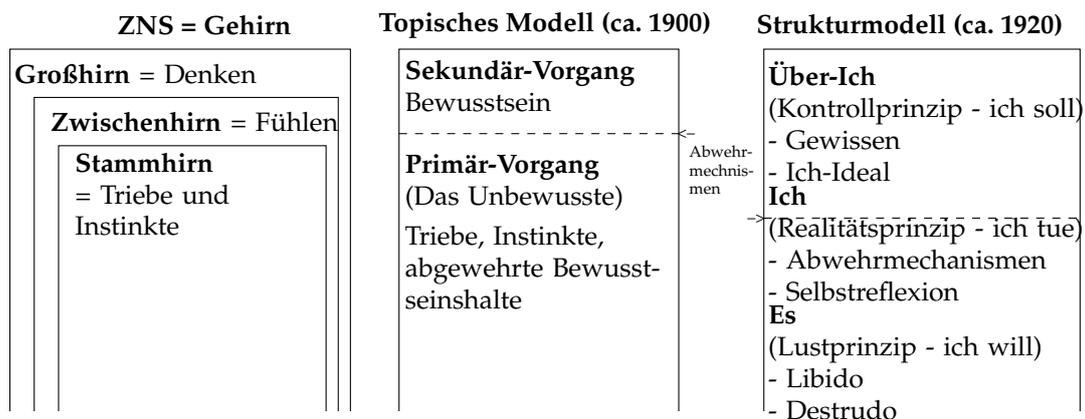


Abbildung 7.14.: Persönlichkeitstheorie der Psychoanalyse (Quelle: [72, S. 59])

Während in der vorherigen Abbildung 7.14 die grobe Struktur des Strukturmodells mit den drei Instanzen - Über-ICH, ICH und ES - zu sehen ist, kann in der nachfolgenden Abbildung 7.15 eine detaillierte Strukturierung entnommen werden. In der Abbildung ist für jede der drei Instanzen dargestellt, wie die Interaktion mit der (äußeren) Umwelt erfolgt, auf welcher Ebene das Bewusstsein angesiedelt ist und welche Kennzeichen⁸⁰ die jeweilige Instanz hat.

⁷⁹Sigmund „Sigmund“ Schlomo Freud, österreichischer Neurologe und Physiologe, Begründer der Psychoanalyse und der psychoanalytischen Psychotherapie (* 1856 – † 1939) [272, S. 160]

⁸⁰Im Sinne von Charakter, Eigenschaft und Funktion die jeweilige Funktion hat.

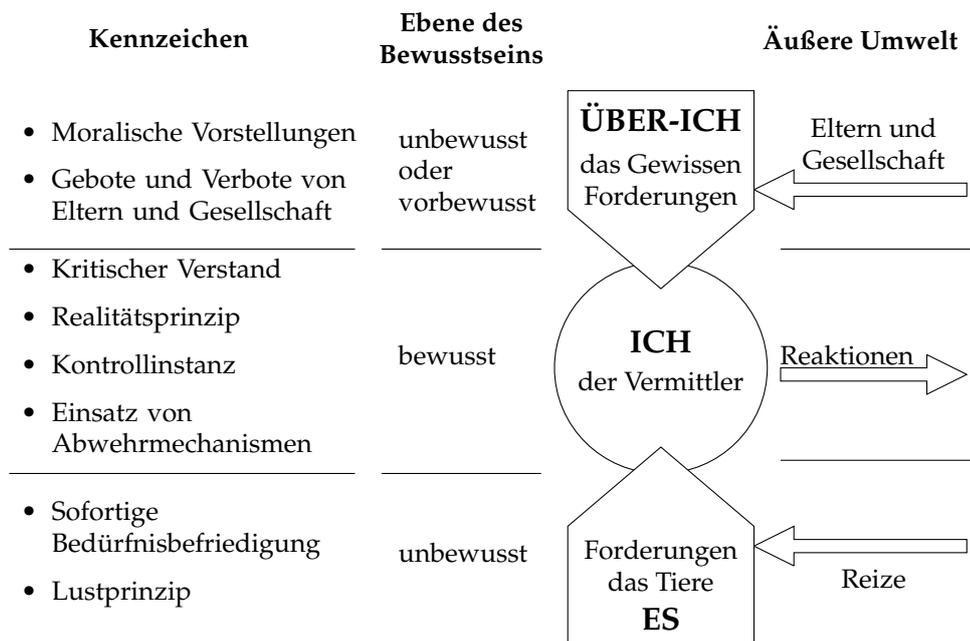


Abbildung 7.15.: Strukturmodell mit drei Instanzen der Persönlichkeit nach Freud (Quelle: [236, S. 40])

- **ÜBER-ICH - das Gewissen**
Die ÜBER-ICH-Instanz ist der Sitz der (eigenen) Werte und der moralischen Vorstellung. Dabei ist die Erziehung und das Verhalten der Eltern und der Gesellschaft die Einwirkungsfaktoren auf diese Instanz. Dies kann auch als die Wert- und Normvorstellung der einwirkenden Generation verstanden werden [236, S. 39 ff.].
- **ES - das Tier**
Die ES-Instanz ist primär prozesshaft und funktioniert nach dem Lustprinzip. Die sofortige Bedürfnisbefriedigung ist das Ziel dieser Instanz, ohne die Realität dabei zu betrachten. Dabei sind die (äußeren) Reize die Einwirkungsfaktoren dieser Instanz [236, S. 39 ff.].
- **ICH - der Vermittler**
Die ICH-Instanz stellt den Vermittler aus den beiden genannten Instanzen da. Dabei müssen eventuelle Konflikte, welche aufgrund von widersprechenden Forderungen der beiden Instanzen ergeben, gelöst werden. Dies wird mit Hilfe von logischer und orientierter Handlung durchgeführt und entspricht dem Realitätsprinzip. Dabei ist der kritische Verstand ein relevanter Bestandteil. Die Interaktion besteht darin, die „Reize“ aus den Instanzen aufzunehmen und in vermittelter Form an die Umwelt als Verhalten - die eigene Persönlichkeit - weiterzugeben [236, S. 39 ff.].

7.10. Wissensvermittlung

Sollen oder müssen neue Fähigkeiten und neues Wissen angeeignet werden, existieren unterschiedliche Formen. Dabei können Fähigkeiten und Wissen jeweils alleine beziehungsweise selbstständig (an)gelernt werden. In diesem Kontext sind die Lerntypen nach Vester [295] zu nennen. Ebenfalls ist dies im Rahmen einer Gruppe oder im Austausch, beispielsweise in einer Vorlesung oder auf einer (wissenschaftlichen) Konferenz, möglich. Je nach Quelle und übermittelter Information variiert die Verlässlichkeit und Vertrauenswürdigkeit, mit Hilfe des eigenen Verstands (siehe Abschnitt 7.9) und Erfahrung werden die aufgenommenen Informationen klassifiziert. Abhängig von der Klassifikation werden diese entweder verworfen oder in das Gedächtnis (siehe Abschnitt 7.6) aufgenommen beziehungsweise weiterverarbeitet [177, S. 967 ff.].

7.11. Evolution

Ein weiterer nicht physikalischer Bestandteil des menschlichen Körpers ist die Fähigkeit der Adaptation beziehungsweise der Anpassung. Der Begriff „*Evolution*“ wurde durch Herbert Spencer⁸¹ in den 1860er Jahren als die „*Veränderung von Arten*“ eingeführt. Während Charles Darwin⁸² in seinem „*The Origin of Species*“ [81] dies als „*gemeinsamer Abstammung mit Modifikation*“ bezeichnet hat [82, S. 99].

Darwin hat in „*Origin of Species*“ folgende fünf Haupttheorien aufgestellt [268, S. 29]:

- „*Evolution beruht auf gemeinsamer Abstammung.*“
- „*Organismen entwickeln sich ständig weiter.*“
- „*Arten vervielfachen sich im Laufe der Zeit.*“
- „*Die Evolution erfolgt in Form eines allmählichen Wandels.*“
- „*Der Evolutionsmechanismus beruht auf der Konkurrenz unter zahlreichen einzigartigen Individuen um begrenzte Ressourcen.*“

Die Änderung des äußeren Erscheinungsbildes, wie dies in Abbildung 7.16 dargestellt ist, ist eines der markantesten Merkmale der Evolution. Neben der Anpassung des Knochenbaus wurde ebenfalls der Aufbau und die Funktionsweise angepasst [150, S. 518] [250, S. 233]. Ein Beispiel ist dabei die Aufgabenteilung zwischen dem Hormon- und Nervensystem. Während die Aufgabenteilung zwischen den Systemen teilweise in vorherigen Evolutionsstufen unschärfer voneinander getrennt waren, ergibt die aktuelle Evolutionsstufe eine klarere Aufgabenteilung wie dies in Tabelle 7.6 dargestellt ist [250, S. 90].

Ein weiteres Beispiel der Evolution in Zusammenhang mit der Theorie von Darwin ist der Schutz vor Prionenkrankheiten⁸³. Prionenkrankheiten sind durch porteinartige infektiöse Partikel ausgelöste Krankheiten wie beispielsweise die Creutzfeldt-Jakob-Krankheit oder der Rinderwahnsinn, welcher als BSE (bovine sponiforme Enzephalopathie) bekannt ist

⁸¹Herbert Spencer, britischer Soziologe und Philosoph (* 1820 – † 1903) [94, S. 223]

⁸²Charles Robert Darwin, britischer Naturwissenschaftler (* 1809 – † 1882) [268, S. 20 ff.]

⁸³„*This is a striking example of Darwinian evolution in humans, the epidemic of prion disease selecting a single genetic change that provided complete protection against an invariably fatal dementia.*“ von John Collinge aus [153]

[36, S. 66 ff.] [187, S. 100]. In der Studie „*A naturally occurring variant of the human prion protein completely prevents prion disease*“ [26] wurde eine Genmutation in Papua New Guinea festgestellt, welche den Körper resistent gegen Prionenkrankheiten macht. Vermutet wird dabei eine Anpassung aufgrund der kulturellen Lebensweise der Einwohner [153, 231]. Die Fähigkeit der Evolution aufgrund von verschiedenen Einflussfaktoren ist ein weiterer wichtiger Baustein des menschlichen Körpers. Dies sichert die Anpassung und Lebensfähigkeit in unterschiedlichen Lebensräumen.

Ein weiteres Beispiel zur Evolution von Lebewesen ist die Anpassung von Vögeln unter anderem bezüglich ihrer Schnabelform und Ernährungsweise. Es wurde festgestellt, dass eine Mehrfachbesiedlung isolierter Inselregionen zu einer Artendiversität geführt hat. Obwohl diese aus einer gemeinsamen Festlandart stammen, sind diese unterschiedlichen Arten nur auf den Inseln zu finden. Beispiele sind die Darwin-Finken auf dem Galapagos-Archipel oder die Kleidervögel auf den Hawaii-Inseln [173, S. 221 ff.] [302, S. 626 ff.].

Tabelle 7.6.: Vergleich von Hormon- und Nervensystem (Daten aus: [250, S. 73] [317, S. 286, S. 412])

	Hormonsystem	Nervensystem
Aufgaben	Weiterleitung von Informationen	Aufnahme, Verarbeitung, Weiterleitung und Speicherung von Informationen
Zweck	Homöostase (Innere Regulierung)	Steuerung auf physischer (Steuerung, Reaktion, Reflexe, Bewegung) und psychischer (Gedanken, Gefühle, Verhaltensweisen) Ebene
Reaktionszeit	Typisch: 30 Minuten bis 3 Stunden Möglich: 5-10 Sekunden bis Monate	≥ 40 Millisekunden (Reflexe)
Wirkorte/Adressierung	Alle Zellen des Körpers (Vergleichbar mit Broadcast)	Spezifische Zellen (Vergleichbar mit Unicast)
Wirkrichtung	Efferent (vom Zentrum ausgehend)	Afferent (zum Zentrum gerichtet) und Efferent

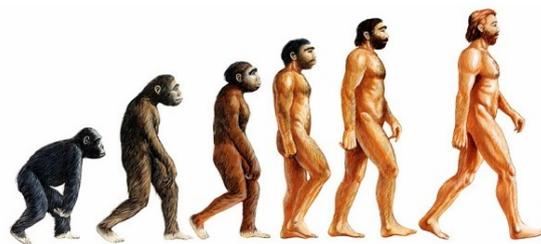


Abbildung 7.16.: Äußere Erscheinungsform der menschlichen Evolution (Quelle: [75])

8. Related Work

In diesem Kapitel werden relevante bionische Aktivitäten beschrieben, welche im Zusammenhang mit dieser Dissertation stehen. Wie in [61, S. 204 ff.] beschrieben, ist die Bionik im Fahrzeugbau beziehungsweise in der Fahrzeugindustrie bereits bekannt. So werden nachfolgend Projekte aus dem Fahrzeugbau (siehe Abschnitt 8.1) aufgelistet. Die aufgeführten Projekte beziehen sich entweder auf die Fahrzeugkonstruktion, den Herstellungsprozess oder auf die verwendeten Materialien.

Des Weiteren werden einzelne elektronische Komponenten (siehe Abschnitt 8.2) genutzt, bei denen die Natur als Vorbild genommen wurde. Teilweise unabhängig von der Automobilindustrie sind unterschiedliche Softwaremodelle (siehe Abschnitt 8.3) entstanden, welche ein biologisches Vorbild besitzen. Im vorletzten Abschnitt (siehe Abschnitt 8.4) wird eine Übersicht zu Projekten gegeben, welche einen Fokus auf den E/E-Bereich besitzen. Im letzten Abschnitt (siehe Abschnitt 8.5) werden Projekte beschrieben, welche sich mit bionischem Funktionsdesign befassen.

8.1. Fahrzeugbau

In diesem Abschnitt werden Bionik-Projekte aus dem Bereich des Fahrzeugbaus beschrieben. Die nachfolgenden Projekte beschäftigen sich mit der Struktur und der Form der Karosserie und der Sitze. Für diese Projekte wurden unterschiedliche Vorbilder verwendet. Sowohl am Beispiel der Karosserie als auch an den Sitzen zeigt sich, dass unterschiedliche Vorbilder existieren, um identische Ziele zu erreichen.

Bionic Car-Projekt

Das „Bionic Car“ (siehe Abbildung 8.1(b)) wurde 2005 von DaimlerChrysler vorgestellt. Bei diesem Projekt wurde der Kofferrisch (siehe Abbildung 8.1(a)) als Vorbild aus der Biologie genommen. Ziel war das Gewicht und den Luftwiderstand von Fahrzeugen und somit den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren [80].



(a) Das Vorbild aus der Natur ...



(b) ... und die technische Realisierung

Abbildung 8.1.: Bionic Car von DaimlerChrysler (Quelle: [80])

GENESIS-Projekt

EDAG⁸⁴ beschäftigt sich ebenfalls mit der Bionik in der Fahrzeugtechnik. So wurden im Projekt „EDAG GENESIS“ unter anderem zwei Themen aus der Biologie aufgegriffen. Neben der Materialstruktur wurde ebenfalls die gesamte Struktur einer Karosserie (siehe Abbildung 8.2) nach dem Vorbild der Natur entworfen. In diesem Projekt diente die Struktur von Schildkröten als Vorbild, um unter anderem den Insassenschutz zu verbessern [96].

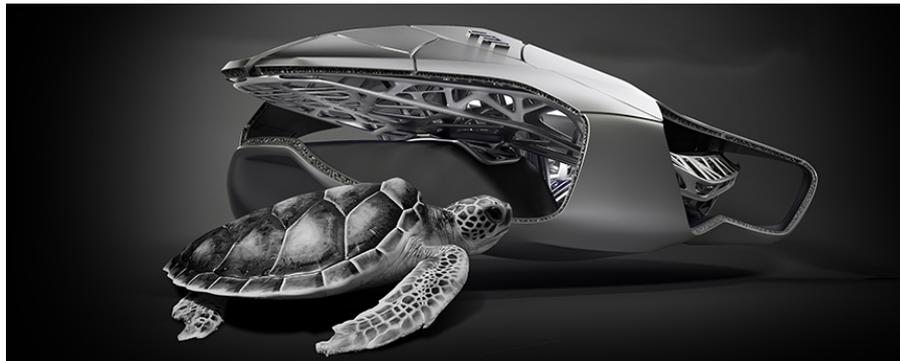


Abbildung 8.2.: EDAG GENESIS (Quelle: [96])

Light Cocoon-Projekt

Ein weiteres Projekt von EDAG ist das „EDAG Light Cocoon“-Projekt (siehe Abbildung 8.3), was eine Fortführung des GENESIS-Projektes ist. Bei dem Light Cocoon-Projekt wurde die Struktur eines Blattes als Konstruktionsvorbild für den Aufbau der Außenhaut genommen. Neben der Entwicklung einer neuartigen Struktur, wurde gemeinsam mit einem Entwicklungspartner ein Stoff entwickelt, welcher als Außenhaut dient [97].



Abbildung 8.3.: EDAG Light Cocoon (Quelle: [97])

⁸⁴Webseite: <http://www.edag.de>

Bionische Sitze

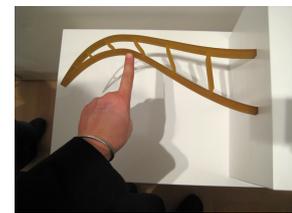
Im Rahmen eines Forschungsprojektes bei BMW wurden drei Sitze nach unterschiedlichen Vorbildern aus der Natur entworfen. Ziel war es, den Bauraum und das Gewicht von Fahrzeugsitzen zu reduzieren. Während der Ergositz (siehe Abbildung 8.5(b)) und Space Comfort Shell-Sitz (siehe Abbildung 8.5(c)) nach dem menschlichen Vorbild entworfen wurden, wurde bei dem Bionik-Sitz (siehe Abbildung 8.5(a)) der Flossenstrahleffekt⁸⁵ angewendet. Aufgrund des Flossenstrahleffektes krümmen sich Fischflossen selbstständig gegen die Druckrichtung. Diese Verhaltensart wird als inhärente Automatik bezeichnet. Abbildung 8.4 zeigt den Flossenstrahleffekt anhand eines Nachbau der Struktur einer Fischflosse [159] [205, S. 108].



(a) Flossenstrahleffekt in unbelasteter Situation



(b) Flossenstrahleffekt in einer ersten belasteten Situation



(c) Flossenstrahleffekt in einer zweiten belasteten Situation

Abbildung 8.4.: Flossenstrahleffekt bei zwei Drucksituationen (Quelle: [38])

Der Ergositz (siehe Abbildung 8.5(b)) wurde nach dem Aufbau des menschlichen Skeletts entworfen, um eine optimale Konturanpassung an die Rücken-anatomie zu ermöglichen. Bei dem Space Comfort Shell-Sitz (siehe Abbildung 8.5(c)) wurden hingegen unterschiedliche Sitzprofil mit Hilfe einer Vakuummatratze erstellt, um eine optimale Konturanpassung zu erreichen [157, S. 736 ff.].



(a) Bionik-Sitz (In Ausgangssituation (schwarz) und bei einer Drucksituation (rot))



(b) Ergositz



(c) Space Comfort Shell-Sitz

Abbildung 8.5.: Fahrzeugsitze nach dem Vorbild der Natur (Quelle: [157, S. 738, 739, 741])

⁸⁵Ebenfalls als Fin Ray-Effekt bekannt.

8.2. Elektronische Komponenten

Neben der Mechanik (siehe Abschnitt 8.1) werden im E/E-Bereich einige Komponenten verwendet, welche ebenfalls aus der Wissenschaftsdisziplin der Bionik stammen. Beispielsweise ist die Radartechnologie beziehungsweise die Radarsensorik zu nennen, bei der das SONAR aus der Tierwelt als Vorbild genommen wurde [227, S. 53].

Während die genannten Komponenten bereits im produktiven Einsatz sind, existieren Forschungsprojekte mit dem Ziel, Prozessoren nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns (siehe Abschnitt 7.5) zu strukturieren. Dies wird als Neuromorphic Computing (siehe Abschnitt 4.5) bezeichnet und ist dem Natural Computing-Bereich „*Computing inspired by nature.*“ (siehe Abschnitt 4.4) zuzuordnen. Nachfolgend werden verschiedene Forschungsprojekte aufgeführt, welche in diesem Bereich aktiv sind [130, S. 17 ff.]:

- **Truenorth**
Das Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung/Spezifikation eines energieeffizienten Chips für Anwendungen in den Bereichen mobile Sensoren und Cloud Computing. Im Gegensatz zu den anderen in diesem Abschnitt beschriebenen Projekten wird ein eigener digitaler Chip genutzt. Dazu werden eine Million Neuronen mit 256 Millionen Synapsen auf einem Chip kombiniert. Bisher wurden maximal 16 Chips verschaltet, was zu einer Gesamtanzahl von 16 Millionen Neuronen und 4 Milliarden Synapsen führte. Die Leistungsdichte liegt bei 20 mW/cm^2 [130, S. 17 ff.] [252] [300].
- **Neurogrid**
Das Hauptmerkmal ist das originalgetreue Simulieren des Gehirnverhaltens. Bei den Anwendungen liegt der Fokus auf autonomen Robotern. Dazu wird ein eigener analoger Chip genutzt. Ein Chip besteht aus 65.536 Neuronen und 375.000 Synapsen. Ebenfalls wurden bei diesem Projekt maximal 16 Chips miteinander verschaltet, was eine Gesamtkapazität von einer Million Neuronen und 8 Milliarden Synapsen ergibt. Diese Zusammenschaltung wird alternativ auch als ein Neurogrid bezeichnet. Diese Umsetzung weist eine Leistungsdichte von 50 mW/cm^2 auf [130, S. 17 ff.] [194] [300].
- **HRL SyNAPSE**
Der Fokus liegt auf einer biologisch getreuen Umsetzung des Gehirns mit Lehrfähigkeit auf einem Chip, welcher rein analog umgesetzt wurde. Um dies zu erreichen sind 576 Neuronen und 73.000 Synapsen auf einem Chip plaziert. Mit vier Chips wurden in der größten Konfiguration 2.304 Neuronen und 292.000 Synapsen eingesetzt. Die Leistungsdichte entspricht 120 mW/cm^2 [130, S. 17 ff.] [203] [300].
- **SpiNNaker**
Das Projekt ermöglicht energieeffiziente, umfangreiche digitale Modelle des Gehirns, was das Verständnis von Gehirnerkrankungen verbessern soll. Anders als bei den anderen aufgeführten Projekten wird ein ARM (Acorn RISC Machines)-Prozessor verwendet. In diesem Rahmen befinden sich bis zu 16.000 Neuronen und 16 Millionen Synapsen auf einem Chip. In der größten Konfiguration wurden 1.152 Chips mit bis zu 20 Millionen Neuronen und 20 Milliarden Synapsen genutzt. Diese Umsetzung hat eine Leistungsdichte von 1.000 mW/cm^2 [130, S. 17 ff.] [300].

- HICANN

Das Leistungsmerkmal dieses Projektes ist die Simulation der Gehirnaktivitäten mit 10.000-facher Geschwindigkeit. Dadurch kann ein ganzer Tag innerhalb von 10 Sekunden simuliert werden. Das Ziel von HICANN ist das Lernverhalten und die Veränderung des Gehirns durch eigenes Wissen und Erfahrungen zu verstehen. Dazu besteht bei diesem Projekt ein Chip aus 512 Neuronen und 144.688 Synapsen, welche zu einer Gesamtkapazität von 1,2 Millionen Neuronen und 300 Millionen Synapsen verschaltet wurden. Diese Umsetzung hat eine Leistungsdichte von 3.000 mW/cm² [130, S. 17 ff.] [300].

Neben Aktivitäten, Hardware nach dem bionischen Ansatz zu entwerfen, wird ein biotechnologischer Ansatz ebenfalls verfolgt. Diese Aktivitäten entsprechen der Kategorie „*Computing with natural material*“ der Natural Computing-Disziplin (siehe Abschnitt 4.4). In diesem Teilbereich ist beispielsweise der Ansatz des „*Molecular Computing*“ (siehe [15]) einzuordnen. Anstelle von Silicium werden biologische Stoffe, beispielsweise Moleküle, zur Speicherung von Informationen verwendet. Für die Berechnungen werden die Reaktionen zwischen den Molekülen genutzt [68, S. 13 ff.].

8.3. Software Engineering

Wie in [9] beschrieben, existieren unterschiedliche Softwaremodelle, welche von der Biologie abgeleitet sind. Diese entsprechen häufig dem MAPE- oder SMPA-Ansatz (siehe Abschnitt 6.7). Im Automobilbereich existieren keine einheitlichen Prinzipien, wie das Softwaremodell einer ECU aufgebaut ist. Vielmehr ist es zulieferer- und domänenspezifisch. Diese Situation führt zu einer starken Fragmentierung, ein einheitlicher Ansatz ist daher nicht vorhanden.

Vereinzelt werden Software-Komponenten in einzelnen Domänen entsprechend eines Rasters eingeteilt. So werden Komponenten im Antriebsbereich in Navigations-, Bahn- und Regelungsebene klassifiziert [188, S. 14]. Diese Klassifizierung erfolgt aufgrund der Schnelligkeit und Genauigkeit der Ergebnisse. Tabelle 8.1 fasst einen Teil relevanter Steuerungsmodelle zusammen, welche aus [9] entnommen wurden. Das VSM (Viable System Model)-Modell von Stefford Beer²⁵ ist aus Gründen der Vollständigkeit in der Tabelle aufgeführt, da dieses Modell die Grundlage sowohl für das fEPM- als auch für das OC-Modell genutzt wurde.

Tabelle 8.1.: Übersicht der bekannten Modelle (Quelle: [9])

	VSM	NASREM	fEPM	OC
Anzahl der Schichten	5	6	5	5
Ursprungsjahr	1972	1985	2006	2010
Haupteigenschaft	Erstes biologisches Modell	2D-Schichtenmodell	Technisches VSM	Lernfähigkeit

8.3.1. NASREM-Modell

Das NASREM (NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture)-Modell ist ein hierarchisches funktionsorientiertes Architekturmodell, welches im Rahmen des Flight Tele Robot Project von der NASA (National Aeronautics and Space Administration) entwickelt wurde. Wie in Abbildung 8.6 dargestellt ist, erfolgt sowohl in der vertikalen als auch in die horizontale Dimension eine Aufteilung.

In vertikaler Dimension wird zwischen sechs Control-Ebenen unterschieden: Servo-Coordinate Transform, Primitive, Elemental Move, Objekt/Task, Service-Bay Control und Operation Control. In der Servo-Coordinate Transform-Ebene werden die Koordinaten umgerechnet und Befehle werden an die Aktoren weitergegeben. In der Primitive-Ebene wird die mechanische Dynamik berechnet. In der Elementare-Ebene werden Einschränkungen erkannt und vermieden. In der Objekt-Task-Ebene werden Aufgaben in Bewegungsbeefehle transformiert. In der Service-Bay Control-Ebene wird die Reihenfolge der Aufgaben berechnet. In der Operation Control-Ebene werden die notwendigen Aufgaben aufgrund von Vorgaben berechnet [21, S. 1 ff.].

Horizontal kann auf jeder Ebene zwischen drei Modulen unterschieden werden. Die Sensor-Module sind für die Verarbeitung der Informationen aus der Sensorik verantwortlich. Aus diesen Informationen wird auf jeder Ebene eine Weltmodellierung durchgeführt. Diese Informationen werden entweder an die Sensor-Module zurückgespielt oder an die Module zur Aufgabenerlegung übergeben. Die Module der Aufgabenerlegung haben die Aufgabe komplexe Aktionen in rudimentäre Aktoraktionen zu zerlegen, sowie deren zeitliche Koordination [21, S. 1 ff.].

Ergänzend existieren mit dem „globalen Speicher“ und dem „Operator Interface“ zwei ebenenübergreifende Komponenten. Das Operator Interface dient zur Überwachung und Kontrolle des gesamten Systems. Der globale Speicher ist ein logischer Speicher zum Austausch und zur dauerhaften Speicherung der Informationen [21, S. 13 ff.].

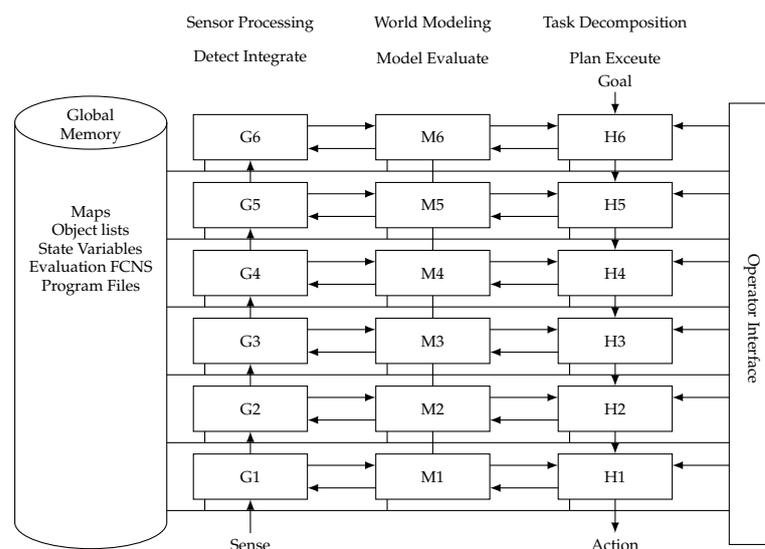


Abbildung 8.6.: Das NASREM-Modell der NASA (Quelle: [21])

8.3.2. fEPM - flexibles Energie und Power Management-Modell

Wie in [9] beschrieben, entstand das fEPM-Modell aus der Kombination von Aspekten aus der Biologie und Management. Als Vorbildmodell wurde das VSM verwendet. Dazu wurden die Bestandteile aus dem VSM in ein Softwaremodell transformiert. Wie in Abbildung 8.7 zu sehen ist, besteht das transformierte Modell aus fünf Systemebenen, einem Interaktionsmodell und einem Modul für Tendenzen.

In Systemebene 1 sind hauptsächlich die Systemgrößen enthalten, welche durch die physikalischen Komponenten des Energiesystems definiert sind. In Systemebene 2 werden die in Systemebene 1 enthaltenen Systemgrößen zu Kennzahlen aggregiert. In Systemebene 3 wird aus den Kennzahlen und der Analyse des zeitlichen Verlaufs der Systemgrößen der Systemzustand ermittelt. In Systemebene 4 werden die Daten aus dem Systemzustand mit den Daten des externen Zustands kombiniert, um daraus ein Zustandsbild erzeugt. Für den externen Zustand werden Informationen aus dem Interaktionsmodell verwendet. In Systemebene 5 enthält die Betriebsstrategie, welche das Verhalten des ganzen Systems definiert und die einzelnen Stellwerte regelt. Im Interaktionsmodell werden relevante Informationen über das Fahrzeug, den Fahrer und der Umwelt abgelegt. In dem Tendenzen-Modul wird aus dem zeitlichen Verlauf der Systemgrößen aus Systemebene 1 die möglichen Entwicklungen abgeleitet [9].

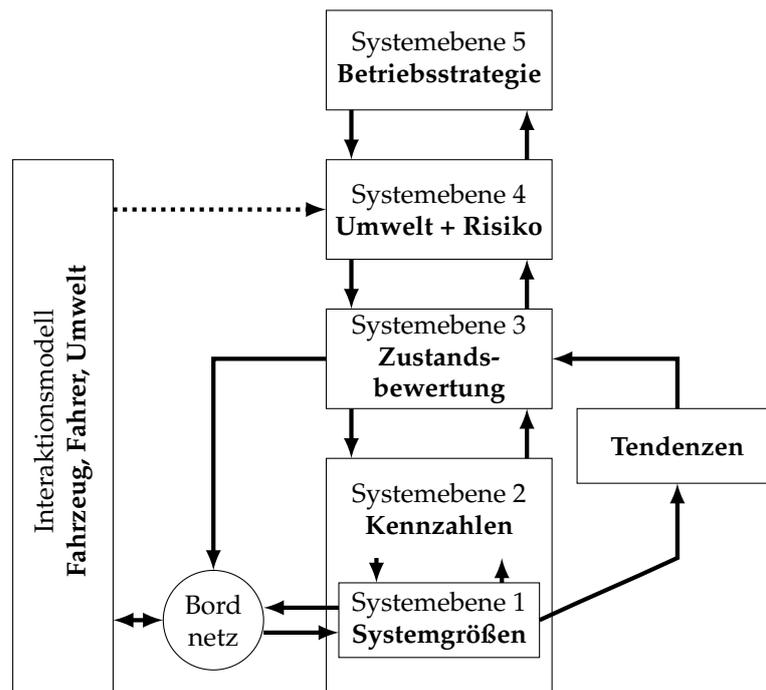


Abbildung 8.7.: Schichtenarchitektur des fEPM-Modelles (Quelle: [9])

8.3.3. Organic Computing-Modell

Wie im Abschnitt 4.10 beschrieben, wurde das OC-Modell im Rahmen der OC-Initiative bei unterschiedlichen Projekten (siehe Abschnitt 8.5) angewendet. Wie in [201, S. 1 ff.] beschrieben, besteht das OC-Modell aus fünf Schichten (siehe Abbildung 8.8), welche sich in drei Bereiche aufteilen. Das Modell nutzt das MAPE-Prinzip (siehe Abschnitt 6.7) [284, S. 325 ff.].

Die Reflex-Schicht enthält einfache Regelalgorithmen, um eine schnelle Reaktion zu gewährleisten. Als Erweiterung existieren darüber zwei weitere Softwareschichten (KI- und EA-Schicht) jeweils mit einem Observer und Controller. Die beiden Schichten werden anhand der verwendeten Algorithmen und der Reaktionszeit unterschieden. Während die untere der beiden Schichten LCS (siehe Abschnitt 6.1.2) zur Parameterauswahl in Echtzeit einsetzt, wird in der oberen Schicht EA verwendet, damit eine Parameteroptimierung durchgeführt werden kann. Diese Parameteroptimierung erfolgt offline und wird mit Hilfe von Simulation evaluiert. Mögliche Informationen sind Sensordaten, Abgleich von Zielen oder die kooperative Aktionsplanung [201, S. 1 ff.] [202, S. 615 ff.].

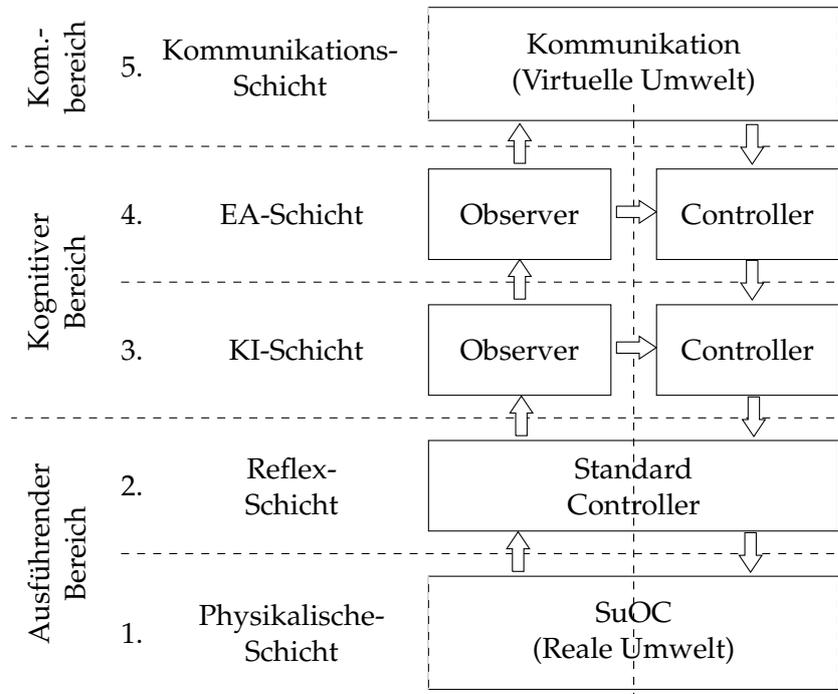


Abbildung 8.8.: Schichtenarchitektur des OC-Modelles (Quelle: [9])

8.4. Elektrischer/Elektronischer-Bereich

In diesem Abschnitt werden unterschiedliche Aktivitäten von bioinspirierten Ansätzen im Zusammenhang der E/E-Architektur beschrieben. Im Gegensatz zum Abschnitt 8.2 werden nicht einzelne Hardware-Komponente betrachtet, sondern der konkrete Anwendungsfall der E/E-Architektur. Stellvertretend für alle Projekte wird nachfolgend jeweils ein Projekt mit Fokus auf die Hard- und Software-Ebene einer E/E-Architektur betrachtet:

- **Bionisches Energiebordnetz**
In [175, S. 59 ff.] ist die Idee eines bionischen E/E-Bordnetzes (siehe Abschnitt 5.1) beschrieben. Dabei liegt der Fokus auf dem Kabelbaum im Fahrzeug. Bei dieser Idee wird der Mensch als Vorbild für die Gestaltung des E/E-Kabelbaums genutzt. Ein Hauptmerkmal der Idee ist die Verwendung dezentraler Energiespeicher. Dadurch ist ein geringerer Leitungsquerschnitt möglich was zu einer Reduzierung des Gewichts führt. Durch diese Dezentralisierung kann ebenfalls die funktionale Sicherheit erhöht werden [98] [99].
- **EvoArch-Projekt**
In [125, S. 212 ff.] ist das EvoArch-Projekt beschrieben. Im Rahmen dieses Projektes wird die nicht-funktionale Eigenschaft der Selbstorganisation aufgegriffen und als evolutionäre Weiterentwicklung der E/E-Architektur genutzt. Durch die Beschreibung von verschiedenen Aspekten wird eine automatisierte „Partnersuche“ zwischen Schalter beziehungsweise Sensor und Aktor ermöglicht [125, S. 212 ff.] [184, S. 121].

Neben den aufgeführten Industrieprojekten, wurden verschiedene Dissertationen (siehe [89], [152], [158], [287]) durchgeführt, die ebenfalls der Bionik (siehe Abschnitt 4.1) zuzuordnen sind.

