# Potentialerweiterung webbasierter und hypermedialer Lernsysteme durch Integration technischer Experimente und Realobjekte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
„Doktor der Philosophie“

an der
Universität Flensburg,
Institut für Technik und ihre Didaktik

vorgelegt von Kai-Christian Tönnsen
im Mai 2007

1. Gutachter: Prof. Dr. M. Burgmer
2. Gutachter: Prof. Dr. W. E. Theuerkauf

Für meine Eltern

# Erklärung

Ich versichere, dass diese Arbeit selbstständig angefertigt wurde, die benutzten Hilfsmittel vollständig angegeben wurden und sämtliche dem Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Schriften übernommenen Stellen unter genauer Quellenangabe als solche kenntlich gemacht worden sind.

Flensburg, den 28.04.2007

# Inhalt

1 Einleitung ..... 1

2 Wissenschaftliche Positionen ..... 3

2.1 Theorie des Lernens ..... 3

2.1.1 Der Lernbegriff ..... 3

2.1.2 Gedächtnis ..... 4

2.1.3 Lernformen ..... 7

2.1.4 Lerntheorien ..... 8

2.2 Allgemeine Didaktik ..... 14

2.3 Mediendidaktik ..... 24

2.3.1 Der Medienbegriff ..... 26

2.3.2 Computergestützte Medien ..... 28

2.4 Aspekte der Fachdidaktik Technik ..... 43

2.4.1 Wissenschaftsorientiertes Technikverständnis ..... 43

2.4.2 Vermittlungsprozesse in technischen Bildungsprozessen ..... 50

2.4.3 Das technische Experiment ..... 57

3 Zielsetzungen ..... 65

3.1 Online-Zugriff auf Experimentierhardware in Remote Labs ..... 66

3.2 Ziele ..... 69

4 Web-Technologien ..... 71

4.1 Statische und dynamische Daten im WWW ..... 71

4.2 Anwendungskonzepte ..... 72

4.2.1 Web Publishing ..... 73

4.2.2 Webintegration ..... 74

4.2.3 GroupWeb ..... 75

4.2.4 E-Business ..... 76

4.2.5 Anwendungskonzepte in webbasierten Szenarien des E-learnings ..... 76

4.3 Strategien für die Umsetzung von Web-Applikationen ..... 79

4.3.1 Server- und clientseitige Strategien ..... 79

4.3.2 Navigative Interaktion mit Hypertext und Hypermedia ..... 81

4.3.3 Reaktive Interaktivität: Auswertung von Benutzereingaben ..... 83

4.3.4 Proaktive Interaktion durch bidirektionale Aktionen ..... 90

5 Das Entwicklungsvorhaben ..... 97
5.1 Das Automobil als typisches, technisches System ..... 97
5.2 Elektronik und Informationstechnik im Kraftfahrzeug ..... 98
5.3 Medien für die Vermittlung datenverarbeitungstechnischer Vorgänge an Kraftfahrzeugen ..... 107
5.4 Das Kraftfahrzeug als komplexes System ..... 109
5.4.1 Didaktische Lehr-/Lerngeräte ..... 115
5.4.2 Kfz-Diagnosegeräte und -software ..... 119
5.5 Definition des Prototyps ..... 120

6 Der Prototyp ..... 126
6.1.1 Webtechnologien für den Prototyp ..... 126
6.2 Struktureller Aufbau ..... 127
6.3 Das Fahrzeug ..... 130
6.3.1 Geeignete Funktionen ..... 133
6.3.2 Aufschaltung von definierten Fehlern auf das Fahrzeug ..... 139
6.4 Das Gateway ..... 140
6.4.1 Das OSI-Referenzmodell der Kommunikation ..... 140
6.4.2 Kommunikation über Computernetzwerke ..... 142
6.4.3 Kommunikation über Feldbusse ..... 149
6.4.4 Grundsätzliche Funktion des Prototyps aus Sicht des OSI-Referenzmodells ..... 153
6.4.5 Prozessanbindungen aus der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik ..... 155
6.4.6 DeviLAN ..... 159
6.5 Der Server ..... 164
6.5.1 Die Servermaschine und der Webserver ..... 164
6.5.2 Die Server-Applikationen ..... 164
6.6 Die Clients ..... 168
6.6.1 Anbindung der WebCams ..... 168
6.6.2 Fahrzeuganbindung ..... 170
6.7 Funktionsweise des Prototyps ..... 180

7 Ergebnisse und Ausblick ..... 183
7.1 Konzepte für die Anbindung technischer Realobjekte an webbasierte Lernsysteme ..... 183
7.2 Der Beta-Test ..... 183
7.3 Ausblick ..... 190

8 Anhang ..... 193
8.1 Literaturverzeichnis ..... 193
8.2 Abkürzungsverzeichnis ..... 199
8.3 Liste der identifizierten CAN-Nachrichten auf dem CAN-Komfort-Bus ..... 202

8.4 Schaltbilder ..... 205
8.4.1 Ersatzschaltbild Darlington-Transistor TIP122 ..... 205
8.4.2 Fehleraufschaltung ..... 205
8.5 Bildschirmfotos (Screenshots) des Hilfe-Modus ..... 206
8.6 Bildschirmfotos (Screenshots) des Info-Modus ..... 211
8.7 Fiktive Situation / Arbeitsaufgabe ..... 213
8.8 Danksagung ..... 217

# 1 Einleitung

Seit Anbeginn seiner Existenz macht der Mensch von technischen Gegenständen Gebrauch. Beschränkte er sich zunächst auf primitivste Werkzeuge, so lernte er im Laufe der Evolution schnell die Herstellung, den Gebrauch und die Weiterentwicklung komplexer technischer Gegenstände. Die alltägliche Verwendung solcher Gegenstände macht die Technik zu einem bedeutenden Bestandteil menschlicher Kultur. Gegenwärtig prägt die Technik unser Leben in ganz entscheidender Art und Weise, sodass sie sogar als Teil unserer Kultur bezeichnet werden kann. Ohne die modernen technischen Entwicklungen wäre das menschliche Leben in der heutigen Form undenkbar.

Daher ist nur selbstverständlich, dass sich die Technik im weiteren Sinne zu einem Gegenstand heutiger Bildung entwickelt hat. Dieser Gegenstand wird in den verschiedensten Bildungseinrichtungen wie z.B. allgemeinbildenden und beruflichen Schulen, Volkshochschulen, Fachhochschulen und Universitäten vermittelt.

Obwohl sich diese Einrichtungen in vieler Hinsicht signifikant voneinander unterscheiden, so finden dennoch immer technische Bildungsprozesse eine zentrale Rolle, „denn immer werden hierbei – bleibt man zunächst in dieser weitgefassten Bedeutung – technische Inhalte nach bestimmten Zielsetzungen mittels geeigneter Methoden durch Verwendung wirksamer Medien unter Beachtung verschiedener Bedingungen an Adressaten vermittelt" (BURGMER 1985, S. 1).

Als ein wesentliches Merkmal technischer Bildungsprozesse dürfen dabei der technische Gegenstand, der Umgang mit diesem und die Auswirkungen technischer Objekte auf den Menschen gelten. Um diese Dimensionen verstehen zu können, ist in aller Regel das Verständnis von Funktionsweisen technischer Objekte ein Schlüssel. Da technische Objekte allerdings häufig ein hohes Maß an Komplexität aufweisen, sind deren Funktionsweisen für einen Lerner oft verhältnismäßig schwer zu erfassen. Bei ihrer Konstruktion fließen didaktische Aspekte nicht ein, sodass sie als Lernmedium im Grunde nicht geeignet sind. Im Rahmen technischer Aus- und Weiterbildungsprozesse ist dieser Mangel durch entsprechende Medien zu kompensieren.

Dienten in der Vergangenheit ausschließlich konventionelle Lernmedien zu diesem Zweck, so hat die technische Entwicklung auch die Medien maßgeblich beeinflusst. Seit einiger Zeit existieren technisch unterstützte Lernmedien, welche im Bezug auf die Vermittlung von Inhalten leistungsfähiger sind und somit die konventionellen Medien ergänzt und zumindest teilweise sogar ersetzt haben. Von den elektronischen Medien haben in den letzten zwei Dekaden vor allem die Computer zur Weiterentwicklung von Lernmedien geführt. Sie sind heute im privaten, schulischen sowie beruflichen Umfeld des Menschen verbreiteter denn je und haben sich als alltägliches und selbstverständliches Gerät etabliert. Computer und computerartige Geräte werden jedoch nach wie vor weiterentwickelt und bieten mit jeder neuen Gerätegeneration neue und leistungsfähigere Möglichkeiten. DÖRR und STRITTMATTER bezeichnen in diesem Sinne die neuen Medien sogar als „Katalysatoren für Innovationen im Bildungsbereich" (DÖRR, STRITTMATTER 2002, S. 38). Die Sinnhaftigkeit solcher Entwicklungen ist dabei nicht für alle Anwendungen gleich ausgeprägt; für Lernzwecke jedoch wurde der Computer beispielsweise aufgrund seiner Multime-

diafähigkeiten als durchaus sinnvolles Medium identifiziert. „Wenn nun computergestütztes Lernen in technischen Vermittlungsprozessen langfristig und zukünftig eine Rolle spielen soll, müssen auch immer wieder aktuelle Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien auf ihre Eignung und Bedeutung für technische Vermittlungsprozesse hin überprüft und gegebenenfalls nutzbar gemacht werden. Dies gilt nicht nur für Entwicklungen in Form von bestimmten Hard- oder Software-Produkten, sondern es gilt dabei übergreifende und grundlegende Konzepte und Techniken aufzudecken" (RAIMER 2002, S. 3).

Ein solches übergreifendes Konzept mit außerordentlichen Auswirkungen auf die Lernmedien steht mit dem Internet mittlerweile nahezu flächendeckend zur Verfügung. Dementsprechend viele neuartige Systeme mit ebenso neuen Möglichkeiten sind beispielsweise mit den webbasierten Lern- und Lernmanagementsystemen entstanden. Allein diesem Bereich des webgestützten und vernetzten Lernens widmen sich ganze Zweige der Forschung und Entwicklung.

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zu diesem Zweig geleistet werden, indem das Spektrum multimedialer Lernmedien hinsichtlich der Integration technischer Realobjekte untersucht und auf Grundlage eines zuvor entwickelten Konzepts erweitert wird.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde dazu ein aktueller PKW ausgewählt und dessen Kommunikationsstrukturen über ein Netzwerk bzw. das Internet verfügbar gemacht. Die im Fahrzeug kommunizierten Daten wurden auf Basis standardisierter webbasierter Medien multimedial aufbereitet und können über ein Intranet oder das Internet weltweit und zeitunabhängig abgerufen werden. Das entwickelte System erlaubt neben dem Auslesen von Daten auch die Einflussnahme auf das Fahrzeug sowie die Aufschaltung definierter Fehler, sodass sich hochgradig interaktive Experimente am Fahrzeug realisieren lassen. Als Ergebnis dieser Entwicklung liegt nun eine Beta-Version des Systems vor, welche im Rahmen eines Beta-Tests an einigen Vertretern möglicher Adressaten eingesetzt wurde.

# 2 Wissenschaftliche Positionen

Für die wissenschaftliche Verortung der vorliegenden Arbeit erfolgt zunächst ein Überblick über relevante Wissenschaftsdisziplinen. Dazu werden die ausgewählten Bereiche dem Zweck gemäß kurz beleuchtet. Somit erhebt die Übersicht in diesem Kapitel nicht den Anspruch, jede Disziplin in allen Facetten vollständig und tiefgehend abzuhandeln, sondern dient ausschließlich der Vorstellung der verschiedenen Auffassungen, welche für diese Arbeit von Bedeutung sind.
In einem weiteren Abschnitt wird der Begriff „Lernen" erläutert und theoretisch unterlegt. Dies ist erforderlich, da im Kern der Arbeit ein Medium entwickelt wird, welches dem Zwecke des Lernens dient.
Wenn der entwickelte Prototyp in organisierten Lernszenarien eingesetzt wird, so müssen außerdem die didaktischen Modelle und Theorien, welche diesen Vorgängen als Grundlage dienen, vorgestellt werden.
Der ausgeprägte technische Bezug dieser Arbeit legt schließlich die Betrachtung entsprechender fachdidaktischer Aspekte nahe. Dazu soll ein wissenschaftsorientiertes Technikverständnis erläutert und einige spezifische Aspekte von Lernprozessen im Rahmen technischer Bildung identifiziert werden.

## *2.1 Theorie des Lernens*

Die Entwicklung und Gestaltung, aber auch der zweckmäßige Umgang und die professionelle Anwendung medienbasierter Lehr- und Lernszenarien erfordert einige Kenntnisse darüber, wie der Mensch mit Hilfe von Medien lernt. Um darüber Aussagen treffen zu können, muss man sich zunächst der Fragestellung aussetzten, wie menschliches Lernen generell „funktioniert". Entsprechende Befunde, Modelle und Theorien liefert in erster Linie die Lernpsychologie, an der sich die folgenden Ausführungen orientieren.

### 2.1.1 Der Lernbegriff

Lernen findet nicht nur in dafür vorgesehenen Szenarien (wie z.B. Unterricht) statt, sondern ist ein Phänomen, welchem der Mensch ständig ausgesetzt ist. Der Mensch wird im Vergleich zu vielen Tierarten mit relativ wenig instinktiven Fähigkeiten geboren. Er ist darauf angewiesen, dass er möglichst schnell lernt, was er zum Überleben benötigt. Erst im weiteren Verlauf des Lebens wird der Mensch mit organisierten Lernszenarien konfrontiert: Derartige Szenarien implizieren die Hilfestellung von Eltern beim Laufen lernen ebenso wie der Besuch der Schule. Doch auch nach abgeschlossener (Berufs-) Ausbildung stellt der Mensch das Lernen nicht ein – jeden Tag vollzieht er zahlreiche unbewusste Lernprozesse, sei es, dass er sich einen Weg merkt oder Informationen aus der Zeitung entnimmt und verarbeitet.

So verwundert es kaum, dass die Psychologie zunächst einen sehr weit gefassten Lernbegriff formuliert, dessen wesentliches Merkmal die dauerhafte Veränderung des Verhaltens eines Menschen darstellt:

> „Lernen bezieht sich auf relativ dauerhafte Veränderungen im Verhalten oder den Verhaltenspotenzialen eines Lebewesens in Bezug auf eine bestimmte Situation. Es beruht auf wiederholten Erfahrungen mit dieser Situation und kann nicht auf angeborene bzw. gene-

> tisch festgelegte Reaktionstendenzen, Reifung oder vorübergehende Zustände (Müdigkeit, Krankheit, Alterung, Triebzustände) zurückgeführt werden."
>
> (WINKEL, ET AL. 2006, S. 12)

Dauerhafte Verhaltensänderungen bedingen eine Speicherung von Informationen im Gedächtnis, sodass beide Begriffe in Zusammenhang zueinander gesehen werden müssen:

> „Wenn man von Lernen spricht, meint man schwerpunktmäßig die Prozesse der Aneignung und bei Gedächtnis mehr die Prozesse der Speicherung und des Abrufs. Menschliche Informationsverarbeitung ist eine andere Bezeichnung für Lernen und Gedächtnis."
>
> (EDELMANN 2000, S. 277)

## 2.1.2 Gedächtnis

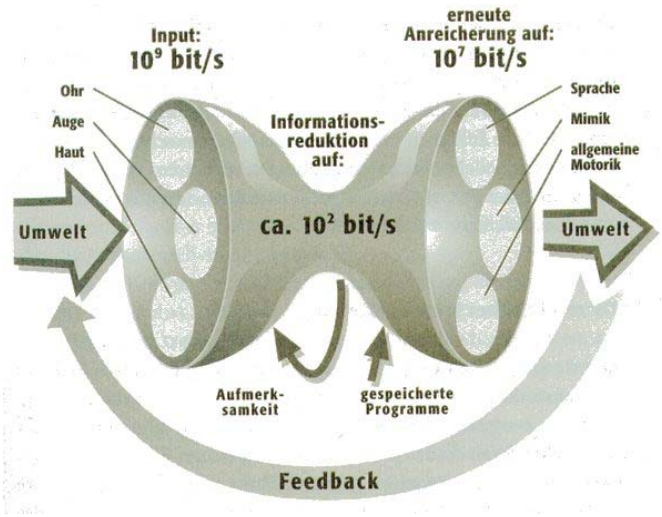
Das Gedächtnis ist im menschlichen Gehirn verortet. Über die Funktionsweise, den Aufbau und die Bestandteile liegen zahlreiche physiologische Befunde vor (vgl. z.B. EDELMANN 2000), welche in dieser Arbeit allerdings nicht thematisiert werden sollen.