8.5. Weitere Projekte

In diesem Abschnitt werden unterschiedliche Aktivitäten aufgeführt, die ebenfalls bionische Vorbilder für das Funktionsdesign verwenden. Teilweise entstammen diese Projekte aus der OC-Initiative (siehe Abschnitt 4.10). Alle Projekte vereint die Zielsetzung, nicht-funktionale Eigenschaften aus biologischen in technische Systeme zu überführen. Dazu werden jeweils eine oder mehrere Self-X-Eigenschaften (siehe Abschnitt 4.10) verfolgt [202, S. xix ff.]:

- **Architecture and Design Methodology for Autonomic Systems on Chip**
Bei diesem Projekt wurden System-On-Chips Komponenten mit Elementen für autonome Funktionalität erweitert. Ziel ist, dass diese Chips eine eigenständige Konfiguration und Optimierung während des Betriebes durchführen. Ein Ergebnis des Projektes war unter anderem die Optimierung der Videoverarbeitung auf Multi-Core-Prozessoren (siehe Abschnitt 4.12) [55, S. 413 ff.] [84] [316, S. 461 ff.].
- **Digital On-Demand Computing Organism for Real-Time Systems**
Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Self-X-Hardware (siehe Abschnitt 4.10) Ar-

chitektur mit den Fokus auf Many-Core-Prozessoren (siehe Abschnitt 4.12) entwickelt. Dazu wurde nicht nur die Hardwareebene betrachtet, sondern das Projekt beinhaltet zusätzlich die Kommunikationsmiddleware als zweite und die Steuerungsebene als dritte Ebene [85] [95, S. 353 ff.].

- Organic Traffic Control

Das Projekt hat sich mit einer organischen Verkehrssteuerung beschäftigt. Projektziel war die selbstständige Anpassung der Regelsätze (Schaltzeiten von Ampeln, etc.) anhand des aktuellen Verkehrsaufkommens. Dazu wurde die Ampel- und Verkehrssteuerung zu einer vernetzten Steuerung nach dem OC-Prinzip erweitert [86] [220, S. 431 ff.].

Die aufgeführten Projekte zeigen ausschnittsweise die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Bionik in technischen Systemen.

Teil III.

Konzept

9. Abgeleitete Erkenntnisse

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse, die aus der Betrachtung des menschlichen Körpers gewonnen wurden, zusammengefasst. Die Übertragung auf eine E/E-Architektur erfolgt in Bausteinen und betrachtet die logische und technische Schicht einer E/E-Architektur. Tabelle 9.1 enthält eine Übersicht der gewonnenen Erkenntnisse sowie deren Einflüsse auf die E/E-Architektur. In Kapitel 10 und 11 werden die Einflüsse nach Gesichtspunkten der Technik geordnet und im Detail beschrieben.

Tabelle 9.1.: Transfertabelle der gewonnenen Kenntnisse

Mensch	Extrahierte Kenntnisse	Kombination mit/Umsetzung in technische Verfahren
Nervensystem (siehe Abschnitt 7.1)	Softwarearchitektur	COS-Schichten (siehe Abschnitt 11.1.1)
	Topologie des Datenbordnetzes	Stern/Erweiterter Stern (siehe Abschnitt 11.2.1)
	Kommunikation	Unicast (siehe Abschnitt 11.2.1)
Hormonsystem (siehe Abschnitt 7.2)	Kommunikation	Broadcast (siehe Abschnitt 11.2.1)
		Datenzentriert (siehe Abschnitt 11.2.3)
	Funktionsarchitektur	Dezentrale/Lokale Regel (siehe Abschnitt 11.2.3)
Blutkreislauf (siehe Abschnitt 7.3)	Hardwarearchitektur	PLC (siehe Abschnitt 11.2.1)
	Topologie des Energiebordnetz	Bus (siehe Abschnitt 11.2.2)
Blut (siehe Abschnitt 7.4)	Energie	Kabelbaum als Speicher (siehe Abschnitt 11.2.2)
Gehirn (siehe Abschnitt 7.5)	Funktionsarchitektur	COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1)
	Funktionsverteilung	Funktionspartitionierung (siehe Abschnitt 11.3.1)
		Ausführungsorte (3C (Car, Consumer Device, Cloud)) (siehe Abschnitt 11.3.1)
	Hardwarearchitektur	Verfügbare Ressourcen (siehe Abschnitt 11.2.6)

Tabelle 9.1.: Transfertabelle der gewonnenen Kenntnisse

Mensch	Extrahierte Kenntnisse	Kombination mit/Umsetzung in technische Verfahren
Gedächtnis (siehe Abschnitt 7.6)	Datenmanagement	Datenverwaltung (siehe Abschnitt 11.1.3)
Rückenmark (siehe Abschnitt 7.7)	Softwarearchitektur	COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1)
	Hardwarearchitektur	Backbone/Zentrale Zone (siehe Abschnitt 11.3.2)
Wissensvermittlung (siehe Abschnitt 7.10)	Datenmanagement	3C-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1)
		Datenzugriff (siehe Abschnitt 11.2.5)
Evolution (siehe Abschnitt 7.11)	Dynamische Konfiguration/ Selbstständige Anpassung	COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1)
		Flexible Konfiguration (bspw. siehe Abschnitt 11.2.1)

10. Grobkonzept der bionischen E/E-Architektur

In diesem Kapitel wird ein Überblick über das erarbeitete Konzept gegeben. Zum besseren Verständnis wird eine Strukturierung der E/E-Architektur nach Schichten (siehe Abbildung 5.1) verwendet.

Generell sieht das Konzept vor, dass die E/E-Architektur nicht durch die Karosserie begrenzt wird, sondern darüber hinausgeht und somit zu einem übergreifenden E/E-System wird. Aus diesem Grund besteht die Softwarearchitektur (siehe Abschnitt 10.2) und die Vernetzungsarchitektur (siehe Abschnitt 10.3) aus Komponenten, welche sich sowohl innerhalb (On-Board) als auch außerhalb (Off-Board) des Fahrzeugs befinden. Auf den On- und Off-Board Komponenten sollen dynamisch, kooperativ und ortsunabhängig Funktionsanteile ausgeführt werden und als Informationsquelle genutzt werden, wie dies auch im alltäglichen Zusammenleben bei Menschen erfolgt.

10.1. Funktionsumfang

Eine Betrachtung von ausgewählten Kunden- als auch Systemfunktionen erfolgt im Rahmen der Evaluierung (siehe Abschnitt 12). Im Rahmen des Konzepts erfolgt eine Betrachtung der unteren drei Schichten der verwendeten Strukturierung (siehe Abbildung 5.1).

10.2. Funktions- und Softwarearchitektur

Im Rahmen dieser Dissertation wurde für die Funktions- und Softwarearchitektur (siehe Abschnitt 11.1) das COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1) definiert. Vergleichbar mit den menschlichen Verarbeitungsschichten besteht dieses aus fünf Schichten, davon drei Schichten für die eigentliche Informationsverarbeitung, und wird verteilt im Fahrzeug ausgeführt. Ebenfalls basierend auf dem Menschen erfolgt eine verteilte Datenspeicherung (siehe Abschnitt 11.1.3).

10.3. Vernetzungsarchitektur

Die vom menschlichen Körper abgeleitete Vernetzungsarchitektur (siehe Abschnitt 11.2) für das Fahrzeug besteht aus zwei getrennten, unabhängigen Datenbordnetzen (siehe Abschnitt 11.2.1), wobei ein Unicast- und ein Broadcast-Bussystem verwendet wird. Beide Bussysteme sind im kompletten Fahrzeug verfügbar und alle Komponenten werden mit beiden Bussystemen verbunden.

Für das Unicast-Bussystem bestehen zwei leicht unterschiedliche Topologievarianten (siehe Abbildung 11.2), welche aufgrund unterschiedlicher Auslegungen der gewonnenen

Kenntnisse entstanden sind. Für das Broadcast-Bussystem werden die Leitungen und somit die Topologie der Energieversorgung (siehe Abschnitt 11.2.2) genutzt.

Aufgrund der datenzentrierten Kommunikation (siehe Abschnitt 6.3.4) wird eine regelbasierte Steuerung (siehe Abschnitt 11.2.3) mit einer SQL (Structured Query Language)-basierten Schnittstelle (siehe Abschnitt 11.2.4) eingesetzt, um einen flexiblen Datenzugriff (siehe Abschnitt 11.2.5) zu ermöglichen.

Ebenfalls wird in dieser Schicht die Partitionierung der Software-Komponenten (siehe Abschnitt 11.2.6) betrachtet. Auf einer ECU werden mehrere COS-Schichten unterschiedlicher Funktionen partitioniert. Vergleichbar zum menschlichen Gehirn (siehe Abschnitt 7.5.7), werden die COS-Schichten, primär die Intelligenz- und Strategie-Schichten, nicht fortwährend ausgeführt, sondern abwechselnd ausgeführt. Dadurch ist eine Ressourceneinsparung möglich, was sich durch die Virtualisierung vorteilhaft umsetzen lässt.

10.4. Komponententopologie

Auf der Ebene der Komponententopologie (siehe Abschnitt 11.3) wurden zwei unabhängige Klassen von Ausführungsorten definiert. Die erste Klasse betrachtet die Komponententypen (siehe Tabelle 11.4) im Fahrzeug. Die zweite Klasse, das 3C-Paradigma (siehe Abschnitt 11.3.1), betrachtet die fahrzeugübergreifende Komponententopologie.

In Tabelle 10.1 werden beide Klassen zu einem Gesamtbild vereinigt. Aufgrund des 3C-Paradigmas erfolgt eine horizontale Gliederung der Tabelle. Durch die Komponententypen im Fahrzeug erfolgt eine vertikale Gliederung der Car-Schicht. In Ergänzung dazu werden für die unterschiedlichen Ausführungsorte konzeptionelle beziehungsweise technische Realisierungen mit angegeben.

Zusätzlich kann aus Tabelle 10.1 entnommen werden, wie der Begriffsunterschied im weiteren Verlauf der Ausarbeitung verwendet wird. Der Begriff „Car“ wird verwendet, wenn dies dem Ausführungsort nach dem 3C-Paradigma entspricht. Der Begriff „Fahrzeug“ wird verwendet, wenn das (physikalische) Fahrzeug damit gemeint ist, welches gleichzeitig die Car- und Consumer Device-Lokalität zusammenfasst.

Tabelle 10.1.: Legende der unterschiedlichen Komponententypen

3C-Lokalität	Konzeptionelle/Technische Realisierung			Physikalischer Ort
Cloud	Edge Computing, Rechenzentrum, Weitere Fahrzeuge, Simulation, Mobile und fliegende Sensoren und Aktoren (siehe [6]), ...			Off-Board
Consumer Device	Tablet, Wearable, Mobiltelefon, Notebook, ...			
Car	Infrastrukturkomponenten (Gelb)	Kommunikationsmodule (Rot)	Dedizierte Berechnungshardware (Blau)	On-Board/ Fahrzeug

11. Konzeptionelle Details der bionischen E/E-Architektur

In diesem Kapitel werden die konzeptionellen Details des Konzepts ausgeführt. Der Aufbau des Kapitels orientiert sich hierzu an dem vorgestellten Grobkonzept (siehe Kapitel 10). Im ersten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.1) wird die Softwarearchitektur beschrieben. Im zweiten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2) wird die Vernetzungsarchitektur beschrieben. Im letzten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.3) wird die Komponententopologie beschrieben.

11.1. Softwarearchitektur

Im Rahmen der Softwarearchitektur wird das COS-Softwaremodell (siehe Abschnitt 11.1.1), die Strukturierung der Informationsflüsse (siehe Abschnitt 11.1.2) und der Datenspeicherung (siehe Abschnitt 11.1.3) beschrieben.

11.1.1. COS-Softwaremodell

Als Softwarearchitektur für die bionische E/E-Architektur wurde das COS-Referenzmodell (siehe Abbildung 11.1) entwickelt, was dem Verarbeitungsmodell im menschlichen Körper entspricht. Das Modell wurde von dem OC- (siehe Abschnitt 8.3.3) und fEPM-Modell (siehe Abschnitt 8.3.2) beeinflusst. Wie in [9] beschrieben, besteht das COS-Modell aus fünf Schichten. In den mittleren drei Schichten des COS-Modells findet die Datenverarbeitung statt. Die unterste und oberste Schicht dienen als I/O-Schichten der jeweiligen Funktion.

Object under Observer and Controller-Schicht

Die unterste Schicht ist die OuOC (Object under Observer and Controller)-Schicht, welche in zwei unterschiedlichen Varianten ausgeführt sein kann. Beide Varianten können abstrakt als Dateninput und -output für die übergeordneten Schichten betrachtet werden.

- Software-Variante

Die Variante dieser Schicht ist für zwei Anwendungssituationen notwendig:

- Rekursive Anwendung

Die rekursive Anwendung des COS-Modells ist eine Anwendungssituation, in dem die Software-Variante der OuOC-Schicht notwendig wird. Gemäß dem menschlichen Vorbild erfolgt innerhalb eines autarken Systems, in diesem Fall innerhalb eines Fahrzeugs, keine rekursive Anwendung. Bei einer übergreifenden Koordination von mehreren autarken Systemen ist eine rekursive Anwendung notwendig. Ein Beispielszenario ist in Abschnitt 12.7 beschrieben.

- Querschnittsfunktion

Eine weitere Anwendungssituation für die Software-Variante der OuOC-Schicht ist, wenn Querschnittsfunktionen ebenfalls nach dem COS-Modell aufgebaut sind. Beispiele sind das Energiemanagement (siehe Abschnitt 12.1) oder der Einsatz als Watchdog (siehe Abschnitt 12.4).

- Hardware-Variante

Die Hardware-Variante der untersten Schicht enthält mit Aktoren und Sensoren die Verbindung zur Umwelt. Diese Anwendungssituation des COS-Modells stellt den unteren Abschluss der Anwendung des COS-Modells dar. Eine Beispielanwendung ist die Umfelderkennung (siehe Abschnitt 12.3).

Reflex-Schicht

In der zweiten Schicht befindet sich die Reflexbehandlung. Ziel ist, eine schnelle Reaktion auf Inputs zu gewährleisten. Dafür werden Lookup-Tabellen beziehungsweise einfache Mechanismen genutzt. Dadurch soll ebenfalls eine Qualifizierung und Zertifizierung ermöglicht werden. Des Weiteren ermöglicht diese Schicht die dezentrale Ausführung von Funktionen. Dazu enthält die Schicht eine CU (Control Unit), welche im Fall von nicht plausiblen, fehlerhaften und ausbleibenden Daten von den höheren Schichten die Funktionalität aufrecht erhalten soll [7].

Strategie-Schicht

Die dritte Schicht wird in einen Observer- und Controller-Bereich unterteilt. Der Observer-Bereich enthält die Datenaufbereitung und -abspeicherung nach den jeweiligen Anforderungen des Controllers. Im Controller-Bereich findet die eigentliche Berechnung statt. Dabei kommen unterschiedliche Mechanismen zum Einsatz. Bei der Strategie-Schicht ist dies die Fuzzy Logik (siehe Abschnitt 6.2), das dafür notwendige Lernen wird in der Intelligenz-Schicht ausgeführt.

Intelligenz-Schicht

Die vierte Schicht besitzt ebenfalls wie die dritte Schicht einen Observer- und Controller-Bereich. Der Unterschied zwischen den beiden Schichten ist im Umfang der Berechnungen und der eingesetzten KI-Mechanismen (siehe Abschnitt 6.1). Das Ziel dieser Schicht ist es, eigenständig eine optimale Konfiguration für die jeweilige Anwendungssituation zu erstellen. In dieser Schicht ist die Reaktionszeit nachrangig.

Für die Validierung der Ergebnisse aus der Intelligenz-Schicht ist dieser Schicht ein Validator angehängt. Vergleichbare Ansätze sind bereits in der Chemieindustrie zu finden, wo solche Funktionen nach dem SIL 4-Level abgesichert sind. In diesem Kontext sind die folgende Normen zu nennen: EN 50159 (Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Sicherheitsrelevante Kommunikation in Übertragungssystemen), IEC 62443 (IT-Sicherheit für industrielle Leitsysteme - Netz- und Systemschutz). Anders als bei der Control Unit in der Reflex-Schicht, werden bei unplausiblen Berechnungsergebnisse weder diese noch vordefinierte Werte in den unterliegenden Schichten genutzt.

Kommunikationsschicht

Die oberste Schicht dient zum Austausch der Daten zwischen den einzelnen Funktionsteilen. Wie beschrieben, ist eine Aufteilung des COS-Modells auch in eine afferente und efferente Seite (siehe Abschnitt 7.1) möglich. Die beiden Seiten werden durch die Kommunikationsschicht verbunden. Eine Gesamtfunktion kann dabei jeweils aus mehreren afferenten und efferenten Seiten bestehen. Beziehungswise eine afferente/efferente Seite kann in mehreren Funktionen genutzt werden.

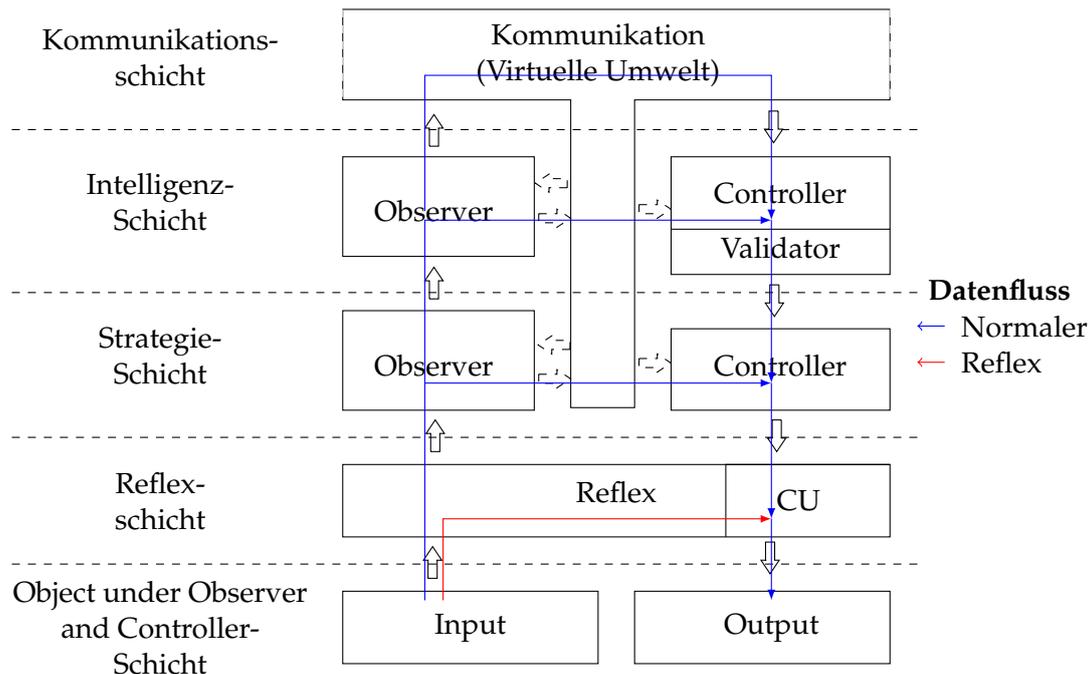


Abbildung 11.1.: Darstellung des COS-Modells

11.1.2. Struktur der Informationsflüsse

Ein weiterer Aspekt der Softwarearchitektur ist der dazugehörige Informationsfluss. Wie bereits erwähnt existieren im menschlichen Körper zwei Kommunikationssysteme (siehe Tabelle 7.6). Neben unterschiedlichen physikalischen Topologien unterscheiden sich diese zwei Kommunikationssysteme ebenfalls im Zweck und Struktur der Informationsflüsse. In diesem Abschnitt wird detailliert auf deren Struktur eingegangen und darauf, wie die gewonnenen Erkenntnisse in ein technisches System umgesetzt werden können. Ausführliche Beispiele werden im Rahmen der Evaluation (siehe Abschnitt 12) gegeben.

Struktur nach dem Nervensystem

Der Informationsfluss nach dem Nervensystem wurde bereits durch die COS-Schichtenarchitektur implizit im Abschnitt 11.1.1 beschrieben. Zur Verdeutlichung wurde in Abbildung 11.1 ein abstrakter Informationsfluss in das COS-Modell nach dem Vorbild des Nervensystems eingezeichnet. Es wird zwischen dem Normalen-Datenfluss (blaue Linien)

und dem Reflex-Datenfluss (rote Linie) unterschieden. Der blaue Informationsfluss zeigt den gewöhnlichen Informationsfluss einer Funktion. Der rote Informationsfluss zeigt dagegen den Fluss der Reflexbehandlung. Ein ausführliches Beispiel wird anhand eines Evaluationsbeispiel (siehe Abschnitt 12.5) gegeben.

Struktur nach dem Hormonsystem

Wie im Abschnitt 7.2 beschrieben, existiert neben den drei Hormonklassen eine weitere Unterteilung. Die weitere Unterscheidung erfolgt nach Steuerungs-, Stimulations- und glandotrope/effektorische Hormone und bilden eine weitere Struktur des Informationsflusses. Diese Struktur kann ebenfalls für eine höhere Flexibilität im Fahrzeug eingesetzt werden.

Tabelle 11.1 zeigt eine Strukturierung des Informationsflusses nach dem Vorbild der Hormone. Zur besseren Einordnung sind die Schichten nach dem COS-Modell mit angegeben. Diese Struktur kann unter anderem verwendet werden, wenn Komponenten von unterschiedlichen Tiers (Zulieferer) eingesetzt werden. Häufig werden aufwändigere Komponenten oder die Integrationskomponenten vom OEM (Original Equipment Manufacturer) selbst entwickelt, um eine Wettbewerbsdifferenzierung zu erreichen. Die „einfacheren“ Komponenten werden vorwiegend von den Tiers für mehrere OEMs hergestellt, da mit diesen Komponenten keine Wettbewerbsdifferenzierung erfolgt. Je mehr die Komponenten jeweils angepasst werden müssen, werden diese trotz Wiederverwendung teurer. Besonders das Kommunikationsverhalten ist dabei von Anpassungen betroffen. Durch das Vorhandensein des COS-Modells und -Bordnetzes können entsprechende Komponenten eingesetzt werden, wobei nicht die Komponente selbst angepasst werden muss. Vielmehr kann die Anpassung durch das existierende System erfolgen. Diese Situation ist durch Variante II, die nachfolgend erklärt wird, verdeutlicht.

Tabelle 11.1.: Strukturierung des Informationsfluss zwischen den einzelnen Schichten

COS-Schicht	Bustyp	Variante I	Variante II
Intelligenz			
	Unicast	Steuerung	
Strategie			
	Uni-/Broadcast	glandotrope/ effektorische Hormone	Stimulation
Reflex			
	Uni-/Broadcast		glandotrope/ effektorische Hormone
Sensor/Aktor			

Variante I Bei der Variante I existieren zwei Hierarchiestufen. Dies ist anwendbar, wenn ein gemeinsames Protokoll von allen relevanten Teilnehmer unterstützt wird. Aufgrund der Tatsache, dass alle Teilnehmer ein identisches Protokoll unterstützen, ist eine Übertragung der Informationen der zweiten Stufe („glandotrope/effektorische Hormone“) über das Broadcast-Bussystem vorzunehmen.

Variante II Bei der Variante II existieren drei Hierarchiestufen. Dies ist anzuwenden, wenn eine Anpassung aufgrund unterschiedlicher verwendeter Protokolle der Teilnehmer notwendig ist. Dazu wird in der Reflexschicht eine entsprechende Anpassung der Stimulationspakete vorgenommen.

Wird nur für einen Teilnehmer ein gesondertes Protokoll benötigt, können die dazu notwendigen Datenpakete anstelle über das Broadcast-Bussystem über das Unicast-Bussystem ausgetauscht werden.

11.1.3. Datenspeicherung

Vergleichbar mit den unterschiedlichen 3C-Lokalitäten (siehe Abschnitt 11.3.1) der COS-Schichten (siehe Abschnitt 11.1.1) und somit bei der Datenverarbeitung, ist bei der Datenspeicherung und -synchronisation eine ähnliche Unterteilung möglich. Wie in [48, S. 41] beschrieben, können Daten in vier unterschiedliche Kategorien aufgeteilt werden. Diese Kategorien sind vergleichbar mit denen des menschlichen Gedächtnisses (siehe Abschnitt 7.6) und den Schichten des COS-Modells. Tabelle 11.2 enthält eine Zuordnung der Daten zwischen den genannten Bereichen. Daraus lässt sich ebenfalls auf die Speicherdauer und Synchronisationsintervalle schließen.

Tabelle 11.2.: Zuordnung der Daten zwischen den unterschiedlichen Bereichen

Menschliches Gedächtnis	Datenkategorie	(primärer) Speicherort	COS-Schicht	Speicherung	Synchronisierung
tertiäres Gedächtnis	Stammdaten	Cloud (Off-Board Speicher)	Intelligenz-Schicht	Dauerhaft	Sofort
sekundäres Gedächtnis	Bestandsdaten	Car (On-Board Speicher)	Strategie-Schicht	Zeitweise	Nach Notwendigkeit
primäres & sensorisches Gedächtnis	Bewegungsdaten	Kommunikationspuffer	Reflex-Schicht	Nur zur Pufferung	Keine

11.2. Vernetzungsarchitektur

Im Abschnitt zur Vernetzungsarchitektur wird zunächst das Datenbordnetz (siehe Abschnitt 11.2.1) betrachtet. In Ergänzung dazu wird im darauffolgenden Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2.2) das Energiebordnetzes beschrieben. Im dritten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2.3) wird ein Teil der Middleware beschrieben. Im vierten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2.4) wird die Softwareschnittstelle beschrieben. Ergänzend dazu wird im darauffolgenden Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2.5) der Datenzugriff beschrieben. Im vorletzten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2.6) wird die Partitionierung betrachtet. Im letzten Abschnitt (siehe Abschnitt 11.2.7) die Mehrfachnutzung der Verkabelung beschrieben.

11.2.1. Datenbordnetz

Wie in [11] beschrieben, besteht die bionische E/E-Architektur aus zwei Datenbordnetzen, welche unterschiedliche Kommunikationsparadigma verwenden, entsprechend der gewonnenen Erkenntnisse aus dem menschlichen Körper (siehe Abschnitt 9). In Anlehnung an die grundsätzlichen Kommunikationsansätze von Bussystemen in der physikalischen Schicht (siehe Abschnitt 6.3.1), wird dies auch auf weitere Schichten, unter anderem in die Anwendungsschicht, übernommen. Aus diesem Grund wird fortan für die Unterscheidung und Bezeichnung der beiden Datenbordnetze ebenfalls die Differenzierung zwischen Uni- und Broadcast genutzt.

Daraus resultiert die Situation, dass zwei getrennte und unabhängige Datenbordnetze existieren. Beide Datenbordnetze unterscheiden sich bezüglich der Topologie, der Übertragungstechnik (siehe Abschnitt 6.3.1) und der daraus resultierenden Charakteristika der Kommunikation. Das Konzept beinhaltet, dass alle E/E-Komponenten an beide Datenbordnetze angebunden sind. Analog zum menschlichen Körper wird das Energiebordnetz als zweites Datenbordnetz verwendet. Tabelle 11.3 enthält eine Übersicht mit den Aufgaben der beiden Datenbordnetze.

Tabelle 11.3.: Aufgaben der Datenbordnetze

Name und Übertragungstechnik	Aufgabe	Auslegungsgewichtung für	
		Kommunikation	Energieversorgung
Unicast	<ul style="list-style-type: none"> - Transport von voluminösen Daten - Befehle und Rückmeldung (bei 1:1-Beziehung) 	primär	(sekundär)
Broadcast	<ul style="list-style-type: none"> - Transport von kleinen Daten - Allgemeine Informationen (1:n-Beziehung) - Kontroll- und Statusinformationen (bei 1:n/n:m-Beziehungen) 	sekundär	primär

Das Unicast-Bussystem dient ausschließlich, wie das Nervensystem, als Kommunikationskanal. Dagegen dient das Broadcast-Bussystem, wie der Blutkreislauf und das Hormonsystem, primär für die Energieversorgung und sekundär zur Kommunikation. Dazu wird beim Broadcast-Bussystem das SoP (Signal over Power)-Paradigma genutzt.

Anders als im menschlichen Körper erfolgt die Zuordnung zwischen Information und Übertragungskanal während der Laufzeit. Dadurch soll gewährleistet werden, dass aktuelle Gegebenheiten immer berücksichtigt werden, wodurch eine höhere Robustheit und Flexibilität gewährleistet wird. Dies kann mit einer Art von beschleunigter Evolution verglichen werden, wie dies ebenfalls am Beispiel des menschlichen Körpers festgestellt wurde (vergleiche Abschnitt 7.11). Durch die dynamische Auswahl des Übertragungskanals wird die Robustheit gegenüber Ausfällen der Kommunikation erhöht, was wiederum die Robustheit des gesamten E/E-Systems erhöht. Durch die dynamische Auswahl kann von

mindestens einem schmalbandigen Kommunikationskanal ausgegangen werden, wenn die notwendige Energieversorgung vorhanden ist.

Als Evolutionsstufe des bionischen Bordnetzes, unter der Berücksichtigung der biologischen kybernetischen Regel „Mehrfachnutzung“ (siehe Abschnitt 4.3), übernimmt das Unicast-Bussystem neben der primären Kommunikationsaufgabe ebenfalls die Aufgabe der Energieversorgung. Somit wird bei diesem Evolutionsschritt neben dem SoP-Paradigma ebenfalls das PoS-Paradigma im Datenbordnetz genutzt.

Unicast-Bussystem

Aufgrund der unterschiedlichen Auslegungen der aus dem menschlichen Körper gewonnenen Erkenntnisse sind zwei Topologievarianten möglich. In Abbildung 11.2 sind beide Topologievarianten dargestellt. Die erste Topologievariante (siehe Abbildung 11.2(a)) entspricht einer Sternstruktur, die rechte Topologievariante (siehe Abbildung 11.2(b)) entspricht einer erweiterten Sternstruktur [211, S. 133 ff.]. Ergänzend enthält Tabelle 11.4 die dazugehörige Legende.

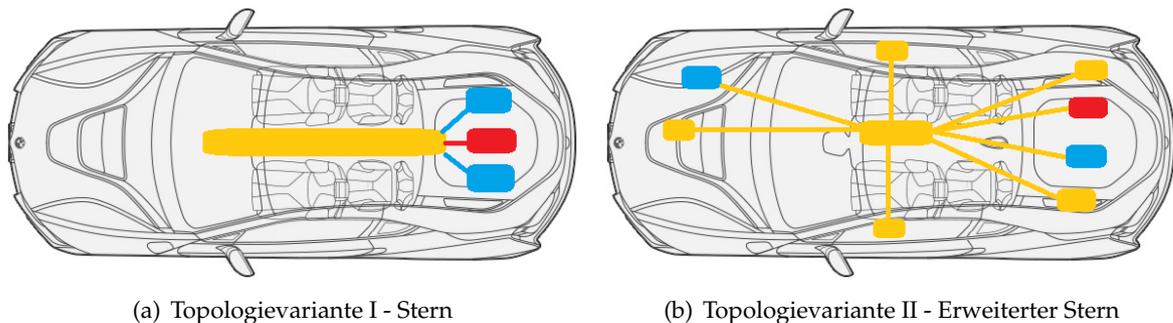


Abbildung 11.2.: Topologievarianten für das Unicast-Bussystem (Quelle: [11])

Tabelle 11.4.: Legende der unterschiedlichen Komponententypen

Farbe	Beschreibung
Gelb	Infrastrukturkomponenten
Rot	Kommunikationsmodule für die drahtlose Kommunikation (Nah- und Mobilfunk)
Blau	Dedizierte Berechnungshardware

Beide Topologievarianten sind durch folgende gemeinsame Charakteristika gekennzeichnet:

- Eine zentrale Zone, welche aus einer zentralen oder mehreren verbundenen Infrastrukturkomponenten (gelb) (siehe Abschnitt 11.3.2) besteht.
- Dedizierte Kommunikationseinheiten für Nah- und Mobilfunk (rot).
- Dedizierte Berechnungshardware (blau), vorwiegend für die Strategie- und Intelligenzanteile.

- Cloud (nicht dargestellt) als integraler Bestandteil, vorwiegend für die Intelligenzanteile der jeweiligen Funktion.
- Jede Komponente (teilweise dargestellt) im Bordnetz (ECUs, Sensoren und Aktoren) ist an beide Bussysteme angeschlossen.

Die Topologievariante II enthält im Unterschied zur Topologievariante I räumliche Unterverteiler. Diese Unterverteiler übernehmen räumlich orientierte Reflexbehandlung. Dadurch wird eine räumlich orientierte Reflexbehandlung von funktional zusammengehörigen Sensoren und Aktoren ermöglicht, wenn diese am selben Unterverteiler angebunden sind. Durch die Vermeidung des Kommunikationsflusses über die zentrale Zone ist eine unabhängige Reflexbehandlung möglich. Dies wiederum erhöht die Robustheit des Gesamtsystems, da dadurch unabhängige Funktionswirkketten entstehen [7].

Vergleichbar mit den Hirnnerven wird die Umfeldsensorik direkt an die dedizierte Berechnungshardware angebunden. Bei der Anbindung an das Broadcast-Bussystem erfolgt keine Unterscheidung. Die direkte Anbindung ermöglicht eine schnelle Verarbeitung, da keine Infrastrukturkomponente zwischengeschaltet ist. Das COS-Modell ermöglicht trotzdem eine Nutzung der daraus gewonnenen Informationen für weitere Funktionen.

Wie in [259] beschrieben, existieren unterschiedliche Varianten von Ethernet, welche den Rahmbedingungen im Einsatz von Fahrzeugen genügen. Mit TSN (siehe Abschnitt 6.3.2) existiert eine Variante, welche mit der Fähigkeit der Preemption eine Möglichkeit aufweist, eine garantierte Latenzzeit von hochprioren Daten zu gewährleisten.

Broadcast-Bussystem

Wie bereits erwähnt wird für das Broadcast-Bussystem die Energieleitungen nach dem SoP-Paradigma genutzt. Die entsprechende Topologie ist in Abbildung 11.3 dargestellt, welche sich im Abschnitt zum Energiebordnetz (siehe Abschnitt 11.2.2) befindet. Wie unter anderem in [108] beschrieben, existiert eine Variante von PLC (siehe Abschnitt 6.3.3) für die Verwendung im Fahrzeug.

11.2.2. Energiebordnetz

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Aspekte der Energieversorgung beschrieben, welche als Ansatzpunkte für die im Detail betrachteten Aspekte notwendig sind. Eine detailliertere Betrachtung des Energiebordnetzes erfolgt im Rahmen dieser Dissertation nicht. Ergänzend zum Thema Energiebordnetz ist auf eine Aktivität verwiesen, welche im Related Work (siehe Abschnitt 8.4) beschrieben ist.

Topologie

Abbildung 11.3 zeigt die Topologie für das Energiebordnetz. Dazu befindet sich ein Energiebackbone in der zentralen Zone des Fahrzeug als Hauptversorgungsleitung. Ausgehend von der Hauptversorgungsleitung existieren mehrere Stichleitungen, welche in Abbildung 11.3 schemenhaft dargestellt sind. Die Stichleitungen verbinden direkt Energieerzeuger, -speicher und -generatoren oder räumlich angeordnete Energieverteiler mit der Hauptleitung. Wie im menschlichen Körper stehen bei der bionischen Energieversorgung

zwei unterschiedliche Spannungen zur Verfügung. Bei der Umsetzung der Topologie kann auf die Idee des Energiebackbones (siehe [251, S. 30 ff.]) zurückgegriffen werden.

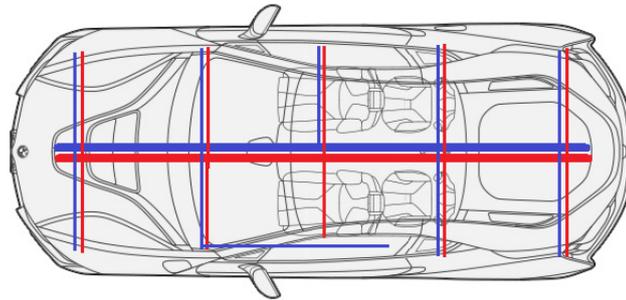


Abbildung 11.3.: Energiebordnetz nach dem menschlichen Vorbild

11.2.3. Regelbasierte Steuerung

Abbildung 11.4 zeigt die Struktur der regelbasierten Steuerung auf den Hardware-Komponenten, also ECU oder Infrastrukturkomponente (siehe Abschnitt 6.3.5). Dieser Aufbau ist vergleichbar mit der in [91, S. 5] beschriebenen Struktur. Nach dem Empfang der Information existiert für jeden Datenkanal ein eigener Eingangspuffer, der je nach Notwendigkeit eine eingangs- oder prioritätsbasierte Zwischenspeicherung der Information durchführt. Von einem Income-Dispatcher werden die empfangenen Nachrichten an den jeweiligen Task weitergeleitet. Ist ein Task abgearbeitet und wurden dabei Daten erzeugt, werden diese durch den Outcome-Dispatcher an den entsprechenden Datenkanal weitergeleitet. Die Regeln der beiden Dispatcher werden durch die Verwendung der SQL-basierten Schnittstelle (siehe Abschnitt 11.2.4) definiert.

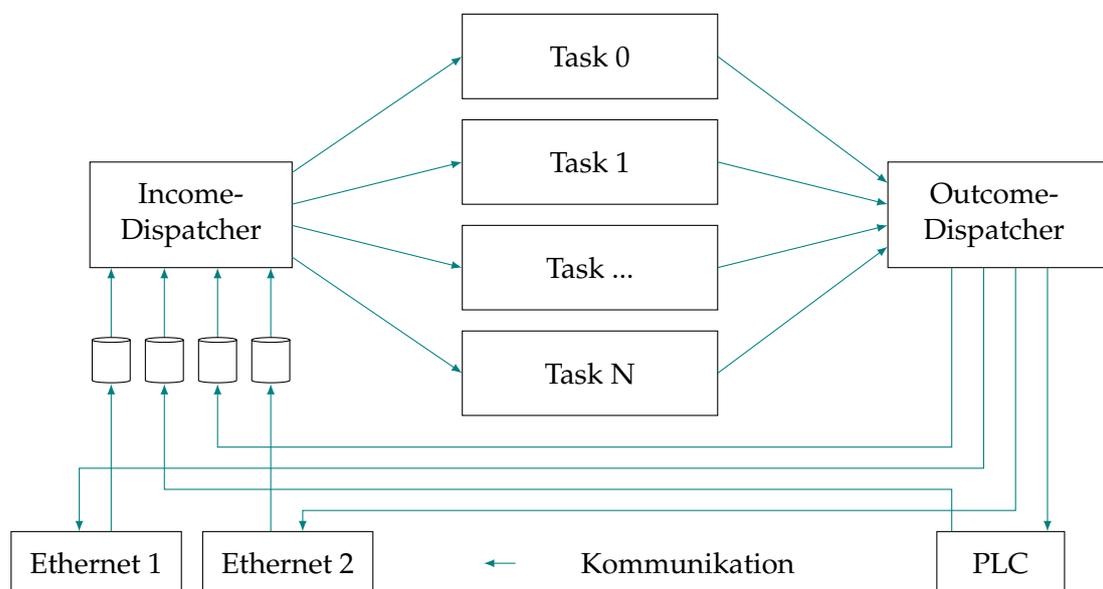


Abbildung 11.4.: Struktur der regelbasierten Steuerung

Ein Datenkanal kann sowohl ein reales als auch ein virtuelles Bussystem sein. Neben den Datenkanälen für Ethernet und PLC, zeigt Abbildung 11.4 eine gerichtete Verbindung von Outcome-Dispatcher zu Income-Dispatcher. Diese ist notwendig, wenn mehrere Tasks auf einer Hardware-Komponente nacheinander ausgeführt werden müssen oder eine Kommunikation zwischen Tasks auf einer Hardware-Komponente notwendig ist. Eine identische Behandlung von Kommunikation zwischen Tasks hat den Vorteil, dass die Anzahl der Mechanismen und Schnittstellen gering gehalten werden. Ein weiterer, relevanter Vorteil ist die Migrationsfähigkeit. Durch die Gleichbehandlung, können die Tasks auf unterschiedlichen Hardware-Komponenten ausgeführt werden. Dies erfolgt transparent für die jeweiligen Tasks.

Wie in Abbildung 11.4 dargestellt, können auf einer ECU mehrere Tasks partitioniert werden. Eine Umsetzungsvariante ist, unterschiedliche Tasks in unterschiedlichen VMs auszuführen, wie dies in Abschnitt 11.1.1 beschrieben ist. Dies können unterschiedliche Schichten nach dem COS-Modell sein, als auch „einfachere“ Tasks für eine netzwerkzentrierte Verarbeitung (siehe Abschnitt 6.5). Zu den Aufgabentypen, welche in den entsprechenden Tasks zugeordnet sind, zählen die Aggregation, Fusion und das Konvertieren von Daten. Weitere Aufgabentypen der Tasks sind das (Zwischen-)Speichern von Daten (siehe Abschnitt 11.1.3) und die Datenvorverarbeitung (siehe Abschnitt 11.2.4).

11.2.4. Datenschnittstelle

Aufgrund der datenzentrierten Kommunikation (siehe Abschnitt 6.3.4) steht das Datum im Fokus der Kommunikation. Diese Situation ist vergleichbar mit der Situation in Datenbanksystemen. Dabei ist auch die konkrete Realisierung der Zugriffsmöglichkeiten auf die einzelnen Daten wichtig (siehe Auflistung 11.1). Dies soll den Entwicklern einen einfachen und dynamischen Zugriff ermöglichen. Ebenfalls sollte nach Möglichkeit dies in einer vertrauten Form erfolgen. Dazu eignet sich der SQL-Syntax. Dabei können bekannte Schlüsselwörter aus SQL verwendet werden. Ein erweiterter Syntax erhöht die Verständlichkeit, weswegen Abfragen leichter beziehungsweise intuitiver erstellbar sind.

Listing 11.1: Beispiele von unterschiedlichen Abfragen mit Hilfe des SQL-Syntax

```
//Einmalige Abfrage eines Datums
SELECT datum FROM objektbezeichner ;
//Abonnierung eines Datums
SUBSCRIBE datum FROM objektbezeichner ;
//Beenden des Abonnement eines Datums
UNSUBSCRIBE datum FROM objektbezeichner ;
```

Bei der Erweiterung des Abfragesyntaxes können Projekte und Vorschläge aus dem SANNET-Bereich genutzt werden. Unter anderem ist dabei TinyDB (siehe [183]), Cougar (siehe [78]) oder das Paper von Sun und Zhou [273] zu nennen. Die Möglichkeit der detaillierten Eingrenzung der Datumsabfrage zeigt den Sprachumfang und die Mächtigkeit des SQL-Standards [138]. Eine wichtige Voraussetzung ist sicherzustellen, dass die Datenpakete auch die notwendigen Informationen enthalten. Teilweise ist es möglich im Outcome-Dispatcher (siehe Abschnitt 11.2.3) der Datenquellen oder in Infrastrukturkomponenten die Bedingungsklauseln vollständig oder teilweise abzuarbeiten. Daraus ist eine Reduzierung des Datenaufkommens im Bordnetz möglich.

Listing 11.2: Zwei SQL-Abfragen für die Beispielsituation

```

SUBSCRIBE speed FROM local WHERE location WITHIN 1000 METER
AWAYFROM target ;
SUBSCRIBE AVG(speed) FROM local WHERE INTERVALL = 1 Minute ;

```

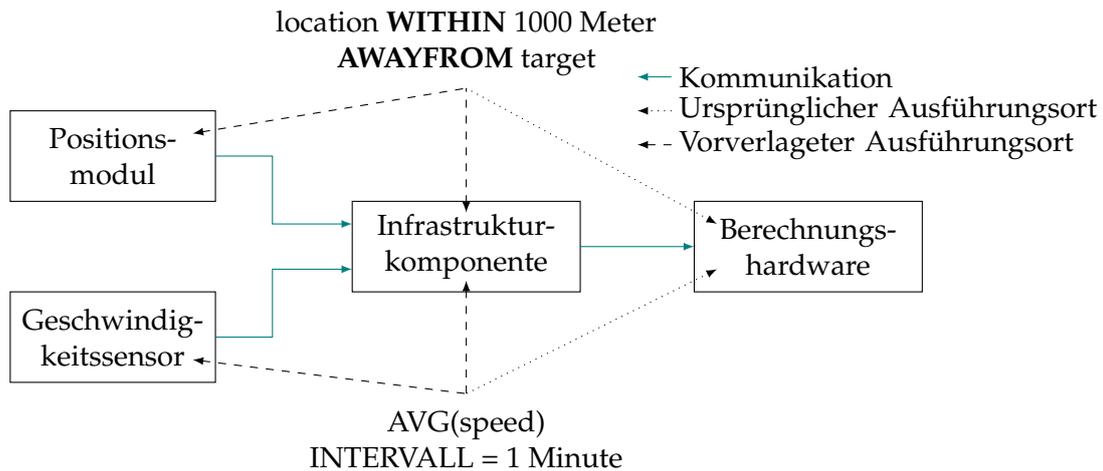


Abbildung 11.5.: Beispielsituation für die Anwendung von SQL im bionischen Bordnetz

In Abbildung 11.5 ist eine Beispielsituation dargestellt, wie eine Reduzierung erfolgen kann. Dazu werden zwei Referenzanfragen (siehe Auflistung 11.2) genutzt. Wie in Abbildung 11.5 dargestellt, besteht neben der Auswertung der Bedingungen auf der eigentlichen Berechnungshardware (gepunktete Linie) die Möglichkeit, diese bereits auf anderen Komponenten (gestrichelte Linie) vorzulagern. In diesem Beispiel erfolgt dies entweder auf einer Infrastrukturkomponente oder direkt bei der Datenquelle. Neben der Entlastung des Bordnetzes, wird dadurch auch die eigentliche Berechnungshardware entlastet. Des Weiteren kann dadurch die mehrfache Ausführung von Operationen zur Datenvorverarbeitung beziehungsweise -aufbereitung vermieden werden, was wiederum zu einer weiteren Laufzeitentlastung führt.

Um eine optimale Verteilung der Bedingungsauswertung zu erreichen, müssen die jeweiligen Auswertungsorte definiert werden. Entsprechende Kenntnisse und Techniken sind aus dem Bereich der Optimierer von Ausführungsplänen bei Datenbanksystemen (siehe [115] [178, S. 197 ff.] [281, S. 307]) bekannt. Der Optimierer wird entsprechend dem COS-Modell in der Cloud ausgeführt und dessen Ergebnisse nach einer Validierung im Fahrzeug angewendet.

Des Weiteren erweitert die vorgelagerte Bedingungsauswertung die Möglichkeit die eigentliche Funktionen beziehungsweise deren Instanz oder die auszuführenden ECUs in den Ruhezustand zu versetzen. Dadurch wird es möglich, den Ruhezustand erst dann zu verlassen, wenn die tatsächlich notwendigen Daten verfügbar sind.

11.2.5. Datenzugriff

Der Datenzugriff erfolgt durch einen flachen Namen (siehe Abschnitt 6.4). Die verwendete SQL-basierte Schnittstelle (siehe Abschnitt 11.2.4) ermöglicht trotz eines flachen Namens die gezielte Auswahl des Abrufortes. Durch die Trennung des Datumsnamens und des Abrufortes wird die Flexibilität ebenfalls erhöht. So kann bei der Nichtverfügbarkeit eines Abrufortes vom System ein äquivalenter Abrufort ermittelt werden.

Mit Hilfe absoluter und relativer Abruforte (siehe Abschnitt B) kann eine umfassende Kommunikation erreicht werden. Die Auflösung, Übersetzung des Namens in eine IP-Adresse, des Abrufortes erfolgt durch einen Systemdienst, welcher in Aufgabe und Funktionsweise mit der Namensauflösung in einem Netzwerk vergleichbar ist.

Durch diesen Systemdienst ist es möglich eine Anpassung absoluter Abruforte durchzuführen. Dies ist notwendig, wenn sich der Name des Abrufortes geändert hat. Beispielsweise wenn aufgrund eines neuen Softwarestands eine Aktualisierung des Datenmodells erfolgt ist und unterschiedliche Stände des Datenmodells, bezogen auf dessen Metainformationen, gleichzeitig in einem Fahrzeug genutzt werden. Dazu können die gleichen Mechanismen wie bei relativen Abruforten angewendet werden. Im Gegensatz dazu unterliegen bei absoluten Abruforten die Metainformationen nicht einer ständigen Aktualisierung. Dieser Fall tritt ein, wenn aufgrund unterschiedlich verbauter Komponenten die Daten einer unterschiedlichen logischen Zuordnung unterliegen.

Neben der Auflösung von On-Board Abruforten, wenn ein Datum öfter vorhanden ist, ist dies vor allem für Off-Board Abruforte sinnvoll. So kann bei Off-Board Abruforten eine Aktualisierung in unterschiedlichen Abständen, teilweise sehr häufig - mehrmals sekundlich⁸⁶ -, notwendig werden. Ein intelligenter Prefetch-Modus ermittelt im Vorfeld die notwendigen Abruforte beziehungsweise die Auflösung. Tabelle 11.5 zeigt Beispiele der im Vorfeld ermittelten Informationen. Dadurch ist die direkte Abfrage der Daten, beispielsweise von Umwelt- (Straßenzustand, Verkehrssituation, etc.) und Wetterbedingungen, bei der Datenquelle möglich, ohne dass ein zusätzlicher Datenprovider genutzt werden muss. Dazu kann aus heuristischen Daten abgeschätzt werden, welche Abruforte in den jeweiligen geographischen Sektoren relevant sind. Des Weiteren können ebenfalls geplante Navigationsrouten oder (Fahr-)Trajektorien dafür hinzugezogen werden, um die notwendigen Abruforte zu bestimmen. Aufgrund der notwendigen Vernetzung, des Data Mining und der Dynamik ergibt sich eine vorteilhafte Realisierung nach dem COS-Modell.

Tabelle 11.5.: Im Vorfeld ermittelte Informationen zu Abruforte von Daten

Sektor	Datum	Fitnesswert	Abrufort
48.249,11.633; 48.250,11.700;	Temperatur	1	2001:db8::/31
48.249,11.633; 48.250,11.700;	Temperatur	2	2001:db8::/31
48.249,11.633; 48.250,11.700;	Verkehrslage	1	2001:db8::/31

Abhängig vom notwendigen Abrufort wird die aktuelle (bei Abfragen zu: Standort, Nächstmöglich) und eine erwartete (bei Abfragen zu: Zielort, In_10Minuten) Position verwendet und gemeinsam mit dem Datum der relevante Abrufort aus der im Vorfeld vom Prefetch-Modus erstellten Tabelle (siehe Tabelle 11.5) entnommen.

⁸⁶Beispielsweise das nächste/nächste Auto/Fußgänger im Stadtverkehr

Wird von der Netzinfrastruktur, beispielsweise der Mobilfunkbasisstation, ebenfalls Datenzentrierung unterstützt, muss bei Abfragen, die sich auf die aktuelle Position beziehen, keine Informationen im Vorfeld erhoben werden.

11.2.6. Partitionierung

Wie in Abschnitt 10 beschrieben, werden die Funktionen im bionischen Bordnetz verteilt ausgeführt. Dazu werden die COS-Schichten (siehe Abschnitt 11.1.1) auf unterschiedliche Komponenten im Fahrzeug partitioniert. Tabelle 11.6 zeigt eine Zuordnung zwischen den COS-Schichten und den hauptsächlichen Komponenten auf denen diese ausgeführt werden. Die Zuordnungen zu den weiteren 3C-Schichten ist in Tabelle 11.8 dargestellt.

Tabelle 11.6.: Partitionierungstabelle der COS-Schichten in der Car-Lokalität

COS-Schicht	Car-Lokalität	
	Infrastrukturkomponente	Dedizierte Berechnungshardware
Reflex	X	
Strategie	X	X
Intelligenz		X

Werden unterschiedliche Funktionen auf einer gemeinsamen Hardware-Komponente ausgeführt, müssen Interferenzen zwischen den Funktionen ausgeschlossen werden. Des Weiteren muss für jede Funktion die jeweilige Anforderung (siehe Abbildung 5.5) erfüllt werden. Abhängig von der jeweiligen funktionalen Domäne existieren unterschiedliche Anforderungen, die teilweise konträr sind. Auch ist die Erfüllung von Anforderungen, vor allem bei der Qualifizierung und Zertifizierung nach der ISO 26262 Norm (siehe Abschnitt 5.3), nicht immer möglich oder praktikabel.

Wie unter anderem in [230] beschrieben, ist dafür die Virtualisierung (siehe Abschnitt 6.5) eine äquivalente Lösung. Bei der Virtualisierung wird jede COS-Schicht in einer eigenen VM ausgeführt, um die unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu erfüllen.

Ein weiterer Vorteil bei der Umsetzung mit einer Virtualisierung ist die Reduzierung von notwendigen Ressourcen, die vorgehalten werden müssen. Neben einer zyklischen Prozesssteuerung (Scheduling) der einzelnen VMs existiert auch die Möglichkeit ein anforderungsbasiertes Scheduling der einzelnen VMs zu realisieren. Ein möglicher Mechanismus ist aufgrund ankommender und ausgehender Daten das Scheduling der VMs zu beeinflussen. In Kombination mit der regelbasierten Kommunikation (siehe Abschnitt 11.2.3), ist eine einfache Realisierung möglich. Durch eine entsprechende Aktion im Kommunikationsstack wird die Steuerung der einzelnen VMs ermöglicht.

Zudem kann der Fall auftreten, dass zwei COS-Schichten und das vollständige COS-Modell auf einer Hardware ausgeführt werden. Dies ist der Fall entweder bei der Optimierung (siehe Abschnitt 12.5) oder der Funktionsgestaltung (siehe Abschnitt 12.3), wie dies bei den Sinnesorganen zur Umwelterfassung (siehe Abschnitt 7.1) erfolgt. Ein weiterer Grund für eine konsolidierte Ausführung auf einer Hardware ist, wenn ein Ausfall von Hardware-Komponenten oder der Kommunikationsverbindung zwischen zwei Schichten aufgetreten ist. Abbildung 11.6 zeigt zwei mögliche Umsetzungsvarianten einer konsol-

dierten Ausführung. Abbildung 11.6(a) stellt die Umsetzung nach der Typ1-Virtualisierung dar, dabei werden alle COS-Schichten oberhalb der Virtualisierungsschicht ausgeführt. Dies würde dem Standardfall entsprechen und ermöglicht eine flexible Migration der VMs zwischen unterschiedlichen ECUs, vorwiegend aus Optimierungsgründen und im Falle eines Ausfalls. Abbildung 11.6(b) zeigt die Umsetzungsvariante, bei dem der VMM und die Reflexebene auf der gleichen Ebene angeordnet sind.

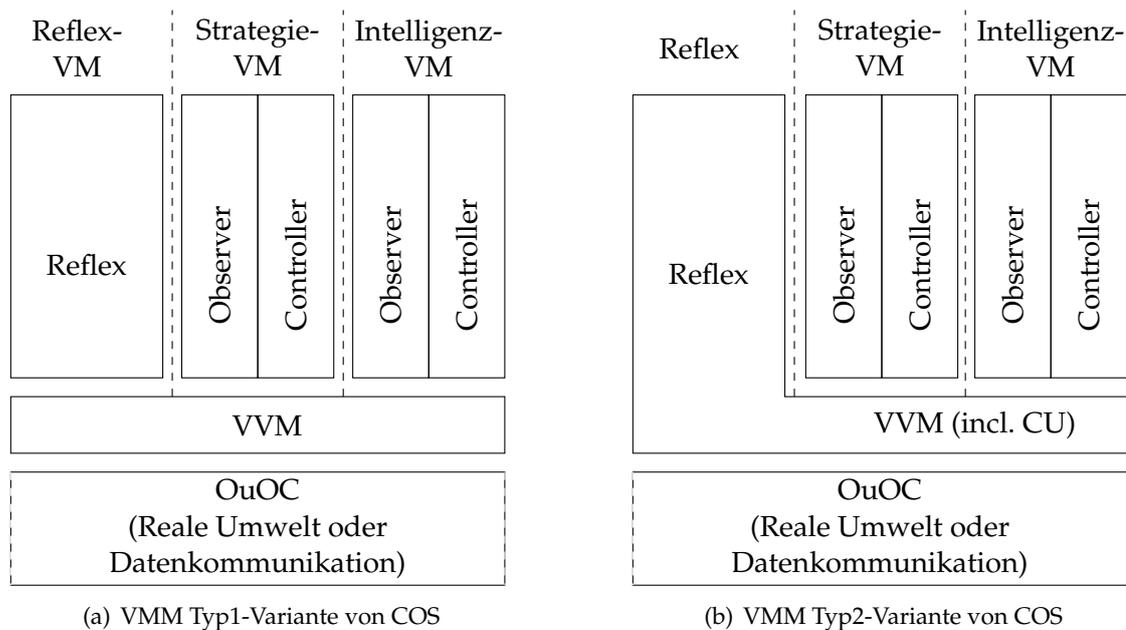


Abbildung 11.6.: Darstellung des vollständigen COS-Modells in zwei virtualisierten Varianten auf einer Hardware

11.2.7. Mehrfachnutzung der Verkabelung

Im Konzept (siehe Abschnitt 11.2.1) wurden die Topologien für die Unicast- und Broadcast-Kommunikation beschrieben. Des Weiteren wurde in diesem Zuge eine Evolutionsstufe für das Datenbordnetz beschrieben. Diese Stufe sieht vor, neben dem SoP-Paradigma bei der Broadcast-Kommunikation, zusätzlich das PoS-Paradigma bei der Unicast-Kommunikation zu verwenden. Wie in [5] beschrieben, wird neben einem redundanten Kommunikationskanal auch eine redundante Energieversorgung realisiert. Bei einem Ausfall einer physikalischen Leitung, kann zur Überbrückung eines Zeitraums diese Alternative genutzt werden. Ziel bei diesem Ansatz ist, die Komponente über eine alternative Verkabelung zu versorgen, wenn die primäre Energieversorgung ausfällt. Dazu übernehmen benachbarte Komponenten temporär die Aufgabe als Energieverteiler. Dies kann genutzt werden, um einen (reduzierten) Betrieb bis zur Erreichung einer Werkstatt oder eines sicheren Zustands zu gewährleisten. In diesem Rahmen können Berechnungen fertiggestellt beziehungsweise auf andere Komponenten verlagert werden, ohne dass die eigentliche Funktionalität beeinträchtigt wird. Analog wie dies im menschlichen Körper bei Blutgefäßen möglich ist (siehe Abschnitt 7.3). Bei der Realisierung existieren mehrere Ansätze,

abhängig wie viele von einander unabhängige Energieversorgungen zur Verfügung stehen. Abbildung 11.7(a) zeigt dies für eine, und Abbildung 11.7(b) für zwei unabhängige Energieversorgungen. Abbildung 11.8 enthält die dazugehörige Legende für beide Abbildungen.

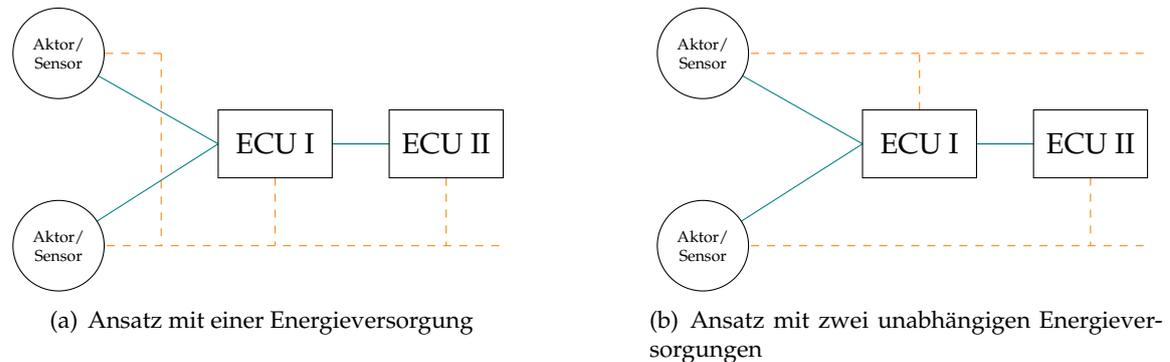


Abbildung 11.7.: Zwei Variantenausprägung für die redundante Daten- und Energieversorgung (Quelle: [5])



Abbildung 11.8.: Legende zur redundanten Daten- und Energieversorgung

Wie weiter in [5] beschrieben ist dadurch nicht nur die redundante Auslegung der Energieversorgung durch das beschriebene Konzept möglich, sondern ebenfalls eine Aufrechterhaltung der Datenkommunikation. Wird ein Ausfall von einer der beiden Leitungen festgestellt, wird eine Weiterleitung der Informationen im Rahmen einer dezentralen Reflexbehandlung durch das jeweilige andere Bussystem durchgeführt. Um die zusätzliche Last des jeweiligen anderen Bussystems zu reduzieren, werden die weiterzuleitenden Informationen gefiltert. In Anhang A sind ergänzend unterschiedliche Ausfallsituationen und deren Einfluss auf die Kommunikation und Energieversorgung dargestellt.

Es existieren zwei Klassen von Regeln, welche im Fall eines Ausfalls zusätzlich zu den bereits bestehenden Kommunikationsregeln im Regelwerk (siehe Abschnitt 11.2.3) angewendet werden können und teilweise existierende Regeln ersetzen. In der Klasse der statischen Regeln sind Regeln zu Informationen enthalten, welche sicherheitskritisch sind und deren Weiterleitung jederzeit sichergestellt werden muss. In der Klasse der dynamischen Regeln sind Regeln zu Informationen enthalten, welche nicht in der Klasse der statischen Regeln enthalten sind und unter Berücksichtigung der aktuellen Situation angepasst werden.

11.3. Komponententopologie

Im Abschnitt zur Komponententopologie wird zunächst das 3C-Paradigma (siehe Abschnitt 11.3.1) und anschließend die zentrale Zone des Unicast-Bussystems (siehe Abschnitt 11.3.2) beschrieben.

11.3.1. 3C-Ausführungsorte

Neben der Aufteilung der unterschiedlichen Aufgaben in den COS-Schichten (siehe Abschnitt 11.1.1), sind die Ausführungsorte relevant. Aus diesem Grund wurden die 3C-Lokalitäten definiert. Diese Lokalitäten definiert drei unterschiedliche Klassen von Ausführungsorten. Tabelle 11.7 enthält eine Übersicht der unterschiedlichen Ausführungsorte. Tabelle 11.8 zeigt eine Matrix, welche einen quantitativen Zusammenhang zwischen Ausführungsort und den COS-Schichten abbildet. Eine detailliertere Zuordnung zwischen den COS-Schichten und der Hardware in der Car-Lokalität, ist in Tabelle 11.6 zu finden.

Tabelle 11.7.: 3C-Lokalitäten

COS-Lokalität	Beschreibung	(vorwiegende) Anbindung
Car	Hardware-Komponenten (ECUs), welche fest im Fahrzeug installiert sind und nach Stand der Technik für den Betrieb im Fahrzeug qualifiziert beziehungsweise zertifiziert sind.	Kabelgebunden
Consumer Device	Hardware-Komponenten, welche primär nicht für den Betrieb im Fahrzeug ausgelegt sind. Häufig sind das persönliche Geräte, welche nur für eine bestimmte Dauer im Fahrzeug verbleiben.	Kabellos (Nahfunk)
Cloud	Hardware-Komponenten, welche sich außerhalb des Fahrzeugs befinden.	Kabellos (Mobilfunk)

Tabelle 11.8.: Mögliche Verteilung der COS-Schichten auf die 3C-Lokalitäten

Schicht	Lokalität		
	Car	Consumer Device	Cloud
Reflex	X	(X)	
Strategie	X	X	X
Intelligenz	(X)	X	X

Legende:

X = Ohne Einschränkung möglich

(X) = Ausführung möglich, aber mit Einschränkung

Nachfolgend werden die 3C-Lokalitäten beschrieben. Der Idee dabei ist, dass nicht wie bisher alle Funktionen beziehungsweise die gesamte Funktion im Fahrzeug ausgeführt

werden, sondern bewusst Funktionsanteile ausgelagert werden. Um eine einheitliche Gegebenheit bei der Verlagerung vorzufinden, wurde mit 3C ein Klassifikationsschema von Ausführungsorten definiert. Wie nachfolgend beschrieben, erfolgt innerhalb der unterschiedlichen Lokalitäten eine weitere Differenzierung. Diese weitere Differenzierung ist für die Klassifizierung nicht relevant, da die prägenden Charakteristika (siehe Tabelle 11.9) innerhalb eines C's der 3C-Lokalitäten gleichartig sind.

Tabelle 11.9.: Charakteristika der 3C-Lokalitäten

Charakteristika
Anbindung
Aktualität der Hardware und Software
Austauschbarkeit der Hardware und Software
Rechenleistung
Verfügbarkeit der Ressource
Speicherkapazität

Car

Wie in Tabelle 11.4 beschrieben, wird in der bionischen Architektur zwischen drei Komponenten unterschieden. Für die Verteilung der Softwareschichten sind die Infrastrukturkomponenten (Gelb) und die dedizierte Berechnungshardware (Blau) relevant. Auf den gelben Komponenten wird analog zum menschlichen Vorbild die Reflexbehandlung durchgeführt, wie dies ebenfalls in [7] beschrieben wurde. Auf den blauen Komponenten wird analog zum menschlichen Vorbild die Strategie- und Reflexbehandlung durchgeführt.

Consumer Device

Diese Ausführungslokalität befindet sich ebenfalls im Fahrzeug und ist eine Ergänzung zu den Kategorien des Car-Bereichs. Die Anbindung findet vorwiegend kabellos via Nahfunktechniken statt. Die Verbindung zu dem kabelgebundenen Anteil des Bordnetzes erfolgt über die roten Komponenten.

Diese 3C-Lokalität wurde aufgrund des Vorhandenseins von aktuellen Hardware- und Software-Komponenten aufgenommen⁸⁷. Diese können zur Ausführung von Funktionen verwendet werden. Des Weiteren müssen Funktionen und Daten, die sich bereits auf dem Consumer Device befinden, nicht in das Fahrzeug übertragen werden. Daraus resultiert ebenfalls, dass die notwendigen Hardwareressourcen zur Ausführung der Funktion nicht vorgehalten werden müssen. Stattdessen kann das Consumer Device weiter für die Ausführung genutzt werden. Außerdem entfällt die Portierung von Funktionen für unterschiedliche Ausführungsplattformen.

⁸⁷Durchschnittlich werden Consumer Devices alle drei Jahre gewechselt, während beim Fahrzeug deutlich längere Verwendungszeiträume existieren [223, S. 45] [244].

Cloud

Die Cloud-Lokalität ist ein Sammelbegriff für Lokalitäten außerhalb des Fahrzeuges. In der Cloud wird vorwiegend die Intelligenzbehandlung durchgeführt, teilweise ist auch die Strategiebehandlung einzelner Funktionen möglich. Dies ergibt sich zum einem daraus, dass eine Simulation zwingend durchgeführt werden muss. Ein weiterer Grund sind Data Mining Anwendungen, die wie die Simulation, nicht notwendigerweise im Fahrzeug ausgeführt werden müssen.

Eine Möglichkeit ist, Ressourcen zu nutzen, welche sich an der Mobilfunkbasisstation befinden. Dies entspricht dem Edge Computing-Paradigma. Ebenfalls können Ressourcen von anderen Fahrzeugen genutzt werden. Des Weiteren können unabhängige Rechenressourcen (beispielsweise Heizkörper [310]) verwendet werden. Durch den Validator im COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1.1) werden die berechneten Ergebnisse vor der Verwendung geprüft, um die Verwendung fehlerhafter Ergebnisse zu verhindern.

11.3.2. Zentrale Zone

In diesem Abschnitt wird detailliert auf die zentrale Zone eingegangen, welche das zentrale Rückgrat/Backbone des Unicast-Bussystems (siehe Abschnitt 11.2.1) darstellt.

Die zentrale Zone ist nicht nur logisch betrachtet eine zentrale Komponente, sondern auch physikalisch im zentralen Bereich des Fahrzeuges angesiedelt. Dies ist vergleichbar mit der Anordnung der zentralen Nerven und Blutbahnen, welche teilweise durch die Wirbelsäule geschützt sind. Bereits heute werden gefährdete Komponenten im Fahrzeug im zentralen Bereich platziert. Diese Komponenten sind unter anderem Batterien oder Kraftstofftanks. Diese zentrale Platzierung soll eine Beschädigung durch Deformation der Karosserie vermeiden und die Kommunikation soll aufrecht gehalten werden [165, S. 182 ff.] [288, S. 85 ff.]. Dafür existieren zwei unterschiedliche Realisierungskonzepte. Aufgrund der Verwendung der datenzentrierten Kommunikation, und der daraus resultierenden Eigenschaften, erfolgt die Datenweiterleitung auf der Anwendungsebene. Entsprechend der Klassifikation der Infrastrukturkomponenten (siehe Abschnitt 6.3.5) beinhaltet die zentrale Zone Application Gateways.

Eine Komponente

Bei dieser Variante befindet sich in der Fahrzeugmitte nur eine zentrale Infrastrukturkomponente, welche je nach verwendeter Topologievariante (siehe Abschnitt 11.2.1) die räumlich verteilten Infrastrukturkomponenten oder die Sensoren und Aktoren anbindet.

Mehrere Komponenten

Bei dieser Variante befinden sich mehrere unabhängige Infrastrukturkomponenten in der Fahrzeugmitte. Diese werden physikalisch teilweise vermascht miteinander verbunden [211, S. 124]. Die Vermaschung kann je nach Kommunikationssituation unterschiedlich erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass keine Infrastrukturkomponente ein Artikulationspunkt⁸⁸, bezogen auf das Unicast-Bussystem, ist.

⁸⁸Als Artikulationspunkt werden in der Graphentheorie Knoten bezeichnet, wenn durch deren Entfernung nicht zusammenhängende Teilgraphen entstehen [169, S. 53].

Teil IV.

Evaluierung und Bewertung

12. Evaluierung

In diesem Kapitel wird das Konzept der bionischen E/E-Architektur, welches in Kapitel 10 und 11 beschrieben wurde, evaluiert. Im Rahmen der Evaluierung der bionischen E/E-Architektur werden ausgewählte Funktionen nach dem bionischen Ansatz modelliert. Abschließend werden die modellierten Funktionen bewertet. Zu den modellierten Funktionen zählen:

- Energiemanagement (siehe Abschnitt 12.1)
- Passive Sicherheit (siehe Abschnitt 12.2)
- Umfelderkennung (siehe Abschnitt 12.3)
- Watchdog (siehe Abschnitt 12.4)
- Optimierung des Ressourcenverbrauchs (siehe Abschnitt 12.5)
- Wakeup (siehe Abschnitt 12.6)
- Remotedienste (siehe Abschnitt 12.7)

Als Evaluationsumgebung wird die im Konzept (siehe Abschnitte 10 und 11) beschriebene Architektur verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug über eine Mobilfunk-, Bluetooth- und WLAN (Wireless Local Area Network)-Anbindung verfügt. Bei den beiden Nahfunkverbindungen, Bluetooth und WLAN, tritt das Fahrzeug bei Bluetooth als Master und Slave auf, bei WLAN als Access Point, Endgerät und im Ad-hoc-Modus. Weitere Details, wie eine Diagnose- oder Ladeschnittstelle, werden wegen der geringen Relevanz für das Konzept, in dieser Phase des Projektes nicht betrachtet.

12.1. Energiemanagement

12.1.1. Stand der Technik

Der Stand der Technik sowie ein Ausblick in die Zukunft des Bereiches des Energiemanagements wird in Abschnitt 5.1 beschrieben.

12.1.2. Bionischer Ansatz

Die Informationen aus den Spannungssensoren werden durch das Unicast-System an das Energiemanagement übertragen. Entsprechend der Regelung nach negativem Feedback, werden bei einer Unter- oder Überschreitung des vorgegebenen Sollwertes entsprechende Signale über das Broadcast-System versendet. Entsprechend dezentral, unabhängig reagieren die Komponenten auf die Informationen des Energiemanagements. Wie in [105, S. 310 ff.] beschrieben, existiert dazu bereits der Ansatz einer Ampelklassifikation. Dazu wird der Spannungslevel betrachtet und anhand des aktuellen Spannungslevels eine entsprechende Statusinformation verteilt. Anhand der versendeten Statusinformation reagieren die einzelnen Komponenten selbstständig.

Ein weiterer Ansatz für die Klassifikation ist, anhand von vordefinierten Situationen den Energieverbrauch entsprechend zu regulieren. Dies führt dazu, dass eine gezielte (vorübergehende) Abschaltung von Funktionen erfolgt. Beispielsweise wenn ein Unfall erkannt beziehungsweise erwartet wird (siehe Abschnitt 12.2). Dies ist vergleichbar mit Situationen, bei denen eine Ausschüttung von Katecholamine (siehe Abschnitt 7.2) stattfindet. Als Klassifikationsschema für Situationen kann das bereits bei der ASIL-Bewertung (siehe Abschnitt 5.3) verwendete Schema von Situationen angewendet werden.

Ein dritter Ansatz zur Steuerung der Energieverbraucher, ist eine Einordnung nach der Aufgabenkategorie der jeweiligen Funktion. Eine mögliche Klassifikation nach Aufgabenkategorie ist: Passive Sicherheit (siehe Abschnitt 4.13), Fahrzeugführung, Fahrerinformaton, Aktive Sicherheit (siehe Abschnitt 4.13), Entertainment und Zusatzfunktionen.

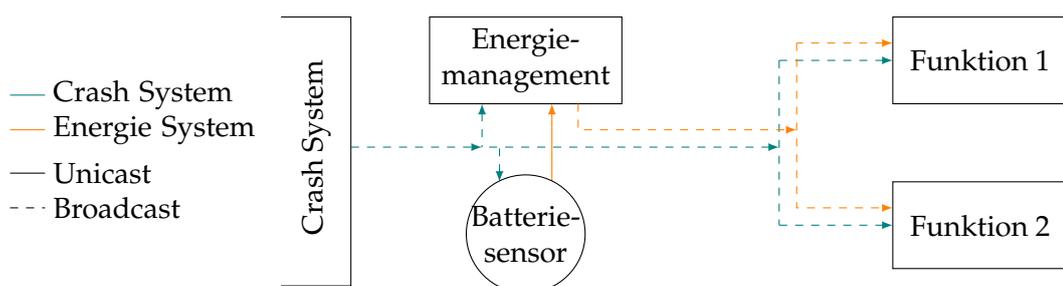


Abbildung 12.1.: Logischer Informationsfluss beim Energiemanagement

Abbildung 12.1 zeigt den logischen Informationsfluss des Energiemanagements nach dem bionischen Ansatz. Die orangenen Linien zeigen den logischen Informationsfluss innerhalb des Energiemanagements. Die in petrol dargestellten Linien zeigen ausschnittsweise den relevanten Informationsfluss des Crash Systems. Zusätzlich wird durch die Liniengestaltung dargestellt, welches der beiden Bussysteme verwendet wird. Wie in der Abbildung zu sehen, bestehen sowohl beim Energiemanagement als auch bei den Funktionen jeweils

zwei Inputwerte. Dies kann dazu führen, dass gegensätzliche Informationen von den getrennten Systemen gesendet werden. Hierbei ist die jeweils kritischere Information dominanter als die entsprechende unkritischere Information.

12.1.3. Bewertung und Fazit

Aufgrund der Vorarbeiten durch das fEPM (siehe Abschnitt 8.3.2) sind bereits bionische Ansätze im Bereich des Energiemanagement bei BMW implementiert. Aufgrund der Software- und Hardwarearchitektur der bionischen Architektur ist eine erweiterte Umsetzung, die dem menschlichen Vorbild noch ähnlicher ist, möglich.

Am Beispiel der drei aufgeführten Möglichkeiten eine Klassifikation zu erstellen, wird erneut deutlich, dass ein Interpretationsspielraum existiert, wenn Konzepte aus der Natur übernommen werden. Wird primär das Unicast-System für die Informationssammlung und das Broadcast-System für die Informationsweitergabe verwendet, kann ebenfalls bei einem Ausfall eines der beiden Kommunikationssysteme als Ersatz für das jeweilige andere genutzt werden.

Tabelle 12.1.: Zuordnung der Komponenten der Funktion „Energie“ in die COS-Schichten

COS-Schicht	Komponenten der Funktion
Intelligenz-Schicht	Erarbeitung von neuen Strategien vom Energiemanagement
Strategie-Schicht	Verwendung von erarbeiteten Strategien vom Energiemanagement
Reflex-Schicht	Voter in Aktoren
OuOC-Schicht	Sensoren und Aktoren

12.2. Passive Sicherheit

Die Sicherheitssysteme (siehe Abschnitt 4.13), die im Fahrzeug integriert sind, zählen zu den passiven Sicherheitselementen. Zeitlich gesehen werden diese Systeme nach einem Unfall aktiviert. Um zu bestimmen, ob sich ein Unfall ereignet hat, sind in einem Fahrzeug mehrere unterschiedliche Sensoren verbaut. Je nach den gemessenen Kräften werden unterschiedliche Aktoren ausgelöst. Dazu zählen neben dem Auslösen der Airbags, das Öffnen der Zentralverriegelung, die Absperrung der Stromversorgung und der Kraftstoffzufuhr. Durch weitere technische Entwicklungen und neuer gesetzlichen Regelungen, wird ein e-Call ausgelöst, wenn aufgrund der Sensordaten ein Crash festgestellt wurde [57] [59, S. 1029 ff.] [229, S. 283].