Die Lernpsychologie hat für die Beschreibung des Gedächtnisses verschiedene Modelle hervorgebracht. Übereinstimmend wird unter Gedächtnis ein Speicher verstanden, der gemäß dem EVA-Prinzip aufgenommene Informationen speichert.

Das Dreispeichermodell nach ATKINSON und SHIFFRIN gilt als weithin anerkannt und unterscheidet drei Speicherbereiche, welche sich vor allem durch die Speicherkapazität und die Speicherdauer unterscheiden:

Das **sensorische Gedächtnis** (auch als Ultrakurzzeitgedächtnis bezeichnet) empfängt die visuellen, auditiven, haptischen, olfaktorischen oder gustatorischen Reize, die von den Sinnesorganen wahrgenommen werden und bildet diese ab. Da ständig eine große Anzahl wahrgenommener Informationen verarbeitet werden muss, ist dieser Speicher klein und ausgesprochen flüchtig. Die Informationen werden hier lediglich für wenige hundert Millisekunden gespeichert und werden sofort durch neue Wahrnehmungen ersetzt.

Das **Kurzzeitgedächtnis** weist hingegen eine Speicherdauer von einigen Sekunden auf und kann bewusst mit Inhalten aus dem sensorischen Gedächtnis „geladen" werden. Dieser Speicherbereich enthält nur aktuelle Bewusstseinsinhalte, welche bereits in interpretierter Form vorliegen, sodass beispielsweise gelesene Worte nicht mehr grafisch, sondern bereits sinngemäß gespeichert werden. Die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses ist auf ca. sieben Informationseinheiten begrenzt, wobei die Größe und Komplexität der Einheiten sehr unterschiedlich sein kann. Die folgende Darstellung quantifiziert die Datenreduktion durch Interpretation, die beim Übergang vom sensorischen zum Kurzzeitgedächtnis erforderlich ist:




*Datenreduktion (nach Becker-Carus) (VESTER 2002, S. 23)*

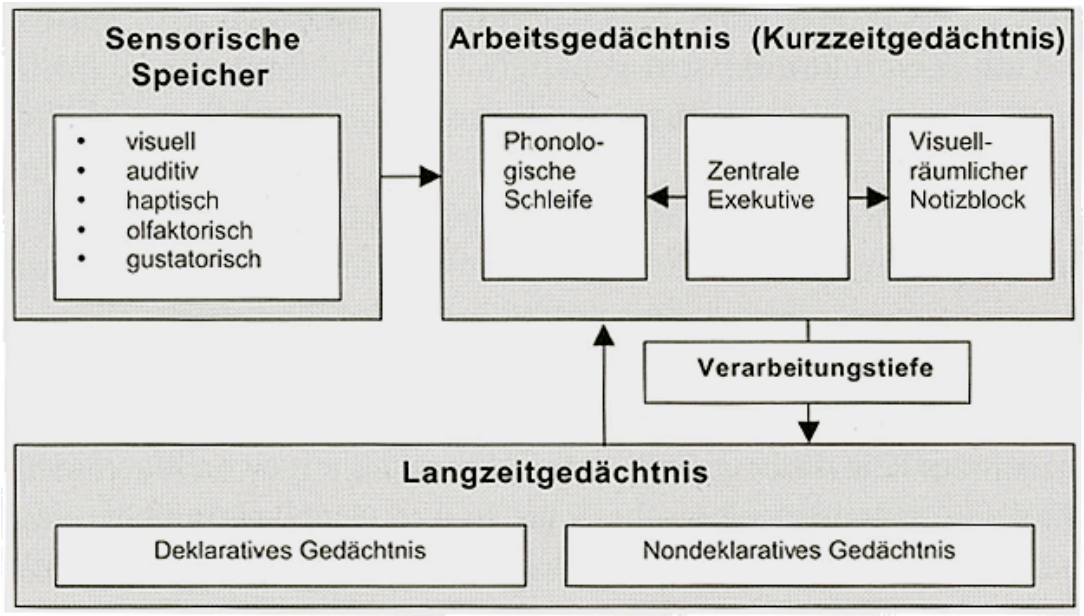
Das **Langzeitgedächtnis** besitzt eine quasi unbegrenzte Speicherkapazität und eine sehr lange Speicherdauer (bis zu einem Menschenleben lang). Diese Speicherdauer wird durch dauerhafte strukturelle und funktionelle Änderungen auf neurophysiologischer Ebene erreicht. Diese „neuronale Plastizität" im Zentralen Nervensystem erfordert Aufwand („Zeit und Mühe"): „Das Gehirn entwickelt sich nicht von allein, sondern benötigt zu seiner optimalen Entwicklung ein angemessenes Maß an Stimulation durch die Umwelt" (WINKEL et al. 2006, S. 50).

Im Langzeitgedächtnis verortete Informationen können durch Auflösung nervlicher Bahnen (physiologische Spurenzerfalltheorie) oder „Hemmung des Gedächtnisinhaltes durch nachfolgende oder vorausgehende Lernprozesse" (EDELMANN 2000, S. 169) (Interferenztheorie) gelöscht, also „vergessen" werden. Als „Erinnern" kann das Abrufen (Dekodierung) von Gedächtnisinhalten bezeichnet werden, was wesentlich von der Art und Intensität der bei der Speicherung stattfindenden Verarbeitung (Enkodierung) abhängt. Generell ist das Widererkennen von Inhalten viel einfacher als das aktive Reproduzieren. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, wenn Lern- und Abrufsituation möglichst ähnlich sind.

Das Dreispeichermodell wurde von BADDELEY weiterentwickelt, in dem er vor allem das Kurzzeitgedächtnis weiter differenzierte und analog zur Computertechnik als „Arbeitsspeicher" bezeichnete. Nach seinem Mehrspeichermodell besteht der Arbeitsspeicher aus zwei auf die Speicherung und Verarbeitung visueller bzw. auditiver Informationen ausgelegten Modulen. Diese werden durch ein drittes Modul, der „zentralen Exekutive" koordiniert. Da die Kapazität der zentralen Exekutive beschränkt ist, kann der Mensch stets nur einem Reiz zu einem Zeitpunkt seine bewusste Aufmerksamkeit zuwenden.

Dem gegenüber postulieren CRAIK und LOCKHARD mit ihrem „Modell der Verarbeitungstiefe" nur einen Speicher, dessen Speicherdauer von der Tiefe der Informationsverarbeitung abhängig ist. Je elaborierter die Enkodierung stattfindet, desto länger werden Inhalte gespeichert und desto leichter sind sie wieder abrufbar.

WINKEL et al. liefern in Anlehnung an BUCHNER eine Prinzipdarstellung, die die drei Modelle miteinander kombiniert:




*Erweitertes Dreispeichermodell (WINKEL ET AL. 2006, S. 36)*

Wie in diesem Modell deutlich wird, unterscheidet die Lernpsychologie verschiedene Arten des Gedächtnisses (vgl. WINKEL et al. 2000, S. 36ff):

- Im expliziten Gedächtnis werden alle Inhalte angelegt, die bewusst abrufbar sind; daher wird es auch als deklaratives Wissen bezeichnet. In erster Linie trifft dies auf Faktenwissen zu, wobei dieses wiederum in zwei Arten unterteilt werden kann:
    - Das semantische Wissen repräsentiert allgemeines Wissen, welches anderen Menschen ebenso vorliegen kann.
    - Das prozedurale Wissen beschreibt alle spezifischen Erinnerungen individueller Erlebnisse.
- Das implizite Gedächtnis (nondeklaratives Gedächtnis) enthält solche Inhalte, die nicht oder nur indirekt bewusst vorliegen. „Von implizitem Gedächtnis spricht man, wenn Verhalten durch frühere Erfahrungen beeinflusst wird, ohne dass bewusste Erinnerungen an diese Erfahrungen vorhanden sind (PERRIG, 1996)“ (WINKEL et al. 2006, S. 37). Das trifft insbesondere auf motorische und kognitive Fertigkeiten (also aktionsbezogenes Wissen) zu, wobei sich viele motorische Fertigkeiten sehr wohl bewusst abrufen lassen, aber schwer verbalisierbar sind. Dieses prozedurale Wissen wird maßgeblich durch Priming, Konditionierung und das implizite Erlernen von Regeln beeinflusst. Somit wird deutlich, dass klassische Forschungsergebnisse aus dem letzten Jahrhundert wie sie beispielsweise PAWLOW vorgelegt hat, durchaus eine Praxisrelevanz für das Lehren und Lernen aufweisen.

RYLE und BAUMGARTNER unterteilen das Wissen, welches im Gedächtnis gespeichert ist, in drei Arten ein:

- Das Faktenwissen entspricht weitgehend dem deklarativen Wissen des oben vorgestellten Gedächtnismodells.

- Das Anwendungswissen kennzeichnet prozedurales Wissen, welches in Problemlösesituationen zur Anwendung kommt. Es zeichnet sich durch Zielgerichtetheit, Zerlegung des Ziels der Handlung in Teilzeile und Auswahl und Reflektion der zum Erreichen der Ziele genutzten Strategie aus.
- Das Handlungswissen repräsentiert verinnerlichte, routinemäßige Fertigkeiten und Kenntnisse, welche im Alltag immer wieder (unbewusst) genutzt werden.

### 2.1.3 Lernformen

Für eine Einteilung der bekannten Arten des Lernens verfügt die Lernpsychologie über keine einheitliche Systematik. Während einige Autoren eine Systematik auf der Ebene konkreter Lerneffekte wie klassische und operante Konditionierung, Habituation, Priming, Beobachtungslernen, Modelllernen usw. vorschlagen, bemühen sich andere Autoren, diese Effekte auf einer nächsten Ebene einzuteilen. So hat beispielsweise EDELMANN die folgenden Kategorien identifiziert:

| **Die vier Grundformen des Lernens** | | | |
|---|---|---|---|
| **Reiz-Reaktions-Lernen** | **Instrumentelles Lernen** | **Begriffsbildung und Wissenserwerb** | **Lernen von Handeln und Problemlösen** |
| Aufbau von Verbindungen zwischen Reizen und Reaktionen | Aufbau von Verbindungen zwischen Verhalten und nachfolgenden Konsequenzen | Aufbau von Verbindungen zwischen den Elementen von kognitiven Strukturen | Aufbau von Verbindungen zwischen Wissen und Aktivität |
| Außensteuerung | | Innensteuerung | |

*Grundformen des Lernens nach* EDELMANN *(RAIMER 2002, S. 66)*

Parallel dazu legen WINKEL ET AL. eine Systematik vor, welche auf gleicher Abstraktionsebene zu einer anderen Einteilung gelangt:

| Nicht-assoziatives Lernen | Assoziatives Lernen | Kognitives Lernen | Sozial-kognitives Lernen | Implizites Lernen |
|---|---|---|---|---|
| Einfache Lernprozesse durch Wahrnehmung und Verarbeitung von Reizen ohne Verbindungen zu anderen Reizen oder Reaktionen | Verbindungen von Reizen bzw. Verhaltensweisen und deren Konsequenzen | Wissenserwerb durch informationsverarbeitende und kognitive Prozesse | Wissenserwerb durch Interaktion im sozialen Kontext | Einfache und komplexe Lernprozesse, die unbewusst vollzogen werden |
| Priming, Habituation | Klass. Konditionieren, operantes Konditionieren | Problemlösen, Prototypentheorie | Beobachtungslernen, Konditionierung (insbes. Verstärkung) | Priming, Konditionierung, prozedurales Lernen |

*Grundformen des Lernens nach* WINKEL ET AL.

Da offensichtlich unterschiedliche Kriterien für eine Klassifikation von Lernformen auf dieser Ebene zugrunde gelegt werden, eignet sich diese Ebene nicht für eine allgemeine Beschreibung des Lernens. Erst auf der Ebene der Lernparadigmen, also übergeordneter Auffassungen über Lernen mit grundsätzlichem Charakter, stößt man weitestgehend auf einheitliche Ergebnisse. Vermutlich ist dies eine Ursache dafür, dass diese Lerntheorien besonders häufig genutzt werden, um Lernszenarien und Lernprozesse, besonders im Zusammenhang mit computerunterstütztem Lernen, einzuordnen und zu klassifizieren. Daher soll auf die Lerntheorien im folgenden Abschnitt genauer eingegangen werden.

## 2.1.4 Lerntheorien

Eine Lerntheorie stellt eine paradigmatische Auffassung darüber dar, wie der Wissenserwerb erfolgt. Daraus sind eine Reihe didaktischer Modelle hervorgegangen, die sich unterschiedlich stark durchsetzten und die jeweilige didaktische Diskussion und Praxis in unterschiedlichem Maße prägten und bis heute prägen. Die Lehr- und Lernforschung hat im 20. Jahrhundert drei verschiedene Lerntheorien hervorgebracht:

- Behaviorismus
- Kognitivismus
- Konstruktivismus

Zwar lassen sich in der Literatur durchaus auch andere Einteilungen finden, jedoch kann diese Einteilung als weithin anerkannt und etabliert gelten. So wird gelegentlich der Konstruktivismus dem Kognitivismus untergeordnet, sodass nur noch zwei konkurrierende Lerntheorien bestehen oder auf paradigmatischer Ebene werden konkrete didaktische Modelle angeführt und paradigmatisch verglichen. Einige Darstellungen fassen auch physiologische Befunde als separate Lerntheorie auf, was sicher nicht zuletzt an der Summe konkreter Ergebnisse dieser Disziplin liegt. In dieser Arbeit wird jedoch die oben angeführte Unterteilung zugrunde gelegt, welche nun kurz erläutert werden soll.

Der Behaviorismus legt dem menschlichen Verhalten das Reiz-Reaktions-Schema zugrunde. In diesem Sinne ist der menschliche Organismus eine „Black-Box", deren Verhalten sich ausschließlich nach den auf das Individuum einwirkenden Reizen richtet. Jeder Lernprozess bedeutet also den Aufbau von Reiz-Reaktions-Strukturen. Die Verarbeitungsvorgänge, die zwischen Reizaufnahme und Reaktion zweifelsfrei stattfinden, werden dabei bewusst ausgeblendet, da diese Prozesse nicht unmittelbar objektiv erfasst werden können, was ein zentrales Merkmal des Behaviorismus darstellt. Dem Lerner wird somit lediglich eine passive Rolle am Lernprozess zugeschrieben. Auf geplante Lernprozesse bezogen bedeutet das, dass es in der Hand des Lehrers liegt, die richtigen Reize auf den Lerner einwirken zu lassen, sodass dieser daraufhin das gewünschte Verhalten zeigt. Ziel von Unterricht ist somit eine effektive Beeinflussung (Verhaltenskontrolle) des Lerners.

Strikt und konsequent wurden diese Einstellungen in der frühen Phase (ab 1913) des Behaviorismus von den „radikalen Behavioristen" vertreten. Eine Weiterentwicklung erfuhr der Behaviorismus 1930, als SKINNER das nach außen wirkende Verhalten beschrieb. Moderne Ansätze jedoch blenden die internen Verarbeitungsprozesse nicht mehr vollständig aus und akzeptieren als Reizquelle nicht nur die Umwelt, sondern gehen davon aus, dass ein Reiz auch innerhalb einer Person erzeugt werden kann. Die äußere Reaktion wird bei dieser gemäßigt behavioristischen Auffassung (methodologischer Behaviorismus) vielmehr als ein Indiz für innere Verarbeitungsprozesse angesehen.

Wenn man davon ausgeht, dass lediglich Reize und Reaktionen für erfolgreiches Lernen ausschlaggebend sind, so liegt es nahe, die Versorgung und die Auswertung dieser Größen maschinell durchzuführen. Zu diesem Zweck müssen die Lerneinheiten nur so klein gefasst werden, dass unmittelbar nach einem Reiz eine auswertbare Reaktion erfolgen kann. Dieses Prinzip wurde für die „Programmierte Unterweisung" (Programmierte Instruktion) aufgegriffen und mit Hilfe von Maschinen umgesetzt. Am Ende einer Lerneinheit erfolgt eine auswertbare Frage. Wird diese richtig beantwortet, so gelangt der Lerner nach einer positiven Verstärkung seines Verhaltens zur nächsten Einheit, bei falscher Antwort muss die Einheit wiederholt werden. Daraus ergeben sich folgende offensichtliche Vorteile (Vgl. KERRES 2001, S. 59):

- Wenn jeder Lerner einen eigenen Rechner benutzt, kann dieser den Lerner immer mit dem erforderlichen Feedback versorgen.
- Die sequentielle Einteilung des Inhaltes in Einheiten ermöglicht es, die Lernsitzung für beliebig lange Zeit zu unterbrechen und später an gleicher Stelle fortzuführen.
- Der Computer kennt keine Emotionen, wird auch bei mehrfach falschen Antworten nicht ungeduldig und gibt kein negatives Feedback, sodass (bei entsprechender Gestaltung und Programmierung des Lernsystems) provozierte negative Verstärkungen ausbleiben.

Die hohen Erwartungen, die an solche Systeme gestellt wurden, konnten jedoch nicht befriedigt werden. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass sich kein größerer Lernerfolg einstellte, als wenn die Lerneinheiten ohne Feedback des Systems durchgearbeitet wurden. So ist es nicht verwunderlich, dass die zunächst angekündigte Revolution durch maschinelles Lernen ausblieb.

Eine Folge behavioristischer Auffassungen war die Entwicklung des kybernetischen Ansatzes, welcher von KERRES als Fortführung der programmierten Instruktion bezeichnet wird. Ein lehrendes und ein lernendes Element tauschen dabei Informationen aus. „Indem der Austausch von Informationen als grundlegende Voraussetzung des Lernens aufgefasst wird, rückt die Präsentation der Informationen durch das Lehrsystem und ihre Wahrnehmung und Speicherung durch den Lernenden in den Mittelpunkt" (KERRES 2001, S. 61). Der Informationsaustausch findet dabei in einem Regelkreis statt; das Lehrsystem muss das Lernmedium nun solange optimieren, bis der Lerner das gewünschte Ergebnis erreicht hat.
Da auch dem kybernetischen Ansatz die Anschauung zugrunde liegt, dass Lernen ein Verhältnis von Input (Reiz) zu Output (Reaktion) ist und die internen Verarbeitungsprozesse nicht hinterfragt werden, wird die Kybernetik in dieser Arbeit entgegen einiger Stellen in der Literatur nicht als eigenständiges Lernparadigma aufgefasst, sondern dem Behaviorismus zugeordnet.

Der Behaviorismus an sich findet in der pädagogischen Diskussion immer weniger exklusive Vertreter, jedoch kann er trotzdem nicht, wie gelegentlich in der Literatur behauptet, als widerlegt bewertet werden. Die Lernpsychologie bedient sich auch heute noch behavioristischen Gedankenguts um verschiedene Verhaltensweisen und Lernprozesse zu beschreiben. Typische konkrete Lernformen sind beispielsweise die klassische und operante Konditionierung, welche nach wie vor als wissenschaftliche Grundlage für zahlreiche Lernprozesse dienen. Aktuelle Diskussionen zeichnen sich allerdings dadurch aus, dass sie den Behaviorismus nicht als einzig zulässige Lerntheorie ansehen, sondern die Erkenntnisse mit denen modernerer Theorien in Beziehung setzen.
So verwundert es nicht, dass auch heute noch zahlreiche Lernszenarien behavioristisch begründet werden. Das gilt insbesondere für computerbasierte Lernprogramme, die z.B. im „drill-and-practice"-Stil Schüler beim Vokabellernen unterstützen oder Menschen ohne Trainer mit speziellen Lernprogrammen das Maschinenschreiben trainieren. Es ist allerdings fraglich, ob die Konzeption und Produktion derartiger Software in der Praxis bewusst von behavioristischen Ideen geleitet wird.

Die Einsicht, dass interne Verarbeitungsprozesse eine bedeutende Komponente bei Lernprozessen darstellen, führte im Laufe der 50-er Jahre zur „kognitiven Wende". Aus der Gestaltpsychologie entwickelte sich mit dem Kognitivismus ein Ansatz, der seinen Fokus auf die internen Informationsverarbeitungsprozesse und somit die kognitive Struktur richtet. Der Lernprozess wird nun als kognitiver Prozess der Informationsverarbeitung verstanden. Dabei stehen Phänomene wie Denken, Gedächtnis, Problemlösen und Wahrnehmung im Vordergrund. Dazu sind mentale Modelle (kognitive Strukturen) vonnöten, welche beim Lernen genutzt und weiter ausgebaut werden, sodass am Ende ein Wissenszuwachs entsteht. Individuelle Parameter wie Intelligenz oder Vorwissen werden anerkannt und müssen in die Vorbereitung von Lernprozessen (Unterrichtsplanung) einfließen. Das Ergebnis von Lernprozessen wird aber dennoch an einem objektivistischen Weltbild gemessen, sodass davon ausgegangen wird, dass es trotz der individuellen Unterschiede der Menschen nur ein richtiges Lernergebnis geben kann.
Kognitivistische Lernprogramme führen den Lerner zunächst in eine Ausgangssituation ein und leiten ihn anschließend schrittweise durch die Thematik. Dazu muss der Lerner nicht selten eine „virtuelle Rolle"

spielen, welche ihn zur Lösung virtueller Probleme und Aufgaben animieren soll. Bei nicht-intelligenten Lernsystemen kann der Lerner zwar (im gewissen Rahmen) selbst entscheiden, wann er welche Aufgabe zu lösen gedenkt, innerhalb einer Aufgabe wird der Lerner mehr oder weniger strikt geführt. Einzelne Sequenzen sind in festgelegter Reihenfolge und mit definiertem Ergebnis zu absolvieren, wodurch sich die Grenze zu behavioristischen Lernprogrammen bei dieser Art von Lernsoftware verwischt. Je nach Blickwinkel muss ein solches Lernangebot eher dem Behaviorismus oder dem Kognitivismus zugeordnet werden.

Konsequenter wird der Kognitivismus von intelligenten Systemen umgesetzt: Aufgrund der individuellen Kenntnisse der Lerner muss sich ein Lernsystem im kognitivistischen Sinne dem Lerner anpassen. Dazu entwickelt die Software entsprechend der Benutzereingaben ein Modell des Lerners, auf dessen Grundlage mit Hilfe einer programmierten Intelligenz individuell auf die kalkulierten Bedürfnisse des Benutzers eingegangen werden kann. Außerdem wird es der Mächtigkeit, Lernweg und Lernart festzulegen, enthoben und hat nun die Aufgabe, dem Lerner Lernangebote bzw. Empfehlungen zu unterbreiten. Je nach Gestaltung dieser Wahlmöglichkeiten entstehen unterschiedliche Freiheitsgrade, die unter Umständen sogar ein entdeckendes Lernen erlauben. Auf diese Weise entstehen adaptive bzw. intelligente tutorielle Systeme (ITS), welche sich auf die Bedürfnisse des Lerners einstellen sollen. Dem Lernsystem fällt dabei eine beratende und assistierende Rolle zu, welche nicht selten in Form eines virtuellen Tutors (Avatar) realisiert wird. Wie gut dies in der Praxis funktioniert, hängt wesentlich von dem Aufwand ab, der bei der Konzeption und Produktion des Programms investiert wurde. Aber auch aufwendige Produktionen sind kein Garant für zweckmäßig funktionierende Programme.

Ein typisches Beispiel für ein tutorielles System im kognitiven Sinne stellt der elektronische Assistent eines Office-Paketes eines der größten Softwarehersteller weltweit dar. Von welcher Qualität die Beiträge dieses Avatars bei der Suche nach Hilfe zur Bedienung der relativ komplexen Software ist, darf zumindest in Frage gestellt werden.

In den 90er Jahren fand mit der Entwicklung des Konstruktivismus ein weiterer Paradigmenwechsel statt. Man hatte festgestellt, dass Schüler vermehrt „träges Wissen" ansammeln. Derartiges Wissen wurde zwar erfolgreich gelernt, kann aber in konkreten Handlungssituationen nicht angewendet werden und führt somit nicht zur angestrebten Handlungsfähigkeit.

Der Konstruktivismus vertritt die Auffassung, dass es kein allgemeingültiges Weltbild gibt, sondern dass jeder Mensch die Umwelt individuell wahrnimmt und im Geist ein eigenes Weltbild konstruiert. Es existieren verschieden starke Ausprägungen dieser Auffassung, was zu unterschiedlich fundamentalistischen Varianten des Konstruktivismus führt. Diese sollen hier im Einzelnen nicht vorgestellt werden; allen gemein ist stets die Überzeugung, dass jeder Lerner sein Wissen aktiv konstruieren muss. Diese Auffassung muss gravierende Konsequenzen für menschliches Lernen mit sich bringen. Da Wissen nicht mehr objektivierbar ist, kann es auch nicht in eindeutig richtiger Weise „vom Lehrer zum Schüler transportiert" werden. Stattdessen muss im Unterricht der Lerner möglichst optimal bei der aktiven Konstruktion seines Wissens angeregt und unterstützt werden. Diese Konstruktion erfolgt nicht von allein, sie ist stets eingebettet in Handlungen und Erfahrungen, die ein Lerner innerhalb seiner Umwelt vollzieht bzw. er-

fährt. Dem Lerner fällt damit eine eigenverantwortliche und aktive Rolle zu, die Komplexität ganzheitlicher Lernsituationen erfordert eine eigenständige Organisation, welche ein hohes Maß entsprechender Kompetenzen und die Bereitschaft zu zielgerichtetem Engagement erfordert. Somit verändert sich auch die Aufgabe des Lehrers bzw. einer Lernsoftware weg von der Tutoren- oder Instruktorenrolle: Als Berater („Coach") muss der Lehrer einerseits dafür sorgen, dass Situationen entstehen, in denen ein zweckmäßiges Handeln und Sammeln von Erfahrungen möglich ist, und andererseits muss er den Lerner bei diesem Vorgang unterstützen. Eine zentrale Forderung des Konstruktivismus ist daher, den Lerner in möglichst realitätsnahe und authentische Lernszenarien zu integrieren. Auf diese Weise soll die Ansammlung „trägen Wissens" verhindert werden. Die Didaktik hat aus diesen Ansätzen das „Situierte Lernen" hervorgebracht (wobei die Neuartigkeit dieses Ansatzes in Frage gestellt werden darf), bei denen der Lerner mit authentischen Situationen konfrontiert wird, welche eine kontextbezogene Konstruktion entsprechenden Wissens durch Erfahrungsbildung ermöglichen soll.
Entsprechende Lernprogramme stellen daher nicht selten eine virtuelle Mikrowelt zur Verfügung, in die der Lerner mit Hilfe des Computers eintauchen kann. Innerhalb dieser Welt kann er sich weitestgehend frei bewegen und völlig individuelle Erfahrungen sammeln. Derartige Welten können über aufwändige Grafiken verfügen, welche wie bei einigen Computerspielen eine dreidimensionale und dynamische Ich-Perspektive realisieren, was die Begriffe „Welt" und „bewegen" sehr plastisch erscheinen lässt. Die Grundlage eines solchen Programms ist stets ein mathematisches Modell, welches alle Größen der Mikrowelt simuliert. Der ermöglichte Freiheitsgrad hinsichtlich der möglichen Handlungen und Inhalte korreliert mit der Komplexität dieses Modells. Da solche Modelle nicht beliebig umfangreich gestaltet werden können, sind dem Freiheitsgrad von Mikrowelten stets Grenzen gesetzt. Andere Programme zeigen viel offensichtlicher, dass sie ein bestimmtes Modell simulieren. Sie stellen ein Benutzerinterface zur Verfügung, das zweckorientierter und rationaler ausfällt. Die verfügbaren Parameter sind oft direkt über in der Softwaretechnik gängige Bedienelemente auf dem Bildschirm verfügbar und die berechneten Resultate werden unmittelbar angezeigt, ohne sich in einer grafischen Mikrowelt zu verstecken. Dies trifft beispielsweise auf Wirtschaftssimulationen zu, die in der kaufmännischen Ausbildung eingesetzt werden können.

Auf den ersten Blick sind konstruktivistische Lernarrangements den zuvor beschriebenen klar überlegen. Als Folge wurden entsprechende Lernangebote kommerzieller sowie nicht-kommerzieller Hersteller gerne mit dem Label des Konstruktivismus versehen; nicht selten übrigens unberechtigter Weise. Die bei theoretischer Betrachtung nahe liegende Dominanz konstruktivistischer Ansätze legt eine konsequente Umsetzung in schulischen Ausbildungsszenarien nahe. Allerdings ist eben diese Umsetzung nicht unproblematisch, wie die folgenden Argumente, die hier ohne Anspruch auf Vollständigkeit und ohne Wertung angeführt werden, belegen:

- Der hohe Freiheitsgrad konstruktivistischer Lernarrangements und die daraus resultierenden Anforderungen an den Lerner können diesen überfordern. Lehrer beklagen immer wieder, dass es den Schülern an Motivation mangelt, welche als Grundvoraussetzung für selbstgesteuertes Ler-

nen angesehen werden kann. Es darf wohl bezweifelt werden, dass sich unter diesen Voraussetzungen Lernerfolge in zufrieden stellendem Umfang einstellen.

- Besonders im schulischen Alltag, wo ganze Gruppen durch einen Lehrer betreut werden müssen, kann ein einzelner Lehrer nicht immer jeden Schüler optimal unterstützen. Das gegenseitige Helfen erfordert indes ausgeprägte soziale Kompetenzen, welche nicht immer vorausgesetzt werden können. Derartige Gruppen machen einen handlungsorientierten Unterricht im konstruktivistischen Sinne kaum möglich.
- So aufwändig die Gestaltung einer realen Lehrsituation in der Schule oder als Software auch betrieben wird, sie bleibt dennoch eine künstliche Situation, welche die Realität nur bis zu einem begrenzten Maße widerspiegeln kann.
- Bei der Fokussierung auf authentische Situationen besteht die Gefahr, allgemeine Bildungsinhalte zu vernachlässigen. Unter Umständen sind es aber genau diese Inhalte, die den Schüler dazu befähigen, in konkreten Situationen erworbenes Wissen auf andere (Real-) Situationen zu transferieren.
- Der Schüler darf innerhalb eines konstruktivistischen Lernszenarios weitestgehend frei wählen, welche Inhalte er erlernen möchte. Gemäß Lehrplan hat der Lehrer aber dafür zu sorgen, dass innerhalb eines Schuljahres eine ganze Palette von Inhalten gelernt wird. Es bedarf eines hohen organisatorischen Aufwands, um eben dies sicherzustellen.

Wie für derart paradigmatische Grundeinstellungen zu erwarten ist, finden auch heute noch emotionale Debatten über „die richtige" Lerntheorie statt. Der Einstieg in diese Diskussionen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, sodass gar nicht erst der Versuch unternommen werden soll, diese hier vollständig zu beleuchten. Dies wäre auch nicht zweckmäßig, denn die dieser Arbeit zugrunde liegende Auffassung folgt einer in der lernpsychologischen Forschung aktuellen Perspektive und ist integrativer Natur:

> „Die aktuelle Lernforschung berücksichtigt die Komplexität und Vielgestaltigkeit menschlichen Lernens und bemüht sich daher um eine Integration der verschiedenen Richtungen. Insbesondere der behaviorale und der kognitive[1] Ansatz stellen nicht länger unvereinbare Positionen dar, sondern ergänzen einander sinnvoll. Die Neurowissenschaften haben zur Vereinbarkeit des behavioralen und kognitiven Ansatzes beigetragen, indem gezeigt wurde, dass im Gehirn Systeme für das Lernen von Verhaltensgewohnheiten (behavioral) und von internen Repräsentationen (kognitiv) nebeneinander existieren. Es hängt von den jeweiligen Umständen ab, ob Lernen eher behavioralen Regeln folgt oder sich durch kognitivistische Begriffe besser beschreiben lässt. (TERRY 2003)"
>
> (WINKEL et al. 2006, S. 28)

Auch KERRES kann sich einiger Kritik an der einseitigen Betrachtungsweise nicht erwehren und verpönt sogar die einseitige Gestaltung von didaktischen Medien nach einem einzelnen Ansatz:

> „Die Diskussion ist insgesamt weithin geprägt gewesen von Modellen, die kommen und gehen wie Moden: Auf die programmierte Unterweisung folgten intelligente tutorielle Syste-

[1] WINKEL et al. fassen den Kognitivismus und den Konstruktivismus unter dem Begriff „kognitiver Ansatz" zusammen.