12.2.1. Aktueller Stand

Die Verbindung zwischen den Aktoren und Sensoren wird durch ein Airbagsteuergerät koordiniert. Dazu werden die notwendigen Werte gesammelt und ausgewertet. Abbildung 12.2 zeigt eine typische Verteilung der Sensoren und Aktoren für die passiven Sicherheitssysteme in einem Fahrzeug, die Bedeutung der Nummern in Abbildung 12.2 ist aus Tabelle 12.2 ersichtlich.

Tabelle 12.2.: Legende zur Abbildung 12.2

Nummer	Beschreibung
1,2	Fahrer- und Beifahrerairbag
3,4	Seiten- und Kopfairbag
5	(zentrales) Steuergerät
6	Gurtstraffer und -begrenzer
7	Upfrontsensoren
8	Seitenbeschleunigungssensoren
9	Drucksensoren im Türvolumen

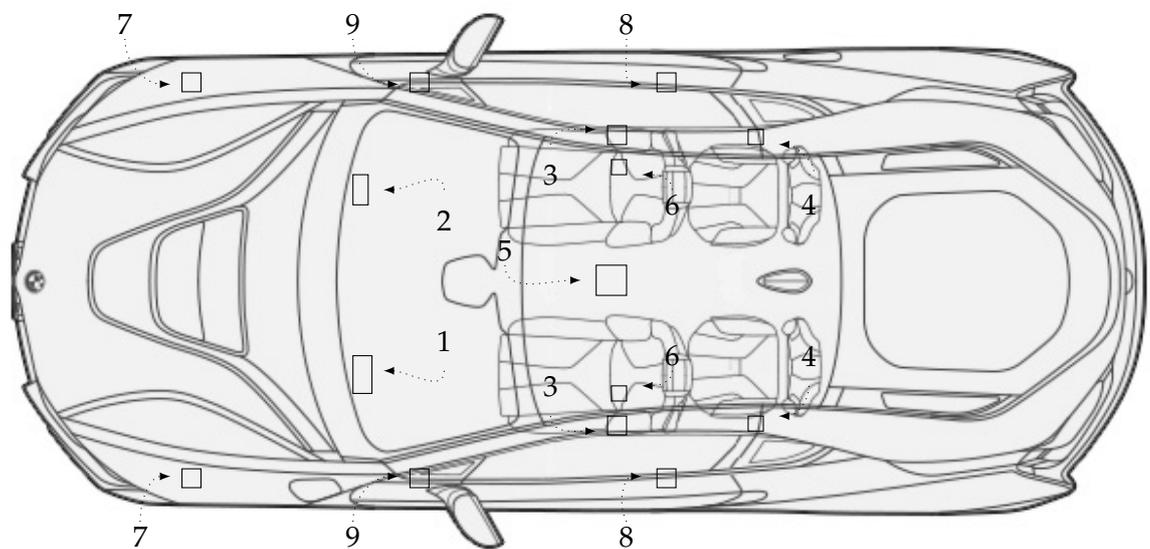


Abbildung 12.2.: Strukturbild der Funktion „Passive Sicherheit“ (Quelle: [229, S. 286])

12.2.2. Bionischer Ansatz

Bei der Umsetzung nach dem bionischen Ansatz existieren zwei unabhängige Varianten. Diese Varianten können aus Redundanzgründen gleichzeitig eingesetzt werden. Unabhängig, welche Variante verwendet wird, können zwei unterschiedliche Voter-Mechanismen angewendet werden, je nach dem welche Daten versendet werden. Bei der Versendung der Sensorinformationen können rohe oder aufbereitete Daten gesendet werden. Bei Rohdaten werden die gemessenen Werte versendet und die Voter entscheiden aufgrund dieser Werte, ob eine Auslösung der unterschiedlichen Sicherheitseinrichtungen, wie Airbag und Gurtstraffer, notwendig ist. Werden aufbereitete Daten versendet, wird von den Sensoren eine Crash-Nachricht versendet, wenn jeweils ein entsprechender Schwellwert überschritten ist. Die Voter entscheiden anschließend anhand der Anzahl von eingegangenen Nachrichten, ob eine Auslösung notwendig ist.

Werden die Kenntnisse aus dem menschlichen Körper restriktiver ausgelegt, ergibt sich die Variante A (siehe unten) nach dem Vorbild der Schutzreflexe. Werden die Kenntnisse allgemeiner ausgelegt, ergibt sich die Variante B (siehe unten) nach dem Vorbild des Hormonsystems, wie diese bei Schutzreaktionen der inneren Regulierung (Homöostase) auftreten (siehe Abschnitt 7.2).

Variante A - Reflex Bei dieser Variante existiert kein zentrales Airbagsteuergerät, entsprechend der Reflexbehandlung werden die Information direkt über die Infrastrukturkomponenten des Unicast-Bussystems der Verkabelung weitergegeben. Das Voting erfolgt entweder in den Infrastrukturkomponenten oder in den Aktoren. Abbildung 12.3 zeigt den Signalfluss nach dieser Variante. Bei dieser Ausgestaltungsvariante befindet sich der Voter in der Infrastrukturkomponente. Ausgehend vom Voter existieren ebenfalls Informationsflüsse via Uni- und Broadcast-System, diese können unter anderem vom Energiemanagement (siehe Abschnitt 12.1) genutzt werden.

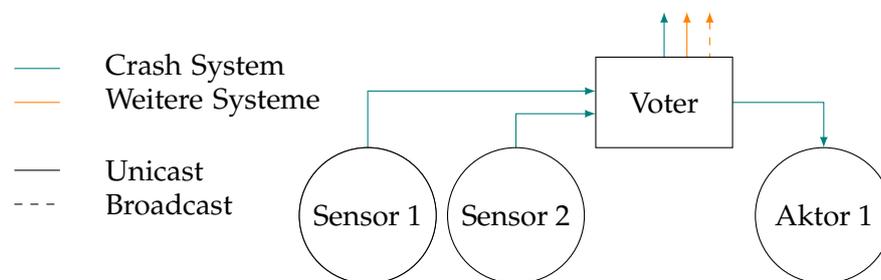


Abbildung 12.3.: Logischer Informationsfluss beim Crash nach Variante A

Variante B - Hormon Bei dieser Variante werden die Informationen der Sensoren über das Broadcastsystem versendet. Vergleichbar zur Variante A existiert kein zentrales Steuergerät, welches die Steuerung übernimmt. Bei dieser Variante erfolgt das Voting in den jeweiligen Aktoren und nicht wie in der Variante A in einem Voter, welcher sich vorzugsweise auf der Infrastrukturkomponente befindet. Abbildung 12.4 zeigt den entsprechenden logischen Informationsfluss.

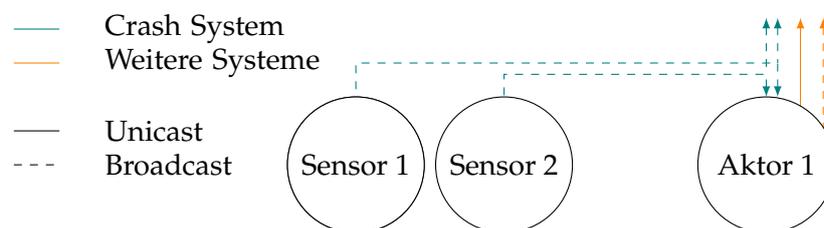


Abbildung 12.4.: Logischer Informationsfluss beim Crash nach Variante B

12.2.3. Bewertung und Fazit

Tabelle 12.3 enthält eine Zuordnung der Komponenten, die zur Umsetzung verwendet wurden, nach dem bionischen Vorbild zu den Schichten des COS-Modells.

Tabelle 12.3.: Zuordnung der Komponenten der Funktion „Passive Sicherheit“ in die COS-Schichten

COS-Schicht	Komponenten der Funktion
Intelligenz-Schicht	–
Strategie-Schicht	Bestimmung der gültigen Voting-Tabelle
Reflex-Schicht	Voter
OuOC-Schicht	Sensoren und Aktoren

Wird die Aktorenkonfiguration angepasst, muss bei der Variante A die entsprechende Weiterleitungseinträge angepasst werden. Diese kann mit entsprechenden Mechanismen selbstständig erfolgen. Bei der Variante B können weitere Aktoren eingeführt werden, ohne dass dafür eine Anpassung für die anderen Komponenten notwendig ist.

Wird die Sensorenkonfiguration angepasst, müssen die entsprechenden Einträge der Voter angepasst werden. Abhängig von der verwendeten Kommunikation, kann dies automatisch erfolgen. Ebenfalls kann dies mit entsprechenden Mechanismen angepasst werden.

Aufgrund des dezentralen Ansatzes wird eine zentrale und somit eine mögliche SPOF (Single Point of Failure)-Komponente vermieden. Werden beide Varianten verwendet, existiert eine redundante Auslegung des Systems. Bei dieser Umsetzung ist sowohl der Kommunikationskanal als auch das Voting redundant ausgelegt. Vorteil bei diesem Anwendungsfall ist, dass die Sensoren und Aktoren bereits räumlich nah verbaut sind.

Insgesamt gesehen wird der bionische Ansatz durch den derzeitigen Verbauort der Sensoren und Aktoren unterstützt. Wie in Abbildung 12.2 gezeigt, sind die Sensoren und Aktoren räumlich zusammengefasst angeordnet, was einen dezentralen Ansatz unterstützt.

12.3. Umfeld erfassung

12.3.1. Stand der Technik

Bei der Umsetzung des pilotierten Fahrens sind generell drei Umsetzungsvarianten möglich. Neben einer Umsetzungsvariante ohne Vernetzung sind zwei Umsetzungsvarianten mit einer Vernetzung möglich. Bei den Vernetzungsvarianten kann zwischen einer Car-to-Car- (Ad-hoc) und Infrastruktur-Vernetzung unterschieden werden [39, 79, 164].

Unabhängig von den drei Umsetzungsvarianten sind auch unterschiedliche Umsetzungsvarianten im Fahrzeug möglich. Eine Variante des pilotierten Fahrens ist eine zentrale Umsetzung. Bei dem sogenannten zFAS (zentrales Fahrerassistenzsteuergerät) werden alle Informationen der Umfeldsensorik zu einem gemeinsamen Umfeldmodell zusammengefasst [31]. Abbildung 12.5 beinhaltet die Positionen der verschiedenen Sensoren zur Umfeld erfassung. Tabelle 12.4 enthält die dazugehörige Legende.

Tabelle 12.4.: Legende zur Abbildung 12.5

Nummer	Beschreibung
1	Long Range Radar
2	Infrarot (Nachtsichtbereich)
3	Kamera/Stereokamera
4	Ultrasensor
5	Heckkamera

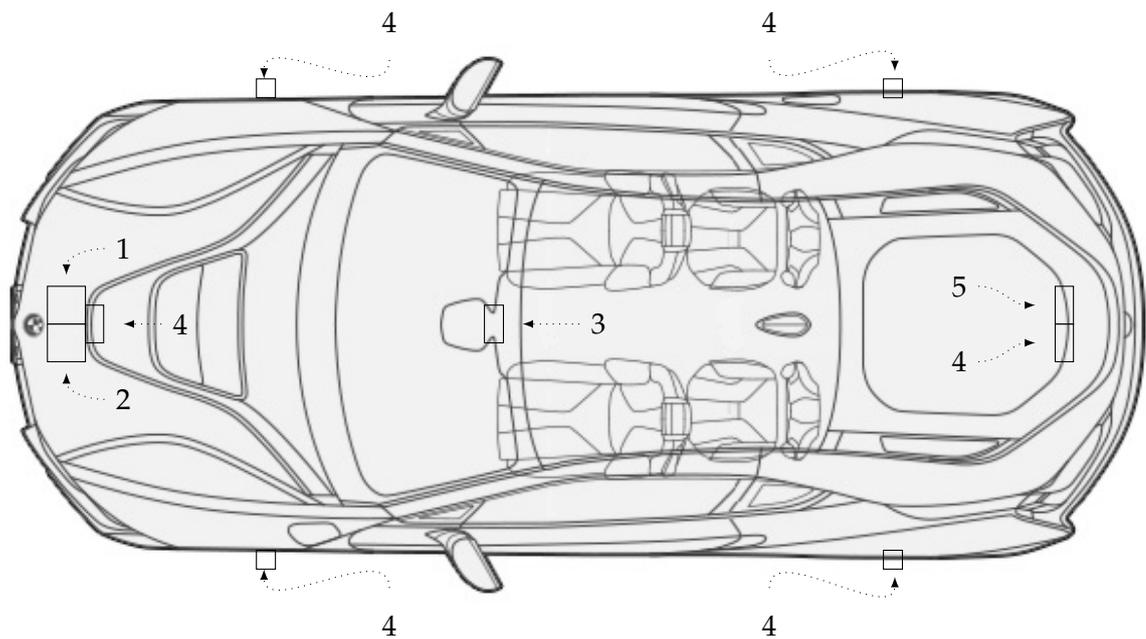


Abbildung 12.5.: Sensoren für die Umfelderkennung (Quelle: [226, S. 109, S. 130 ff.])

12.3.2. Bionischer Ansatz

Bei dem bionischen Ansatz erfolgt die Anbindung der Sensoren und die Verarbeitung der entsprechenden Informationen unterschiedlich [226, S. 109 ff.]. Die Sensorik wird entsprechend der Erfassungsreichweite unterschiedlich angebunden, wie dies in Tabelle 12.5 angegeben ist. In Ergänzung zu dem Verbaauraum der einzelnen Sensoren in Abbildung 12.5 enthält Abbildung 12.6 den dazugehörigen Informationsfluss. Dabei werden die Ultranahefeldsensoren in der Art und Weise von Schutzreflexen angebunden. Die restlichen Fahrzeugsensoren zur Umfelderkennung werden direkt an die Strategie-Schicht angebunden, vergleichbar mit den Hirnnerven im menschlichen Körper.

Tabelle 12.5.: Anbindung der Sensoren zu COS-Schichten (Quelle: [226, S. 109 ff.])

COS-Schicht	Sensoren
Intelligenz-Schicht	Externe Sensoren (> 200 m und ergänzend zu den Sensoren am Fahrzeug)
Strategie-Schicht	Mittelbereich (< 80 m) Nachtsichtbereich (< 150 m) Fernbereich (< 200 m)
Reflex-Schicht	Ultranahbereich (< 2,5 m)
OuOC-Schicht	Sensoren und Aktoren

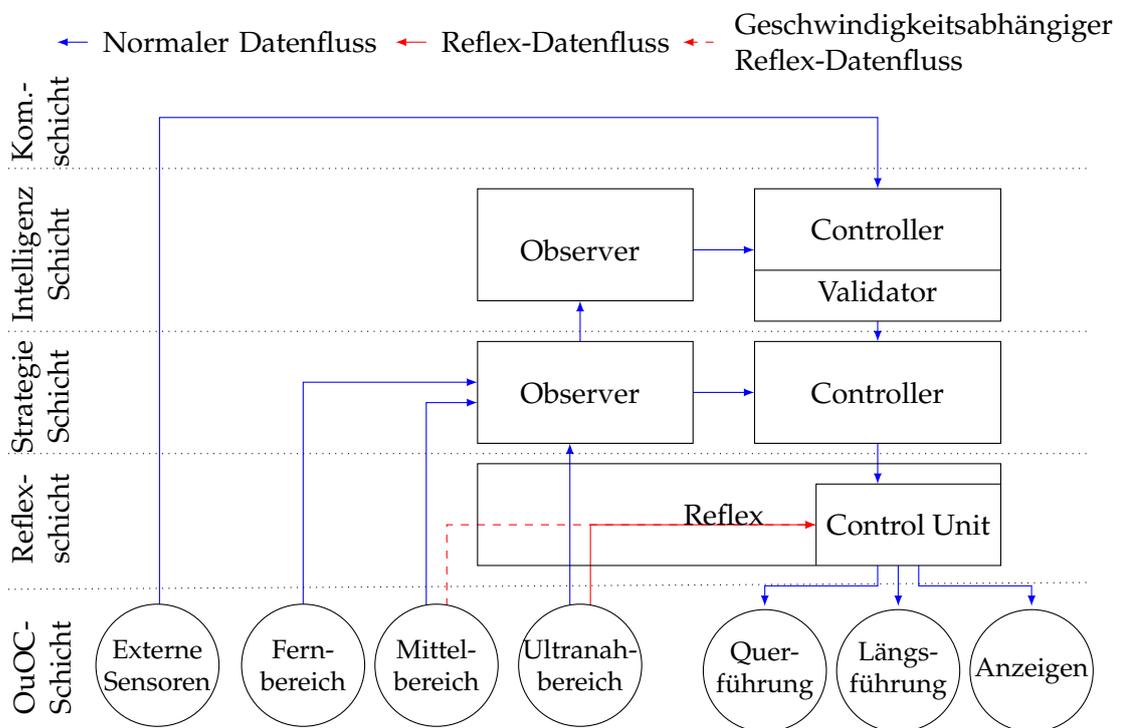


Abbildung 12.6.: Informationsfluss vom pilotierten Fahren

Abhängig von der Schnelligkeit des Fahrzeuges, des Regelkreises und der Erfassungsreichweite der Sensoren ist eine Anpassung des (Reflex-)Datenflusses (gestrichelte Linie) notwendig. So kann bei einer Autobahnfahrt die Reflexbehandlung nicht durch die Ultranahfeldsensoren erfolgen, sondern muss zusätzlich durch Sensoren aus dem Nah- und Mittelbereich erfolgen. Tabelle 12.6 enthält die verfügbare Zeit von unterschiedlichen Erfassungsreichweiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit. In dieser Zeit muss die Erkennung der Objekte, die Berechnung und das Fahrmanöver ausgeführt werden. Zusätzliches Kriterium bei der Auswahl des Sensors für die Reflexbehandlung ist die Erfassungsqualität der jeweiligen Sensoren.

Die Daten für die Reflexbehandlung werden dazu verwendet, um die Daten aus den oberen Schichten zu plausibilisieren. Durch den Observer und Controller der oberen beiden Schichten des COS-Modells wird durch die Fusion der unterschiedlichen Sensoren ein Umfeldmodell erstellt. Mit Hilfe des Umfeldmodells erfolgt eine Planung und anschließende Simulation der Fahrtrajektorien. Erfolgt durch die Reflexsensoren eine Situationserfassung, welche vom erstellten Umfeldmodell divergiert, ist die Plausibilität beziehungsweise die Korrektheit der Befehle und der Ausführung der oberen Schichten infrage zu stellen. Tritt die Situation von nicht plausiblen Befehlen ein, muss durch die Control Unit im COS-Modell auf die Reflexinformationen zurückgegriffen werden. Auf Reflexebene ist es dazu primär ausreichend, ob ein Objekt im Erfassungsbereich vorhanden ist. In diesem Fall ist ausreichend, nur qualitative (Objekt vorhanden/nicht vorhanden) Daten zunutzen und daraus Ersatzaktionen auszuführen.

Die Plausibilisierung der Befehle aus dem Normalen-Datenfluss erfolgt indirekt, aufgrund der Tatsache das die Art der Informationen im Reflex- und Normalen-Datenfluss unterschiedlich sind. Bei den Informationen im Reflex-Datenfluss handelt es sich um Umfeldinformationen und im Normalen-Datenfluss sind Befehle zu Ansteuerung der Aktoren für die Längs- und Querverführung enthalten. Mit entsprechenden zuvor definierten, einfachen Regeln ist eine Plausibilisierung möglich. Um ein abstraktes Regelbeispiel zu nennen: Wenn ein Befehl den Abstand des Fahrzeugs zu einem Objekt in einer zu schnellen, absoluten oder relativen, Rate verändert, primär verringert, oder der Abstand einen gewissen Grenzwert überschreitet, ist davon auszugehen, dass die Befehle nicht plausibel sind. Dies kann auf ein falsches beziehungsweise auf ein veraltetes Umfeldmodell oder eine falsche Simulation hindeuten.

Tabelle 12.6.: Verfügbare Zeit [s] aufgrund der Erfassungsreichweite [m] in Abhängigkeit der Geschwindigkeit [km/h]

		Geschwindigkeit [km/h]							
		10	30	50	80	100	130	150	200
Erfassungs- reichweite [m]	2.5	0.90	0.30	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05
	10	3.6	1.2	0.72	0.45	0.36	0.28	0.24	0.18
	50	18.00	6.00	3.60	2.25	1.80	1.38	1.20	0.90
	80	28.80	9.60	5.76	3.60	2.88	2.22	1.92	1.44
	120	43.20	14.40	8.64	5.40	4.32	3.32	2.88	2.16
	200	72.00	24.00	14.40	9.00	7.20	5.54	4.80	3.60

Entsprechend den drei Ebenen der Autobahnpielen nach [188, S. 14] erfolgt die Einteilung der Aufgaben in die Schichten des COS-Modells (siehe Tabelle 12.7). Ähnlich wie die unterschiedlichen Regionen im menschlichen Großhirn, werden die einzelnen Funktionsanteile zur Interpretation des Umfeldes auf einer ECU partitioniert. Um eine Unabhängigkeit zwischen den Funktionsanteilen zu erreichen, werden diese in unterschiedlichen VMs partitioniert. Dies ermöglicht eine schnelle Kommunikation der unterschiedlichen Funktionen. Die Schneidung der Funktionsanteile kann nach unterschiedlichen Aspekten erfolgen. Drei mögliche Aspekte sind: Erfassungsreichweite, Sensor und Aufgabe⁸⁹.

⁸⁹Beispielsweise: Personen-, Schilder- und Fahrzeugerkennung.

12.3.3. Bewertung und Fazit

Tabelle 12.7 enthält die Zuordnung der Komponenten der Funktion. Ein Entwurf der Funktion nach dem menschlichen Vorbild enthält zwei Datenflüsse, welche in der Control Unit des COS-Modells gegenseitig arbitriert werden. Durch die beiden Datenflüsse und die COS-Schichten sind zwei unabhängige Regelkreise vorhanden. Dadurch ist eine Redundanz der Logikkomponenten vorhanden. Durch die Verteilung der Komponenten auf unterschiedliche Hardware-Komponenten und durch die beiden Bussysteme ist ebenfalls eine Redundanz auf der Hardwareebene gegeben.

Abbildung 12.7.: Zuordnung der Komponenten der Funktion „Umfelderfassung“ in die COS-Schichten

COS-Schicht	Komponenten der Funktion	Aufgaben
Intelligenz-Schicht	- Daten von externen Sensoren - Sensorfusion - Umfeldmodell - Trajektorienplanung - Fahrsimulation	Navigationsebene
Strategie-Schicht	- Erkennung - Umsetzen der geplanten Trajektorien	Bahnführung
Reflex-Schicht	- Reagieren	Regelungsebene
OuOC-Schicht	- Sensoren und Aktoren	Umfelderfassung und Reaktion

12.4. Watchdog

12.4.1. Stand der Technik

Wie in [163, S. 15] beschrieben, dient ein Watchdog zur Überwachung einer Recheneinheit. Dazu muss periodisch ein Life-Signal an den Watchdog gesendet werden. Bleibt das Signal aus, wird versucht die überwachte Recheneinheit in einen sicheren Zustand zu bringen. Häufig erfolgt ein Neustart der Recheneinheit, was teilweise den maximalen Handlungsspielraum des Watchdogs darstellt. Dieses Verhalten kann ebenfalls in das MAPE-Schemata (siehe Abschnitt 6.7) eingeordnet werden, wobei der Handlungsspielraum der einzelnen Phasen eingeschränkt ist.

12.4.2. Bionischer Ansatz

Wie in [4] beschrieben, soll durch das COS-Modell die Watchdog-Funktionalität erweitert werden. Die Erweiterung der Funktionalität erfolgt in allen Phasen nach dem MAPE-Schemata (siehe Abschnitt 6.7). Tabelle 12.7 zeigt den jeweiligen Funktionsumfang der einzelnen MAPE-Phasen. Zusätzlich dazu zeigt Abbildung 12.8 den Informationsfluss zwischen den einzelnen Komponenten, welcher ebenfalls nach dem COS-Modell aufgebaut ist. Des Weiteren sind die Ausführungsorte der einzelnen Schichten nach dem 3C-Schemata (siehe Abschnitt 11.3.1) angegeben.

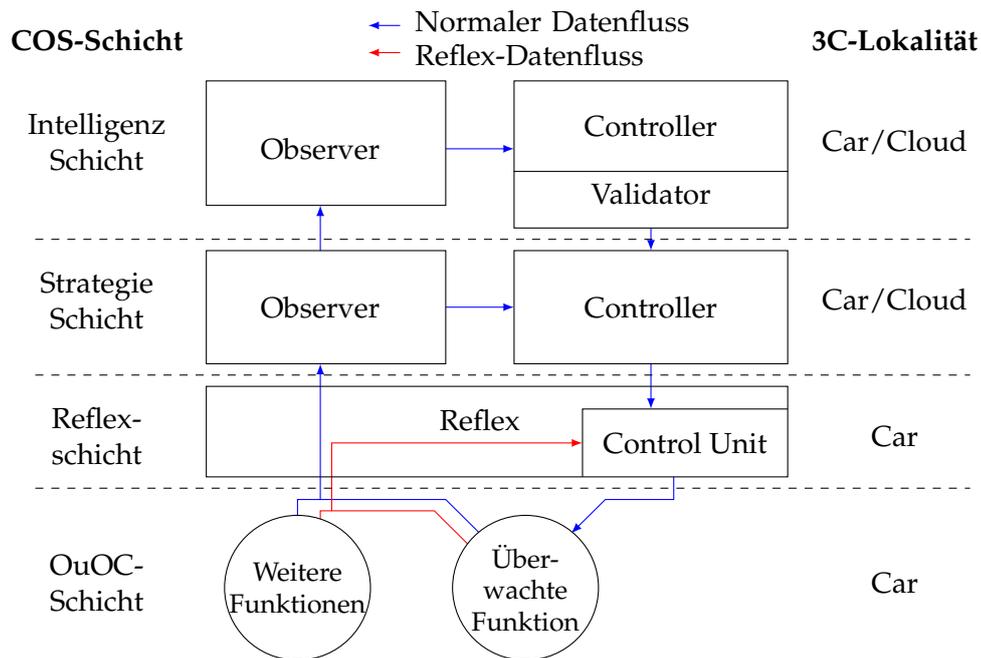


Abbildung 12.8.: Informationsfluss beim Watchdog

Die Erweiterung des Funktionsumfangs erfolgt dabei in mehreren Stufen. Der erste Umfang ist, wie in Tabelle 12.7 angegeben, dass neben der Beachtung weiterer Datenmenge, auch eine Simulation und Wissen von anderen Instanzen des Watchdogs genutzt werden. Dies ist aufgrund der Offenheit der E/E-Architektur notwendig, da eine Vielzahl von Hardware- und Softwarekombinationen entstehen.

Der zweite Erweiterungsumfang ist, dass, neben einem Neustart, auch eine Konfigurationsänderung und ein Up-/Downgrade erfolgen kann. Dies setzt wiederum auf die Wissensbasis auf, welche durch Simulation oder Erfahrungen von anderen Instanzen des Watchdogs vorhanden ist. Durch die Wissensbasis erfolgt dies selbstständig.

Der dritte Umfang ist primär notwendig, dass die erst genannten Umfänge realisiert werden können. Neben der reinen Ausführung im Car, werden Softwareanteile des Watchdogs außerhalb des Fahrzeugs in der Cloud ausgeführt. Dies betrifft primär die Simulations-Anteile der Schichten. Die Observer-Anteile werden teilweise im Car ausgeführt, um das Volumen der zu übertragenden Daten zu reduzieren. Abbildung 12.9 zeigt die logische Anordnung des Watchdogs gegenüber einer Funktion, welche ebenfalls nach dem COS-Modell aufgebaut ist. Dabei wird angenommen, dass die Reflex-Schicht der COS-Funktion im Car und die Strategie- und Intelligenz-Schicht der COS-Funktion in der Cloud verortet ist. Aus diesem Grund existieren zwei getrennte Reflexeinheiten des Watchdogs. Die untere Reflex-Einheit des Watchdogs befindet sich ebenfalls im Car, die obere Reflex-Einheit befindet sich, wie die Strategie- und Intelligenz-Schicht des Watchdogs, in der Cloud. Dies wurde notwendig, da Anteile der zu überwachenden Funktion verteilt sind. Dies tritt ebenfalls im Körper auf, als Beispiel ist der gekreuzte Streckreflex in den Beinen zu nennen [213, S. 832 ff.].

⁹⁰Bezogen auf die Zeit zwischen Input und Output von kausal zusammenhängenden Nachrichten.

Tabelle 12.7.: Funktionalität der MAPE-Phasen des Watchdog nach dem bionischen Ansatz

Phase	Funktionalität	COS-Schicht	3C-Lokalität
Monitor	Messen von Daten: - Auslastung von Prozessor und Arbeitsspeicher - Ausführungszeiten - Reaktionszeit ⁹⁰ - Temperatur der ECU - Umgebungstemperatur	OuOC-Schicht	Car
Analyse	- Aufbereitung der Daten für die Simulation und Strategiesammlung	Reflex, Strategie, Intelligenz	Car, Cloud
Plan	- Simulation von Fahr- und Umweltsituationen - Anwendung von bekannten Strategien	Strategie, Intelligenz	Cloud
Execute	- Neustart - Konfigurationsänderung - Up-/Downgrade	OuOC-Schicht	Car

Abbildung 12.9 zeigt eine mögliche Variante der Anordnung der überwachten Funktion, welche links ausgegraut dargestellt ist, und des Watchdogs. Sowohl die Schichten der überwachten Funktion als auch die Schichten des Watchdogs können im Rahmen des 3C-Rasters verschoben werden. Die Anordnung wird ebenfalls beeinflusst, wenn die eigentliche Funktion nur aus einer Schicht besteht.

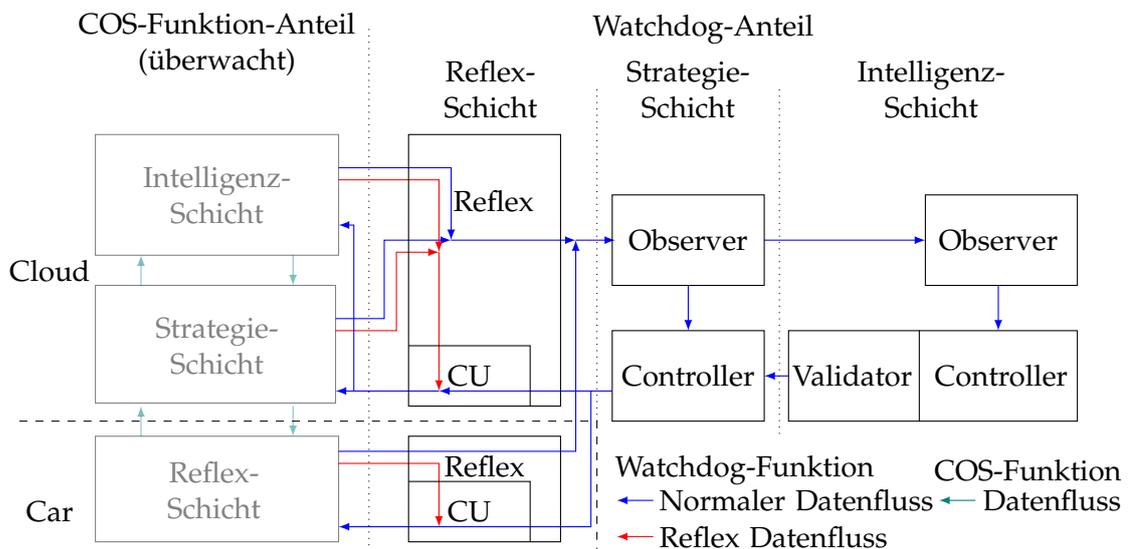


Abbildung 12.9.: Anordnung des Watchdogs gegenüber einer (COS-)Funktion

Neben dem obligatorischen Life-Signal der bisher betrachteten Watchdogs werden beim bionischen Watchdog ebenfalls weitere Parameter verwendet. Überwachende Parameter sind beispielsweise die Input- und Outputwerte, die Rechenzeit, der Speicher- und Energieverbrauch, sowie die Temperatur der zu überwachenden Funktion beziehungsweise ECU. Des Weiteren wird die Konfiguration der zu überwachenden Funktionen und die Menge an Funktionen im Fahrzeug und deren Versionen erfasst.

12.4.3. Bewertung und Fazit

Am Beispiel des Watchdogs zeigt sich erneut die Anwendbarkeit des COS-Modells beziehungsweise der Bionik im Softwarebereich. Es wird der Funktionsumfang einer bestehenden Funktion erweitert, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung einer unabhängigen Arbeitsweise. Aufgrund des erweiterten Funktionsumfangs können unterschiedliche Self-X-Eigenschaften (siehe Abschnitt 4.10) für das Fahrzeug erreicht werden. Im Rahmen des Aufgabenbereichs des Watchdog sind die Self-X-Eigenschaften der Self-Diagnose, -Healing und -Repair abgedeckt.

An diesem Evaluationsbeispiel zeigt sich ebenfalls die Notwendigkeit der Software-Variante der OuOC-Schicht (siehe Abschnitt 11.1.1), obwohl dies nicht für eine rekursive Organisation angewendet wird.

12.5. Optimierung des Ressourcenverbrauchs

12.5.1. Stand der Technik

Im aktuellen Fahrzeug wird keine oder nur eine geringe Optimierung des Ressourceneinsatzes durchgeführt. Vereinzelt wird versucht Komponenten abzuschalten, aber eine dynamische Migration der Tasks zwischen den ECUs beziehungsweise eine selbstständige Optimierung wird nicht durchgeführt. So besteht die Möglichkeit, dass vereinzelt ECUs aktiv sind und nur einen Bruchteil ihrer Leistungsfähigkeit genutzt wird. Dabei wird der übliche Overhead für den Betrieb weiterhin verursacht, obwohl von den Leistungsdaten eine Konsolidierung der Tasks möglich wäre.

12.5.2. Bionischer Ansatz

Der generelle Unterschied gegenüber zum Stand der Technik ist, dass bei der bionischen E/E-Architektur eine (selbstständige) Optimierung der Ressourcen erfolgt. Vergleichbar zum Energiemanagement (siehe Abschnitt 12.1) und Watchdog (siehe Abschnitt 12.4) wird hier ebenfalls das COS-Modell als Querschnittsfunktion eingesetzt. Eine notwendige Voraussetzung ist, dass ein Pool von ECUs vorhanden ist. Diese Voraussetzung wird sowohl durch die Hardwarearchitektur mit dem Topologiekonzept (siehe Abschnitt 11.2.1) und der Softwarearchitektur mit dem COS-Modell (siehe Abschnitt 11.1) unterstützt.

Tabelle 12.8 zeigt eine Übersicht über die Verteilung der einzelnen Komponenten im Rahmen des COS-Modells. Im weiteren Verlauf wird auf die einzelnen Schichten eingegangen. Zur besseren Verdeutlichung wird der gesamten Datenfluss in Abbildung 12.11 dargestellt.

Tabelle 12.8.: Aufteilung der notwendigen Komponenten zur Optimierung der Hardwareressourcen nach dem COS-Modell

COS-Schicht	Aufgabe	Lokalität
Intelligenz-Schicht	Simulation der Situationen	Cloud
Strategie-Schicht	Vorhaltung und Auswahl der bereits simulierten Situationen	Cloud/Car
Reflex-Schicht	Ausführung der Regeln	Car
OuOC-Schicht	Umsetzung der Regeln	Car

Situation

Bevor die einzelnen Schichten betrachtet werden, wird zum besseren Verständnis definiert, was die Bedeutung des Begriffs Situation in diesem Zusammenhang ist. Dies wird durch eine dreidimensionale Darstellung (siehe Abbildung 12.10) unterstützt. Die Funktionsarchitektur wird als ein gewichteter Digraph⁹¹ abstrahiert und bildet die erste Dimension. Die Knoten repräsentieren die einzelnen Funktionsanteile und die Kanten die Kommunikationsbeziehung. In der graphischen Darstellung repräsentiert ein Intervall eine Funktionsarchitektur (**FA_x**). Die Hardwarearchitektur (**HA_x**) ist die zweite Dimension, welche ebenfalls im Form eines gewichteten Digraphens repräsentiert wird. Wie bei der Funktionsarchitektur, repräsentiert ein Intervall eine konkrete Hardwarearchitektur. Als dritte Dimension wird der Fahrzeugzustand beziehungsweise die Umweltsituation (**ZS_x**) verwendet. Mögliche Ausprägungen der dritten Dimension sind dabei Autobahn-/Landstraßen-/Stadtfahrt und ein Unfall, was ebenfalls durch ein Intervall repräsentiert wird.

Dieser dreidimensionale Raum repräsentiert den Raum der möglichen Situationen, vergleichbar zum Datenwürfel in der Teildisziplin Data-Warehouse [195, S. 53 ff.]. Ein einzelner Unterwürfel (siehe Abbildung 12.10) repräsentiert dabei eine einzige Situation, die eintreten kann. Der in grau dargestellte Unterwürfel repräsentiert die Situation, wenn die Funktionsarchitektur II im Fahrzeug genutzt wird, die Hardwarearchitektur V im Fahrzeug verfügbar ist und der Fahrzeugzustand/die Umweltsituation V auftritt.

Schichten

Aufgrund der Eigenschaft als Querschnittsfunktion, wird die OuOC-Schicht als Softwarevariante (siehe Abschnitt 11.1.1) ausgeführt. In dieser Schicht befinden sich die zu steuernden Komponenten. Dazu zählen, abhängig von der konkreten Umsetzungsform die Funktionsanteile, der Hypervisor (siehe Abschnitt 11.2.6) oder Infrastrukturkomponenten beziehungsweise das Regelwerk für die datenzentrierte Kommunikation (siehe Abschnitt 11.2.3).

In der Reflex-Schicht (siehe Abbildung 12.12) ist die Ausführung der Regeln der ausgewählten Situation zugeordnet.