> me, auf die fallbasierte, situierte Lernumgebungen und manches mehr nachgekommen sind. Gegenstand der wissenschaftlichen Erörterung kann jedoch kaum sein, das richtige Modell zur Konzeption didaktischer Medien zu finden, zumal man sich nicht des Eindrucks erwehren kann, dass viele der neuen Modelle eher Wiederentdeckungen als neue Erfindungen sind. [...] Es ist fraglich, ob die dargestellten Ansätze als alternative Paradigmen gehandelt werden können. So wie es nicht das eine, beste (in der Regel ‚neue') Medium für didaktische Zwecke gibt, so gibt es sicherlich nicht die eine, beste Methode für didaktische Konzeption von didaktischen Medien."
>
> (KERRES 2001, S. 83)

Somit erscheint es also legitim und zwingend erforderlich, verschiedene Lernprozesse mit verschiedenen Modellen lerntheoretisch zu begründen. Im Umkehrschluss bedeutet dies für die Lehr- und Lernpraxis, dass Lernprozesse keineswegs an einer Lerntheorie orientiert sein dürfen. Vielmehr scheint es erforderlich, für verschiedene Lernzwecke auch die jeweilige Lerntheorie als Leitbild für die Planung und Realisierung schulischen Unterrichts bzw. computergestützten Lernumgebungen heranzuziehen.

## *2.2 Allgemeine Didaktik*

Eine etymologische Untersuchung des Begriffes „Didaktik" wie sie z.B. KRON durchgeführt hat, fördert zu Tage, dass es im Griechischen einen Wortstamm „didaskein" gab, welcher in vielfältiger Weise für Dinge gebraucht wurde, die (auch im weiteren Sinne) mit „Lehren" und „Lernen" zu tun haben.
Die Suche nach einer allgemeingültigen Definition des Begriffes scheitert auch heute an der uneinheitlichen Verwendung und dem unterschiedlichen Verständnis von Didaktik. PETERßEN stellt dazu fest, dass sich die verschiedenen Ansichten vor allem in drei Dimensionen voneinander unterscheiden (vgl. PETERßEN 2001, S. 23ff):

- Der zugrunde gelegte zentrierende bzw. zentrale Begriff
- Das zugrunde gelegte Gegenstandsfeld
- Der zugrunde gelegte Theoriebegriff

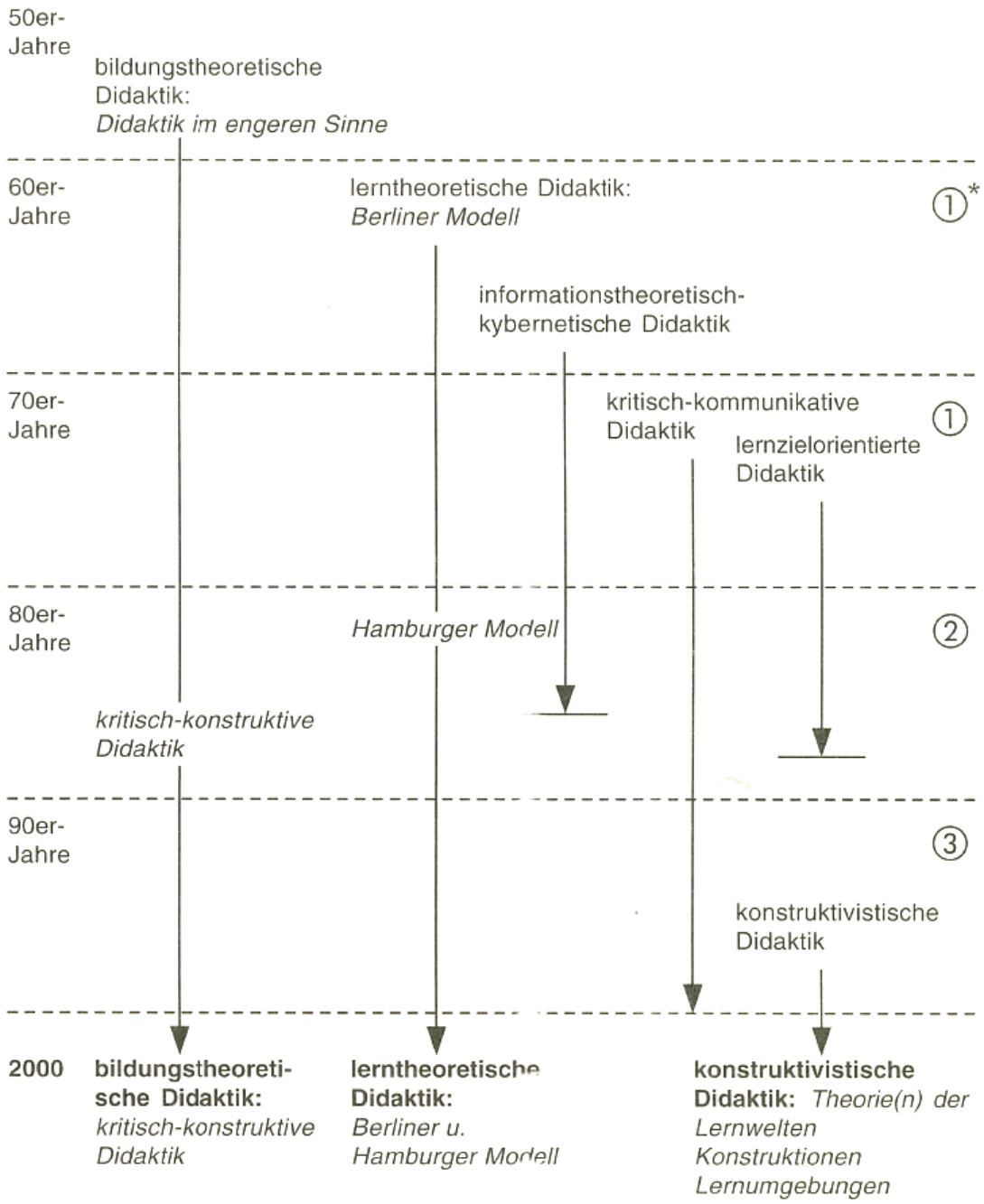
Dennoch stellt er auch Gemeinsamkeiten fest:

> „Allgemeine Didaktik bezeichnet jene wissenschaftliche Disziplin, deren Gegenstandsfeld das Lehren und Lernen schlechthin ist, die aber als integrierende Teildisziplin der Erziehungswissenschaft das umfassendere gesamte Erziehungsgeschehen perspektivisch im Blick behält. Als Berufswissenschaft vor allem von Lehrern erforscht sie ihr Feld mit wissenschaftlichen Mitteln und entwickelt Theorien des Handelns für die Lösung alltäglicher Lehr- und Lernprobleme; als auf Totalerfassung aller Erscheinungen und Faktoren im Felde des Lehrens und Lernens ausgerichtete Disziplin kann sie auf keine erprobte wissenschaftliche Methode und keinen bewährten Ansatz didaktischer Theoriebildung verzichten; sie integriert die maßgeblichen Ergebnisse aller in Frage kommenden Wissenschaften unter dem Gesichtspunkt ihres Beitrages für die Lösung von Lehr- und Lernproblemen."
>
> (ebd., S. 22f)

JANK und MEYER finden eine kürzere Definition: „Didaktik ist die Theorie und Praxis des Lernens und Lehrens" (JANK, MEYER 2002, S. 14). Auf dieser Grundlage betonen GUDJONS und WINKEL den theoretischen und praktischen Charakter der Didaktik,

> „denn Didaktik ist:
>
> - Die Analyse und Planung unterrichtlicher Lehr- und Lernprozesse und deshalb kein unmittelbares Handeln, sondern eine Theorie. Also Didaktik als Theorie institutionalisierter Lehr-/Lernprozesse – die wissenschaftliche Reflexion organisierten Lehrens und Lernens.
>
> Didaktik ist aber auch:
>
> - Die Kritik an einer bestimmten Praxis, das heißt auf eine vorhandene und gewollte Praxis bezogen und deshalb nicht nur Theorie, sondern das Durchdenken und Verantworten von Praxis."
>
> (GUDJONS, WINKEL 1999, S. 9)

Um die Reflektion praktischer Handlungen durch theoretische Überlegungen zu ermöglichen, hat die allgemeine Didaktik verschiedene allgemeindidaktische Modelle hervorgebracht. „Ein allgemeindidaktisches Modell ist ein erziehungswissenschaftliches Theoriegebäude zur Analyse und Modellierung didaktischen Handelns in schulischen und nichtschulischen Handlungszusammenhängen" (JANK, MEYER 2002, S. 35). Nahe liegender Weise wurden in der Vergangenheit verschiedene Didaktische Modelle von Autoren mit verschiedenen Einstellungen und Blickweisen entwickelt. PETERßEN bietet eine kurze Übersicht über die entwickelten Modelle der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts:



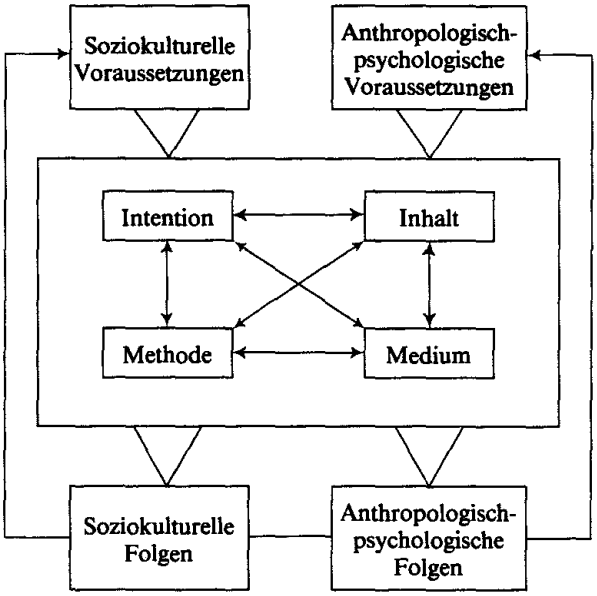

*Übersicht über die Entwicklung der Allgemeinen Didaktik von 1950 - 2000 (PETERßEN S. 146)*

Die wichtigsten dieser Modelle sollen hier nur kurz skizziert werden (Ohne Anspruch auf Vollständigkeit und ohne Wertung):

Die **Bildungstheoretische Didaktik** stützt sich auf ein hermeneutisches Theorieverständnis und sieht den Begriff „Bildung" als zentral an. In diesem Sinne sollen „unmündige" Bürger durch Erziehung und Bildung die Mündigkeit erlangen. Dazu werden Bildungsinhalte formuliert und als Maßstab für didaktisches Handeln herangezogen. Dem didaktischen Primat entsprechend hat die Methodik sich der Didaktik (den Inhalten) unterzuordnen. Aufgrund dieser stark fokussierten Blickweise wird dieser Ansatz auch „Didaktik im engeren Sinne" genannt. Ein wesentliches Instrument zur Gewährleistung der Bildungsrelevanz von Inhalten ist die didaktische Analyse. Aufgrund starker und intensiver Kritik hat KLAFKI seinen Ansatz wei-

terentwickelt und den „kritisch-konstruktiven Ansatz" formuliert. Dieser beschränkt sich nicht mehr auf die Analyse von Bildungsinhalten auf fachlicher Ebene, sondern schließt nun gesellschaftliche Aspekte ausdrücklich mit ein. Diese werden nun nicht länger hingenommen, sondern konstruktiv kritisiert. Mit Hilfe dieser konstruktiven Kritik sollen neue Ideen und Verbesserungen offen gelegt werden.

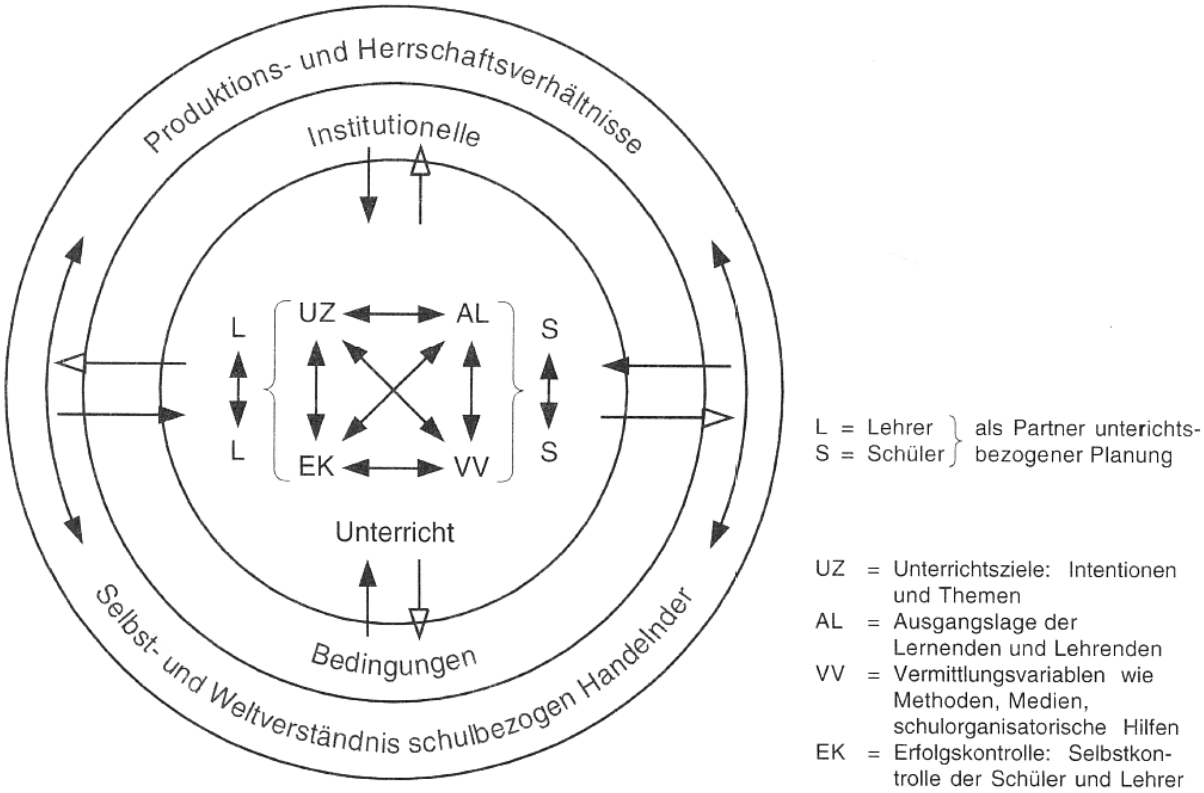
Aus der Kritik an der bildungstheoretischen Didaktik entwickelten HEIMANN, OTTO und SCHULZ ein Modell, das als zentrierenden Begriff nicht länger die Bildung, sondern das „Lernen" ansieht: Die **lerntheoretische Didaktik**. Die suggerierte Nähe zu psychologischen Lerntheorien fehlt diesem Ansatz allerdings ebenso, BLANKERTZ vermutet vielmehr, dass dieser zentrale Begriff gewählt wurde, um sich eindeutig von der bildungstheoretischen Didaktik zu distanzieren. Ein erstes didaktisches Modell entwickelte HEIMANN, wobei er insbesondere eine hohe Praxisrelevanz für den Lehrer erreichen wollte, kritisierte er doch den bildungstheoretischen Ansatz als praktisch nahezu unbrauchbar und viel zu theoretisch. Zu diesem Zweck analysierte HEIMANN Unterricht und stellte ein Axiom auf, nach welchem jeder Unterricht aus sechs Strukturelementen besteht. Die konkrete Form dieser Elemente ist abhängig von den Entscheidungen des Lehrers und von den auf das Unterrichtsgeschehen einwirkenden Bedingungen. Jedes Element hat Einfluss auf die anderen. Er definierte vier Strukturelemente als Entscheidungsfelder (Intention, Inhalte, Methoden, Medien) und die anderen zwei Elemente als Bedingungsfelder, die von außen auf das Unterrichtsgeschehen einwirken (anthropologisch-psychologische und sozial-kulturelle Voraussetzungen). Die vier Entscheidungsfelder wurden zwecks Gewinnung konkreter Handlungsanweisungen für die Unterrichtspraxis weiter differenziert und klassifiziert. Daraus entstand ein Entscheidungsmodell, welches dem Ort seiner Entstehung gemäß „Berliner Modell" (Lerntheoretisches Modell) genannt wird:




*Berliner Modell von Unterricht (ADL AMINI, 1986 S. 89)*

SCHULZ entwickelte dieses Modell schließlich weiter, indem er einige Grundsätze HEIMANNS verwarf bzw. neue ergänzte. So betrachtete er Schüler und Lehrer als gleichberechtigt und bringt daher den Schüler in sein Modell ein. Dieser sollte emanzipatorisch erzogen werden; dazu verwarf er den Anspruch

der Wertfreiheit der Didaktik und definierte die emanzipatorischen Leitziele Kompetenz, Autonomie und Solidarität. Für die Unterrichtsplanung sah er Planungsebenen vor, in die er teilweise die Schüler mit einbezog. Sein Modell betont ebenso wie das Berliner Modell die Interdependenzen unterrichtlicher Strukturelemente, jedoch veränderte er deren Gefüge und somit das Verständnis von Unterricht. Er formulierte hierzu Unterrichtsziele (Intentionen und Themen), Vermittlungsvariablen (Medien und Methoden), Ausgangslage von Lehrenden und Lernenden sowie die Erfolgskontrolle, welche institutionellen Bedingungen unterworfen sind, welche wiederum durch politisch-gesellschaftliche Umstände geprägt werden. Dieses Modell wurde (SCHULZ war mittlerweile in Hamburg tätig) als Hamburger Modell bekannt.

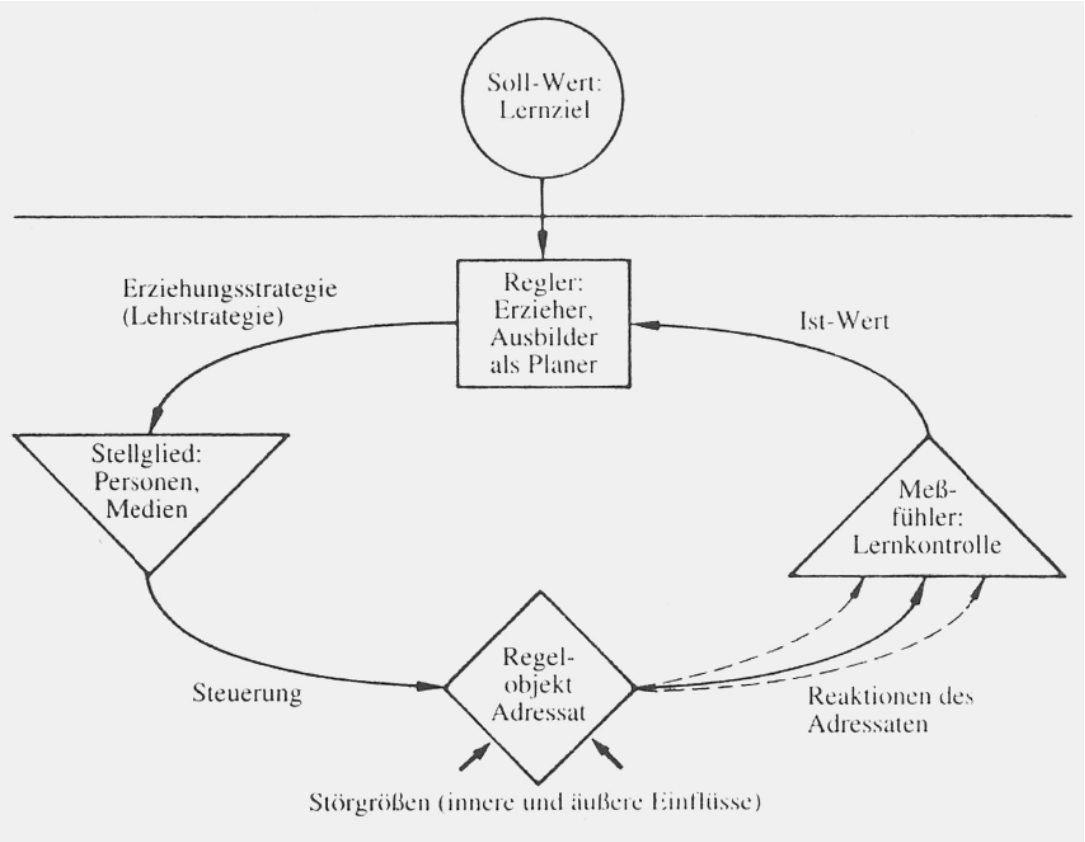



*Das Handlungsmodell des Hamburger Modells (PETERßEN 2001, S. 64)*

In der **informationstheoretisch-kybernetischen Didaktik** wird das Unterrichtsgeschehen nach FRANK in sechs „Dimensionen des pädagogischen Raums" differenziert. Jede dieser Dimensionen lässt sich durch die Beantwortung einer zugehörigen Frage bestimmen:

| Dimension | Frage |
|---|---|
| Lehrziel | Wozu wird gelehrt? |
| Lehrstoff | Was wird gelehrt? |
| Lehralgorithmus | Wie wird gelehrt? |
| Medium | Wodurch wird gelehrt? |
| Psychostruktur | Wem wird gelehrt? |
| Soziostruktur | Wobei wird gelehrt? |

Die extrem enge Sichtweise der informationstheoretisch-kybernetischen Didaktik wird deutlich, wenn man sich vor Augen hält, dass FRANK nur die Frage nach der Methode als legitime Fragestellung einer Didaktik zulässt. Diese Aussage relativiert sich allerdings, denn als Methode wird in diesem Zusammenhang jeglicher erdenkbare Eingriff in den Unterrichtsvorgang angesehen. Somit kann sich die Frage nach der Methode sehr wohl auf andere Dimensionen wie Medien oder Inhalte auswirken – diese dürfen nur nicht primär hinterfragt werden, sondern sind stets aus dem Blickwinkel der Methoden zu bewerten. In diesem Sinne ist es Aufgabe der Didaktik, die schlechthin optimale Strategie für das Erreichen eines vorgegebenen Ziels hinsichtlich Faktoren wie dem zeitlichen oder organisatorischen Aufwand zu finden und anzuwenden. Dazu wird das Unterrichtsgeschehen mit Hilfe eines Regelkreises dargestellt:




*Regelkreis nach VON CUBE (GUDJONS / WINKEL, 1999, S. 60)*

VON CUBE betont, dass es sich um ein Informationsmodell handelt und nicht um ein personales Modell. In diesem Regelkreis hat eine Informationsübermittlung solange stattzufinden, bis der Messfühler anzeigt, dass der Adressat den angestrebten Zustand (Wissenszuwachs) erreicht hat. Dabei legt VON CUBE eine Redundanztheorie zugrunde: Jeder Nachricht kommt dabei ein subjektiver Informationsgehalt zu, welcher unter Berücksichtigung des Vorwissens des Lerners die für den Lerner neuen Teile einer Nachricht darstellen. Wenn nun eine Nachricht mehrfach wiederholt wird, so ist für den Fall, dass ein Lernprozess stattfindet, davon auszugehen, dass der subjektive Informationsanteil kleiner wird. Daher spricht er von Informationsabbau und Redundanzaufbau / Redundanzerzeugung.

Vor allem das ausdrückliche Ausklammern von Zielfragen in dieser Didaktik (die informationstheoretisch-kybernetische Didaktik sieht die Lernziele als von außen vorgegebene Größen an, z.B. in Form eines Lehrplans) war in der Vergangenheit immer wieder Anlass für heftige Kritik. Außerdem unterstellt die Kybernetik, dass der Lern- und Erziehungsprozess stetig und somit regelbar wäre. Gerade dies trifft auf den Menschen allerdings nicht immer zu, seine Unstetigkeit muss einen fundamentalistisch informationstheoretisch-kybernetischen Ansatz scheitern lassen. VON CUBE hat darauf verzichtet, auf die Kritik zu reagieren, indem er seinen Ansatz weiterentwickelt oder modifiziert; stattdessen hat er ihn Mitte der 80er Jahre vollständig zurückgenommen. PETERßEN sieht dennoch ein gewisses Potenzial, das diese Didaktik mehr als jede andere innehat:

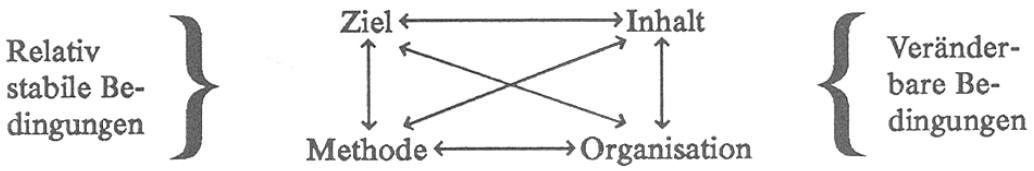
> „Ich halte es sehr wohl für möglich, dass von hier aus wertvolle Beiträge zur Erhellung der didaktischen Wirklichkeit geleistet werden können. Die besondere technologische Sichtweise kann helfen, technische Probleme zu klären. Sie ist auch eine nötige Sichtweise, denn es gibt nun einmal die technische Dimension jedes didaktischen Geschehens. [...] Und Möglichkeiten sehe ich gerade zur Zeit sehr viele und bedeutsame: Optimale Informationsstrategien für aktuelles multimediales Lehren und Lernen zu entwickeln, wie es seit kurzem erst durch die Verwendung von digitalen Rechnern und dem Internet bestimmt wird, das steht noch aus, das hat die Didaktik noch nicht geleistet.“[1]
>
> (PETERßEN 2001, S. 188f)

Die konstruktivistische Didaktik legt ein dem Namen entsprechendes systemisch-konstruktivistisches Weltbild zugrunde. Dies hat zur Folge, dass es keine allgemeingültige Wirklichkeit gibt, sondern dass jedes Individuum seine eigene Welt in einem aktiven inneren Konstruktionsprozess aufbauen muss. Dies kann der Lerner nicht passiv, Lernen wird also erst durch Aktivität und Handlungen ermöglicht. Somit fällt dem Lerner grundsätzlich eine Steuerungsfunktion hinsichtlich des Lernprozesses zu. Die Ergebnisse dieses Prozesses werden nicht voneinander isoliert betrachtet, sondern stets mit vielen anderen Konstruktionen ins Verhältnis gesetzt. Jedes Individuum generiert somit ein System, in welches neue Erkenntnisse eingeordnet werden. Wissen ist demnach stark subjektiv, was diese Didaktik von anderen, die ein objektives Wissen voraussetzen, abgrenzt. Eine zentrale Forderung lautet also, den Lerner durch Schaffung von

[1] Es ist zu berücksichtigen, dass diese Aussage mittlerweile sechs Jahre alt ist. Während sich in dieser Zeit die Mediendidaktik insbesondere unter Berücksichtigung der Möglichkeiten computergestützten Lernens stark entwickelt hat, scheint die allgemeine Didaktik (im Übrigen auch die Fachdidaktik Technik) diese Entwicklungen nach wie vor zu ignorieren.

entsprechenden Lernwelten und –umgebungen zu unterstützen. In solchen Umgebungen kann Wissen neu konstruiert werden, aber auch rekonstruiert werden. So manifestiert sich die Legitimation des Lehrers, der in Lernsettings Inhalte so anbieten sollte, dass der Lerner sie möglichst leicht rekonstruieren kann. Sobald bestimmte Inhalte konstruiert und systematisiert wurden, kann der Lerner sie zwecks Reflektion und Kritik dekonstruieren.
Dieses recht junge didaktische Modell wird intensiv kritisiert. Wird beispielsweise ein radikales konstruktivistisches Weltbild zugrunde gelegt, so muss bezweifelt werden, dass Lernen aufgrund von Lehren überhaupt möglich ist, was für eine pädagogische Disziplin fatal wäre. Wie auch bei der informationstheoretisch-kybernetischen Didaktik bleiben Inhaltsfragen ausgeklammert. Bei sehr nüchterner Betrachtung kann auch die didaktische Relevanz dieses Ansatzes für die Schulpraxis in Frage gestellt werden, denn die zentrale Forderung nach praxisnahem, handlungsorientiertem Lernern ist keineswegs neu.
Dennoch sind sich sowohl PETERßEN als auch JANK und MEYER darin einig, dass diese Didaktik neue Impulse für die in der letzten Dekade nahezu vollständig zum Erliegen gekommene didaktische Diskussion sendet und dass entsprechende Weiterentwicklungen didaktisches Potenzial enthalten (vgl. PETERßEN 2001, JANK , MEYER 2002).

Trotz der ideologiekritischen Einschränkungen, denen sich KLINGBERG als Bürger der ehemaligen DDR unterwerfen musste, hat er mit der dialektischen Didaktik einen wesentlichen Beitrag zur internationalen didaktischen Diskussion geleistet. Ein zentraler Begriff war dabei die Allgemeinbildung, unter der er eine wissenschaftlich fundierte, universale Bildung für alle verstand. Unterricht verstand er zuallererst als pädagogischen Prozess, der maßgeblich durch den vorgegebenen Lehrplan bestimmt wird. In diesem Prozess stehen Lernen und Lehren in einem dialektischen Verhältnis zueinander; es ergibt sich ein dialektischer Widerspruch zwischen der leitenden und vorgebenden Funktion des Lehrers und der Selbstständigkeit und Eigeninitiative der Schüler, welches die wesentliche Komponente darstellt, die den Unterrichtsprozess vorantreibt. Der Prozess besteht aus den Komponenten „Ziel", „Methode", „Inhalt" und „Organisation" und bildet einen geschlossenen Systemzusammenhang, welcher einerseits durch „relativ stabile Bedingungen" und andererseits von „veränderbaren Bedingungen" eingerahmt wird:




*Prozesskomponenten des Unterrichts nach KLINGBERG (JANK, MEYER, 2002, S. 249)*

KLINGBERG betont dabei die herausragende Bedeutung der Methodenkomponente, welche sich nach dem Ziel zu richten hat. Somit greift er KLAFKIS These nach dem „Primat der Didaktik" auf. Da Lehren und Lernern als dialektische Einheit anzusehen sind und Lehren durch vermittelnde Aktivitäten des Lehrers und Lernen durch aktive Aneignung durch den Schüler realisiert wird, muss beiden am Unterrichtsprozess beteiligten Parteien eine aktive Rolle zugeschrieben werden. Die Hervorhebung der unterrichts-

gestaltenden Rolle der Schüler ist als eine wesentliche Leistung der dialektischen Didaktik anzusehen. In diesem Sinne wird dem Schüler statt eines objektiven ein subjektiver Charakter zugesprochen. Erfolgreicher Unterricht bedeutet somit, dass Lehrer und Schüler miteinander kooperieren. Damit die Schüler zur Mitentscheidung, Mitgestaltung und Mitverantwortung fähig werden, müssen sie ebenso wie der Lehrer über eine didaktische Kompetenz verfügen. Auf diese Weise entsteht das „kollektive Subjekt" des Unterrichts.