In der Strategie-Schicht (siehe Abbildung 12.13) werden die bereits simulierten Situationen

⁹¹Digraph = Gerichteter Graph

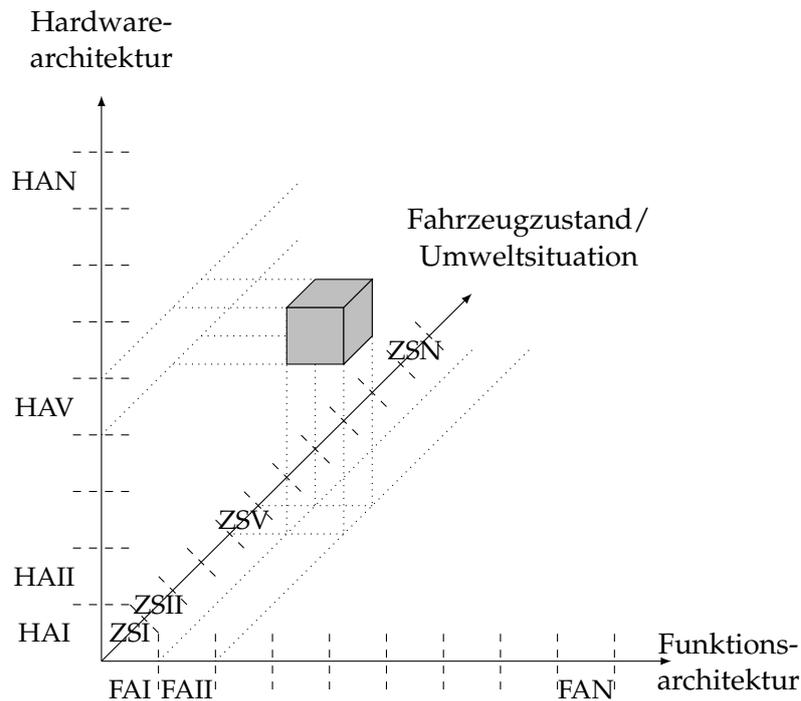


Abbildung 12.10.: Graphische Repräsentation des Situationsraums

gespeichert und auch ebenfalls ausgewählt. Bei der Auswahl ist eine gewisse Unschärfe notwendig, wie dies bei Fuzzy Logik (siehe Abschnitt 6.2) angewendet wird. Dies wird notwendig, da die Wahrscheinlichkeit gering ist, dass eine Situation vorliegt, die genau einer simulierten Situation entspricht. Die Wahrscheinlichkeit sinkt, je mehr Parameter bei der Auswahl einbezogen werden. Aus diesem Grund ist eine Approximation notwendig. Die Ausführung erfolgt teilweise in der Cloud und im Car. Diese Teilung ist notwendig, da der Vorhalt aller möglichen Situationen, also der komplette Würfel, in einem Fahrzeug aufgrund der Ressourcenknappheit unrealistisch ist. Das Vorhalten von ausgewählten angrenzenden Würfeln ist dagegen aufgrund der daraus resultierenden Datenmenge realistisch. In Anlehnung der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 12.10), ist es notwendig, das Ergebnis eines Slicings⁹² entlang der z-Achse (Fahrzeugzustand/Umweltsituation) im Fahrzeug vorzuhalten, um schnell und unabhängig von der Verbindung zur Cloud auf Situationsänderungen reagieren zu können.

In der Intelligenz-Schicht (siehe Abschnitt 12.14) befindet sich primär die Simulation der einzelnen Situationen. Dazu wird der vollständige Zyklus der evolutionären Algorithmen (siehe Abbildung 6.2) in dieser Schicht ausgeführt. Aufgrund des zu erwartenden Aufwands für die Simulation, aber auch wegen der Gültigkeit für mehrere Fahrzeuge ist eine Ausführung nur in der Cloud sinnvoll. Aufgrund der Tatsache, dass die Strategie- und Intelligenz-Schicht in der Cloud ausgeführt werden, teilen sich beide Schichten den Speicher für die Situationen und Strategien.

⁹²Der Begriff stammt aus dem Bereich des Data Warehouse und bezeichnet die Auswahl von Daten entlang einer fixierten Achse [144, S. 90].

Datenfluss

In Ergänzung zu den Schichten wird in diesem Unterabschnitt der Datenfluss für diesen Anwendungsfall beschrieben. Dabei wird die Kommunikationsschicht nicht betrachtet. Zur Orientierung und zur besseren Übersichtlichkeit zeigt Abbildung 12.11 nur den primären Datenfluss und essentielle Komponenten. Nachfolgend werden die Datenflüsse ausschnittsweise beschrieben. Dabei werden noch nicht dargestellte Datenflüsse gepunktet und weitere Komponenten dargestellt. Ausgehend von der OuOC-Schicht werden die notwendigen Informationen gesammelt und an die oberen Schichten weitergegeben.

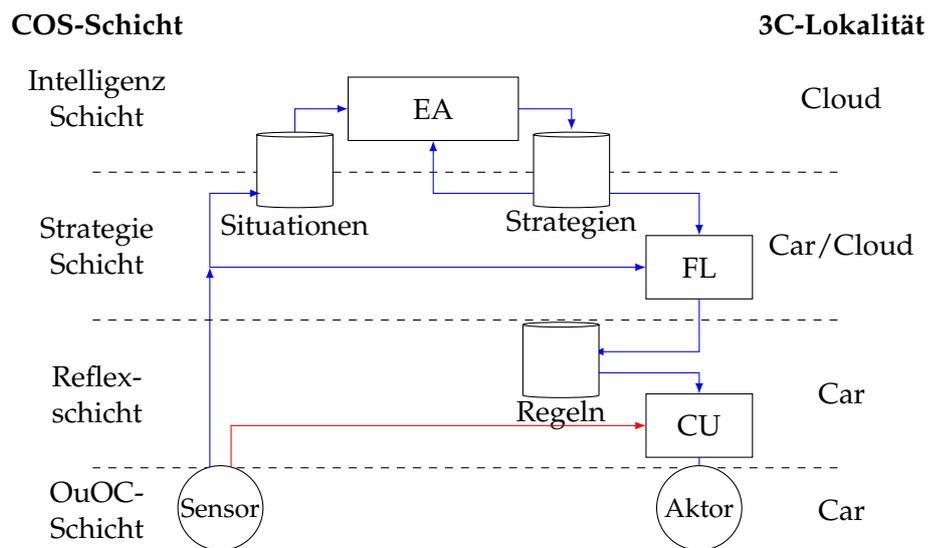


Abbildung 12.11.: Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen

Reflex-Datenfluss Durch den Reflex-Datenfluss werden Ereignisse, welche in Abbildung 12.10 als z-Achse dargestellt sind und ein schnelle Reaktion erfordern, verarbeitet. Gemäß der verwendeten Konvention (siehe Abschnitt 11.1.2) ist dieser Datenfluss in rot eingezeichnet. Die Control Unit-Komponente entnimmt dazu die vorhandenen Regeln und wendet diese entsprechend der eingehenden Informationen an. Dazu werden die im Regelspeicher abgelegten Regeln abgerufen. In Abbildung 12.12 ist der dazugehörige Datenfluss detaillierter dargestellt.

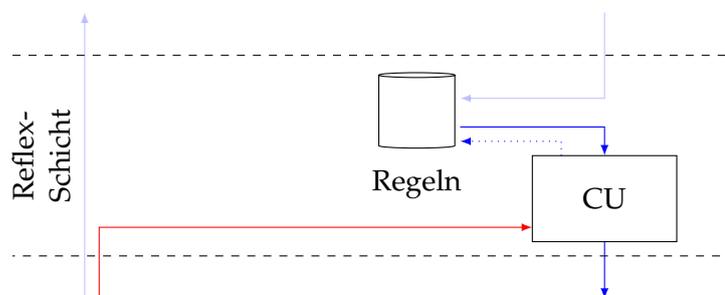


Abbildung 12.12.: Reflex-Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen

Strategie-Datenfluss Mit Hilfe des Strategie-Datenflusses wird das anzuwendende Regelset ausgewählt und aus dem Strategiespeicher in den Regelspeicher geladen. Dazu wird zunächst durch die Fuzzy Logik-Komponente der Strategiespeicher im Car abgefragt, ob und mit welcher Güte die erarbeitete Strategie zur aktuellen Situation passend ist. Wird ein Grenzwert unterschritten, wird der Strategiespeicher in der Cloud von der Fuzzy Logik-Komponente abgefragt. Der Observer bereitet die Daten aus dem Bordnetz auf, damit die Fuzzy Logik-Komponente bestimmen kann, welche Situation aktuell vorherrscht. Abbildung 12.13 zeigt ausschnittsweise den Strategie-Datenfluss und die Strategie-Schicht.

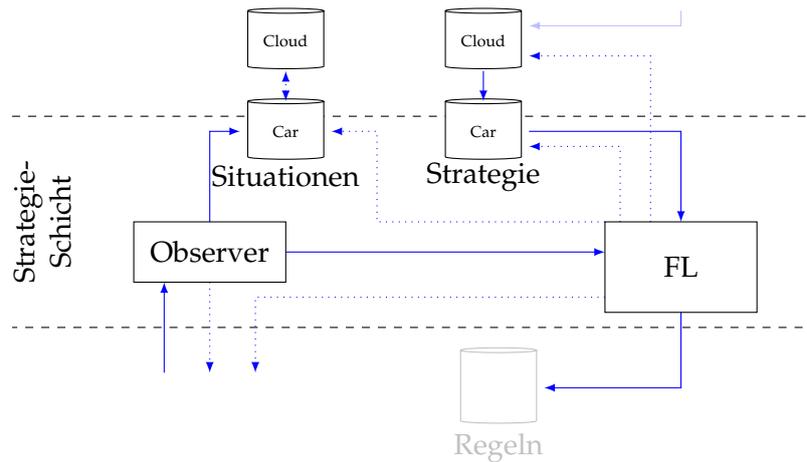


Abbildung 12.13.: Strategie-Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen

Intelligenz-Datenfluss Der dritte betrachtete Datenfluss dient für die Intelligenz-Schicht (siehe Abbildung 12.14). Dieser Datenfluss basiert auf dem Strategie-Datenfluss, aufgrund der Tatsache das vom Observer in der Strategie-Schicht bereits die notwendigen Aufbereitung durchgeführt wird. Aus dem Situationsspeicher werden ermittelte⁹³ oder vorbereitete⁹⁴ Situationen entnommen und entsprechend mit Hilfe des EA-Zyklus (siehe Abbildung 6.2) neue Strategien erzeugt beziehungsweise bekannte Strategien optimiert.

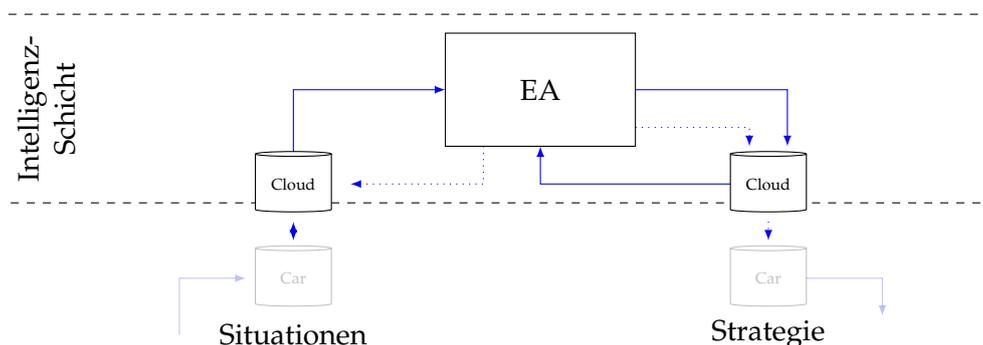


Abbildung 12.14.: Intelligenz-Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen

⁹³Durch das System erkannte Situation.

⁹⁴Während der Entwicklungsphase bestimmte Situationen.

12.5.3. Bewertung und Fazit

In einer prototypischen Umsetzung wurde die Anwendbarkeit des EA-Prinzip auf das Optimierungsproblem gezeigt. Dazu wurde als Simulationsumgebung für das Netzwerk das OMNET++⁹⁵-Werkzeug verwendet. Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass die einzelnen Tasks einen zeitlich kontinuierlichen, gleichbleibenden Ressourcenverbrauch besitzen. Dies generiert bereits einen Simulationsaufwand, welcher im Fahrzeug aufgrund der Dauer und den notwendigen Ressourcenaufwand nicht sinnvoll eingesetzt werden kann. Wird von einem veränderlichen Ressourcenverbrauch ausgegangen, muss der zeitliche Verlauf ebenfalls betrachtet werden, was den Simulationsaufwand erhöht. Werden zusätzlich noch weitere Aspekte, wie unter anderem der Energieverbrauch, in die Simulation miteinbezogen, steigt der Simulationsaufwand noch weiter.

Ebenfalls müssen die Simulationstools erweitert werden, damit alle Aspekte gleichzeitig angepasst werden. Alternativ können gemäß dem Zyklus bei evolutionären Algorithmen (siehe Abbildung 6.2) während der Bewertungsphase die unterschiedlichen Simulationstools parallel ausgeführt werden.

Während die Simulation möglich ist und bereits auch schon teilweise in der Entwicklung von Fahrzeugen eingesetzt wird, müssen nun die notwendigen Mechanismen für die dynamische Optimierung im laufenden Betrieb angewendet werden. Dazu ist die Bereitschaft notwendig, die selbstständige Optimierung des E/E-Bordnetzes zu ermöglichen. Somit besteht keine technische Herausforderung, welche die Umsetzung verhindert, sondern die Akzeptanz der Entscheider für die Anwendung des Konzeptes.

12.6. Wakeup

12.6.1. Stand der Technik

Mit der Einführung von vernetzten Fahrzeugen, beispielsweise bei Connected Drive⁹⁶ von BMW, können teilweise Fahrzeugfunktionen Remote via Mobiltelefon initiiert oder Informationen abgefragt werden. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, einzelne ECUs aufzuwecken, um Informationen abfragen oder Befehle ausführen zu können. Aufgrund der bereits beschriebenen derzeit vorherrschenden Struktur des E/E-Bordnetzes (siehe Abschnitt 5.2), müssen bei der Nutzung von Remotefunktionen zusätzliche ECUs gestartet werden. Dies verzögert zunächst die Verfügbarkeit der Remotefunktion. Zusätzlich führt dies aufgrund der verketteten Anordnung von ECUs zu einem erhöhten Energieverbrauch.

12.6.2. Bionischer Ansatz

Bei dem bionischen Ansatz erfolgt das Starten und Ausführen der identischen Funktionen aufgrund der vorhandenen Topologie und der Existenz zweier unabhängiger Bussysteme divergent. Anders als beim Stand der Technik (siehe Abschnitt 12.6.1), müssen zunächst nur die tatsächlich relevanten Komponenten gestartet werden. In diesem Zusammenhang

⁹⁵Webseite: <https://omnetpp.org/>

⁹⁶Webseite: <http://www.bmw.com/com/de/insights/technology/connecteddrive/2013/>

erfolgt der Datentransfer über das Energiebordnetz, ohne das notwendige Infrastrukturkomponenten des Unicast-Bussystemes gestartet werden müssen. Erst wenn aufgrund der notwendigen Daten eine höhere Datenmenge innerhalb des Fahrzeugs übertragen werden muss, können die Infrastrukturkomponenten zusätzlich geweckt und somit das Unicast-Bussystem genutzt werden. Somit ist es ausreichend in einem ersten Schritt nur tatsächlich relevante Komponenten zu wecken und in einem zweiten Schritt weitere (Infrastruktur-)Komponenten.

Das Zuschalten des zweiten Bussystems wird aufgrund von unterschiedlichen Auslösern initiiert. Vorrangiger Auslöser ist dabei die resultierende Auslastung des Bussystems. Entweder wenn ein gewisser Schwellwert überschritten wird oder wenn bereits bekannt ist, dass eine Aktion eine erhöhte Auslastung hervorruft. Ob eine Aktion eine erhöhte Auslastung hervorruft, kann während der Entwicklung festgelegt werden oder im Betrieb angelehrt werden.

Abbildung 12.15 zeigt die Anordnung des COS-Modells in Kombination mit der erarbeiteten Topologie (siehe Abschnitt 11.2) im Rahmen der Wakeup-Funktion. Aufgrund der Einbeziehung der Topologie ist die OuOC-Schicht in Abbildung 12.15 detaillierter dargestellt als bei anderen Evaluationsbeispielen. Aus diesem Grund erfolgt in diesem Beispiel zusätzlich eine Unterscheidung zwischen Hardware- und Softwareanteil in der OuOC-Schicht. Auf jeder Komponente befindet sich neben dem Softwareanteil der OuOC-Schicht auch die Reflex-Schicht der Funktion. Für alle betroffenen Komponenten existiert eine gemeinsame Strategie-Schicht.

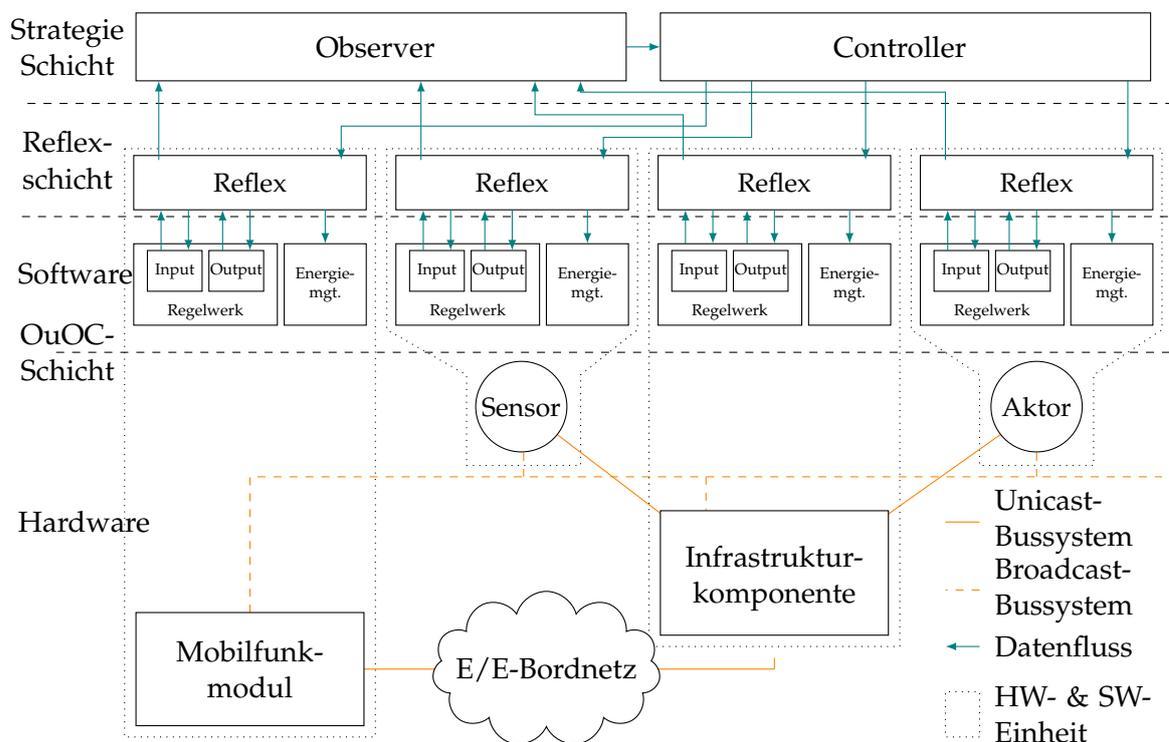


Abbildung 12.15.: Beteiligte Komponenten bei der Wakeup-Funktion

Die Reflex-Schicht entnimmt die notwendigen Informationen aus den Input- und Output-Dispatcher der regelbasierten Steuerung (siehe Abschnitt 11.2.3). Dazu zählen, welche Daten und welche Busauslastung aktuell vorherrscht. Aufgrund dieser Daten werden entsprechend die Regeln in den Input- und Output-Dispatcher durch die Reflex-Schicht angepasst. Ebenfalls wird das Energiemanagement der jeweiligen Hardware-Komponente mit den notwendigen Befehlen vorsorgt. Dazu zählt das Starten und Herunterfahren der jeweiligen Komponente. Aus Übersichtlichkeitsgründen wurde bei der Darstellung auf die Differenzierung zwischen Reflex- und Normalen-Datenfluss verzichtet.

12.6.3. Bewertung und Fazit

Aufgrund des Broadcast-Bussystem ist es möglich, direkt zwischen allen Komponenten zu kommunizieren. Wird in einem üblichen Fahrzeugzustand ausschließlich darüber kommuniziert, führt dies zu einer Überlastsituation. Um dies zu vermeiden, existiert das Unicast-Bussystem mit der räumlichen Gruppierung der Anschlüsse anstelle der bisherigen Domänenstruktur. Im Fall von Remotediensten kann durch den bionischen Ansatz zunächst das Broadcast-Bussystem genutzt werden, um den notwendigen Datenaustausch durchzuführen. Dies ist dadurch möglich, dass bei bisherigen Remotediensten gleichzeitig nur ein sehr geringes Datenvolumen übertragen wird. Daraus ergibt sich wiederum, dass ausschließlich notwendige Komponenten mit Energie versorgt werden müssen. Wäre ebenfalls bei Remotediensten ein umfangreicher Austausch notwendig, kann gezielt, und in Abhängigkeit der auftretenden Kommunikationssituation, in einem zweiten Schritt ebenfalls das Unicast-Bussystem genutzt werden.

12.7. Remotedienste

12.7.1. Stand der Technik

Wie bereits im Abschnitt 12.6 beschrieben, existieren im Zusammenhang mit vernetzten Fahrzeugen unterschiedliche Dienste, welche es ermöglichen, Remote Befehle auszuführen oder Informationen des Fahrzeugs abzufragen.

12.7.2. Bionischer Ansatz

Diese Funktion der Remotedienste lässt sich durch das COS-Modell sinnvoll ergänzen, wenn nicht nur ein Fahrzeug, sondern eine erweiterte Funktionskette mit weiteren Fahrzeugen betrachtet wird. Mit Hilfe des COS-Modells ist eine Struktur gegeben, welche eine Erweiterung erlaubt. Eine Möglichkeit besteht darin, bestimmte Befehlsfolgen des Benutzers zu erlernen, welche periodisch gemeinsam initiiert werden. Diese lassen sich mit weiteren Informationen kombinieren. Beispielsweise Informationen zum Standort und/oder Entfernung zwischen dem Benutzer und dem Fahrzeug. Dies ermöglicht, ergänzende Aktionen auszuführen. Als Beispiel für diese Ergänzung bietet sich das Management von Ladesäulen und Parkplätzen an. Beide Beispiele haben gemeinsame Charakteristika, welche sich durch die Bereitstellung, das Teilen und der effektiven Ausnutzung einer exklusiven Ressource auszeichnen. Beim Parkplatzmanagement ist dies der Parkplatz, beim

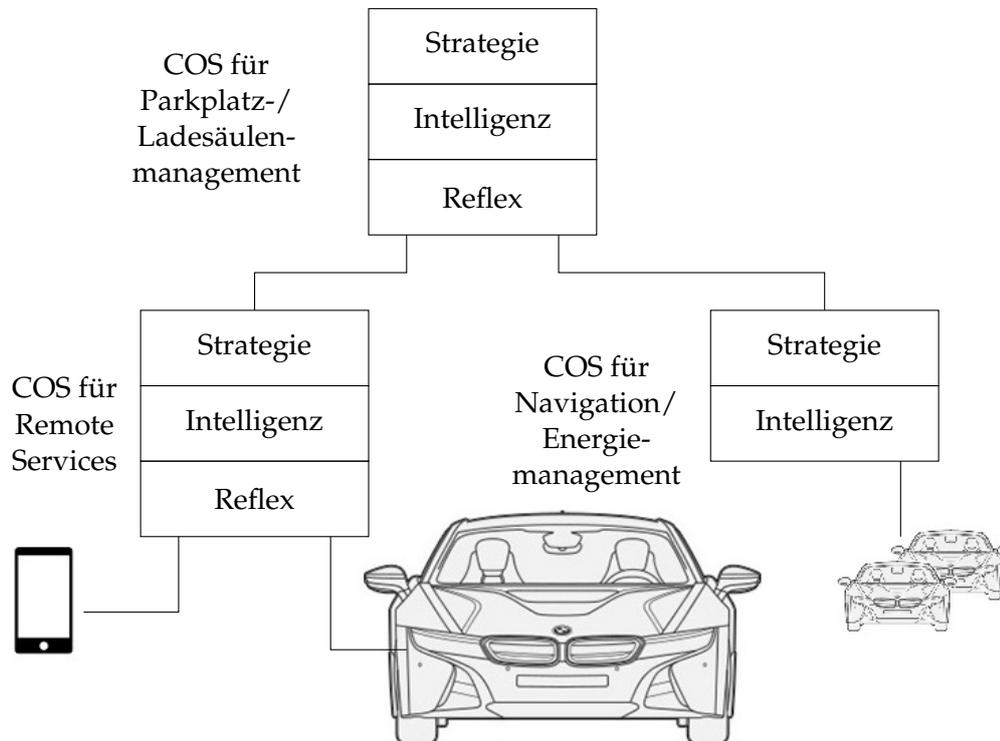


Abbildung 12.16.: Architektur nach dem COS-Ansatz für erweiterte Remotedienste

Management von Ladesäulen ist es primär die Ladesäule. Abbildung 12.16 zeigt die Anordnung der relevanten Systeme. Die Kernfunktionalität dieser Ergänzung besteht darin, dass aufgrund von sich wiederholenden Befehlsabfolgen automatisch Informationen an übergeordnete Managementsysteme weitergegeben werden. Diese führen wiederum für sich eigenständige Aktionen aus. Ein mögliches Szenario ist, dass aufgrund von bekannten Verhaltensmustern bereits im Vorfeld die Information bekanntgegeben wird, dass eine Ladesäule/Parkplatz demnächst freigegeben wird. Diese Information kann wiederum an das Energiemanagement und die Navigation von anderen Fahrzeugen weitergegeben werden und diese berücksichtigen diese wiederum bei der Planung.

12.7.3. Bewertung und Fazit

Durch die Vernetzung von unabhängigen Remotendiensten kann ebenfalls erneut die Gültigkeit des COS-Modells und die rekursive Anwendbarkeit gezeigt werden. Bei der Umsetzung der Reflex-Schicht für die Remotedienste existieren zwei Varianten.

Des Weiteren ist es möglich, ebenfalls das COS-Modell zwischen dem Parkplatz-/Ladesäulenmanagement und der Navigation/dem Energiemanagement einzufügen. Ein möglicher Anwendungsfall ist das Platooning.

Die erste Variante, welche mehr dem bionischen Vorbild folgt, wird der Reflex auf einer Infrastrukturkomponente ausgeführt, bevorzugt auf der, die sich am nächsten zwischen

Mobiltelefon und Fahrzeug befindet. Dies ist aufgrund der Verwendung der Mobilfunkverbindung eine Basisstation. Eine Basisstation ist nicht für zusätzliche Dienste ausgelegt und der ausschließliche Zugriff liegt beim Infrastrukturbetreiber und dessen Diensten. Daraus ergibt sich die Situation, dass die Komponenten der Reflex-Schicht dort vermutlich nicht ausgeführt werden können. Durch Edge Computing ändert sich die Situation und die Komponenten der Reflex-Schicht können gemäß dem bionischen Vorbild in Kombination der Infrastrukturkomponente ausgeführt werden.

Bei der zweiten Variante erfolgt die Verteilung der Komponenten der Reflex-Schicht. In diesem Fall wird die Control-Unit im Fahrzeug angeordnet. Das Mobilfunkmodul ist dazu die präferierte ECU im Fahrzeug, da dies aufgrund der Topologie und den beiden Datenbordnetzen (siehe Abschnitt 11.2.1) die erste und vermutlich einzige beteiligte Infrastrukturkomponente im Fahrzeug ist. Dieser Ansatz ist vergleichbar mit dem einer Firewall, welche mit kontextabhängigen Filterregeln ausgestattet ist. Abhängig vom eingehenden Befehl kann dies beispielsweise der Zustand oder die Position des Fahrzeugs sein.

13. Bewertung

Ergänzend zu den Einzelbewertungen der Evaluationsbeispiele im vorherigen Kapitel (siehe Abschnitt 12), wird in diesem Kapitel das Konzept einer Gesamtbewertung unterzogen.

Funktionserfüllung Aufgrund der Evaluationsbeispiele wurde ersichtlich, dass die anfänglich gestellten Anforderungen (siehe Abschnitt 1.3) aufgrund der angenommenen Zukunftsthese (siehe Abschnitt 1.2) erfüllbar sind und somit eine Funktionserfüllung gewährleistet ist. Ergänzend zur der Bestätigung der Funktionserfüllung, wurden weitere Bewertungspunkte im Rahmen dieser Gesamtbewertung betrachtet.

Funktionssicherheit Wie bereits im Konzept für die grundsätzliche Hardware- und Softwarearchitektur, hat sich auch bei der Evaluierung der ausgewählten Funktionen gezeigt, dass teilweise mehrere Varianten beim Entwurf möglich sind. Abhängig davon wie die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse des menschlichen Körpers interpretiert werden. Als Exempel kann das Evaluationsbeispiel der passiven Sicherheitssysteme (siehe Abschnitt 12.2) verwendet werden.

Die unterschiedlichen Interpretationen führen zu unterschiedlichen Sichtweisen und ergeben teilweise unterschiedliche Umsetzungsvarianten. Dies wiederum kann zu zwei oder mehreren disjunkten Umsetzungsvarianten der selben Funktion führen, wie dies bei dem erwähnten Evaluationsbeispiel zur passiven Sicherheit der Fall ist.

Zunächst hat eine Redundanz einen erhöhten Ressourcenverbrauch zur Folge. Dabei kann es sich um Entwicklungs- oder Herstellungskosten, aber auch um den Ressourcenverbrauch im laufenden Betrieb, der zu erhöhten Rechen- und Energiebedarf führen kann, handeln. Mit Hinblick auf funktionaler Sicherheit kann aufgrund der Redundanz gegebenenfalls die Anforderungen eines höheren ASIL-Levels erfüllt werden. Was in Hinblick mit sicherheitskritischen Funktionen, wie dem hochautomatisierten Fahren, ein weiteres Argument für die Bionik im E/E-Bereich ist.

Adaptivität Im Rahmen des Konzeptes zeigte sich ein zusätzlicher Effekt der Adaptivität, als das durch die durchgeführten Projekte der OC-Initiative (siehe Abschnitt 8.5) bereits bekannt war. Dieser Effekt wurde aufgrund der redundanten Struktur des Datenbordnetzes hervorgerufen. Werden die Pfade für die Redundanz nicht identisch ausgeführt sondern in unterschiedlichen Varianten, kann die Redundanz zu einer Reduzierung des Ressourcenverbrauchs beitragen. Wie im Konzept beschrieben, werden alle Komponenten über zwei getrennte Datenbordnetze (siehe Abschnitt 11.2.1) angebunden. Diese beiden Datenbordnetze nutzen verschiedene Bustypen, wie sich im Zusammenhang mit dem Evaluationsbeispiel zum Wake-Up (siehe Abschnitt 12.6) gezeigt hat, kann dies genutzt werden, um gezielter auf die aktuellen Anforderungen einzugehen. Somit wird der Wirkungsgrad erhöht, in dem für die selbe Funktionserfüllung weniger Ressourcen benötigt werden.

Skalierbarkeit Wie bereits in der Motivation (siehe Abschnitt 1.1) erwähnt, variiert die Anzahl der ECUs in den Fahrzeugen eines Automobilherstellers. Aufgrund mehrerer Faktoren wird eine Skalierung unterstützt. Ein ausschlaggebender Faktor ist die verwendete Topologie (siehe Abschnitt 11.2) und die Verwendung eines Unicast-Bussystems. Somit tritt das Datenvolumen nur zwischen Komponenten auf, bei denen dies notwendig ist. Eine generelle Zunahme der Buslast im Datenbordnetz erfolgt nicht. Zusätzlich wird dies durch eine datenzentrierte Kommunikation und der netzwerkzentrierten Verarbeitung unterstützt.

Bei dem zweiten Bussystem sind, aufgrund des Broadcast-Charakteristikums, die Situation und die Auswirkung bei der Skalierung grundsätzlich divergent. Aufgrund der Verwendung als Datennetz für allgemeine Informationen oder in der Fehlersituation des Unicast-Datenbordnetzes wird der auftretende negative Effekt auf die Skalierbarkeit ausgeglichen. Grundlage dafür ist, dass mit einer Hochskalierung zusätzliche Kundenfunktionen integriert werden. Anders als Systemfunktionen ist davon auszugehen, dass Kundenfunktionen für das Versenden hauptsächlich das Unicast- anstelle des Broadcast-Datenbordnetz nutzen. Somit bleibt die Anzahl der Sender auf einem gleichbleibenden Niveau und die Anzahl der Empfänger hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Broadcast-Datenbordnetz.

Nicht nur im Hardwarebereich wird eine Skalierbarkeit durch das vorliegende Konzept unterstützt, sondern auch im Softwarebereich. Mit dem COS-Modell und der verwendeten Schichtenarchitektur (siehe Abschnitt 11.1.1) wird eine Skalierung in einer feingranularen Form unterstützt. In Zusammenhang mit dem Konzept der Partitionierung (siehe Abschnitt 11.2.6) und den bereits erwähnten Komponententypen im Bordnetz (siehe Tabelle 11.4) bestehen Freiräume in der Skalierbarkeit.

Ein weiterer Punkt im Softwarebereich für die Möglichkeit der Skalierbarkeit sind die propagierten 3C-Ausführungsorte. Durch diese 3C-Ausführungsorte wurde die Grundlage und Umgebungssituation geschaffen Funktionen gleichartig auszulagern. So kann zur Laufzeit bestimmt werden, ob Funktionsanteile im oder außerhalb des Fahrzeugs ausgeführt werden.

Entwicklungsstand Ein weiterer wichtiger Bewertungspunkt für Konzepte ist die Realisierbarkeit. So ist weder im Konzept noch bei den Evaluationsbeispielen der Zweifel der technischen Realisierbarkeit aufgetreten. Dies wird verstärkend unterstützt, dass viele notwendige Techniken bereits im automobilen Umfeld erforscht oder verwendet werden oder vorhanden sind. Häufig müssen diese Techniken nur so kombiniert werden, dass es dem Menschen als verwendetes Vorbild entspricht. Ein Beispiel ist der zentrale Energiebackbone oder die Anbindung des Fahrzeugs an die Cloud.

Ergebnis Die konzeptionelle Evaluation hat bereits die grundsätzliche Funktionsweise und Stimmigkeit des Konzeptes gezeigt. Die Teilergebnisse in diesem Kapitel bestätigen dies ebenfalls. Somit kann aus technischer und funktionaler Sicht gefolgert werden, dass der Ansatz eine E/E-Architektur nach dem menschlichen Vorbild zu entwerfen, weiterzuverfolgen ist.

Teil V.

Fazit und Ausblick

14. Fazit

In dieser Dissertation wurde eine bioinspirierte E/E-Architektur nach dem menschlichen Vorbild entworfen. Die durchgeführte Bewertungen ergaben ein positives Ergebnis. Das erarbeitete Konzept grenzt sich im Vergleich zum Stand der Technik durch die folgenden, prägenden Charakteristika ab:

- Verteilte Ausführung von Funktionsanteilen aufgrund des COS-Modells und den 3C-Ausführungsarten
- Kommunikationsparadigma mit der datenzentrierten Kommunikation
- Topologie und Aufteilung des Datenbordnetzes mit zwei unterschiedlichen durchgängig verfügbaren Bussystemen
- Intelligente Software-Komponenten zur eigenständigen Anpassung
- Verzicht auf funktionale Domänen

Ein weiterer Punkt im Vergleich zum Stand der Technik ist, dass Methoden und Techniken in der E/E-Architektur eingesetzt werden, welche sich aus Herleitungen, die den menschlichen Körper als Vorbild haben, ergeben. Ein Beispiel ist die aktuelle Gestaltung der Umfelderkennung (siehe Abschnitt 12.3). Diese werden nicht durchgehend eingehalten, sondern nur in einzelnen Fachbereichen verwendet, und nicht als bioinspiriert angesehen. Dadurch wird die Neuartigkeit der bioinspirierten E/E-Architektur reduziert, aber im Umkehrschluss hilft dies bei der Argumentation die Konzepte im kompletten Fahrzeug einzuführen.

Aufgrund des Ansatzes konnten neben der Informatik in zwei weiteren Wissenschaftsdisciplinen neue Erfahrungen gesammelt werden. Neben der Humanmedizin war auch ein Einblick in die Bionik möglich. Aufgrund der Bionik waren bei der Umsetzung unterschiedliche Interpretationen der Kenntnisse aus der Humanmedizin möglich. In diesem Zusammenhang ist es möglich, zwischen einer restriktiveren und allgemeineren Interpretation zu differenzieren. Bei der restriktiveren Interpretation und der daraus folgenden Umsetzung werden die Kenntnisse aus dem menschlichen Körper restriktiver ausgelegt. Die restriktivere Auslegung der Kenntnisse entspricht mehr dem physikalischen Aufbau des Körpers. Bei der allgemeineren Interpretation wird eher die Funktionsweise des menschlichen Körpers verwendet und nicht die Struktur. Diese Situation der unterschiedlichen Interpretationen war zu erwarten, da bereits in der Begriffserklärung zur Bionik explizit von einem Neuerfinden anstelle von Kopieren gesprochen wird. Dies kann ebenfalls mit der Funktionsweise und dem Funktionszweck der Vererbung und der DNA verglichen werden.

15. Ausblick

Im Rahmen dieser Dissertation wurde ein Konzept für eine bionische E/E-Architektur erstellt und anschließend mit modellierten Funktionen nach dem bionischen Ansatz konzeptionell evaluiert. Dies ist ein erster Schritt bis zur Konstruktion eines vollständigen Fahrzeuges mit einer bionischen E/E-Architektur.

Als einer der nächsten Schritte hin zu einem Fahrzeug, welches eine vollständige bionische E/E-Architektur besitzt, müssen weitere Funktionen nach dem biologischen Vorbild modelliert werden. Beispiele sind, die Securityarchitektur nach dem Vorbild des menschlichen Immunsystems oder ein System für die Fahrzeugdiagnose nach dem menschlichen Schmerzsystem zu entwerfen. Erfolgt eine Modellierung von weiteren Funktionen, ergibt sich daraus ein vollständigeres Bild des Konzeptes der bionischen E/E-Architektur. Dadurch wird eine umfangreichere und aussagekräftigere Evaluierung des Konzepts ermöglicht.

Nicht nur das Modellieren von neuen Funktionen ist erforderlich, sondern auch eine detailliertere Modellierung aller Funktionen, um eine quantitative Bewertung zu ermöglichen. Daraus wiederum können Daten für die Simulation des Konzeptes abgeleitet werden. Unter anderem eine aussagekräftige Laufzeitanalyse der Kommunikation. Aber auch eine Aussage darüber wie die genaue Ausstattung mit Multi- und Many-Core-Prozessoren der einzelnen ECUs erfolgen muss. Anschließend ist die Umsetzung in Form eines Laboraufbaus oder in Form eines fahrfähigen Prototypens möglich.

Neben der qualitativen Bewertung in technischer Hinsicht, muss die qualitative Bewertung von wirtschaftlichen Faktoren erfolgen. Insbesondere ist das Kostennutzenverhältnis ein wichtiger Entscheidungsfaktor. Dabei liegt das Ziel darin, eine Reduzierung der Kosten im Vergleich zum konventionellen Vorgehen zu erreichen.

Außerdem ist es notwendig, bei Entscheidern und Entwicklern die Akzeptanz für neuartige und innovative Entwicklungskonzepte zu etablieren. Ziel ist nicht immer einen evolutionären Schritt zu verwenden, sondern einen revolutionären Schritt zu wagen, besonders im Hinblick bei der erwarteten Komplexitätsentwicklung von E/E-Architekturen.

Die Weiterverfolgung des bionischen Ansatzes außerhalb des automobilen Anwendungsbereichs ist ein denkbarer und wertvoller nächster Schritt. Besonders wenn die Grundregel „*Funktionsorientierung statt Produktorientierung*“ für die biologische Kybernetik von Vester betrachtet wird, ist dies ein unumgänglicher nächster Schritt. Da dies ebenfalls eine Eigenschaft ist, welche von der Natur gelernt werden kann, und somit eine konsequente Fortsetzung des bionischen Ansatzes darstellt. Dadurch wird ein Wissensaustausch zwischen den unterschiedlichen Anwendungsbereichen ermöglicht. Synergieeffekte können ebenfalls realisiert werden, wenn gemeinsame Werkzeuge oder Komponenten eingesetzt werden.

Ein möglicher Anwendungsbereich der erarbeiteten Designregeln ist der IoT-Bereich. Aufgrund der erwarteten Flexibilität und des erwarteten Umfangs ist eine wohlstrukturierte Architektur notwendig. Insbesondere um gegen Störungen und Ausfälle abgesichert zu

sein. Dieser Schritt ist besonders vorteilhaft, wenn das Fahrzeug als ein autonomes IoT-Netz betrachtet wird.

Ein weiterer Anwendungsbereich sind Industrieanlagen, in dem gegenwärtig unter dem Schlagwort der Industrie 4.0 ein Umbruch der bisherigen Paradigmen stattfindet. Obwohl der Umfang gegenüber IoT geringer ist, müssen ähnliche Anforderungen wie im betrachteten automotiven Anwendungsbereich erfüllt werden. Zwei gemeinsame Anforderungen sind die funktionale Sicherheit und die Reduzierung von Produktionsunterbrechungen aufgrund des Ausfall einzelner Hauptkomponenten.

Die Entwicklungsabteilung, unabhängig in welchen Anwendungsbereich dies stattfindet, ist ebenfalls ein möglicher Bereich in dem der EA-Ansatz eingesetzt werden kann. Im Automobilbereich ist es möglich, die Auslegung der Hardwarearchitektur zu optimieren, wenn für diese Aufgabe EA-Algorithmen genutzt werden. Aufgrund der Möglichkeit sowohl auf die Software- als auch auf die Hardwareanteile Einfluss zunehmen, kann ein optimales Gesamtergebnis im E/E-Bereich erzielt werden.

Mit dieser Arbeit wurde ein neue Denkrichtung betrachtet, wie eine E/E-Architektur entworfen werden kann. Dies ist aufgrund des Iconic Changes im Automobilbereich und anderen Anwendungsbereichen notwendig. Eine vielversprechende Richtung für neue Entwicklungsansätze ist, wie in dieser Arbeit dargelegt, die Bionik.

Stay hungry, stay foolish!

Steven „Steve“ Paul Jobs (* 1955 – † 2011)

Anhang

A. Szenarien für gemeinsamen Einsatz von Power Over Signal und Signal over Power

Wie in Abschnitt 11.2.7 beschrieben, wurde mit Hilfe von PoS und SoP eine redundante Nutzung der Verkabelung ermöglicht. Die Abbildungen A.3-A.5 zeigen unterschiedliche Ausfallszenarien der Energieversorgung. Der Ausfall der Datenleitung ist vergleichbar mit dem Ausfall der Energieversorgung, welche nachfolgend betrachtet wird. Aus diesem Grund wird der Ausfall der Datenleitung nicht gesondert ausgeführt. Für die Darstellung der Ausfallszenarien werden zwei Variantenausprägungen, mit einer (siehe Abbildung A.1(a)) und zwei (siehe Abbildung A.1(b)) unabhängigen Energieversorgungen, betrachtet [5].

Wie in der Legende für diesen Abschnitt (siehe Abbildung A.2) dargestellt, wird zur besseren Verdeutlichung bei der Kommunikation zwischen drei Ausprägungen unterschieden. Neben den beiden bekannten Ansätzen Unicast- und Broadcast-Kommunikation wird zusätzlich der Fall unterschieden, wenn Datenpakete der Broadcast-Kommunikation mit Hilfe der Unicast-Kommunikation weitergeleitet werden. Dieses Vorgehen wird angewendet, wenn eine Broadcast-Kommunikationsverbindung, beziehungsweise die entsprechende Energieversorgung, unterbrochen ist und zur Aufrechterhaltung der Kommunikation die Unicast-Kommunikationsverbindung genutzt wird.

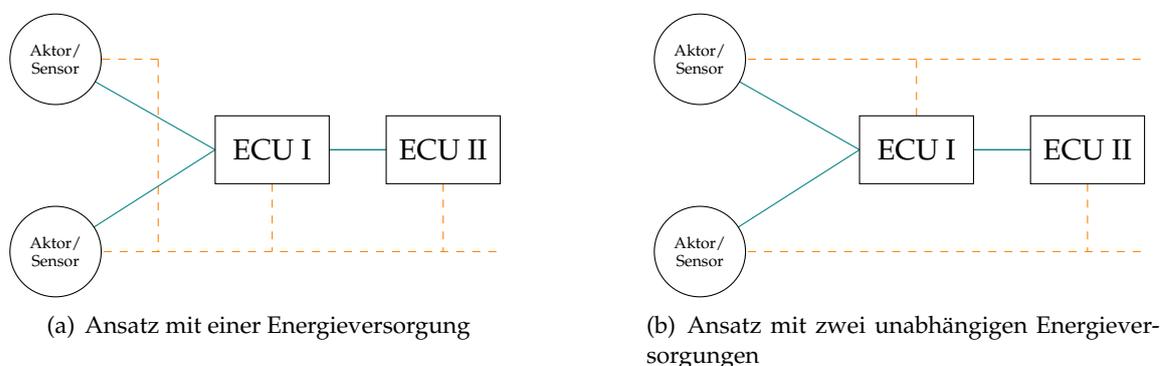


Abbildung A.1.: Varianten der redundanten Daten- und Energieversorgung (Quelle: [5])

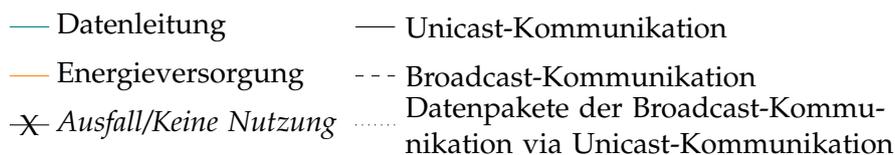
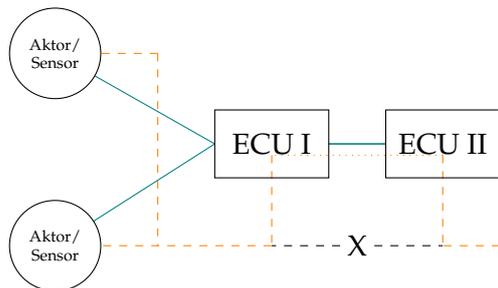


Abbildung A.2.: Legende zur redundanten Daten- und Energieversorgung

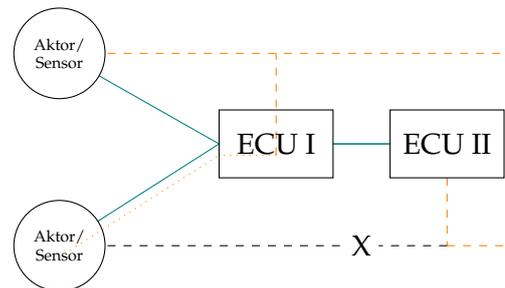
A. Szenarien für gemeinsamen Einsatz von Power Over Signal und Signal over Power

Abbildung A.3(a) zeigt den Ausfall der Energieleitung zwischen ECU I und II. In diesem Fall besteht keine Energieversorgung und keine Broadcast-Kommunikation zu ECU I und den beiden Aktoren/Sensoren nach dem üblichen Muster. Aufgrund der redundanten Nutzung erfolgt eine Überbrückung der Ausfallstelle. Dazu wird die Unicast-Verbindung sowohl für die Kommunikation als auch für die Energieversorgung zwischen ECU I und II genutzt.

Abbildung A.3(b) zeigt eine vergleichbare Ausfallsituation wie Abbildung A.3(a). Im Gegensatz dazu sind zwei unabhängige Energieleitungen vorhanden. In dieser Ausfallsituation wird anstelle der Verbindung zwischen ECU I und II, die Verbindung zwischen ECU I und dem unteren Aktor/Sensor genutzt.



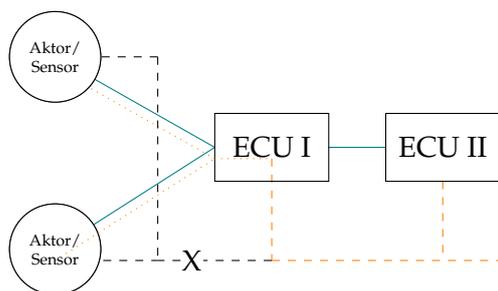
(a) Erste Situation bei einer Energieversorgung



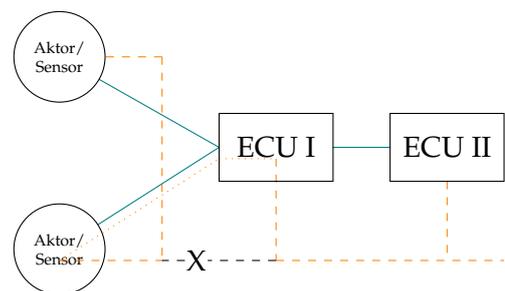
(b) Erste Situation bei einer Energieversorgung

Abbildung A.3.: Identische Ausfallsituation bei einer und zwei Energieleitungen (Quelle: [5])

Abbildung A.4(a) und A.4(b) zeigen einen Ausfall der Energieleitung an einer identischen Stelle. Während in Abbildung A.4(a) die Versorgung der betroffenen Komponenten (beide Aktoren/Sensoren) durch ECU I erfolgt, erfolgt in Abbildung A.4(b) zunächst eine Versorgung nur des unteren Aktors/Sensors, der obere Aktor/Sensor wird nach dem herkömmlich Vorgehen angebunden. In diesem Fall wird der untere Aktor/Sensor als Energieverteiler genutzt.



(a) Ausfallsituation bei einer Energieversorgung mit erstem Vorgehen



(b) Ausfallsituation bei einer Energieversorgung mit zweitem Vorgehen

Abbildung A.4.: Unterschiedliches Vorgehen bei identischer Ausfallsituation bei einer Energieversorgung (Quelle: [5])

Abbildung A.5(a) zeigt einen vollständigen Ausfall einer der beiden Energieleitungen. In diesem Fall übernimmt ECU I die Weiterleitung der Datenpakete der Broadcast-Kommunikation, wie auch die Aufgabe des Energieverteilers für die benachbarten Komponenten (ECU II und unterer Aktor/Sensor) welche an der ausgefallenen Energieleitungen ange-bunden sind.

Abbildung A.5(b) zeigt einen Ausfall der Zuleitung beziehungsweise des Anschlusses der ECU I an die Energieleitung. In dieser Situation übernehmen zwei benachbarte Komponenten (ECU II und oberer Aktor/Sensor) die Weiterleitung der Datenpakete der Broadcast-Kommunikation, wie auch die Energieversorgung. Alternativ, nicht dargestellt in Ab-bildung A.5(b), ist es möglich, dass der untere Aktor/Sensor zusätzlich zu den beiden bereits genutzten Komponenten ebenfalls für die Energieversorgung der ECU I genutzt wird, um die zusätzlich auftretende elektrische Energie pro Komponente zu reduzieren.

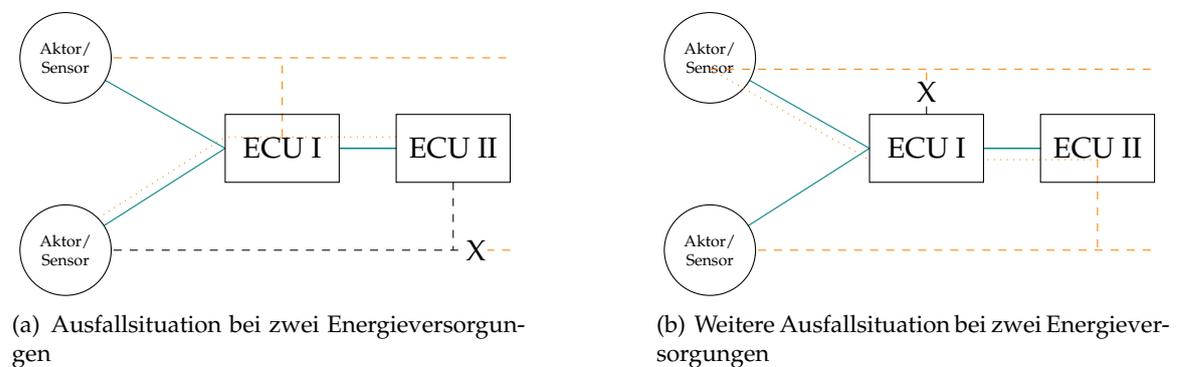


Abbildung A.5.: Unterschiedliche Ausfallsituationen bei zwei Energieversorgungen (Quelle: [5])

B. Erhebungsorte

Dieser Abschnitt fasst relevante Erhebungsorte zusammen. Diese sind in Tabelle B.1 aufgeführt. Diese Tabelle enthält keine vollständige Liste von relativen Erhebungsorten, sondern dient zur Motivation für die Notwendigkeit und welche Orte denkbar sind. Teilweise sind in der Tabelle Orte aufgeführt, welche bereits aus dem Bereich der Navigation bekannt sind.

Tabelle B.1.: Erhebungsorte von Daten

Name
Startort
Zielort
Nächstes_Ziel
Nächstmöglich
Entlang_Route
Umfeld_05Meter
Umfeld_1Meter
Umfeld_2Meter
Umfeld_5Meter
Umfeld_05Minute
Umfeld_1Minute
Umfeld_2Minuten
Umfeld_5Minuten
Hause
Nächster_Termin
Nächster_Wegpunkt
Nächster_Navigationspunkt
Büro

C. Industrielle Revolutionen

Wie in Abschnitt 4.8 beschrieben, erfolgt durch die Vernetzung von Produktionsanlagen die sogenannte vierte industrielle Revolution. Die nachfolgende Auflistung zeigt die Merkmale der einzelnen industriellen Revolutionen [315, S. 28]:

- Erste industrielle Revolution (Industrie 1.0): Einsatz von mechanischen Webstühlen
Beginn: 1784
Abbildung C.1 zeigt einen mechanischen Webstuhl.

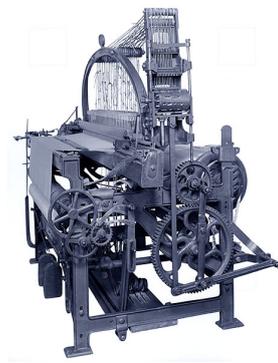
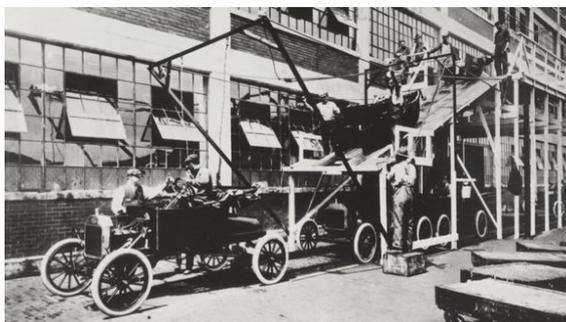


Abbildung C.1.: Mechanischer Webstuhl (Quelle: [87])

- Zweite industrielle Revolution (Industrie 2.0): Einsatz von Fließbänder
Beginn: 1870
Abbildung C.2 zeigt den Kontrast zwischen der ersten und einer aktuellen Fließbandproduktion in der Automobilproduktion.



(a) Fließband bei Ford (Quelle: [209])



(b) Fließband bei BMW (Quelle: [113])

Abbildung C.2.: Fließbänder in der Automobilproduktion

C. Industrielle Revolutionen

- Dritte industrielle Revolution (Industrie 3.0): Einsatz von SPS (Speicherprogrammierbarer Steuereinrichtung)
Beginn: 1969
Abbildung C.3 zeigt eine der ersten SPS-Steuerungen in der Produktion.

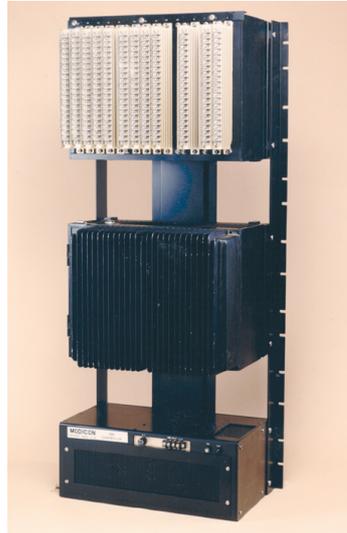


Abbildung C.3.: Modicon 084 - SPS (Quelle: [117])

- Vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0): Einsatz von vernetzten Maschinen
Beginn: Aktuell
Abbildung C.4 soll die Vernetzung der Produktionsmaschinen symbolisieren. Im Abschnitt 4.8 wird das Schlagwort „Industrie 4.0“ definiert.



Abbildung C.4.: Vernetzte Maschinen in der Industrie 4.0 (Quelle: [147])

D. Publikationen

Papers

ADAM, D. ; FRÖSCHL, J. ; BAUMGARTEN, U. ; HERKERSDORF, A. ; HERZOG, H.-G. : Cyber Organic System-Model – New Approach for Automotives System Design. In: *ADAPTIVE 2015, The Seventh International Conference on Adaptive and Self-Adaptive Systems and Applications, Nice, France* Bd. 6, IARAI Conference, 2015. – ISBN 978–1–61208–391–9, S. 110. – Best Paper Award.

ADAM, D. ; FRÖSCHL, J. ; RUF, F. ; BAUMGARTEN, U. : Cyber Organic Systems Model - a new Software Architecture Approach for Future, Complex Vehicles. In: *2nd intl. IFIP Workshop on Emerging Ideas and Trends in Engineering of Cyber-Physical Systems (EITEC '15), Seattle, Washington, United States of America*, 2015.

ADAM, D. ; FRÖSCHL, J. ; BAUMGARTEN, U. ; HERKERSDORF, A. ; HERZOG, H.-G. : Cyber Organic System-Modell – Ein neuer Ansatz für automotives Systemdesign. In: HOFF, C. (Hrsg.) ; SIRCH, O. (Hrsg.): *Elektrik/Elektronik in Hybrid- und Elektrofahrzeugen VI, Bad Boll, Germany*, expert-Verlag, 2015. – ISBN 978–3–8169–3311–3, S. 161 – 186.

ADAM, D. ; GEHRITZ, T. ; BAUMGARTEN, U. : Cyber Organic Systems Network – a new Network Architecture for Future Vehicles. In: *2015 IEEE International Workshop on Automotive IoT, Milan, Italy*, 2015.

ADAM, D. ; TVERDYSHEV, S. ; ROLFES, C. ; SANDMANN, T. ; BÄHR, S. ; SANDER, O. ; BAUMGARTEN, U. ; BECKER, J. : Two Architecture Approaches for MILS Systems in Mobility Domains (Automobile, Railway and Avionik). In: *HiPEAC Conference 2015, Amsterdam, Netherland*, 2015.

REINHARDT, D. ; ADAM, D. ; LÜBBERS, E. ; AMARNATH, R. ; SCHNEIDER, R. ; GANSEL, S. ; SCHNITZER, S. ; HERBER, C. ; SANDMANN, T. : Embedded Virtualization Approaches for Ensuring Safety and Security within E/E Automotive Systems. In: *EmbeddedWorld Conference 2015, Nürnberg, Germany*, 2015. – ISBN 978–3–645–50144–6.

SANDER, O. ; SANDMANN, T. ; DUY, V. V. ; BÄHR, S. ; BAPP, F. ; BECKER, J. ; MICHEL, H.-U. ; KAULE, D. ; ADAM, D. ; LÜBBERS, E. ; HAIRBUCHER, J. ; RICHTER, A. ; HERBER, C. ; HERKERSDORF, A. : Hardware virtualization support for shared resources in mixed-criticality multicore systems. In: *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, DATE 2014, Dresden, Germany*, 1–6.

Präsentation

ADAM, D. : *Standard Android Apps in Vehicle*. Droidcon 2013, Berlin, Germany, 2013.

Poster

ADAM, D. : *Smartphone mit Motor und 4 Rädern - Strategie zur Fusionierung von Fahrzeug- und CE-IT*. BMW Doktoranden Dialogtag 2013, Munich, Germany, Juli 2013

Relevante Patente

ADAM, D. : *Bereitstellen einer ersten Ablaufsteuerung anstelle einer zweiten Ablaufsteuerung im Fehlerfall*. Patent PA 2014224892 DE, Dezember 2014 Eingereicht

ADAM, D. : *Landfahrzeug mit unbemannter Flugvorrichtung und Vermittlungsstation dazu*. Patent PA 2015207979 DE, April 2015 Eingereicht

ADAM, D. : *Verfahren, Computer-lesbares Medium, und System zum Kommunizieren zwischen Komponenten eines Bordnetzwerks eines Fahrzeugs*. Patent PA 2015216826 DE, September 2015 Eingereicht

ADAM, D. : *Bordnetzwerk, Fahrzeug, Verfahren, und Netzwerkvorrichtung zur Steuerung von Datenkommunikation und Energieverteilung des Bordnetzwerks eines Fahrzeugs*. Patent: PA 2015216597 DE, September 2015 Eingereicht

ADAM, D. ; SANDER, O. ; BAPP, F. ; BECKER, J. ; MÜNZ, S. : *Verfahren zum gemeinsamen Übertragen von Daten auf einem Bus in einem Kraftfahrzeug und diesbezügliche Vorrichtungen*. Patent PA 2015218202 DE, September 2015 Eingereicht

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Notwendige und tatsächliche Komplexitätsentwicklung von E/E-Architekturen	3
1.2.	Spannungsfeld in dem sich ein Fahrzeug befindet	5
2.1.	Vorbilder aus der Natur für die Flügelstruktur (oben: Landvogel, unten: Seevogel) von Lilienthal	11
2.2.	Evolution des Fliegens - vom Vorbild bis heute	11
2.3.	Methodisches Vorgehen bei der Dissertation	12
4.1.	Artenast „Pervasive Computing“	20
4.2.	Beispiele für IoT-Anwendungsfälle	22
4.3.	Phasen und Arten von Sicherheitssystemen im Fahrzeug mit zeitlicher Einordnung relativ zu einem Unfall	26
5.1.	Schichten der E/E-Architektur	27
5.2.	Schematische Darstellung eines elektrischen Bordnetzes	29
5.3.	Schichtenarchitektur des fEPM-Modelles	30
5.4.	Schematische Darstellung des Datenbordnetzes	31
5.5.	Anforderungen der unterschiedlichen Domänen	31
5.6.	Ausprägung einer elektronischen Architektur	32
5.7.	Architekturbild der seit dem Modelljahr 2001 eingesetzten elektronischen Architektur bei BMW	32
5.8.	Elektronische Architektur eines Audi Q5	33
5.9.	Geplante elektronische Architektur von BMW	33
5.10.	Elektronische Architektur aus dem RACE-Projekt	34
5.11.	Vergleich zwischen ASIL- und SIL-Levels	36
6.1.	Zusammenhänge von bionischen Aktivitäten in der Informatik	40
6.2.	Zyklus der Schritte bei evolutionären Algorithmen	42
6.3.	Entscheidungsdiagramme von der klassischen und Fuzzy Logik bei der gleichen Anwendung	43
6.4.	Gegenüberstellung des TCP/IP- und CCN-Stacks	46
6.5.	Unterteilung von datenzentrierter Kommunikation im SANET-Bereich	48
6.6.	Übersicht über mögliche Benennungsschematik	49
6.7.	Schichtenmodell nach dem MILS-Prinzip	52
6.8.	Gegenüberstellung der MAPE/MAPE-K- und SMPA-Struktur	53
6.9.	MAPE-K-Phasen auf das COS-Modell gelegt	54
7.1.	Evolutionsschritte des Nervensystems	55
7.2.	Motorisches System: Synopse der Bahnsysteme	57

7.3. Grundprinzip der Regulation im Hormonsystem	58
7.4. Hypothalamus-Hypophysen-Achse	59
7.5. Kreislauf des menschlichen Körpers in zwei unterschiedlichen Lebenssitua- tionen	60
7.6. Menschlicher Blutkreislauf	61
7.7. Arterien der Fußsohle	62
7.8. Median-Sagittal-Schnitt mit Ansicht der medialen Fläche der rechten Hemi- sphäre	64
7.9. Funktionelle Areale der Großhirnrinde	66
7.10. Blockschaltbild der Gehirnregionen	67
7.11. Gedächtnissystem im menschlichen Körper	68
7.12. Querschnitt des Rückenmarks mit afferenten und efferenten Fasern von den Rezeptoren und den Effektoren	69
7.13. Schematische Darstellung des Energiesystems im menschlichen Körper	70
7.14. Persönlichkeitstheorie der Psychoanalyse	72
7.15. Strukturmodell mit drei Instanzen der Persönlichkeit nach Freud	73
7.16. Äußere Erscheinungsform der menschlichen Evolution	75
8.1. Bionic Car von DaimlerChrysler	77
8.2. EDAG GENESIS	78
8.3. EDAG Light Cocoon	78
8.4. Flossenstrahleffekt bei zwei Drucksituationen	79
8.5. Fahrzeugsitze nach dem Vorbild der Natur	79
8.6. Das NASREM-Modell der NASA	82
8.7. Schichtenarchitektur des fEPM-Modelles	83
8.8. Schichtenarchitektur des OC-Modelles	84
11.1. Darstellung des COS-Modells	95
11.2. Topologievarianten für das Unicast-Bussystem	99
11.3. Energiebordnetz nach dem menschlichen Vorbild	101
11.4. Struktur der regelbasierten Steuerung	101
11.5. Beispielsituation für die Anwendung von SQL im bionischen Bordnetz	103
11.6. Darstellung des vollständiges COS-Modells in zwei virtualisierten Varian- ten auf einer Hardware	106
11.7. Zwei Variantenausprägung für die redundanten Daten- und Energieversor- gung	107
11.8. Legende zur redundanten Daten- und Energieversorgung	107
12.1. Logischer Informationsfluss beim Energiemanagement	114
12.2. Strukturbild der Funktion „Passive Sicherheit“	116
12.3. Logischer Informationsfluss beim Crash nach Variante A	117
12.4. Logischer Informationsfluss beim Crash nach Variante B	117
12.5. Sensoren für die Umfelderkennung	119
12.6. Informationsfluss vom pilotierten Fahren	120
12.7. Zuordnung der Komponenten der Funktion „Umfelderfassung“ in die COS- Schichten	122

12.8. Informationsfluss beim Watchdog	123
12.9. Anordnung des Watchdogs gegenüber einer (COS-)Funktion	124
12.10 Graphische Repräsentation des Situationsraums	127
12.11 Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen	128
12.12 Reflex-Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen	128
12.13 Strategie-Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen	129
12.14 Intelligenz-Datenfluss bei der Optimierung von Ressourcen	129
12.15 Beteiligte Komponenten bei der Wakeup-Funktion	131
12.16 Architektur nach dem COS-Ansatz für erweiterte Remotedienste	133
A.1. Varianten der redundanten Daten- und Energieversorgung	145
A.2. Legende zur redundanten Daten- und Energieversorgung	145
A.3. Identische Ausfallsituation bei einer und zwei Energieleitungen	146
A.4. Unterschiedliches Vorgehen bei identischer Ausfallsituation bei einer Energieversorgung	146
A.5. Unterschiedliche Ausfallsituationen bei zwei Energieversorgungen	147
C.1. Mechanischer Webstuhl	151
C.2. Fließbänder in der Automobilproduktion	151
C.3. Modicon 084 - SPS	152
C.4. Vernetzte Maschinen in der Industrie 4.0	152

Tabellenverzeichnis

4.1. Unfallsphasen und die dazugehörigen Sicherheitssysteme und Aktionen . .	26
5.1. Übersicht der Typen von Verbrauchern im Fahrzeug	28
5.2. Übersicht der Anforderungen an die ASIL-Levels	35
5.3. Benötigte ASIL-Levels aufgrund der Bewertungskriterien	36
5.4. Übersicht zur Schadensbewertung	37
5.5. Übersicht zur Eintrittswahrscheinlichkeit	37
5.6. Übersicht zur Kontrollierbarkeit	37
5.7. Übersicht zum Verletzungsgrad nach AIS von 2005	38
6.1. Kapitelstruktur in Anlehnung des in der Literatur genutzten Referenzmodells	44
6.2. Vergleich der Datenweiterleitung bei einer datenzentrierten und adressba- sisierten Kommunikation	47
6.3. Vergleich der Charakteristiken von Internet und SANET	47
6.4. Klassifikation von Infrastrukturkomponenten bezogen auf das Referenzmodell	49
7.1. Legende zum Median-Sagittal-Schnitt	64
7.2. Gedächtnisarten im menschlichen Gehirn	67
7.3. Weitere Gedächtnisarten	68
7.4. Energieumsatzklassen im menschlichen Körper	71
7.5. Reserven am Beispiel eines 70kg schweren Mannes	71
7.6. Vergleich von Hormon- und Nervensystem	75
8.1. Übersicht der bekannten Modelle	81
9.1. Transfertabelle der gewonnenen Kenntnisse	89
9.1. Transfertabelle der gewonnenen Kenntnisse	90
10.1. Legende der unterschiedlichen Komponententypen	92
11.1. Strukturierung des Informationsfluss zwischen den einzelnen Schichten . .	96
11.2. Zuordnung der Daten zwischen den unterschiedlichen Bereichen	97
11.3. Aufgaben der Datenbordnetze	98
11.4. Legende der unterschiedlichen Komponententypen	99
11.5. Im Vorfeld ermittelte Informationen zu Abruforte von Daten	104
11.6. Partitionierungstabelle der COS-Schichten in der Car-Lokalität	105
11.7. 3C-Lokalitäten	108
11.8. Mögliche Verteilung der COS-Schichten auf die 3C-Lokalitäten	108
11.9. Charakteristika der 3C-Lokalitäten	109

12.1. Zuordnung der Komponenten der Funktion „Energie“ in die COS-Schichten	115
12.2. Legende zur Abbildung 12.2	116
12.3. Zuordnung der Komponenten der Funktion „Passive Sicherheit“ in die COS-Schichten	118
12.4. Legende zur Abbildung 12.5	119
12.5. Anbindung der Sensoren zu COS-Schichten	120
12.6. Verfügbare Zeit [s] aufgrund der Erfassungsreichweite [m] in Abhängigkeit der Geschwindigkeit [km/h]	121
12.7. Funktionalität der MAPE-Phasen des Watchdog nach dem bionischen Ansatz	124
12.8. Aufteilung der notwendigen Komponenten zur Optimierung der Hardwareressourcen nach dem COS-Modell	126
B.1. Erhebungsorte von Daten	149

Listings

11.1. Beispiele von unterschiedlichen Abfragen mit Hilfe des SQL-Syntax	102
11.2. Zwei SQL-Abfragen für die Beispielsituation	103

Glossar

Symbols

3C steht für **Car**, **Consumer Device** und **Cloud** und ist damit ein zusammenfassender Begriff von Orten gemeint, an denen Funktionen ausgeführt werden können, siehe Abschnitt 11.3.1. 89, 90, 92, 97, 105, 108, 109, 122, 124, 136, 139, 159

A

Ad-hoc Als Ad-hoc wird die direkte Kommunikation zwischen zwei Clients bezeichnet, ohne dass eine Infrastrukturkomponente daran beteiligt ist [258, S. 68 ff.]. 47, 113, 118

ADAS steht für **Advanced Driver Assistance Systems** und bezeichnen Fahrerassistenzsysteme, welche teilweise den Fahrer unterstützen und/oder seine Fahraufgaben übernehmen [233, S. 83]. 34

AFDX steht für **Avionics Full-Duplex Switched Ethernet** und ist ein Bussystem im Avonik-Bereich. AFDX basiert auf Switched-Ethernet, welches um virtuelle Links erweitert wurde [309, S. 24-7 ff.]. 45

Aggregation Bei der Aggregation von Daten handelt sich um einen Vorgang, bei dem mehrere Daten in eine Nachricht ohne Informationsverlust zusammengefasst werden [90]. Siehe auch Fusion. 102

AIS steht für **Abbreviated Injury Scale** und ist ein Schema zur Klassifikation von Verletzungen [165, S. 108 ff.], siehe Tabelle 5.7. 36–38, 159

ARM steht für **Acorn RISC Machines** und bezeichnet eine Referenzarchitektur für Prozessoren [311, S. 156 ff.]. 80

ASIL steht für **Automotive Safety Integrity Level** [123, S. 10], siehe Abschnitt 5.3. 34–36, 51, 114, 135, 155, 159

ATP steht für **Adenosintriphosphat** und ist ein Energieträger in Zellen von Organismen [150, S. 83]. 71

AVB steht für **Audio Video Bridging**, siehe Abschnitt 6.3.2. 45

B

Bionik siehe Abschnitt 4.1. 12, 17–19, 23, 77, 78, 80, 81, 85, 86, 125, 133–135, 139, 141, 142

Biotechnologie siehe Abschnitt 4.2. 17–19, 81

Bluetooth ist ein Standard zur drahtlosen Kommunikation im Nahfeldbereich (unter 100 Meter) [51] [243, S. 355 ff.]. 113

BPL steht für **broadband PLC**, siehe Abschnitt 6.3.3. 46

Broadcast siehe Abschnitt 6.3.1. 44, 75, 89, 91, 92, 96–98, 100, 106, 114, 115, 117, 132, 136, 145–147

C

CAN steht für **Controller Area Network** und ist ein Bussystem. Es wird bei der Vernetzung von Steuergeräten eingesetzt. CAN wurde 1991 als erstes Bussystem in einem Fahrzeug eingesetzt [227, S. 92]. 4

Car ist ein Ausführungsort nach den 3C, siehe Abschnitt 11.3.1. 92, 105, 108, 109, 123, 124, 126, 127, 129, 159

CCN steht für **Content Centric Network**, und ist ein ICN (Information Centric Network)-Projekt für die datenzentrierte Kommunikation im Internet [143]. 46, 48, 155

CE steht für **Consumer Electronic**, deutsch: Unterhaltungselektronik. 20

Cloud ist unter anderem ein Ausführungsort nach den 3C (siehe Abschnitte 11.3.1), Definition ist im Abschnitt 4.11. 6, 24, 25, 50, 92, 100, 103, 108, 110, 123, 124, 126, 127, 129, 136

Consumer Device ist ein Ausführungsort nach den 3C, siehe Abschnitt 11.3.1. 92, 108, 109

Control Unit siehe Abschnitt 11.1.1. 94, 121, 128

COS steht für **Cyber Organic System**, siehe Abschnitt 11.1.1. 19, 53, 54, 89–97, 100, 102–106, 108, 110, 115, 117, 118, 120–126, 131–133, 136, 139, 155–157, 159, 160

CPC steht für **Centralized Platform Computer** und ist ein neuer Ansatz für eine E/E-Architektur [259], siehe Abschnitt 5.2. 34

CPM steht für **ConnectedPowerManagement** und ist der Produktname für das kybernetische Energiebordnetz, siehe Abschnitt 8.3.2 [106]. 29

CPPS steht für **Cyber-Physical-Production-Systems**, siehe Abschnitt 4.7. 21

CPS steht für **Cyber-Physical-Systems**, siehe Abschnitt 4.7. 6, 21, 22

D

DLR steht für **Domänenleitreechner** und bezeichnet eine ECU, welche erweiterte Aufgaben für eine Domäne übernimmt. Dazu zählen beispielsweise Koordinationsaufgaben in der Domäne oder der Kommunikation mit weiteren Domänen [225, S. 211]. 33

DNA steht für **Deoxyribo Nucleic Acid** und ist Englisch für Desoxyribonukleinsäuren, siehe DNS (Desoxyribonukleinsäure). 19, 139

DONA steht für **Data-Oriented Network Architecture** und ist ein Forschungsansatz für datenzentrierte Kommunikation im Internet. 48

E

e-Call Als **Emergency-Call** wird ein System im Fahrzeug bezeichnet, welches im Falle eines Unfalls eine automatische Meldung absetzt [59, S. 1029 ff.] [145, S. 42 ff.]. 26, 115

E/E steht für **elektrisch/elektronisch** [227], siehe Abschnitt 5. 3–7, 9, 12, 13, 27, 32–35, 55, 77, 80, 85, 89, 91, 93, 98, 113, 123, 125, 130, 135, 136, 139, 141, 142, 155

EA steht für **Evolutionäre Algorithmus**, siehe Abschnitt 6.1.4. 41, 84, 129, 130, 142

ECU steht für **Electronic Control Unit** und bezeichnet die Steuergeräte im Fahrzeug [227, S. 593]. 4, 33, 34, 50, 81, 92, 100–103, 106, 108, 121, 124, 125, 130, 134, 136, 141, 146, 147

Edge Computing ist ein Paradigma zur (physikalischen) Verteilung von Ressourcen im Internet [191, S. 216 ff.]. 6, 92, 110, 134

EN 50159 ist eine Norm für die Absicherung von Datenübertragung im Bereich der Bahn-sicherungstechnik [119, S. 7]. 94

Ethernet siehe Abschnitt 6.3.2. 4, 34, 44, 100, 102

Evolution siehe Abschnitt 7.11. 98, 99

F

fEPM steht für flexibles Energie und Power Management, siehe Abschnitt 8.3.2 [104]. 19, 30, 81, 83, 93, 115, 155, 156

FlexRay ist ein Bussystem, welches als Nachfolger für das ByteFlight-Bussystem im Bereich der aktiven Sicherheitssysteme verwendet wird [227, S. 132]. 4

Fusion bei der Fusion von Daten handelt sich dabei um einen Vorgang, bei dem Werte von mehreren Daten zu einem Wert zusammengefasst werden [90]. Siehe auch Aggregation. 102

Fuzzy Logik siehe Abschnitt 6.2. 94, 127, 129

G

GI steht für Gesellschaft für Informatik und ist eine Fachgesellschaft für den Informatik-Bereich, welche im deutschsprachigen Raum auftritt [111]. 23