„Die kritisch-kommunikative Didaktik vereinigt [...] in sich zwei Komponenten: die aus der Kommunikationstheorie übernommene Auffassung des Didaktischen als ein kommunikatives Geschehen und die aus der kritischen Sozialwirtschaft übernommene Auffassung über die kritische Aufgabe didaktischer Theoriebildung" (PETERßEN 2001, S. 210). Sie sieht sich als eine Ergänzung zur bildungstheoretischen und lehrtheoretischen (kritisch-konstruktiven) Didaktik. Dem kommunikativen Vorgang werden die vier Axiome von WATZLAWIK zugrunde gelegt, wonach eine symmetrische Kommunikation anzustreben ist. Zu diesem Zweck fordert diese Didaktik, dass Unterricht schülerorientierter und kooperierender werden sollte. Mit Kommunikation geht stets eine soziale Größe einher, die WINKEL als zentrale Komponente auffasst, sodass die Inhalte den sozialen Aspekten untergeordnet sind. Die Zielsetzung zur emanzipatorischen Erziehung wird deutlich in der kritischen Komponente der kritisch-kommunikativen Didaktik. In diesem Sinne hinterfragt sie nicht nur das didaktische Geschehen im engeren Sinne, sondern vor allem die äußeren gesamtgesellschaftlichen Einflüsse, die stets auf das Unterrichtsgeschehen einwirken. So wird auch politische Kritik gefordert, der Didaktik wird eine politische Funktion zuteil, die Wertefreiheit verworfen: "Kritisch ist diese Didaktik insofern, als sie vorhandene Wirklichkeiten, die Ist-Werte unserer Gesellschaft, eben nicht unkritisch akzeptiert, sondern - soweit dies Schule überhaupt kann - permanent zu verbessern trachtet, in Sollens-Werte zu überführen versucht." (WINKEL 1980 in: PETERßEN 2001, S. 213).
In der didaktischen Diskussion hat die kritisch-kommunikative Didaktik oft destruktiv kritisiert, was ihr häufig zum Vorwurf gemacht wurde. Weiterhin hat sie wenig konkret Anwendbares (und somit Praxisrelevantes) hervorgebracht, sondern sich in der Regel auf abstraktem Niveau bewegt. Ihre zentralen Forderungen nach Kommunikation und Kritik wurden zwar von anderen Ansichten assimiliert, heute tritt sie jedoch nicht mehr als eigenständige Didaktik auf: „Eine eigenständige kritisch-kommunikative Didaktik ist nach meiner Auffassung nicht mehr nötig, da ihre wesentlichen pädagogisch-didaktischen Forderungen von (fast) allen derzeit diskutierten Positionen erfüllt werden." (PETERßEN 2001, S. 227)

Die lernzielorientierte Didaktik geht von einer behavioristischen Lerntheorie aus und zielt somit auf die Veränderung beobachtbarer Verhaltensweisen. Als Lernziel darf dabei jede Absicht zur Veränderung dieser Verhaltensweisen angesehen werden. Die lernzielorientierte Didaktik sieht zwar das Lernziel als zentralen Begriff an, verzichtet jedoch auf die Formulierung eines Primats des Lernziels. Stattdessen werden sehr wohl andere Strukturelemente unterrichtlichen Geschehens akzeptiert und die Interdependenzen dazwischen werden nicht dementiert. Bei der Beschäftigung mit diesen bei der Vorbereitung von Unterricht soll aber dem Lernziel die höchste Priorität eingeräumt werden. Ein Leitmotiv ist auch hier –

ähnlich wie bei der informationstheoretischen-kybernetischen Didaktik – die Steigerung der Effizienz von Lernprozessen. Im Gegensatz zu dieser wird die Zielfrage aber nicht ausgeklammert, sondern ist ausdrücklich Bestandteil didaktischer Handlungen. Die Definition und Formulierung solcher Ziele durch den Lehrer ist in der lernzielorientierten Didaktik sogar eine wesentliche Bedingung für Unterricht. Dazu legt sie verschiedene Systematiken in Form von hierarchischen Ordnungsmodellen (Taxonomien) vor, die den Lehrer bei der Auswahl von Richtziel, Grobziel und Feinziel anleiten und unterstützen sollen. MÖLLER unterscheidet dazu kognitive, psychomotorische und affektive Lernziele. Bei der Vorbereitung didaktischen Handelns sind neben den Zielen auch die Mechanismen festzulegen, mit denen die Lernerfolgskontrolle durchgeführt werden soll. Zu diesem Zweck müssen Lernziele zu wahrnehmbaren Operationen operationalisiert werden, aus denen hervorgeht, dass der Schüler sein Lernziel tatsächlich erreicht hat. Auch dazu bietet sie Systematiken an.
Wie der Darstellung PETERßENs auf S. 16 zu entnehmen ist, wird die lernzielorientierte Didaktik heute nicht mehr als eigenständiger Ansatz diskutiert. Als Ursache dafür ist weniger zu sehen, dass der Ansatz zurückgenommen oder widerlegt wurde, sondern dass er in fast alle aktuellen („konkurrierenden") Ansätze eingeflossen ist und somit als weithin anerkannt gelten muss (vgl. PETERßEN 2001, S. 203).

Auf eine vergleichende Bewertung aller Ansätze soll an dieser Stelle verzichtet werden, sie käme ohnehin nur zu dem Ergebnis, dass es keine „richtige" oder „falsche" Didaktik geben kann. Jede der oben dargelegten Didaktiken (und auch die, die in der Übersicht nicht erwähnt wurden) zeichnet sich durch spezifische Schwerpunkte auf dem einen oder anderen Aspekt didaktischen Handelns aus. Lehr- und Lernprozesse sind indes derart vielschichtig und komplex, dass jede dieser Sichtweisen ohne weiteres zu rechtfertigen wäre und somit auch jede Didaktik ihre Daseinsberechtigung hat. Als problematisch sind jedoch alle fundamentalistischen Überzeugungen einzustufen, die lediglich einen einzigen Ansatz zulassen, wenngleich sie den Nährboden für die recht intensiven Debatten der Vergangenheit, welche nicht selten zur Weiterentwicklung didaktischer Modelle und Auffassungen geführt haben, lieferten. Es darf wohl behauptet werden, dass die Diskussionen um didaktische Ansätze zwar nicht zum Erliegen gekommen, jedoch deutlich ruhiger und gemäßigter geworden sind. Dies mag einerseits daran liegen, dass die Generation der Begründer und der fundamentalistisch-überzeugten Anhänger der konkurrierenden Ansätze größtenteils an aktuellen Diskussionen nicht mehr teilnehmen kann, andererseits hat der Entwicklungsprozess der Ansätze wie bereits beschrieben zu Assimilationen bzw. Annullierungen geführt. So stellen JANK und MEYER fest, dass „die unterrichtstheoretischen und praktischen Differenzen führender Didaktiker Deutschlands [...] in den letzten zwanzig Jahren deutlich geringer geworden [sind]. (JANK , MEYER 2002, S. 303). Allen Auffassungen scheint gemein, dass Lehren und Lernen von Strukturelementen bestimmt wird, wovon einige innerhalb des Lehr- und Lernprozesses anzusiedeln sind und andere von außerhalb auf den Prozess einwirken und nur teilweise und indirekt durch die didaktischen Akteure beeinflussbar sind. Als innere Strukturelemente werden Medien, Methoden, Ziele und Inhalte weithin übereinstimmend anerkannt, wenngleich mit spezifischen Auslegungen und Gewichtungen.
Diese Arbeit richtet ihren Blick auf das Strukturelement der Medien, weshalb an dieser Stelle ein Exkurs in die Mediendidaktik legitim erscheint.

## 2.3 Mediendidaktik

Bereits HEIMANN hat in den 60er Jahren mit dem „Berliner Modell" den Medien ein eigenes Strukturelement zugeschrieben und eröffnete so Perspektiven einer Mediendidaktik, welche in der Form aber erst deutlich später artikuliert wurde. Nachdem große Hoffnungen in die für die damaligen Verhältnisse hochmodernen Lehr- und Lernmedien der Programmierten Unterweisung nicht erfüllt werden konnten, waren Medien als solches lange kein Thema didaktischer Diskussionen. Erst die Entwicklung der Computertechnik in den 90er Jahren und der damit verbundene Einzug des Computers in nahezu alle menschlichen Lebensbereiche machte der Öffentlichkeit die Relevanz der Medienthematik für didaktische Handlungen (auch außerhalb von organisierten Bildungsinstitutionen) bewusst. So verwundert es nicht, dass es sich bei der Mediendidaktik um eine relativ junge Disziplin handelt. Diese „'befasst sich mit den Funktionen und Wirkungen von Medien in Lehr- und Lernprozessen' (ISSING 1987, S. 25). Mediendidaktik kann als etabliertes Teilgebiet der Didaktik verstanden werden. Ihr liegen sowohl didaktische Theorien als auch gesellschafts- und bildungspolitische Vorgaben sowie pädagogische Erkenntnisse aus anderen Wissenschaften bzw. Nachbardisziplinen zugrunde. Sie arbeitet mithin interdisziplinär." (KRON / SOFOS 2003, S. 48).

KRON und SOFOS sehen dabei vor allem vier Gründe, die die Mediendidaktik als Teildisziplin der allgemeinen Didaktik rechtfertigen:

- „Das Gegenstandsfeld der Didaktik umfasst alle organisierten, formellen und informellen Lehr- und / oder Lernprozesse. Damit geht es auch immer um Medien und im engeren Sinn um die Neuen Medien. Insofern kann in der Didaktik die Mediendidaktik auch impliziert vertreten werden.
- Das Gegenstandsfeld der Didaktik umfasst alle kulturellen und sozialen Prozesse und Gegenstandsbereiche einer Gesellschaft. Dies schließt selbstverständlich das Phänomen Medien mit ein.
- Zum Gegenstandsfeld der Didaktik gehört die Aufgabe der Auswahl und Anordnung der Bildungsinhalte in einem Lehrplan. Hier spielen die Medien als Inhalt eine bedeutsame Rolle.
- Didaktik hat auch das Verhältnis von Mensch und Welt bzw. Gesellschaft und Kultur zum Gegenstand. Darin ist eine sozialanthropologisch bedeutsame Grundstruktur zu entdecken: Der Mensch steht immer als Handelnder im Verhältnis zu seiner Welt, und er handelt immer in und mit Medien bzw. neuen Medien."

(ebd., S. 46f)

Wenn also die Mediendidaktik als eine Teildisziplin der allgemeinen Didaktik angesehen werden kann und diese sich innerhalb spezifischer Fächer einer Fachdidaktik bedient, so muss die Mediendidaktik sich ebenfalls bei fachspezifischen Fragestellungen entsprechend ausrichten. Für die Anbahnung technischen Denkens und Handelns bedeutet dies, dass aus mediendidaktischer Sicht die fachspezifischen Besonderheiten der Fachdidaktik Technik zu betrachten sind. Bevor dies weiter unten geschieht, sollen zunächst die Fragestellungen und Themenfelder der Mediendidaktik beleuchtet werden.

KERRES unterscheidet die Fragestellungen der Mediendidaktik in einem „Vier-Felder-Schema".

„Dabei wird zunächst zwischen medientechnischen Systemen und didaktisch aufbereiteten Medienprodukten unterschieden. Diese Unterscheidung darf nicht mit den Begriffen Hard- und Software gleichgesetzt werden, da Mediensysteme sowohl Hard- als auch Software beinhalten (können).

Die Mediendidaktik beschäftigt sich folglich mit Mediensystemen (delivery systems) oder Medienprodukten (media content) und zwar entweder als Produkt oder Prozess. Bei der Medienperspektive interessiert, welche medientechnische Infrastruktur und Medien für Lehr- und Lernprozesse besonders geeignet sind. Die Prozessperspektive fokussiert die Frage, wie solche Systeme konzipiert und genutzt werden können, um bestimmte Lernprozesse anzuregen."

(KERRES 2001, S. 29f)

| **Medien als** | **Produkt** | **Prozess** |
|---|---|---|
| **Medientechnische Systeme** | Lernförderliche Infrastruktur | Werkzeuge für Lehr- und Lernprozesse |
| **Didaktische Medien** | Medienprodukte mit didaktischer Intention | Konzeption, Entwicklung, Einsatz didaktischer Medien |

*Vier-Felder-Schema mediendidaktischer Fragestellungen (KERRES 2001, S. 30)*

Eine **lernförderliche Infrastruktur** stellt eine medien- bzw. computertechnische Ausstattung für Lehr- und Lernzwecke dar. Die Mediendidaktik will sicherstellen, dass vor allem in Bildungseinrichtungen die infrastrukturellen Voraussetzungen nicht vorrangig durch technische Aspekte bestimmt werden, sondern dass hier didaktische Gesichtspunkte bestimmend sind. Dabei gilt zu bedenken, dass allein das Vorhandensein einer modernen computertechnischen Infrastruktur kein Garant für erfolgreiche mediendidaktische Handlungen darstellt; entsprechende Ausstattung stellt lediglich die notwendigen technischen Mittel dafür dar.

Die neuen Medien stellen neuartige und leistungsfähige Werkzeuge für Lehr- und Lernprozesse zur Verfügung, einerseits in Form von Software (Bildbearbeitungsprogramme, Videoschnittprogramme, Textverarbeitung usw.), andererseits als Hardware (Drucker, Scanner, große und dauerhafte Datenspeicher). Diese zeitgemäßen Werkzeuge bieten zahlreiche neuartige Möglichkeiten zur Unterstützung und Durchführung didaktischer Handlungsprozesse, welche mit konventionellen Medien nicht möglich gewesen wären. Die Untersuchung dieser didaktischen Möglichkeiten ist ebenfalls ein Gegenstand der Mediendidaktik.

Die Lehrmittelindustrie hat zahlreiche Medienprodukte mit didaktischer Intention entwickelt und bietet diese auf dem Markt an. Eine Reihe weiterer Lehr- und Lernangebote, welche hier ebenso als „Produkte" bezeichnet werden sollen, ist aus zahlreichen Projekten und Aktivitäten einschlägiger Bildungs- und Forschungsinstitutionen hervorgegangen. Die allgegenwärtige computertechnische Infrastruktur macht es mittlerweile sogar privaten Personen und Gruppen möglich, didaktische Lernangebote zu erstellen und (vorwiegend über das Internet) öffentlich zugänglich zu machen.

Auch die Konzeption, Entwicklung und der Einsatz didaktischer Medien ist ein Gegenstandsfeld der Mediendidaktik. Sie untersucht, wie Medien beschaffen sein müssen, damit sie einen Lehr- und Lernprozess möglichst optimal unterstützen. Sie geht ebenso auf die Entwicklungs- und Herstellungsprozesse solcher

Bildungsangebote ein und entwickelt und reflektiert entsprechende Konzepte. Die Nutzung solcher Medien wird im Bildungskontext mit dem Ziel der Optimierung untersucht.

Es ist also offensichtlich, dass das mit dieser Arbeit angestrebte Ziel, in dessen Kern die Entwicklung eines didaktischen Mediums erfolgt, in die Gegenstandsbereiche der Mediendidaktik fällt. Grundsätzliche mediendidaktische Ansätze stützen sich auf die in Kapitel 2.1.4 vorgestellten Lerntheorien. Die Untersuchung entsprechender Konzepte für die Gestaltung von didaktischen und computergestützten Medien (programmierte Unterweisung bzw. Instruktion, mehr oder weniger intelligente tutorielle Systeme, situiertes und geankertes Lernen) kommt – wenig überraschend – zu dem Ergebnis, dass es analog zur zusammenfassenden Bewertung der lernpsychologischen Ansätze kein allgemein richtiges Konzept geben kann:

> „Die momentan als Alternativen diskutierten Theorien sind als Elemente in einem mehrdimensionalen Entscheidungsraum der Mediendidaktik anzusiedeln. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung kann nicht um den Nachweis der Überlegenheit eines dieser Modelle gehen, sondern um die Spezifikationen der Bedingungen, unter denen sich ein bestimmter Ansatz als pädagogisch sinnvoll und empirisch günstig darstellt. Es interessiert also vielmehr, wann bestimmte, z.B. situative gegenüber abstrakten Darstellungen sinnvoll erscheinen, oder wann lineare oder offene Lernwege vorzuziehen sind."
>
> (KERRES 2003, S. 84)

Die Frage nach *dem* richtigen Ansatz für die Gestaltung computerbasierter Lernangebote für didaktische Zwecke käme also der Frage nach *der* richtigen Lerntheorie oder *dem* richtigen didaktischen Modell gleich. Wenn überhaupt eine eindeutige Antwort für Fragen solcher Dimension gegeben werden kann, dann muss diese von diversen Faktoren und Aspekten abhängig gemacht werden. Um Aussagen über die Eignung eines bestimmten mediendidaktischen Ansatzes machen zu können, muss das didaktische Einsatzszenario mit allen bedingenden Faktoren beschrieben werden. Dazu wird es in der Konzeptionsphase in verschiedene Teile (Sequenzen) zerlegt, bis schließlich konkrete Beschreibungsformen untersucht werden können. In der gestaltungsorientierten Mediendidaktik liegen dann einige Ansätze vor, aus denen sich konkrete Gestaltungsvorschläge ableiten lassen (z.B. verschiedene Modelle des Instruktionsdesigns, vgl. z.B. NIEGEMANN 2001, NIEGEMANN ET AL. 2004).