I

I/O steht für Input/Output, deutsch Ein- und Ausgabe [276]. 51, 93

IaaS steht für Infrastructure-as-a-Service, siehe Abschnitt 4.11. 25

IEC 62443 ist eine Norm für die Netz- und Systemsicherheit im der industriellen Kommunikation [291, S. 135 ff.]. 94

IEEE steht für Institute of Electrical and Electronics Engineers und ist ein Interessenverband von Ingenieuren [136]. 45, 46

Industrie 4.0 wird die vierte industrielle Revolution bezeichnet, siehe Abschnitt 4.8 [63]. 21, 142, 152

Infrastrukturkomponente siehe Abschnitt 6.3.5. 44, 47, 99–103, 109, 110, 117, 131, 133, 134

IoT steht für Internet of Things, siehe Abschnitt 4.6. 6, 22, 141, 142, 155

IP steht für Internet Protocol und ist ein Verbindungsprotokoll für Computernetzwerke [170]. 43, 46, 48, 104, 155

ISO 26262 ist eine Safety Norm im Fahrzeugbereich, siehe Abschnitt 5.3. 6, 27, 34, 36, 105

K

KI steht für Künstliche Intelligenz, siehe Abschnitt 6.1. 39, 84, 94

L

LCS steht für Learning Classifier System, siehe Abschnitt 6.1.2. 41, 84

LIN steht für Local Interconnect Network und ist ein im Automobilbereich eingesetztes Bussystem [225, S. 148]. 4

M

Machine Learning siehe Abschnitt 6.1.1. 40, 41

Many-Core siehe Abschnitt 4.12. 25, 86

MAPE steht für **M**onitor, **A**nalyze, **P**lan und **E**xecute, siehe Abschnitt 6.7 [245, S. 23]. 23, 53, 54, 81, 84, 122, 155

MAPE-K steht für **M**onitor, **A**nalyze, **P**lan und **E**xecute - **K**nowledge, siehe Abschnitt 6.7 [245, S. 23]. 53, 54, 155

MILS steht für **M**ultiple **I**ndependent **L**evels of **S**ecurity and **S**afety, siehe Abschnitt 6.6 [289]. 51, 52

MOST steht für **M**edia **O**riented **S**ystems **T**ransport und ist ein optisches Bussystem im automobilen Bereich. Dieses wurde speziell für Multimediaanwendungen im Fahrzeug entwickelt [227, S. 112]. 4

Multi-Core siehe Abschnitt 4.12. 25, 85

N

NASA steht für **N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration und ist zuständige amerikanische Behörde für die Raumfahrt [206]. 82

NASREM siehe Abschnitt 8.3.1. 82

Natural Computing siehe Abschnitt 4.4. 18, 19, 80, 81

NDN steht für **N**amed **D**ata **N**etworking und ist ein Forschungsansatz für datenzentrierte Kommunikation im Internet. 48

NEAT steht für **N**on-bypassable, **E**valuatable, **A**lways **I**nvoiced, **T**amperproof, siehe Abschnitt 6.6. 52

Neuromorphic Computing siehe Abschnitt 4.5. 19, 80

NIST ist eine amerikanische Bundesbehörde [76]. 24

O

OC steht für **O**rganic **C**omputing, siehe Abschnitt 4.10. 12, 19, 23, 53, 81, 84–86, 93, 135, 156

OEM steht für **O**riginal **E**quipment **M**anufacturer und bezeichnet den eigentlichen Hersteller von Produkten [214, S. 103]. 96

OSI steht für **I**nternational **O**rganization for **S**tandardization, deutsch: Internationale Organisation für Normung. 43

OuOC steht für **O**bject **u**nder **O**bserver and **C**ontroller und ist eine Weiterentwicklung von SuOC (System under Observer and Controller), siehe Abschnitt 11.1.1. 93, 94, 115, 118, 120, 122, 124–126, 128, 131

P

PaaS steht für **P**latform-**a**s-**a**-**S**ervice, siehe Abschnitt 4.11. 25

Pervasive Computing siehe Abschnitt 4.6. 6, 20, 21

Platooning Beim Platooning werden mehrere Fahrzeuge zu einer Gruppe zusammengefasst. In dieser Gruppen werden Fahranweisungen synchron durchgeführt [67, S. 527] [197, S. 98]. 133

PLC steht für **P**ower **L**ine **C**ommunication, siehe Abschnitt 6.3.3. 44–46, 89, 100, 102

PNS steht für **p**eripheres **N**ervensystem, siehe Abschnitt 7.1 [250, S. 91]. 56

PoE steht für **P**ower **o**ver **E**thernet, siehe Abschnitt 6.3.2. 45, 46

PoS steht für **Power over Signal**. Bei diesem Ansatz wird über ein Medium, welches ursprünglich für die Datenübertragung verwendet wird, ebenfalls für die Energieversorgung genutzt. Beispiel dafür ist PoE, siehe Abschnitt 6.3.2. SoP ist der gegenläufige Ansatz dazu. 45, 99, 106, 145

Q

QoS steht für **Quality of Services** (deutsch: Dienstgüte). Im Netzwerkbereich hat QoS das Ziel gewisse Prioritäten für Bandbreite, Jitter, Verzögerung und Packet Loss zu bestimmen und zu erreichen [74, S. 799]. 47

R

RA steht für **Reinforcement Algorithmus**, siehe Abschnitt 6.1.3. 41

RL steht für **Reinforcement Learning**, siehe Abschnitt 6.1.3. 41

S

SaaS steht für **Software-as-a-Service**, siehe Abschnitt 4.11. 25

SANET steht für **Sensor and Actor Networks** und beschäftigt sich mit der Erweiterung von Sensornetzwerken um Aktoren. Das Gebiet WSAAN (Wireless Sensor and Actor Network) eine spezielle Ausprägung davon [20]. 46–48, 102, 155, 159

Self-X siehe Abschnitt 4.10. 6, 9, 23, 24, 50, 85, 125

SIL steht für **Safety Integrity Level** [123, S. 10], siehe Abschnitt 5.3. 34–36, 94, 155

SMPA steht für **Sense Model Plan Act**, siehe Abschnitt 6.7 [121]. 53, 81, 155

SONAR steht für **Sound Navigation and Ranging** und ist eine aus der Tierwelt stammende Navigationstechnik [227, S. 53]. 80

SoP steht für **Signal over Power**. Bei diesem Ansatz wird ein Medium, welches ursprünglich für die Energieversorgung verwendet wird, ebenfalls für die Datenübertragung genutzt. PLC ist die technische Umsetzung dieses Ansatzes, siehe Abschnitt 6.3.3. PoS ist der gegenläufige Ansatz dazu. 98–100, 106, 145

SPOF steht für **Single Point of Failure** und beschreibt eine Komponente, deren Ausfall einen Ausfall des Gesamtsystems zu Folge hat [185, S. 78]. 118

SPS steht für **Speicherprogrammierbarer Steuereinrichtung** [148, S. 157 ff.]. 152, 157

SQL steht für **Structured Query Language** [154, S. 111]. 92, 101, 102, 104

STEEP steht für **Sociological, Technological, Economical, Environment und Political** und ist eine Analyseform aus den Wirtschaftswissenschaften. Ziel bei dieser Analyse ist, die Aktivitäten von Unternehmen einordnen und bewerten zu können, in dem Trends und Entwicklungen betrachtet werden [156]. 4, 21

Supercap sind Doppelschichtkondensatoren und dienen zur Speicherung von Energie [288, S. 20]. 28

T

TCP steht für **Transmission Control Protocol** und ist ein zuverlässiges verbindungsorientiertes Transportprotokoll für Computernetzwerke [170]. 43, 46, 48, 155

Tier ist die Bezeichnung für Zulieferer. Dabei wird zwischen unterschiedlichen Zuliefererstufen unterschieden [215, S. 211]. 96

TRIAD steht für **T**ranslating **R**elaying **I**nternetwork **A**rchitecture integrating **A**ctive **D**irectories und ist ein Forschungsansatz für datenzentrierte Kommunikation im Internet [73]. 48

TSN steht für **T**ime **S**ensitive **N**etworking, siehe Abschnitt 6.3.2 [216, S. 60]. 45, 100

TEthernet steht für **T**ime-**T**riggered **E**thernet und ist ein Variante von Ethernet für safety-kritische Anwendungen [210, S. 182 ff.]. 45

U

Ubiquitous Computing siehe Abschnitt 4.6. 20

Unicast siehe Abschnitt 6.3.1. 44, 75, 89, 91, 97–99, 106, 108, 110, 114, 115, 117, 131, 132, 136, 145, 146

V

VDI steht für **V**erein **D**eutscher **I**ngenieure und ist ein Vereinigung welcher die Interessen der deutschen Ingenieure vertritt. Die Gründung erfolgte 1856 [292]. 23

Virtualisierung siehe Abschnitt 6.5. 25, 51, 52, 92

VM steht für **V**irtuelle **M**aschine [257, S. xi], siehe Abschnitt 6.5. 51, 102, 105, 106, 121

VMM steht für **V**irtual **M**achine **M**onitor und ist ein anderer Name für Hypervisor, siehe Abschnitt 6.5. 51, 105, 106, 126

VSM steht für **V**iable **S**ystem **M**odel und ist ein Strukturmodell von lebensfähigen Systemen nach Stafford Beer²⁵ [219, S. 300 ff.]. 81, 83

W

WLAN steht für **W**ireless **L**ocal **A**rea **N**etwork [242, S. 337]. 113

X

X-ECU steht für **X**-**E**CU. Das **X** ist ein Platzhalter für Lokalität und soll die Variabilität des Ausführungsortes hervorheben. Als Lokalitäten werden üblicherweise die 3C-Lokalitäten verwendet. 6

XaaS ist der Sammelbegriff für IaaS, PaaS und SaaS, siehe Abschnitt 4.11 [92]. 25

Xerox PARC steht für **X**erox **P**alo **A**lto **R**esearch **C**enter. Es gilt als die Brutstätte der digitalen Technik. Unter anderem wurde dort das Ethernet und der erste Computer mit einer grafischen Benutzeroberfläche entwickelt [122, S. 191 ff.] [137, S. 94 ff.] [267]. 44

Z

zFAS steht für **z**entrales **F**ahrerassistenzsteuergerät, siehe Abschnitt 12.3.1 [31]. 118

ZNS steht für **z**entrales **N**ervensystem, siehe Abschnitt 7.1 [250, S. 91]. 56, 69, 72

Quellenverzeichnis

- [1] ADAM, D. : *Konzept zum sicheren Einsatz von Android als Laufzeitumgebung fuer Apps im Bereich des automobilen Infotainments*, Technische Universität München, Masterarbeit, Oktober 2012
- [2] ADAM, D. : *Smartphone mit Motor und 4 Rädern - Strategie zur Fusionierung von Fahrzeug- und CE-IT*. BMW Doktoranden Dialogtag 2013, Munich, Germany, Juli 2013
- [3] ADAM, D. : *Standard Android Apps in Vehicle*. Droidcon 2013, Berlin, Germany, 2013
- [4] ADAM, D. : *Bereitstellen einer ersten Ablaufsteuerung anstelle einer zweiten Ablaufsteuerung im Fehlerfall*. Patent PA 2014224892 DE, Dezember 2014 Eingereicht
- [5] ADAM, D. : *Bordnetzwerk, Fahrzeug, Verfahren, und Netzwerkoerrichtung zur Steuerung von Datenkommunikation und Energieverteilung des Bordnetzwerks eines Fahrzeugs*. Patent: PA 2015216597 DE, September 2015 Eingereicht
- [6] ADAM, D. : *Landfahrzeug mit unbemannter Flugvorrichtung und Vermittlungsstation dazu*. Patent PA 2015207979 DE, April 2015 Eingereicht
- [7] ADAM, D. : *Verfahren, Computer-lesbares Medium, und System zum Kommunizieren zwischen Komponenten eines Bordnetzwerks eines Fahrzeugs*. Patent PA 2015216826 DE, September 2015 Eingereicht
- [8] ADAM, D. ; FRÖSCHL, J. ; BAUMGARTEN, U. ; HERKERSDORF, A. ; HERZOG, H.-G. : *Cyber Organic System-Model – New Approach for Automotives System Design*. In: *ADAPTIVE 2015, The Seventh International Conference on Adaptive and Self-Adaptive Systems and Applications, Nice, France* Bd. 6, IARAI Conference, 2015. – ISBN 978–1–61208–391–9, S. 110. – Best Paper Award
- [9] ADAM, D. ; FRÖSCHL, J. ; BAUMGARTEN, U. ; HERKERSDORF, A. ; HERZOG, H.-G. : *Cyber Organic System-Modell – Ein neuer Ansatz für automotives Systemdesign*. In: HOFF, C. (Hrsg.) ; SIRCH, O. (Hrsg.): *Elektrik/Elektronik in Hybrid- und Elektrofahrzeugen VI, Bad Boll, Germany*, expert-Verlag, 2015. – ISBN 978–3–8169–3311–3, S. 161 – 186
- [10] ADAM, D. ; FRÖSCHL, J. ; RUF, F. ; BAUMGARTEN, U. : *Cyber Organic Systems Model - a new Software Architecture Approach for Future, Complex Vehicles*. In: *2nd intl. IFIP Workshop on Emerging Ideas and Trends in Engineering of Cyber-Physical Systems (EITEC '15), Seattle, Washington, United States of America, 2015*

- [11] ADAM, D. ; GEHRSTZ, T. ; BAUMGARTEN, U. : Cyber Organic Systems Network – a new Network Architecture for Future Vehicles. In: *2015 IEEE International Workshop on Automotive IoT, Milan, Italy, 2015*
- [12] ADAM, D. ; SANDER, O. ; BAPP, F. ; BECKER, J. ; MÜNZ, S. : *Verfahren zum gemeinsamen Übertragen von Daten auf einem Bus in einem Kraftfahrzeug und diesbezügliche Vorrichtungen*. Patent PA 2015218202 DE, September 2015 Eingereicht
- [13] ADAM, D. ; TVERDYSHEV, S. ; ROLFES, C. ; SANDMANN, T. ; BÄHR, S. ; SANDER, O. ; BAUMGARTEN, U. ; BECKER, J. : Two Architecture Approaches for MILS Systems in Mobility Domains (Automobile, Railway and Avionik). In: *HiPEAC Conference 2015, Amsterdam, Netherland, 2015*
- [14] ADAMATZKY, A. : *Memristor Networks*. Springer International Publishing, 2014. – ISBN 978-3-319-02630-5
- [15] ADLEMAN, L. M.: Molecular computation of solutions to combinatorial problems. In: *SCIENCE Magazin 266* (1994), November, Nr. 5187, S. 1021–1024. <http://dx.doi.org/10.1126/science.7973651>. – DOI 10.1126/science.7973651. – ISSN 0036-8075, 1095-9203. – 04343
- [16] ADLEMAN, L. M.: Computing with DNA. In: *Scientific American 279* (1998), Nr. 8, S. 34–41
- [17] ADLEMAN, L. M.: *Vitae Leonard M. Adleman*. Webseite. <http://www.usc.edu/dept/molecular-science/fm-adleman-vitae.htm>. Version: 2000. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [18] AHLGREN, B. ; DANNEWITZ, C. ; IMBRENDA, C. ; KUTSCHER, D. ; OHLMAN, B. : A survey of information-centric networking. In: *IEEE Communications Magazine 50* (2012), Nr. 7, S. 26–36. <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2012.6231276>. – DOI 10.1109/MCOM.2012.6231276. – ISSN 0163-6804
- [19] AIRBUS: *Airbus A380*. Abbildung. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery/dg/idp/50043-a380-800-ea-airbus-v10-300dpi/?share=1>. Version: 2011
- [20] AKYILDIZ, I. F. ; KASIMOGLU, I. H.: Wireless sensor and actor networks: research challenges. In: *Ad Hoc Networks 2* (2004), Oktober, Nr. 4, S. 351–367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2004.04.003>. – DOI 10.1016/j.adhoc.2004.04.003. – ISSN 1570-8705
- [21] ALBUS, J. S. ; MCCAIN, H. G. ; LUMIA, R. : NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture (NASREM). In: *NBS Technical Note* (1987), Nr. 1235
- [22] ALLERDING, F. : *Organic Smart Home - Energiemanagement für Intelligente Gebäude*, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 2014

- [23] ALLRUTZ, R. ; CAP, C. ; EILERS, S. ; FEY, D. ; HAASE, H. ; HOCHBERGER, C. ; KARL, W. ; KOLPATZIK, B. ; KREBS, J. ; LANGHAMMER, F. u. a.: *Organic Computing-Computer- und Systemarchitektur im Jahr 2010*. Positionspapier, 2003
- [24] ARMBRUST, M. ; FOX, A. ; GRIFFITH, R. ; JOSEPH, A. D. ; KATZ, R. ; KONWINSKI, A. ; LEE, G. ; PATTERSON, D. ; RABKIN, A. ; STOICA, I. ; ZAHARIA, M. : A View of Cloud Computing. In: *Communications of the ACM* 53 (2010), April, Nr. 4, 50–58. <http://dx.doi.org/10.1145/1721654.1721672>. – DOI 10.1145/1721654.1721672. – ISSN 0001–0782
- [25] ARRAY OF CONTEMPORARY AMERICAN PHYSICISTS: *Paul Horn | Array of Contemporary American Physicists*. Webseite. <https://www.aip.org/history/acap/biographies/bio.jsp?hornp>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [26] ASANTE, E. A. ; SMIDAK, M. ; GRIMSHAW, A. ; HOUGHTON, R. ; TOMLINSON, A. ; JEELANI, A. ; JAKUBCOVA, T. ; HAMDAN, S. ; RICHARD-LONDT, A. ; LINEHAN, J. M. ; BRANDNER, S. ; ALPERS, M. ; WHITFIELD, J. ; MEAD, S. ; WADSWORTH, J. D. F. ; COLLINGE, J. : A naturally occurring variant of the human prion protein completely prevents prion disease. In: *nature* advance online publication (2015), Mai, Nr. 522, 478–481. <http://dx.doi.org/10.1038/nature14510>. – DOI 10.1038/nature14510. – ISSN 0028–0836
- [27] ASHBY, W. R.: *An Introduction to Cybernetics*. Chapman & Hall, 1956. – ISBN 978–0–416–68300–4
- [28] ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY: *Robert E Kahn - A.M. Turing Award Winner*. Webseite. http://amturing.acm.org/award_winners/kahn_4598637.cfm. Version: 2004. – Letzter Abruf: 2015-12-16
- [29] ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY: *Vinton Cerf - A.M. Turing Award Winner*. Webseite. http://amturing.acm.org/award_winners/cerf_1083211.cfm. Version: 2004. – Letzter Abruf: 2015-12-16
- [30] ATZORI, L. ; IERA, A. ; MORABITO, G. : The Internet of Things: A survey. In: *Computer Networks* 54 (2010), Oktober, Nr. 15, 2787–2805. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>. – DOI 10.1016/j.comnet.2010.05.010. – ISSN 1389–1286
- [31] AUDI AG: *Alles gemeinsam, alles in einem: das zentrale Fahrerassistenzsteuergerät*. Webseite. http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung_durch_technik/content/2014/10/zentrales-fahrerassistenzsteuergeraet-zfas.html. Version: 2014. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [32] AVERY, J. : *Information Theory and Evolution*. World Scientific, 2003. – ISBN 978–981–238–400–3
- [33] BAGNALL, A. ; CAWLEY, G. : Learning classifier systems for data mining: a comparison of XCS with other classifiers for the Forest Cover data set. In: *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2003* Bd. 3, S. 1802–1807 vol.3

- [34] BAMSE: *Fliegen (Fortbewegung)*. Abbildung. [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fliegen_\(Fortbewegung\)&oldid=130807137](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fliegen_(Fortbewegung)&oldid=130807137). Version: 2007. – Page Version ID: 130807137
- [35] BASSHUYSEN, R. v.: *Handbuch Verbrennungsmotor*. 7. Springer, 2015. – ISBN 978–3–658–04678–1
- [36] BÖCK, G. ; BOMMAS-EBERT, U. ; BRANDENBURGER, T. : *Prüfungswissen Physikum*. Georg Thieme Verlag, 2009. – ISBN 978–3–13–152131–6
- [37] BEBEL, J. ; TENG, S.-H. : *Leonard M. Adleman - A.M. Turing Award Winner*. Webseite. http://amturing.acm.org/award_winners/adleman_7308544.cfm. Version: 2012. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [38] BECK, F. H.: *Prototypen - Bionik und der Blick in die Natur | hardmood's weblog*. Blog. <http://goo.gl/R0YI9v>. Version: 2008. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [39] BECKER, J. : *Autonomes Fahren - Wettstreit um die automobilen Zukunft*. In: *Süddeutsche Zeitung* (2014). <http://www.sueddeutsche.de/auto/autonomes-fahren-wettstreit-um-die-automobile-zukunft-1.2005969>. – ISSN 0174–4917. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [40] BELL, J. : *Machine learning*. John Wiley & Sons, 2015. – ISBN 978–1–118–88949–7
- [41] BENGEL, G. ; BAUN, C. ; KUNZE, M. ; STUCKY, K.-U. : *Masterkurs Parallele und Verteilte Systeme: Grundlagen und Programmierung von Multicore-Prozessoren, Multiprozessoren, Cluster, Grid und Cloud*. Springer, 2015. – ISBN 978–3–8348–2151–5
- [42] BERNARD, M. ; BUCKL, C. ; DUERICH, V. ; FEHLING, M. ; FIEGE, L. ; GROLMAN, H. von ; IVANDIC, N. ; JANELLO, C. ; KLEIN, C. ; KUHN, K.-J. ; PATZLAFF, C. ; RIEDL, B. C. ; SCHÄTZ, B. ; STANEK, C. : *Mehr Software (im) Wagen: Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als Motor der Elektromobilität der Zukunft / fortiss GmbH*. 2011. – Forschungsbericht
- [43] BETZ, F. : *Managing Technological Innovation: Competitive Advantage from Change*. John Wiley & Sons, 2011. – ISBN 978–0–470–92757–1
- [44] BÜHLER, B. : *Lebende Körper: Biologisches und anthropologisches Wissen bei Rilke, Döblin und Jünger*. Königshausen u. Neumann, 2004. – ISBN 978–3–8260–2930–1
- [45] BÄHR, M. ; FROTSCHER, M. : *Duus' neurologisch-topische Diagnostik: Anatomie, Funktion, Klinik*. Georg Thieme Verlag, 2003. – ISBN 978–3–13–535808–6
- [46] BIALIK, M. : *Hypothalamic regulation in relation to maladaptive, obsessive-compulsive, affiliative, and satiety behaviors in Prader-Willi syndrome*. Los Angeles, University of California, Dissertation, 2007
- [47] BIESALSKI, H. K. ; GRIMM, P. : *Taschenatlas der Ernährung*. Georg Thieme Verlag, 2011. – ISBN 978–3–13–167605–4

- [48] BIETHAHN, J. ; MUCKSCH, H. ; RUF, W. : *Ganzheitliches Informationsmanagement: Entwicklungsmanagement / mit einem Fallbeispiel von Matthias Almstedt ...* Oldenbourg Verlag, 2007. – ISBN 978-3-486-58233-8
- [49] BITKOM E.V.: *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0.* Ergebnisbericht, 2015
- [50] BÖLKOW, L. : *Ein Jahrhundert Flugzeuge - Geschichte und Technik des Fliegens.* Springer, 1990. – ISBN 978-3-642-95775-8
- [51] BLUETOOTH SIG, INC.: *Fast Facts | Bluetooth Technology Website.* Webseite. <http://www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [52] BMW GROUP: *Funktionssicherheit für Entwickler.* 2013. – Schulungsunterlagen
- [53] BMW GROUP: *BMW Australia.* Webseite. <https://plus.google.com/+bmwaustralia>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [54] BMW GROUP: *ItO.net - Das Informations-Portal für den Produkt-Entstehungs-Prozess ItO und PEP.* Interne Webseite, 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [55] BOUAJILA, A. ; ZEPPENFELD, J. ; STECHELE, W. ; BERNAUER, A. ; BRINGMANN, O. ; ROSENSTIEL, W. ; HERKERSDORF, A. : *Autonomic System on Chip Platform.* In: MÜLLER-SCHLÖR, C. (Hrsg.) ; SCHMECK, H. (Hrsg.) ; UNGERER, T. (Hrsg.): *Organic Computing — A Paradigm Shift for Complex Systems.* Springer, 2011. – ISBN 978-3-0348-0129-4, S. 413-425. – DOI: 10.1007/978-3-0348-0130-0_27
- [56] BRAUN, T. : *Internet der Dinge: Vernetzung nimmt rasant zu.* In: *ZDnet* (2015). <http://www.zdnet.de/88236789/internet-der-dinge-vernetzung-nimmt-rasant-zu/>. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [57] BRIEGLEB, V. : *EU-Parlament beschließt Auto-Notruf eCall.* In: *c't* (2015). <http://www.heise.de/newsticker/meldung/EU-Parlament-beschliesst-Auto-Notruf-eCall-2626174.html>. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [58] BROOKS, R. A.: *Intelligence Without Reason.* In: *Massachusetts Institute of Technology - Artificial Intelligence Laboratory* (1991), April, Nr. 1293
- [59] BRÄSS, H.-H. ; SEIFFERT, U. : *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik.* Springer, 2013. – ISBN 978-3-658-01691-3
- [60] BULL, L. ; KOVACS, T. : *Foundations of Learning Classifier Systems.* Springer Science & Business Media, 2005. – ISBN 978-3-540-25073-9
- [61] BULLINGER, H.-J. : *Technologieführer: Grundlagen - Anwendungen - Trends.* Springer, 2006. – ISBN 978-3-540-33788-1
- [62] BULLINGER, H.-J. : *Internet der Dinge.* Springer, 2007. – ISBN 978-3-540-36733-8

- [63] BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG: *Industrie 4.0 - Informationstechnologie für die vierte industrielle Revolution - Forschung - BMBF*. Webseite. <http://www.bmbf.de/de/9072.php>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [64] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: *BMWi - Industrie 4.0*. Webseite. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/industrie-4-0.html>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [65] BURGDORF, F. : *Eine kunden- und lebenszyklusorientierte Produktfamilienabsicherung für die Automobilindustrie*. Bd. Dissertation. KIT Scientific Publishing, 2010. – ISBN 978-3-86644-562-8. – 00005
- [66] BUYYA, R. ; BROBERG, J. ; GOSCINSKI, A. M.: *Cloud Computing: Principles and Paradigms*. John Wiley & Sons, 2010. – ISBN 978-1-118-00220-9
- [67] CAMPOLO, C. ; MOLINARO, A. ; SCOPIGNO, R. : *Vehicular ad hoc Networks: Standards, Solutions, and Research*. Springer, 2015. – ISBN 978-3-319-15497-8
- [68] CASTRO, L. N. d.: *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, and Applications*. CRC Press, 2006. – ISBN 978-1-58488-643-3
- [69] CASTRO, L. N.: Fundamentals of natural computing: an overview. In: *Physics of Life Reviews* 4 (2007), Nr. 1, S. 1–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plrev.2006.10.002>. – DOI 10.1016/j.plrev.2006.10.002. – ISSN 1571-0645
- [70] CERF, V. ; KAHN, R. : A Protocol for Packet Network Intercommunication. In: *IEEE Transactions on Communications* 22 (1974), Nr. 5, S. 637–648. <http://dx.doi.org/10.1109/TCOM.1974.1092259>. – DOI 10.1109/TCOM.1974.1092259. – ISSN 0090-6778
- [71] CHANG, W. Y.: *Network-Centric Service Oriented Enterprise*. Springer, 2007. – ISBN 978-1-4020-6455-5
- [72] CHARLIER, S. : *Grundlagen der Psychologie, Soziologie und Pädagogik für Pflegeberufe*. Georg Thieme Verlag, 2001. – ISBN 978-3-13-126491-6
- [73] CHERITON, D. R. ; GRITTER, M. : TRIAD: A New Next-Generation Internet Architecture. (2000). <http://dx.doi.org/10.1.1.33.5878>. – DOI 10.1.1.33.5878
- [74] CISCO: *Handbuch Netzwerktechnologien*. Pearson Deutschland GmbH, 2001. – ISBN 978-3-8272-6080-2
- [75] COLLINS, N. : Evolution to blame for bad backs, dropped arches and impacted wisdom teeth, say scientists. In: *The Telegraph* (2013). <http://www.telegraph.co.uk/news/science/evolution/9873352/Evolution-to-blame-for-bad-backs-dropped-arches-and-impacted-wisdom-teeth-say-scientists.html>. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [76] COMMERCE, N. US Department of: *National Institute of Standards and Technology*. Webseite. <http://www.nist.gov/>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28

- [89] DINKEL, M. : *A novel IT-architecture for self-management in distributed embedded systems*, Technische Universität München, Dissertation, 2008
- [90] DRESSLER, F. : *Self-Organization in Sensor and Actor Networks*. John Wiley & Sons, 2008. – ISBN 978-0-470-72445-3
- [91] DRESSLER, F. ; DIETRICH, I. ; GERMAN, R. ; KRÜGER, B. : A rule-based system for programming self-organized sensor and actor networks. In: *Computer Networks* 53 (2009), Nr. 10, S. 1737–1750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2008.09.007>. – DOI 10.1016/j.comnet.2008.09.007. – ISSN 1389–1286
- [92] DUAN, Y. ; FU, G. ; ZHOU, N. ; SUN, X. ; NARENDRA, N. ; HU, B. : Everything as a Service (XaaS) on the Cloud: Origins, Current and Future Trends. In: *2015 IEEE 8th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, 2015, S. 621–628
- [93] DUDEL, J. ; MENZEL, R. ; SCHMIDT, R. F.: *Neurowissenschaft: Vom Molekül zur Kognition*. Springer, 2001. – ISBN 978-3-540-41335-6
- [94] DUIGNAN, B. : *The 100 Most Influential Philosophers of All Time*. The Rosen Publishing Group, 2009. – ISBN 978-1-61530-009-9
- [95] EBI, T. ; KRAMER, D. ; SCHUCK, C. ; RENTELN, A. v. ; BECKER, J. ; BRINKSCHULTE, U. ; HENKEL, J. ; KARL, W. : DodOrg—A Self-adaptive Organic Many-core Architecture. In: MÜLLER-SCHLÖR, C. (Hrsg.) ; SCHMECK, H. (Hrsg.) ; UNGERER, T. (Hrsg.): *Organic Computing — A Paradigm Shift for Complex Systems*. Springer, 2011. – ISBN 978-3-0348-0129-4, S. 353–368. – DOI: 10.1007/978-3-0348-0130-0_23
- [96] EDAG GMBH & CO. KGAA: *EDAG INSIGHT 1/14 - GENERATIVE FERTIGUNG EDAG GENESIS*. Unternehmensmagazin, 2014
- [97] EDAG GMBH & CO. KGAA: *News-Detail: EDAG Engineering AG*. Webseite. <http://www.edag.de/de/edag/news-detail/getarticle/News/detail/weltpremiere-des-concept-cars-edag-light-cocoon-in-genf.html>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [98] ERNST, M. : *Bionik als Inspiration für E/E-Architektur und Bordnetz-Topologie*. Präsentation, November 2014. – bordnetze. - 17. Kooperationsforum
- [99] ERNST, M. : *Bionik als Methode zur Konzeption neuer Ansätze für die E/E-Architektur*. Präsentation, September 2014. – Bordnetz Kongress Landshut
- [100] FALLER, A. ; SCHÄNKE, M. : *Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion*. Georg Thieme Verlag, 2012. – ISBN 978-3-13-151956-6
- [101] FESTO AG: *SmartBird | Festo Unternehmen*. Webseite. http://www.festo.com/cms/de_corp/11369.htm. Version: 2011. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [102] FRANCOIS, C. : *International Encyclopedia of Systems and Cybernetics*. Walter de Gruyter, 2004. – ISBN 978-3-11-096801-9

- [103] FRÖSCHL, J. : *fEPM – flexible Energy and Power Management*. 2014. – Interne Präsentation
- [104] FRÖSCHL, J. ; HERZOG, H.-G. ; NEUDECKER, R. ; PRÖBSTLE, H. ; SIRCH, O. : Considerations and Approaches for a Dual Voltage Power Supply System with 48 Volt. In: *Energy Efficient Vehicle Conference 2011*, 2011
- [105] FRÖSCHL, J. ; ILSANKER, D. ; HERZOG, H.-G. : Investigation of a State Triggered Energy Management System. In: HOFF, C. (Hrsg.) ; SIRCH, O. (Hrsg.): *Elektrik, Elektronik in Hybrid- und Elektrofahrzeugen und elektrisches Energiemanagement IV*, expert-Verl, 2013. – ISBN 978-3-8169-3213-0
- [106] FRÖSCHL, J. ; IMMEL, G. ; BRUNNER, A. ; ENDRES, T. ; KURTZ, S. ; HERZOG, H.-G. : Die nächste Revolution im BMW 7er: Maximale Effizienz und Stabilität mit ConnectedPowerManagement. In: *Kongress Elektronik im Fahrzeug, Baden-Baden*, 2015
- [107] GASSMANN, M. : *Waschen, googeln, twittern - das vernetzte Haus*. Webseite. <http://www.welt.de/wirtschaft/article141237367/Waschen-googeln-twittern-das-vernetzte-Haus.html>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [108] GEHRSTZ, T. ; KELLERER, W. ; KELLERMANN, H. : In-Car Communication based on Power Line Networks. In: *2nd GI/ITG KuVS Fachgespräch Inter-Vehicle Communication*, 2014
- [109] GEISBERGER, E. ; BROY, M. : *agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. 2012. Springer, 2012. – ISBN 978-3-642-29098-5
- [110] GEORG THIEME VERLAG: *Hypothalamus-Hypophysen-Achse*. Bild. https://www.thieme.de/statics/dokumente/thieme/final/de/dokumente/tw_pflegepaedagogik/abb-11-06-hypothalamus-hypophysen-achse.jpg. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [111] GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK: *Wir über uns - GI - Gesellschaft für Informatik e.V.* Webseite. <http://www.gi.de/wir-ueber-uns.html>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [112] GILROY, A. ; MACPHERSON, B. R. ; ROSS, L. M.: *Atlas of Anatomy*. Georg Thieme Verlag, 2009. – ISBN 978-1-60406-062-1
- [113] GLOBAL CASTING MAGAZINE: *Opening of the production site Tiexi*. | *Global Casting Magazine*. Webseite. <http://www.globalcastingmagazine.com/index.php/2013/10/17/opening-of-the-production-site-tiexi/>. Version: Oktober 2013. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [114] GOLDFISHER, S. ; TANABE, S. : IEEE 1901 access system: An Overview of Its Uniqueness and Motivation. In: *IEEE Communications Maga* 48 (2010), Oktober, Nr. 10, S. 150–157. <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2010.5594690>. – DOI 10.1109/MCOM.2010.5594690. – ISSN 0163-6804

- [115] GREENWALD, R. ; STACKOWIAK, R. ; STERN, J. : *Oracle Essentials, 5th Edition*. O'Reilly Media, Inc., 2013. – ISBN 978-1-4493-4303-3
- [116] HARDAWAR, D. : Parrot's connected plant pot meets Misfit's smart bulb at CES. In: *Engadget.com* (2015). <http://www.engadget.com/2015/01/08/misfit-parrot-ces-stage/>. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [117] HÜBNER, I. : *40 Jahre SPS*. Webseite. <http://www.openautomation.de/detailseite/40-jahre-sps.html>. Version: 2008. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [118] HEISER, G. : The Role of Virtualization in Embedded Systems. In: *Proceedings of the 1st Workshop on Isolation and Integration in Embedded Systems*, ACM (IIES '08). – ISBN 978-1-60558-126-2, 11-16
- [119] HELLWIG, M. ; SYPLI, V. : *Leit- und Sicherungstechnik mit drahtloser Datenübertragung: Sicherheit im drahtlosen Bahnbetrieb · Qualität in der Informationsverarbeitung · Methoden der Qualitätssicherung*. Springer, 2014. – ISBN 978-3-658-05436-6
- [120] HENDERSON, H. : *A to Z of Computer Scientists*. Infobase Publishing, 2009. – ISBN 978-1-4381-0918-3
- [121] HERTZBERG, J. ; JAEGER, H. ; ZIMMER, U. ; MORIGNOT, P. : A framework for plan execution in behavior-based robots. In: *Intelligent Control (ISIC), 1998. Held jointly with IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA), Intelligent Systems and Semiotics (ISAS), Proceedings, 1998*, S. 8-13
- [122] HERTZFELD, A. ; CAPPS, S. : *Revolution in The Valley: The Insanely Great Story of How the Mac Was Made*. O'Reilly Media, Inc., 2005. – ISBN 978-0-596-00719-5
- [123] HILLENBRAND, M. : *Funktionale Sicherheit nach ISO 26262 in der Konzeptphase der Entwicklung von Elektrik/Elektronik Architekturen von Fahrzeugen*, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 2012
- [124] HODGES, A. : *Alan Turing: The Enigma*. Princeton University Press, 2012. – ISBN 978-0-691-15564-7
- [125] HOFMANN, P. E. H. ; LEBECH, S. F.: Evolutionäre Elektronikarchitektur für Kraftfahrzeuge (Evolutionary Electronic Systems for Automobiles). In: *it - Information Technology* 47 (2005), Nr. 4, S. 212-219
- [126] HOLLAND, J. H. ; BOOKER, L. B. ; COLOMBETTI, M. ; DORIGO, M. ; GOLDBERG, D. E. ; FORREST, S. ; RIOLO, R. L. ; SMITH, R. E. ; LANZI, P. L. ; STOLZMANN, W. ; WILSON, S. W.: What Is a Learning Classifier System? In: *Learning Classifier Systems, From Foundations to Applications*, Springer. – ISBN 978-3-540-67729-1, 3-32
- [127] HORAK, R. : *Webster's New World Telecom Dictionary*. John Wiley & Sons, 2008. – ISBN 978-0-471-77457-0
- [128] HORN, F. : *Biochemie des Menschen: Das Lehrbuch für das Medizinstudium*. Georg Thieme Verlag, 2012. – ISBN 978-3-13-151345-8