## 2.3.1 Der Medienbegriff

Mit Aus- bzw. Weiterbildung geht stets ein Lernprozess einher, dies gilt auch dann, wenn dieser innerhalb technischer Bildung stattfindet. Lernen im weiteren Sinne ist eine elementare Disziplin der Erziehungswissenschaften und wird in der Pädagogik und in der Psychologie gleichermaßen diskutiert. Die Diskussionen werden noch heute fortgeführt, angefacht durch modifizierte Fragestellungen, die sich aus der Nutzung der „neuen Medien" für Lehr- und Lernzwecke ergeben (vgl. EDELMANN 2000, ISSING, KLIMSA 2002, MEYER 1994, SCHULMEISTER 1997).

Je nach dem, ob behavioristische, kognitive oder konstruktivistische Motive im Vordergrund stehen, streiten sich die Beteiligten ausgiebig um diverse Aspekte menschlichen Lernens, wie z.B. die Art und Weise der Informationsverarbeitung, welche Rolle dem Lerner bzw. dem Lehrer dabei zukommt oder wie Lernerfolg objektivierbar und messbar ist. Zusätzlich tragen neurobiologische Forschungsergebnisse dazu

bei, die Funktionsweise des Menschen als Organismus zu beleuchten und liefern damit eine weitere Sichtweise, aus der menschliches Lernen betrachtet werden kann (vgl. SPITZER 2000, SPITZER 2002). Insgesamt ergibt sich eine vielfältige Diskussion, deren Beleuchtung und Bewertung allerdings kein Gegenstand dieser Arbeit sein soll.

Eine wesentliche Invariante lässt sich jedoch unabhängig von der jeweiligen Sichtweise mit der Bildung von individuellen Erfahrungen formulieren:

> „Im Zuge dieser mehr außen- oder mehr innengesteuerten Auseinandersetzung mit der Umwelt kommt es zur Bildung von Erfahrungen, die in der Zukunft neue Aktivitäten beeinflussen. Dies ist das wesentliche Merkmal des Lernens."
>
> (EDELMANN 2000, S. 178)

Für die Bildung solcher Erfahrungen ist eine Kommunikation bzw. Interaktion mit der Umwelt eine wesentliche Bedingung. Als Voraussetzung für einen (erfolgreichen) Lernprozess ist somit das Aufnehmen von Informationen zwingend erforderlich. Dieser Austausch mit der Umwelt zwecks Informationsaufnahme oder in Interaktionsabsicht ist an Informationsträger gebunden. Diese Trägerfunktion von Informationen ist eine wesentliche Eigenschaft von Medien.

In der Literatur finden sich zahlreiche Definitionsansätze für Medien. Obwohl vielfach versucht wurde, dieses Dilemma begrifflich zu ordnen, gibt es keine allgemeingültige Definition. Dafür ist eine unterschiedliche und undifferenzierte Gewichtung der folgenden Aspekte von Medien verantwortlich:

> „Für einen sinnvollen Diskurs über Medien sind besonders folgende fünf Aspekte eines Mediums zu unterscheiden:
>
> - Die Hardware, die Materialität eines Mittlers, z. B. der Beamer.
> - Die Software, das übermittelte „Programm", z. B. der Videofilm.
> - Das Symbolsystem, der Kode. Beim Text ist das Übermittelte im Symbolsystem Sprache kodiert. Der Film hat eine eigene „Bildsprache". Sie unterscheidet sich von der Bildsprache einer Folie, weil sie Bewegung mitzuteilen vermag.
> - Die angesprochene Sinnesmodalität, z. B. Augen, Ohren, Tastsinn. [...]
> - Das im Symbolsystem Vermittelte, die Botschaft. Im Kontext von Lehren und Lernen erwartet man, dass diese Botschaft in einer Weise verarbeitet wird, die überdauernde Veränderungen bewirkt."
>
> (KRAPP, WEIDENMANN 2001, S. 419)

Tritt der Begriff „Medium" im Zusammenhang mit pädagogischen Maßnahmen auf, so ist kategorisch zwischen dem Informationsträger und der vermittelten Information zu differenzieren:

> „Für mediendidaktische Fragestellungen ist es [...] wichtig, zwischen Medientechnik und -systemen einerseits und didaktisch aufbereiteten medialen Inhalten andererseits zu unterscheiden. Diese begriffliche Differenz wird in der englischsprachigen Forschung einsichtiger, wenn einerseits von delivery system (den Medientechniken, Geräten, Gegenständen etc.) und anderseits von media content (den didaktisch aufbereiteten Inhalten) gesprochen wird."
>
> (KERRES 2001, S. 20)

Dementsprechend betont KERRES die Doppeldeutigkeit des Medienbegriffes:

> „Der Begriff des Mediums beinhaltet damit zum einen die medientechnische Apparatur zur Speicherung, Wiedergabe, den Transport, Austausch sowie Abruf von Informationen, zum anderen verweist er auf die medialen Inhalte [...] Der Medienbegriff kann sich demnach beziehen auf
>
> - den Träger von Informationen und die technischen Einrichtungen zu deren Aufnahme, Wiedergabe, Transport etc. sowie
> - die medial zwischen Sender und Empfänger vermittelte, didaktisch aufbereitete Information."
>
> (KERRES 2001, S. 19)

Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit wird ein Medienbegriff zugrunde gelegt, der die Trägerfunktion von Informationen als definierendes Merkmal ausweist:

> „Im allgemeinen Sinne bezeichnet der Begriff „Medien" Vermittlungssysteme für Informationen aller Art [...], ihre Funktion ist der Transport von Inhalten, wobei spezifische Restriktionen des Mediums formend auf den Inhalt wirken können."
>
> (BROCKHAUS 1998, S. 373).

Dabei ist evident, dass Medien stets in einem Vermittlungsprozess – nämlich der Vermittlung von Informationen zwischen einem Sender und einem oder auch mehreren Empfängern zur Anwendung kommen. Damit soll dem Lerner keine passive Rolle im Sinne des Behaviorismus unterstellt werden; das Lernen mit Medien stellt sehr wohl einen aktiven Lernprozess dar – wie aktiv dieser ist, hängt unter anderem von den Eigenschaften des Mediums ab. Von welcher Art diese Aktivität des Lerners grundsätzlich sein kann, wurde bereits mit der Abhandlung der Lerntheorien diskutiert. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass jeder Lernprozess einen Reiz in Form von Informationsdarbietung (also Kommunikation) erfordert. Dieser Reiz kann auch im kognitiven Apparat des Lerners entstehen, sodass also auch dann Lernprozesse möglich sind, wenn der Lerner gespeicherte Informationen (Gedanken) ohne Auswirkungen von außen kombiniert und somit eine neue Information generiert (Wissenszuwachs). Dennoch müssen die erforderlichen Informationen zunächst einmal aufgenommen (vermittelt) werden, was auch als „Vermittlung von Information" (nicht Vermittlung von Wissen) aufgefasst werden kann. Wenn also in den folgenden Abschnitten von einem Vermittlungsprozess die Rede ist, so soll damit der mediendidaktische Fokus signalisiert werden.

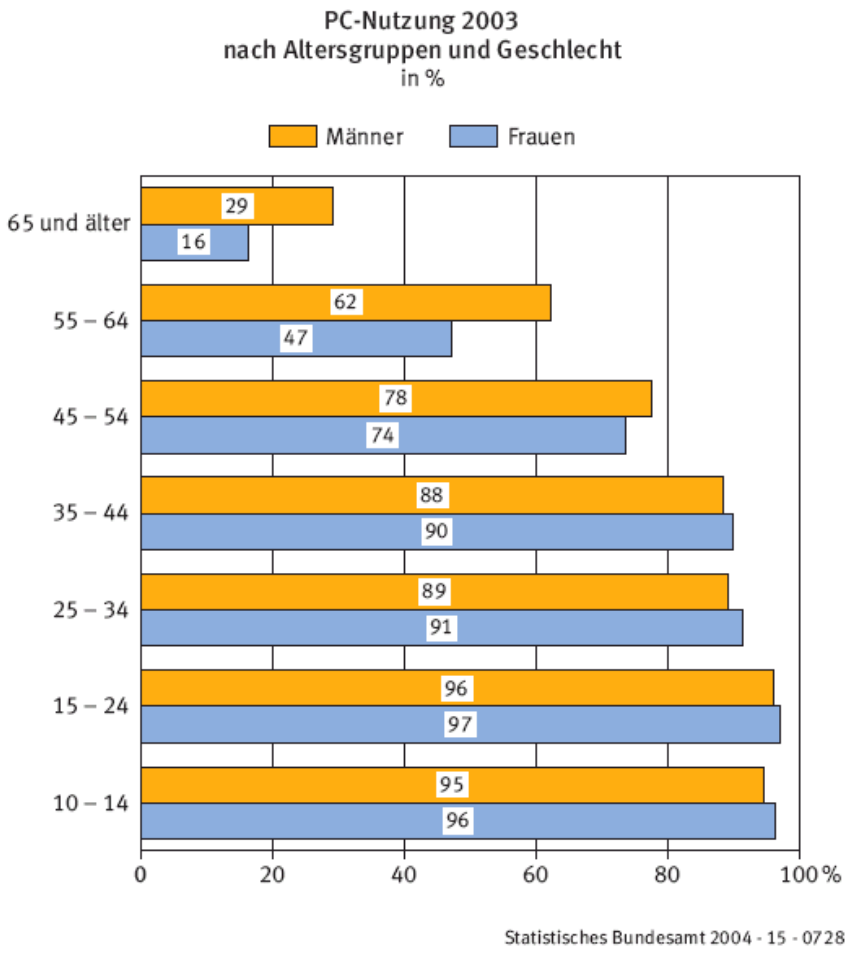
## 2.3.2 Computergestützte Medien

In Szenarien, in denen Lernprozesse nicht im Rahmen klassischen Unterrichts angedacht werden, werden Inhalte meist durch nicht-personale Medien vermittelt. Dies trifft beispielsweise auf das eigenständige Erarbeiten von Inhalten aus (Lehr-) Büchern, beim Anfertigen von Hausarbeiten oder auch beim Lernen an außerschulischen Orten, wie z.B. dem Arbeitsplatz zu. Im Gegensatz zur Unterrichtssituation fehlt eine Person, die spontan auf Ereignisse reagieren und in das Unterrichtsgeschehen eingreifen kann. Der Ler-

ner kann also nur auf das ihm zur Verfügung stehende Medienrepertoire zurückgreifen. Die entsprechenden Medien sind also möglichst so zu konzipieren, dass sie dem Lerner auch ohne personelle Hilfe optimal beim Lernprozess unterstützen.

Dies gilt auch für Szenarien, in denen computergestützte Lernsysteme eingesetzt werden (E-learning). Derartige Systeme nutzen als Basis Standard-PCs, welche sowohl in Bildungseinrichtungen, am Arbeitsplatz als auch in immer mehr Privathaushalten vorhanden sind.

Wie das Statistische Bundesamt bei einer Befragung von 9720 Bundesbürgern ab zehn Jahren feststellt, ist der Umgang mit Computern ein fester Bestandteil im privaten und beruflichen Alltag vieler Menschen, sodass diese prinzipiell für Zwecke des E-learnings genutzt werden könnten:




*PC-Nutzung 2003 nach Altersgruppen und Geschlecht (STATISTISCHES BUNDESAMT 2004, S. 15)*

> „Zwei Drittel aller Personen ab 10 Jahren nutzten 2004 einen PC, 72% der Männer und 62% der Frauen. Der Umgang mit PCs ist eine Altersfrage: Fast alle unter 25- Jährigen verwendeten einen PC (95%), dagegen nur 31% der über 54-Jährigen. [...]
>
> Im Jahr 2004 setzten 84% der Unternehmen Computer im Geschäftsablauf ein (2003: 80%) – 78% nutzten dabei das Internet (2003: 74%).“
>
> (STATISTISCHES BUNDESAMT 2005, S. 5)

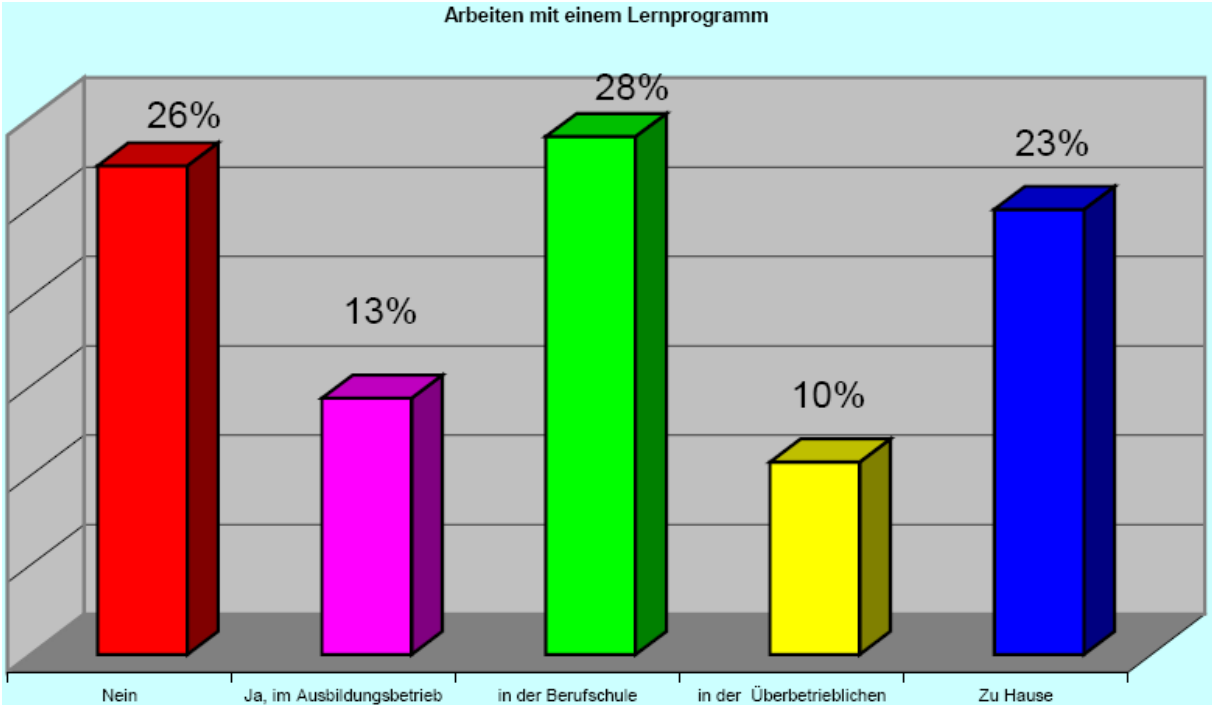
Menschen unter 25 Jahren kommen dabei nicht nur im Rahmen ihrer Ausbildung mit dem PC in Kontakt, sondern haben ihn bereits in das Privatleben integriert:

> „So ist der PC insbesondere aus dem Alltag Jugendlicher bzw. junger Erwachsener kaum mehr wegzudenken: Für 96% der Befragten unter 25 Jahren gehört der Computer zum Alltag. Doch auch von den 25- bis 44-Jährigen haben 9 von 10 Personen mittlerweile schon einmal einen PC genutzt."
>
> (STATISTISCHES BUNDESAMT 2004, S. 16)

Aus dem Berufsbildungsbericht 2005 geht hervor, dass lediglich 4,7 % aller Auszubildenden 25 Jahre oder älter sind, wobei das Durchschnittsalter bei 19,4 Jahren liegt (vgl. BMBF 2005, S. 95). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass ca. 90% aller Auszubildenden über einen Standard-PC verfügen und diesen im Rahmen ihres Alltags auch für anfallende Aufgaben zu bedienen wissen.
Auch die Analyse der Teilnehmer von beruflichen Weiterbildungsmaßnahmen ergibt, dass der Umgang mit dem PC für einen Großteil der Teilnehmer als unproblematisch zu erachten ist. Von allen Teilnehmern, die im Jahr 2004 eine berufliche Weiterbildungsmaßnahme[1] erfolgreich abgeschlossen haben, sind 99,8% zwischen 15 und 54 Jahren alt (vgl. BMBF 2005, S. 256). Diese Altersgruppe (bezogen auf die Gesamtbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland) hatte 2003 gemäß einer Pilotstudie des Statistischen Bundesamtes im Schnitt zu 87,9% bereits Erfahrungen mit der Nutzung von Computern (vgl. S. 29). Rechnerisch ergibt sich für ca. 87% der an beruflichen Weiterbildungsmaßnahmen teilnehmenden Personen, dass diese Erfahrungen mit der Nutzung von Computer besitzen.