- [129] HORN, P. : Autonomic computing: IBM's Perspective on the State of Information Technology. (2001)
- [130] HSU, J. : IBM's new brain. In: *IEEE Spectrum* 51 (2014), Nr. 10, S. 17–19. <http://dx.doi.org/10.1109/MSPEC.2014.6905473>. – DOI 10.1109/MSPEC.2014.6905473. – ISSN 0018–9235
- [131] HUPPELSBERG, J. ; WALTER, K. : *Kurzlehrbuch Physiologie*. Georg Thieme Verlag, 2013. – ISBN 978–3–13–136434–0
- [132] HURWITZ, J. ; KAUFMAN, M. ; BOWLES, A. : *Cognitive Computing and Big Data Analytics*. John Wiley & Sons, 2015. – ISBN 978–1–118–89678–5
- [133] INDIVERI, G. ; LIU, S.-C. : Memory and Information Processing in Neuromorphic Systems. In: *Proceedings of the IEEE* 103 (2015), Nr. 8, S. 1379–1397. <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2015.2444094>. – DOI 10.1109/JPROC.2015.2444094. – ISSN 0018–9219
- [134] INFISO D.4 NETWORKED ENTERPRISE & RFID ; INFISO G.2 MICRO & NANOSYSTEMS ; RFID WORKING GROUP OF THE EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM ON SMART SYSTEM INTEGRATION (EPOSS): Internet of Things in 2020. 2008. – Forschungsbericht
- [135] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: *IEEE History Center - Legacies: Robert M. Metcalfe*. Webseite. https://web.archive.org/web/20020827021430/http://www.ieee.org/organizations/history_center/legacies/metcalfe.html. Version: 1996. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [136] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: *IEEE About IEEE*. Webseite. https://www.ieee.org/about/about_index.html. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [137] ISAACSON, W. : *Steve Jobs by Isaacson, Walter (2011) Hardcover*. Simon & Schuster, 2011. – ISBN 978–1–45–164853–9
- [138] ISO: Information technology - Database languages - SQL / International Organization for Standardization. 2011 (9075 1:2011). – ISO
- [139] ISO: Road vehicles - Functional safety - Part 1: Vocabulary / International Organization for Standardization. 2011 (26262-1:2011). – ISO
- [140] ISO: Road vehicles - Functional safety - Part 3: Concept phase / International Organization for Standardization. 2011 (26262-3:2011). – ISO
- [141] ISO: Road vehicles - Functional safety - Part 5: Product development at the hardware level / International Organization for Standardization. 2011 (26262-3:2011). – ISO
- [142] IVANCEVIC, V. G. ; IVANCEVIC, T. T.: *Computational Mind: A Complex Dynamics Perspective*. Springer, 2007. – ISBN 978–3–540–71561–0

- [143] JACOBSON, V. ; SMETTERS, D. K. ; THORNTON, J. D. ; PLASS, M. ; BRIGGS, N. ; BRAYNARD, R. : *Networking Named Content*. In: *Communications of the ACM* 55 (2012), Nr. 1, S. 117–124. <http://dx.doi.org/10.1145/2063176.2063204>. – DOI 10.1145/2063176.2063204. – ISSN 0001–0782
- [144] JARKE, M. ; LENZERINI, M. ; VASSILIOU, Y. ; VASSILIADIS, P. : *Fundamentals of Data Warehouses*. Springer, 2002. – ISBN 978–3–540–42089–7
- [145] JOHANNING, V. ; MILDNER, R. : *Car IT kompakt - Das Auto der Zukunft – Vernetzt und autnom fahren*. Springer, 2015. – ISBN 978–3–658–09968–8
- [146] KACPRZYK, J. ; PEDRYCZ, W. : *Springer Handbook of Computational Intelligence*. Springer, 2015. – ISBN 978–3–662–43505–2
- [147] KALLA, H. : *ETZ | Industrie 4.0: Der Weg ist geebnet*. Webseite. <http://www.etz.de/3788-0-Industrie+40+Der+Weg+ist+geebnet+.html>. Version: 2013. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [148] KARAALI, C. : *Grundlagen der Steuerungstechnik: Einführung mit Übungen*. Springer, 2013. – ISBN 978–3–8348–2184–3
- [149] KARL, H. ; WILLIG, A. : *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, 2007. – ISBN 978–0–470–51923–3
- [150] KARLSON, P. ; DOENECKE, D. : *Karlsons Biochemie und Pathobiochemie*. Georg Thieme Verlag, 2005. – ISBN 978–3–13–357815–8
- [151] KASSNER, C. : *Otto Lilienthal*. http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Otto_Lilienthal&oldid=131418707. Version: 1891. – Page Version ID: 131418707
- [152] KAUTZMANN, T. : *Die mobile Arbeitsmaschine als komplexes System*, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 2014
- [153] KELLAND, K. : *Former brain-eating Papua tribe offers clues on deadly diseases*. (2015). <http://www.reuters.com/article/2015/06/10/health-brains-tribe-idUSL5N0YW3BD20150610>
- [154] KEMPER, A. ; EICKLER, A. : *Datenbanksysteme: Eine Einführung*. Oldenbourg Verlag, 2011. – ISBN 978–3–486–59834–6
- [155] KEPHART, J. O. ; CHESS, D. M. : *The vision of autonomic computing*. In: *Computer* 36 (2003), Januar, Nr. 1, S. 41–50. <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2003.1160055>. – DOI 10.1109/MC.2003.1160055. – ISSN 0018–9162
- [156] KEUPER, F. ; HOGENSCHURZ, B. : *Professionelles Sales and Service Management: Vorsprung Durch Konsequente Kundenorientierung*. Springer, 2010. – ISBN 978–3–8349–8799–0

- [157] KLAWITTER, T. ; ROTHER, B. ; FRANZ, M. ; MÜLLER, A. : Innovative Sitzsysteme. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* 112 (2010), Oktober, Nr. 10, S. 736–742. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03222200>. – DOI 10.1007/BF03222200. – ISSN 0001–2785, 2192–8800
- [158] KLUGE, F. : *Autonomic- und Organic-Computing-Techniken für eingebettete Echtzeitsysteme, Autonomic and Organic Computing Techniques for Embedded Real-Time Systems*, Universität Augsburg, Dissertation, 2011
- [159] KNIESE, L. : *Dynamischer Hebel zur Verbesserung der Kraftübertragung*. 2000 IPC: G05G 1/04; F16H 51/00
- [160] KODRATOFF, Y. ; MICHALSKI, R. S.: *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. Morgan Kaufmann, 1990. – ISBN 978–1–55860–119–2
- [161] KOOLMAN, J. : *Taschenatlas der Biochemie*. Georg Thieme Verlag, 2003. – ISBN 978–3–13–759403–1
- [162] KOOLMAN, J. ; RÖHM, K.-H. : *Taschenatlas Biochemie des Menschen*. Georg Thieme Verlag, 2009. – ISBN 978–3–13–150934–5
- [163] KOPETZ, H. : *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Springer Science & Business Media, 2011. – ISBN 978–1–4419–8237–7
- [164] KOSSEL, A. : Sind wir schon da? In: *c't* 9 (2014), 132–135. <http://www.heise.de/ct/inhalt/2014/09/132/>. – ISSN 0724–8679. – Roboter-Autos mischen sich in den Verkehr
- [165] KRAMER, F. : *Integrale Sicherheit von Kraftfahrzeugen*. Springer, 2013. – ISBN 978–3–8348–2608–4
- [166] KRANTZ, S. G.: *Mathematical Odyssey: Journey from the Real to the Complex*. Springer, 2014. – ISBN 978–1–4614–8939–9
- [167] KRÜGER, I. : *Software-Architektur, Entwurfsmuster und Refactoring*. Präsentation. https://www4.in.tum.de/misc/perlen/perlen-folien/PDW_Architektur_IK_Druckversion.pdf. Version: 2014
- [168] KRISHNAMACHARI, B. : *Networking wireless sensors*. Cambridge University Press, 2005. – ISBN 978–0–521–83847–4
- [169] KRUMKE, S. O. ; NOLTEMEIER, H. : *Graphentheoretische Konzepte und Algorithmen*. Springer, 2012. – ISBN 978–3–8348–2264–2
- [170] KUROSE, J. F. ; ROSS, K. W.: *Computernetzwerke: Der Top-Down-Ansatz*. Pearson, 2008. – ISBN 978–3–8273–7330–4
- [171] KUROSE, J. F. ; ROSS, K. W.: *Computer Networking: A Top-down Approach*. Pearson, 2013. – ISBN 978–0–13–285620–1

- [172] KUROSE, J. : Content-centric Networking: Technical Perspective. In: *Communications of the ACM* 55 (2012), Nr. 1, 116–116. <http://dx.doi.org/10.1145/2063176.2063203>. – DOI 10.1145/2063176.2063203. – ISSN 0001–0782
- [173] KUTSCHERA, U. : *Evolutionsbiologie*. Eugen Ulmer, 2008. – ISBN 978–3–8252–8318–6
- [174] LALANDA, P. : *Autonomic computing*. Springer, 2013 (Undergraduate topics in computer science). – ISBN 978–1–4471–5006–0
- [175] LANGHOFF, W. ; ERNST, M. : Das lebende Bordnetz - Bionik als Vorbild für die E/E-Architektur der Zukunft. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* (2015), Nr. 8, S. 52 – 57
- [176] LARSEN, C. : *Füße in guten Händen: Spiraldynamik - programmierte Therapie für konkrete Resultate*. Georg Thieme Verlag, 2006. – ISBN 978–3–13–135552–2
- [177] LEWIS, J. D. ; WEIGERT, A. : Trust as a Social Reality. In: *Social Forces* 63 (1985), Nr. 4, S. 967–985. <http://dx.doi.org/10.1093/sf/63.4.967>. – DOI 10.1093/sf/63.4.967. – ISSN 0037–7732, 1534–7605
- [178] LIGHTSTONE, S. S. ; TEOREY, T. J. ; NADEAU, T. : *Physical Database Design: the database professional's guide to exploiting indexes, views, storage, and more*. Morgan Kaufmann, 2010. – ISBN 978–0–08–055231–6
- [179] LILIENTHAL, O. : *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*. Gaertner, 1889
- [180] LILIENTHAL, O. ; LUKASCH, B. (Hrsg.): *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*. Springer Spektrum, 2014 (Klassische Texte der Wissenschaft). – ISBN 978–3–642–41811–2
- [181] LIM, H.-T. ; VOLKER, L. ; HERRSCHER, D. : Challenges in a future IP/Ethernet-based in-car network for real-time applications. In: *48th ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, 2011, S. 7–12
- [182] LINNEMANN, M. ; KÄHL, M. : *Biochemie für Mediziner: ein Lern- und Arbeitsbuch mit klinischem Bezug*. Springer, 2006. – ISBN 978–3–540–34989–1
- [183] MADDEN, S. : *TinyDB: A Declarative Database for Sensor Networks*. Webseite. <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/index.htm>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [184] MAHMOUDI, G. ; MÜLLER-SCHLÖR, C. ; HÄHNER, J. : Marketplace-Oriented Behavior in Semantic Multi-Criteria Decision Making Autonomous Systems. In: BEREKOVIC, M. (Hrsg.) ; MÜLLER-SCHLÖR, C. (Hrsg.) ; HOCHBERGER, C. (Hrsg.) ; WONG, S. (Hrsg.): *Architecture of Computing Systems - ARCS 2009*. Springer, 2009 (Lecture Notes in Computer Science 5455). – ISBN 978–3–642–00453–7, S. 120–134
- [185] MARCUS, E. ; STERN, H. : *Blueprints for High Availability*. John Wiley & Sons, 2003. – ISBN 978–0–7645–5785–9

- [186] MASANI, P. R.: *Norbert Wiener 1894 - 1964*. Birkhäuser, 1990. – ISBN 978-3-0348-9252-0
- [187] MATTLE, H. ; MUMENTHALER, M. : *Neurologie*. Georg Thieme Verlag, 2012. – ISBN 978-3-13-157773-3
- [188] MAURER, M. : *Autonomes Fahren*. Springer, 2015. – ISBN 978-3-662-45853-2
- [189] MCGRATH, M. P.: *Understanding PaaS*. O'Reilly Media, Inc., 2012. – ISBN 978-1-4493-2342-4
- [190] MEAD, C. : Neuromorphic electronic systems. In: *Proceedings of the IEEE* 78 (1990), Nr. 10, S. 1629–1636. <http://dx.doi.org/10.1109/5.58356>. – DOI 10.1109/5.58356. – ISSN 0018-9219
- [191] MEER, H. D. ; STERBENZ, J. P. G.: *Self-Organizing Systems: First International Workshop, IWSOS 2006 and Third International Workshop on New Trends in Network Architectures and Services, EuroNGI 2006, Passau, Germany, September 18-20, 2006, Proceedings*. Springer, 2006. – ISBN 978-3-540-37658-3
- [192] MELL, P. M. ; GRANCE, T. : SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing / National Institute of Standards & Technology. 2011. – Forschungsbericht
- [193] MENDEL, J. ; HAGRAS, H. ; TAN, W.-W. ; MELEK, W. W. ; YING, H. : *Introduction To Type-2 Fuzzy Logic Control: Theory and Applications*. John Wiley & Sons, 2014. – ISBN 978-1-118-90144-1
- [194] MENON, S. ; FOK, S. ; NECKAR, A. ; KHATIB, O. ; BOAHEN, K. : Controlling articulated robots in task-space with spiking silicon neurons. In: *Biomedical Robotics and Biomechatronics*, 2015, S. 181–186
- [195] MERTENS, P. ; BODENDORF, F. ; KÖNIG, W. ; PICOT, A. ; SCHUMANN, M. ; HESS, T. : *Grundzüge der Wirtschaftsinformatik*. Springer, 2012. – ISBN 978-3-642-30515-3
- [196] METCALFE, R. M. ; BOGGS, D. R. ; THACKER, C. P. ; LAMPSON, B. W.: *Multipoint data communication system with collision detection*. 1977
- [197] MEYER, G. ; BEIKER, S. : *Road Vehicle Automation 2*. Springer, 2015. – ISBN 978-3-319-19078-5
- [198] MICHEL, H.-U. ; ADAM, D. : *Ideenskizze zur Future E/E Architektur*. Interne Projekt-skizze, 2013
- [199] MICHEL, H.-U. ; KAULE, D. ; SALFER, M. : Vision einer intelligenten Vernetzung - elektroniknet. In: *elektroniknet* (2012). http://www.elektroniknet.de/automotive/technik-know-how/bordnetz-und-energiemanagement/article/89883/0/Vision_einer_intelligenten_Vernetzung/. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [200] MITCHELL, T. : *Machine Learning*. Mcgraw-Hill Education, 1997. – ISBN 978-0-07-115467-3

- [201] MÜLLER-SCHLÖR, C. : *Organic Computing - Von Balinesischen Wassertempeln, Ameisen und selbstmodifizierendem Code*. Präsentation, 2012
- [202] MÜLLER-SCHLÖR, C. ; SCHMECK, H. ; UNGERER, T. : *Organic Computing - A Paradigm Shift for Complex Systems*. Springer, 2011. – ISBN 978-3-0348-0130-0
- [203] MONROE, D. : Neuromorphic Computing Gets Ready for the (Really) Big Time. In: *Communications of the ACM* 57 (2014), Nr. 6, 13–15. <http://dx.doi.org/10.1145/2601069>. – DOI 10.1145/2601069. – ISSN 0001-0782
- [204] MOST COOPERATION: *MOST - Home > Home*. Webseite. <http://www.mostcooperation.com>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [205] NACHTIGALL, W. ; WISSER, A. : *Bionik in Beispielen: 250 illustrierte Ansätze*. Springer, 2013. – ISBN 978-3-642-34767-2
- [206] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION: *NASA*. Webseite. Version: 2015. <http://www.nasa.gov/index.html> Letzter Abruf: 2015-11-28
- [207] NAUNIN, D. : *Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge: Technik, Strukturen und Entwicklungen*. Expert, 2007. – ISBN 978-3-8169-2625-2
- [208] NELSON, T. H.: *Project Xanadu*. Webseite. <http://www.xanadu.com/>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [209] NICKEL, W. : *100 Jahre Fließbandfertigung: Autos am laufenden Band*. Webseite. <http://www.zeit.de/auto/2013-04/ford-fließband-massenproduktion>. Version: 2013. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [210] OBERMAISSER, R. : *Time-Triggered Communication*. CRC Press, 2011. – ISBN 978-1-4398-4662-9
- [211] OPPENHEIMER, P. : *Top-down network design*. Cisco Press, 2011. – ISBN 978-1-58720-283-4
- [212] PAN, J. ; PAUL, S. ; JAIN, R. : A survey of the research on future internet architectures. In: *IEEE Communications Magazine* 49 (2011), Nr. 7, S. 26–36. <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2011.5936152>. – DOI 10.1109/MCOM.2011.5936152. – ISSN 0163-6804
- [213] PAPE, H.-C. ; KURTZ, A. ; SILBERNAGL, S. : *Physiologie*. Georg Thieme Verlag, 2014. – ISBN 978-3-13-796007-2
- [214] PEPELS, W. : *B2B-Handbuch Operations Management: Industriegüter erfolgreich vermarkten*. Symposion Publishing GmbH, 2009. – ISBN 978-3-939707-47-9
- [215] PEPELS, W. : *Produktmanagement: Produktinnovation - Markenpolitik - Programmplanung - Prozessorganisation*. Walter de Gruyter, 2013. – ISBN 978-3-486-73569-7
- [216] PFEFFER, P. : *6th International Munich Chassis Symposium 2015*. Springer, 2015. – ISBN 978-3-658-09711-0

- [217] PIEGAT, A. : *Fuzzy Modeling and Control*. Physica, 2013. – ISBN 978–3–7908–1824–6
- [218] POOLE, D. L.: *Artificial intelligence*. Cambridge University Press, 2010. – ISBN 978–0–521–51900–7
- [219] PROFF, H. ; PASCHA, W. ; SCHÖNHARTING, J. ; SCHRAMM, D. : *Schritte in die künftige Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*. Springer, 2013. – ISBN 978–3–8349–4308–8
- [220] PROTHMANN, H. ; TOMFORDE, S. ; BRANKE, J. ; HÄHNER, J. ; MÜLLER-SCHLÖR, C. ; SCHMECK, H. : *Organic Traffic Control*. In: MÜLLER-SCHLOER, C. (Hrsg.) ; SCHMECK, H. (Hrsg.) ; UNGERER, T. (Hrsg.): *Organic Computing — A Paradigm Shift for Complex Systems*. Springer, 2011. – ISBN 978–3–0348–0129–4, S. 431–446. – DOI: 10.1007/978-3-0348-0130-0_28
- [221] PÜSCHEL, G. P. ; KÜHN, H. ; KIETZMANN, T. ; HÖHNE, W. : *Taschenlehrbuch Biochemie*. Georg Thieme Verlag, 2011. – ISBN 978–3–13–165971–2
- [222] QIAN, Z. ; CAO, L. ; SU, W. ; WANG, T. ; YANG, H. : *Recent Advances in Computer Science and Information Engineering*. Springer, 2012. – ISBN 978–3–642–25769–8
- [223] RAUBOLD, U. : *Lebenszyklusmanagement in der Automobilindustrie: Ein Optimierungsansatz auf Basis der auf den Lebenszyklus wirkenden Einflussfaktoren*. Gabler Verlag, 2011. – ISBN 978–3–8349–2862–7
- [224] RAYWARD, W. B. ; BOWDEN, M. E.: *The History and Heritage of Scientific and Technological Information Systems: Proceedings of the 2002 Conference*. Information Today, Inc., 2004
- [225] REIF, K. : *Batterien, Bordnetze und Vernetzung*. Vieweg+Teubner, 2010. – ISBN 978–3–8348–1310–7
- [226] REIF, K. : *Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme*. Springer, 2010. – ISBN 978–3–8348–1314–5
- [227] REIF, K. : *Bosch Autoelektrik und Autoelektronik*. Vieweg+Teubner, 2011. – ISBN 978–3–8348–1274–2
- [228] REIF, K. : *Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik konventioneller Antrieb, Hybridantriebe, Bremsen, Elektronik*. Vieweg+Teubner, 2011. – ISBN 978–3–8348–8320–9
- [229] REIF, K. : *Automobilelektronik: Eine Einführung für Ingenieure*. Springer, 2014. – ISBN 978–3–658–05048–1
- [230] REINHARDT, D. ; ADAM, D. ; LÜBBERS, E. ; AMARNATH, R. ; SCHNEIDER, R. ; GANSEL, S. ; SCHNITZER, S. ; HERBER, C. ; SANDMANN, T. : *Embedded Virtualization Approaches for Ensuring Safety and Security within E/E Automotive Systems*. In: *EmbeddedWorld Conference 2015, Nürnberg, Germany*, 2015. – ISBN 978–3–645–50144–6

- [231] REUTERS: *Eating human brains helped Papua New Guinea tribe resist disease, research shows*. Webseite. <http://www.theguardian.com/science/2015/jun/10/brains-helped-papua-new-guinea-tribe>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [232] RÖHLER, R. : *Biologische Kybernetik*. Vieweg+Teubner, 1973. – ISBN 978-3-322-94729-1
- [233] RIENER, A. : *Sensor-Actuator Supported Implicit Interaction in Driver Assistance Systems*. Springer, 2011. – ISBN 978-3-8348-9777-0. – 00028
- [234] ROBERTSON, S. ; ROBERTSON, J. : *Mastering the Requirements Process: Getting Requirements Right*. Addison Wesley, 2012. – ISBN 978-0-321-81574-3
- [235] ROSS, T. J.: *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons, 2009. – ISBN 978-0-470-74851-0
- [236] ROTHGANGEL, S. : *Kurzlehrbuch Medizinische Psychologie und Soziologie*. Georg Thieme Verlag, 2010. – ISBN 978-3-13-136422-7
- [237] RUSSELL, S. J. ; NORVIG, P. : *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education, 2010. – ISBN 978-0-13-604259-4
- [238] SANDER, O. : *Skalierbare adaptive System-on-Chip-Architekturen für Inter-Car und Intra-Car Kommunikationsgateways*, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 2010
- [239] SANDER, O. ; SANDMANN, T. ; DUY, V. V. ; BÄHR, S. ; BAPP, F. ; BECKER, J. ; MICHEL, H.-U. ; KAULE, D. ; ADAM, D. ; LÜBBERS, E. ; HAIRBUCHER, J. ; RICHTER, A. ; HERBER, C. ; HERKERSDORF, A. : Hardware virtualization support for shared resources in mixed-criticality multicore systems. In: *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, DATE 2014, Dresden, Germany*, 1–6
- [240] SANTA FE INSTITUTE: *Complexity science giant John Holland passes away at 86*. Webseite. <http://www.santafe.edu/news/item/in-memoriam-john-holland/>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2016-04-14
- [241] SATYANARAYANAN, M. : Pervasive computing: vision and challenges. In: *IEEE Personal Communications* 8 (2001), Nr. 4, S. 10–17. <http://dx.doi.org/10.1109/98.943998>. – DOI 10.1109/98.943998. – ISSN 1070-9916
- [242] SAUTER, M. : *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme: UMTS, HSDPA und LTE, GSM, GPRS und Wireless LAN*. Vieweg+Teubner, 2010. – ISBN 3-8348-1407-5
- [243] SAUTER, M. : *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme: UMTS, HSPA und LTE, GSM, GPRS, Wireless LAN und Bluetooth*. Springer, 2013. – ISBN 978-3-658-01461-2
- [244] SCHEIMANN, T. : *Immer schneller neuer - Wirtschaft - Tagesspiegel*. Webseite. <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/produktlebenszyklen-immer-schneller-neuer/4041756.html>. Version: 2011. – Letzter Abruf: 2015-11-28

- [245] SCHMITT, J. : *Zweistufige, Planer-basierte Organic Computing Middleware*, Universität Augsburg, Dissertation, 2013
- [246] SCHNEIDER, W. ; SHIFFRIN, R. M.: Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. In: *Psychological Review* 84 (1977), Nr. 1, S. 1–66. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>. – DOI 10.1037/0033-295X.84.1.1. – ISSN 1939-1471
- [247] SCHNIEDERS, D. ; KAULE, D. ; MICHEL, H.-U. ; ADAM, D. : *E/E-Architektur der Zukunft*. Interne Präsentation, 2013
- [248] SCHNIEDERS, D. ; MICHEL, H.-U. ; KAULE, D. ; ADAM, D. : *Workshops zu E/E-Architektur der Zukunft*. Interner Workshop, April 2013
- [249] SCHRÖPF, T. : *Virtualisierungstechnologie im Fahrzeug*. 2011. – Präsentation
- [250] SCHWEGLER, J. S. ; LUCIUS, R. : *Der Mensch - Anatomie und Physiologie*. Georg Thieme Verlag, 2011. – ISBN 978-3-13-168935-1
- [251] SEDLMAIER-FUCHS, A. ; WORTBERG, M. ; LOBMEYER, S. ; RING, K. : New approach to energy distribution Backbone architecture as enabler for innovative vehicle electrical systems. In: *ATZelextronik worldwide* 9 (2014), Nr. 5, S. 30–35. <http://dx.doi.org/10.1365/s38314-014-0277-z>. – DOI 10.1365/s38314-014-0277-z. – ISSN 2192-9092
- [252] SERVICE, R. F.: The brain chip. In: *SCIENCE Magazin* 345 (2014), Nr. 6197, 614–616. <http://dx.doi.org/10.1126/science.345.6197.614>. – DOI 10.1126/science.345.6197.614. – ISSN 0036-8075, 1095-9203
- [253] SILBERNAGL, S. : *Taschenatlas Physiologie*. Georg Thieme Verlag, 2012. – ISBN 978-3-13-567708-8
- [254] SILBERNAGL, S. ; DESPOPOULOS, A. : *Taschenatlas Physiologie*. Georg Thieme Verlag, 2007. – ISBN 978-3-13-567707-1
- [255] SILVERTHORN, D. U.: *Physiologie - Die komplette Physiologie des Menschen in integrativer Darstellung*. Addison-Wesley, 2009. – ISBN 978-3-8273-7333-5
- [256] SILVERTHORN, D. U.: *Human Physiology: An Integrated Approach*. Pearson, 2012. – ISBN 978-0-321-75007-5
- [257] SMITH, J. ; NAIR, R. : *Virtual Machines: Versatile Platforms for Systems and Processes*. Elsevier, 2005. – ISBN 978-1-55860-910-5
- [258] SOMMER, C. ; DRESSLER, F. : *In-vehicle networks*. Cambridge University Press, 2014. – ISBN 978-1-107-04671-9
- [259] SOMMER, S. ; CAMEK, A. ; BECKER, K. ; BUCKL, C. ; ZIRKLER, A. ; FIEGE, L. ; ARMBRUSTER, M. ; SPIEGELBERG, G. ; KNOLL, A. : RACE: A Centralized Platform Computer Based Architecture for Automotive Applications. In: *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2013 IEEE International*, 2013, S. 1–6

- [260] SPECK, T. ; ERB, R. : Prozessketten in Natur und Wirtschaft. In: OTTO, K.-S. (Hrsg.) ; SPECK, T. (Hrsg.): *Darwin meets Business*. Gabler, 2011. – ISBN 978-3-8349-2443-8, S. 95–112
- [261] SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG: *Biokybernetik - Lexikon der Biologie*. Webseite. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/biokybernetik/8656>. Version: 1999. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [262] SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG: *Nervensystem - Lexikon der Neurowissenschaft*. Webseite. <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/nervensystem/8365>. Version: 2000. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [263] SPRINGER, P. J.: *Military Robots and Drones: A Reference Handbook*. ABC-CLIO, 2013. – ISBN 978-1-59884-732-1
- [264] SPURGEON, C. E. ; ZIMMERMAN, J. : *Ethernet: The Definitive Guide*. In: *Ethernet: The Definitive Guide*. 2. O'Reilly Media, Inc., 2014. – ISBN 978-1-4493-6184-6
- [265] STEINER, T. ; DIENER, H. C.: *Vaskuläre Neurologie: zerebrale Ischämien, Hämorrhagien, Gefäßmissbildungen, Vaskulitiden und vaskuläre Demenz*. Georg Thieme Verlag, 2010. – ISBN 978-3-13-146111-7
- [266] STEINER, W. : *Time-Sensitive Networking/TSN - Die nächste Generation von AVB*. Präsentation, 2014
- [267] STILLICH, S. : Die wahren PC-Erfinder Weltherrschaft verschlafen. In: *Spiegel* (2008). <http://www.spiegel.de/einestages/die-wahren-pc-erfinder-a-947989.html>. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [268] STORCH, V. ; WELSCH, U. ; WINK, M. : *Evolutionsbiologie*. Springer Spektrum, 2013. – ISBN 978-3-642-32835-0
- [269] ST.PIERRE, M. ; HOFINGER, G. ; BUERSCHAPER, C. : *NOTFALLMANAGEMENT*. Springer, 2011. – ISBN 978-3-642-16881-9
- [270] STRASSMANN, B. : Internet der Dinge: Sprechende Klängen. In: *Die Zeit* (2015), März, Nr. 08. <http://www.zeit.de/2015/08/internet-der-dinge-rasierer-gillette>
- [271] STREICHERT, T. ; TRAUB, M. : *Elektrik/Elektronik-Architekturen im Kraftfahrzeug: Modellierung und Bewertung von Echtzeitsystemen*. Springer, 2012. – ISBN 978-3-642-25477-2
- [272] STUMM, G. ; PRITZ, A. ; GUMHALTER, P. ; NEMESKERI, N. ; VORACEK, M. : *Personenlexikon der Psychotherapie*. Springer, 2005. – ISBN 978-3-211-29396-6
- [273] SUN, J.-Z. ; ZHOU, J. : Querying sensor networks with extended SQL. In: *2010 IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS)*, 2010, S. 634–638

- [274] SUTTON, R. S. ; BARTO, A. G.: *Reinforcement Learning: An Introduction*. MIT Press, 1998. – ISBN 978-0-262-19398-6
- [275] TANENBAUM, A. S.: *Modern Operating Systems*. Prentice Hall, 2007. – ISBN 978-0-13-600663-3
- [276] TANENBAUM, A. S.: *Moderne Betriebssysteme*. Addison-Wesley, 2009. – ISBN 978-3-8273-7342-7
- [277] TANENBAUM, A. S. ; BOS, H. : *Modern Operating Systems: Global Edition*. Pearson Education Limited, 2015. – ISBN 978-1-292-06195-5
- [278] TANENBAUM, A. S. ; WETHERALL, D. J.: *Computer Networks*. Cisco Press, 2010. – ISBN 978-0-13-212695-3
- [279] TATE, B. A.: *Beyond Java*. O'Reilly Media, Inc., 2005. – ISBN 978-0-596-55349-4
- [280] TEARE, D. ; VACHON, B. ; GRAZIANI, R. : *Implementing Cisco IP Routing (ROUTE) Foundation Learning Guide: (CCNP ROUTE 300-101)*. Cisco Press, 2014. – ISBN 978-0-13-396586-5
- [281] TEOREY, T. J. ; LIGHTSTONE, S. ; NADEAU, T. ; JAGADISH, H. V.: *Database Modeling and Design: Logical Design*. Elsevier, 2011. – ISBN 978-0-12-382020-4
- [282] THIEMAN, W. J. ; PALLADINO, M. A. ; HOPF, N. W.: *Biotechnologie*. Pearson, 2007. – ISBN 978-3-8273-7236-9
- [283] TOMASELLI, V. : *The Internet: Biographies*. ABC-CLIO, 2005. – ISBN 978-1-85109-659-6
- [284] TOMFORDE, S. ; PROTHMANN, H. ; BRANKE, J. ; HÄHNER, J. ; MNIF, M. ; MÜLLER-SCHLÖR, C. ; RICHTER, U. ; SCHMECK, H. : Observation and Control of Organic Systems. In: MÜLLER-SCHLOER, C. (Hrsg.) ; SCHMECK, H. (Hrsg.) ; UNGERER, T. (Hrsg.): *Organic Computing — A Paradigm Shift for Complex Systems*. Springer, 2011. – ISBN 978-3-0348-0129-4, S. 325–338
- [285] TOTH, T. : *Kommunikationssysteme in der Automatisierung*. Präsentation, 2011. – Vorlesungsskript
- [286] TREPPEL, M. : *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. Urban & Fischer Verlag, 2011. – ISBN 978-3-437-59353-6
- [287] TRUMLER, W. : *Organic Ubiquitous Middleware, Organic Ubiquitous Middleware*, Universität Augsburg, Dissertation, 2007
- [288] TSCHÖKE, H. : *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Basiswissen*. Springer, 2014. – ISBN 978-3-658-04644-6
- [289] UCHENICK, G. ; VANFLEET, W. : Multiple independent levels of safety and security: high assurance architecture for MSLS/MLS. In: *IEEE Military Communications Conference, 2005. MILCOM 2005*, 2005, S. 610–614

- [290] URBANOWICZ, R. J. ; MOORE, J. H.: Learning Classifier Systems: A Complete Introduction, Review, and Roadmap. In: *Artificial Evolution and Applications 2009* (2009), S. 25. <http://dx.doi.org/10.1155/2009/736398>. – DOI 10.1155/2009/736398. – ISSN 1687–6229
- [291] USLAR, M. ; SPECHT, M. ; DÄNEKAS, C. ; TREFKE, J. ; ROHJANS, S. ; GONZÁLEZ, J. M. ; ROSINGER, C. ; BLEIKER, R. : *Standardization in Smart Grids: Introduction to IT-Related Methodologies, Architectures and Standards*. Springer, 2012. – ISBN 978–3–642–34916–4
- [292] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Über uns | VDI*. Webseite. <http://www.vdi.de/ueber-uns/>. Version: 2015. – Letzter Abruf: 2015-11-28
- [293] VERMESAN, O. ; FRIESS, P. : *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. River Publishers, 2013. – ISBN 978–87–92982–73–5
- [294] VESTER, F. : *Ansatz und Bausteine für eine Neuorientierung auf dem Sektor Landwirtschaft und Ernährung in der Bundesrepublik Deutschland*. Hochschule der Bundeswehr München, 1983
- [295] VESTER, F. : *Denken, Lernen, Vergessen: was geht in unserem Kopf vor, wie lernt das Gehirn, und wann lässt es uns im Stich?* Dt. Taschenbuch-Verlag, 2001. – ISBN 978–3–423–33045–9
- [296] VESTER, F. : *The Art of Interconnected Thinking: Ideas and Tools for a New Approach to Tackling Complexity*. MBC Publishing House, 2012. – ISBN 978–3–939314–05–9
- [297] VILLARREAL, M. R.: *Darstellung des menschlichen Blutkreislaufs*. Grafik. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circulatory_System_no_tags.svg. Version: 2010
- [298] VINCI, L. da: *Léonardo da Vinci*. Zeichnung. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Design_for_a_Flying_Machine.jpg. Version: 1488. – Page Version ID: 613312898
- [299] VINCI, L. da: *Codice sul volo degli uccelli*. 1505
- [300] WALTER, F. ; RÖHRBEIN, F. ; KNOLL, A. : Neuromorphic implementations of neurobiological learning algorithms for spiking neural networks. In: *Special Issue* (2015). <http://dx.doi.org/10.1016/j.neunet.2015.07.004>. – DOI 10.1016/j.neunet.2015.07.004. – ISSN 0893–6080
- [301] WANT, R. : Remembering Mark Weiser: Chief Technologist, Xerox Parc. In: *IEE Personal Communications* 7 (2000), Nr. 1, S. 8–10. <http://dx.doi.org/10.1109/MPC.2000.824564>. – DOI 10.1109/MPC.2000.824564. – ISSN 1070–9916
- [302] WEHNER, R. ; GEHRING, W. ; GEHRING, W. J.: *Zoologie*. Georg Thieme Verlag, 2007. – ISBN 978–3–13–772724–8
- [303] WEICKER, K. : *Evolutionäre Algorithmen*. Springer Vieweg, 2015. – ISBN 978–3–658–09957–2

- [304] WEISER, M. : Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. In: *Communications of the ACM* 36 (1993), Nr. 7, S. 75–84. <http://dx.doi.org/10.1145/159544.159617>. – DOI 10.1145/159544.159617. – ISSN 0001–0782
- [305] WEISER, M. : The Computer for the 21st Century. In: *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications* 3 (1999), Nr. 3, S. 3–11. <http://dx.doi.org/10.1145/329124.329126>. – DOI 10.1145/329124.329126. – ISSN 1559–1662
- [306] WEISSMAN, A. ; AUGSTEN, T. ; ARTMANN, A. : *Das Unternehmenscockpit: Erfolgreiches Navigieren in schwierigen Märkten*. Springer, 2013. – ISBN 978–3–8349–4642–3
- [307] WERDICH, M. : *FMEA - Einführung und Moderation: Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld)*. Springer, 2013. – ISBN 978–3–8348–2217–8
- [308] WIENER, N. : *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. MIT Press, 2007. – ISBN 978–0–262–73009–9
- [309] WILAMOWSKI, B. M. ; IRWIN, J. D.: *Industrial Communication Systems*. CRC Press, 2011. – ISBN 978–1–4398–0282–3
- [310] WINDECK, C. : Supercomputer als Heizkörper. In: *c't* (2015), 03. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Supercomputer-als-Heizkoerper-2580498.html>
- [311] WÜST, K. : *Mikroprozessortechnik: Grundlagen, Architekturen, Schaltungstechnik und Betrieb von Mikroprozessoren und Mikrocontrollern*. Springer, 2010. – ISBN 978–3–8348–9881–4
- [312] XYLOMENOS, G. ; VERVERIDIS, C. N. ; SIRIS, V. A. ; FOTIOU, N. ; TSILOPOULOS, C. ; VASILAKOS, X. ; KATSAROS, K. V. ; POLYZOS, G. C.: A Survey of Information-Centric Networking Research. In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16 (2014), Nr. 2, S. 1024–1049. <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2013.070813.00063>. – DOI 10.1109/SURV.2013.070813.00063. – ISSN 1553–877X
- [313] ZADEH, L. A.: Fuzzy Sets. In: *Information and Control* 8 (1965), S. 338–353
- [314] ZADEH, L. A. ; KLIR, G. J. ; YUAN, B. : *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers*. World Scientific, 1996. – ISBN 978–981–02–2421–9
- [315] ZANDER, H. J.: *Steuerung ereignisdiskreter Prozesse*. Springer, 2015. – ISBN 978–3–658–01382–0
- [316] ZEPPENFELD, J. ; BOUAJILA, A. ; STECHELE, W. ; BERNAUER, A. ; BRINGMANN, O. ; ROSENSTIEL, W. ; HERKERSDORF, A. : Applying ASoC to Multi-core Applications for Workload Management. In: MÜLLER-SCHLOER, C. (Hrsg.) ; SCHMECK, H. (Hrsg.) ; UNGERER, T. (Hrsg.): *Organic Computing — A Paradigm Shift for Complex Systems*. Springer, 2011. – ISBN 978–3–0348–0129–4, S. 461–472
- [317] ZERVOS-KOPP, J. : *Anatomie, Biologie und Physiologie*. Georg Thieme Verlag, 2009. – ISBN 978–3–13–141352–9