Um zu erheben, ob die Auszubildenden der kraftfahrzeugspezifischen Berufe sowohl über Rechner als auch Internetanschluss verfügt, wurde eine bundesweite Umfrage von 8507 Auszubildenden zum Kraftfahrzeugmechatroniker durchgeführt (vgl. BURGMER, SORIAL 2005). Unter anderem ergab sie, dass 87 Prozent der Befragten über einen Computer verfügen, der für Lernzwecke außerhalb der klassischen Lernorte genutzt werden könnte. Darüber hinaus sind 72 Prozent der entsprechenden Haushalte mit einem Internetanschluss versorgt. Offensichtlich nutzen jedoch weitere 20 Prozent der Befragten das Internet an anderen Orten, denn lediglich 8 Prozent der Befragten gaben an, dass sie das „Surfen im Internet" nicht beherrschen.
Damit bestätigt sich die aufgrund der Untersuchungen des STATISTISCHEN BUNDESAMTES sowie des BUNDESMINISTERIUMS FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (vgl. S. 29) getroffene Aussage, dass der größte Teil der in Ausbildung befindlichen Menschen über die nötige Infrastruktur verfügt, um webbasierte Lernangebote wahrnehmen zu können. An der Übertragbarkeit der steigenden Tendenz von verfügbaren Computern und Internetanschlüssen besteht indes kein Grund zum Zweifel.
Die folgende Grafik unterscheidet die Lernorte „Betrieb", „Schule", „überbetriebliche Ausbildungsstätte" und „Wohnsitz" und zeigt darüber hinaus, dass die Jugendlichen einen verfügbaren Computer durchaus auch außerhalb der klassischen Lernorte zu Lernzwecken benutzen:

[1] Diese Angabe bezieht sich auf Teilnehmer einer beruflichen Weiterbildungsmaßnahme nach dem SGB III




(Mehrfachnennungen möglich)

*Orte der Nutzung von Lernprogrammen (SORIAL 2006, S. 109)*

Die grundsätzliche Bereitschaft, Lernangebote auch außerhalb von Betrieb, Schule und überbetrieblichen Lernorten wahrzunehmen scheint also ebenfalls gegeben zu sein. Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Voraussetzungen für die Nutzung eigener Rechner und Internetanschlüsse im Privathaushalt für Lernzwecke mit Zugriff auf webbasierte Lernangebote erfüllt sind.

Moderne Rechner verfügen mittlerweile über ausreichend Rechen- und Speicherkapazitäten, um alle Standard-Applikationen bequem und schnell bedienen und nutzen zu können. Besondere Anwendungen mit extrem rechenintensiven Algorithmen wie z.B. 3D-Rendering oder Videobearbeitung werden hier ausdrücklich nicht zu den Standard-Applikationen gezählt, obwohl viele preiswerte Rechner auch derartiger Anforderungen problemlos bewältigen. Darüber hinaus verfügen moderne Rechner stets über einen hochauflösenden Bildschirm, welcher die Anzeige und Wiedergabe von Farbbildern und Videosequenzen erlaubt, sowie über Speichermedien, welche große Datenmengen schnell auslesen und schreiben können (z.B. Festplatte, CD- und DVD-Laufwerke, chipbasierte Speichermedien). Die Modularität heutiger PC-Systeme erlaubt zudem eine bedarfsorientierte und einfache Aufrüstung einzelner Komponenten.
Mit solchen Rechnern als Mediengerät lassen sich alle diskreten (also von der zeitlichen Dimension unabhängigen) Beschreibungsformen darstellen, welche konventionell auf Papier, Karton oder auch Folien als „delivery system" angewiesen waren. Außerdem erlaubt der Computer als Mediengerät die Wiedergabe kontinuierlicher (also zeitlich abhängiger) Informationsträger wie Video oder Audio.

Für einen Diskurs über computergestützte Medien muss man sich zuerst klar machen, was mit „Medien" gemeint ist, bzw. auf welcher Ebene diskutiert werden soll. So zählt eine digitalisierte Abbildung auf dem

Bildschirm ebenso zu den didaktischen Medien wie ein komplettes Learning-Management-System. Allerdings liegen diese Systeme so weit auseinander, dass sich sie nicht miteinander vergleichen lassen. Um dem Mediendiskurs in den folgenden Anschnitten einen eindeutigen Rahmen zu geben, wird eine Unterscheidung in fünf Ebenen vorgenommen:

- Management-Ebene
- Kurs-Ebene
- Modul-Ebene
- Seiten-Ebene
- Element-Ebene

Auf der **Management-Ebene** sind Lernplattformen anzusiedeln, welche dem Lerner noch keine konkreten Lerninhalte anbieten, sondern administrative Funktionen erfüllen. Derartige Learning-Management-Systems (LMS) bzw. Learning-Suites gliedern die zur Verfügung stehenden Lehrgänge und stellen übergeordnete Funktionen organisatorischer oder kollaborativer Art (Statistiken, Chat, Email, Kalender usw.) zur Verfügung.

Mit der Verbreitung des Internets und der Verfügbarkeit von Breitbandanschlüssen in den verschiedensten Bildungseinrichtungen, am Arbeitsplatz und zu Hause steht ein leistungsfähiges Netzwerk zur Verfügung, welches als Basis für zahlreiche Kommunikationstechnologien wie Email, Chat, Diskussionsforum usw. dient. Mit dem WWW steht ein Dienst zur Verfügung, der die unterschiedlichsten Anwendungen ermöglicht. Immer mehr Menschen machen von diesen Technologien Gebrauch:

> „Die Nutzung des Internet nimmt weiter zu: 58% der Bevölkerung ab 10 Jahren gingen im ersten Quartal 2004 ins Internet, 2002 waren es erst 46%. Auch die Internetnutzung ist stark altersabhängig: 86% der 10- bis 25-Jährigen waren online, aber nur 22% der über 54-Jährigen."
>
> (STATISTISCHES BUNDESAMT 2005, S. 6)

Im Zuge dieser Entwicklung haben sich neben rein computergestützen Lernsystemen (Computerbased Training, CBT) auch netzbasierte Systeme (Web-based Traing, WBT) etabliert. WBTs nutzen zur Darstellung von Inhalten häufig einen Standard-Internet-Browser und sind somit auf standardisierte Webtechnologien beschränkt[1]. Ihre Inhalte sind auf Internet-Servern hinterlegt, sodass für ihre Nutzung eine ausreichend leistungsfähige Internetverbindung bestehen muss. Dies gilt insbesondere für Lernangebote, die eine Übertragung von datenintensiven Inhalten wie beispielsweise Video oder Sequenzen großer und hochauflösender Bilder beinhalten.

Gängige Systeme integrieren verschiedene Kommunikationsfunktionen und ermöglichen somit kollaborative Lernformen. Derartige Funktionen stehen mit nicht-vernetzten Einzelplatzrechnern, wie sie für CBTs grundsätzlich ausreichend sind, nicht zur Verfügung. Die zwingend notwendige Internetverbindung wird den webbasierten Angeboten oft als Nachteil ausgelegt. Für den Einsatz derartiger Lernangebote ist da-

[1] Auf die technischen Möglichkeiten und Grenzen wird in Kapitel 4 genauer eingegangen.

her zu überprüfen, ob die jeweiligen netzwerktechnischen Bedingungen bei der Zielgruppe erfüllt sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein ortsungebundener Zugriff auf das Angebot beabsichtigt wird und der Nutzer selbst für die Netzwerkanbindung sorgen muss.

Mittlerweile existieren zahlreiche kommerzielle und nichtkommerzielle Lernplattformen, welche eine große Vielfalt von Funktionen für die Realisierung und Distribution von Lernangeboten unter Verwendung gängiger Web-Technologien zur Verfügung stellen (vgl. BAUMGARTNER ET AL. 2002,).

SCHULMEISTER identifiziert die folgenden Funktionsbereiche, die er als konstitutive Merkmale von WBTs bezeichnet (vgl. SCHULMEISTER 2003):

- Eine Benutzerverwaltung stellt sicher, dass jeder Benutzer aufgrund einer zwingend erforderlichen Anmeldung am System identifiziert werden kann. Die Identifikation ist für die Bereitstellung von Funktionen erforderlich, die individuelle Parameter erfordern (z.B. Fortschritt in einem Kurs, persönliche Nachrichten und Mitteilungen usw.).
- Ein Rollensystem mit differenzierter Rechtevergabe stellt aufgrund der Benutzeranmeldung sicher, dass jedem Benutzer ausschließlich die aufgrund seiner Rolle erforderlichen Funktionen angeboten werden. Ein typisches Rollenmodell unterscheidet zwischen den folgenden Rollen:
    - Administratoren können Kurse und Benutzer im System anmelden und freischalten. Darüber hinaus sind sie in der Lage, das Design der Plattform zu editieren. Generell beschränkt sich ihre Zuständigkeit auf alle administrativen Vorgänge, die das System selbst betreffen. In diesem Sinne sind sie nicht für die Pflege der Inhalte selbst verantwortlich.
    - Trainer erstellen und editieren die Inhalte ihrer Kurse. Sie können nur Einfluss auf die von ihnen selbst eingestellten Inhalte nehmen. Im Rahmen des Zuständigkeitsbereiches der von ihnen erstellten Kurse sind zudem in der Lage, Benutzer für ihre Kurse zuzulassen oder zu sperren.
    - Trainees stellen die eigentliche Zielgruppe der Plattform dar. In diesem Sinne können sie Inhalte abrufen und die zur Verfügung stehenden Funktionen zur Unterstützung des Lernprozesses nutzen, haben aber keinen direkten Einfluss auf die Inhalte.

  Die Ausführung dieser Rollen gestaltet sich nicht immer trennscharf, sodass in der Praxis häufig Rollen mit vermischten Rechten vorkommen.
- Im Rahmen der Kursverwaltung erfolgt die Zuordnung der einzelnen Benutzer und Ressourcen zu einem Kurs. Auf diese Weise können einmal abgelegte Materialien in mehreren Kursen genutzt werden.
- Tools wie Chat, Email, Foren, Kalender, Notiz- und Kommentarfunktionen sollen den Lernprozess auf verschiedene Weise unterstützen. Während Kommunikationswerkzeuge den synchronen oder asynchronen Austausch von Informationen mit anderen Benutzern unterstützen, sind individuelle Notizen und Kommentare (je nach System) nur dem Benutzer zugänglich, der sie erstellt hat.

Die Darstellung der angebotenen Funktionen wird ebenfalls durch die Plattform realisiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Nutzung des Systems ausschließlich durch Funktionen realisiert werden kann, die über das Intra- oder Internet mit allen gängigen Browsern weitestgehend einheitlich dargestellt werden können.
Die Plattformen unterscheiden sich teilweise signifikant im Bezug auf die Verwaltung von Benutzern und deren Rechten bzw. Rollen, Kursen und die Implementierung und Leistungsfähigkeit von Kommunikationswerkzeugen. Die Darstellung von Inhalten, insbesondere unter Verwendung computerbasierter Darstellungsformen, ist hingegen bei allen Plattformen gegeben, wenngleich es bei der Ausgestaltung der Darstellung ebenfalls Unterschiede zu verzeichnen gibt (vgl. SCHULMEISTER 2003). Für die Realisierung von Lernangeboten, welche sich auf virtuelle Medien beschränken können, besteht ein breites Angebot.

Auf der Kursebene ist die Gesamtheit eines zusammenhängenden Kursangebots angesiedelt. Oft liegen diese als Kurse oder Lehrgänge vor. Wenn solche Kurse ohne eine ganze Lernplattform verwendet werden, können sie auch als Lernprogramme bezeichnet werden. Derartige Programme werden zahlreich im Handel angeboten und richten sich oft direkt an den Endverbraucher. Sofern diese Medien dieser Ebene alle didaktischen Handlungen homogen behavioristisch, kognitivistisch oder konstruktivistisch aufbereiten, lassen sie sich auf dieser Ebene den oben beschriebenen Kategorien (drill-and-practice, intelligentes tutorielles System, Simulation usw.) zuschreiben. Nicht selten jedoch werden die vorgesehenen Inhalte auf verschiedene Weisen dargeboten, sodass sich die Zuordnung nach lernpsychologischen Kategorien auf dieser Ebene noch nicht eindeutig vollziehen lässt.

Möglicherweise ist das didaktische Medium auf der Modul-Ebene in weitere Kapitel (Module) unterteilt, die entweder

- Verschiedene Themen auf die gleiche Weise anbieten (in diesem Fall wäre das Programm recht eindeutig klassifizierbar),
- Das gleiche Thema auf unterschiedliche Weise darbieten (in diesem Fall handelt es sich um ein hybrides Programm) oder
- Verschiedene Themen auf verschiedene Weise präsentieren (auch dies ist ein hybrides Lernangebot).

Hybride Lernmedien können also nicht mehr eindeutig einem Paradigma zugeordnet werden.
Je nach Tiefe der zugrunde liegenden Struktur einer didaktischen Software kann diese in immer kleinere Informationseinheiten zerlegt werden. Innerhalb dieser Struktur stellt die einzelne Bildschirmseite fast immer die kleinste Einheit dar (Seitenebene) und kann durch Benutzereingaben im Rahmen einer sinngemäßen Verwendung nicht weiter „zerlegt" werden. Viele solcher Bildschirmseiten sind inhomogen (also hybrid) aufgebaut, d.h. sie bestehen aus mehreren einzelnen Medienelementen (z.B. Text mit Abbildung, Animation mit einer zu beantwortenden Frage usw.). Häufig ist es die Seitenebene, die die multimediale Dimension einer Lernsoftware bestimmt, da hier die konkreten Medienelemente mit Inhaltsbe-

zug (also hoffentlich didaktisch sinnvoll begründet) kombiniert werden. Darüber hinaus kann eine Lernplattform oder auch ein nicht vernetztes, lokales Lernprogramm weitere multimediale Techniken realisieren (z.B. Videokonferenzfunktion, multimediale Bedienungsanleitung), jedoch wird dabei kein direkter Inhaltsbezug hergestellt. Eine Seite ist indes ein zu kleines Inhaltselement, als dass es den Charakter eines gesamten computergestützten Lernangebotes determinieren könnte. So kann eine einzelne Seite per se kein adaptives Lernsystem mehr realisieren, da sie prinzipiell statisch aufgebaut ist. Ein solches Konzept muss auf einer höheren Ebene verortet oder durch dynamische Medienelemente innerhalb der Seite realisiert werden.

Der Element-Ebene sind schließlich die konkreten Medienelemente zuzuordnen. Dies können statische Texte, Bilder, Grafiken, Videosequenzen, Audiosequenzen oder dynamische Animationen bzw. Simulationen sein. Die statischen Medienelemente unterscheiden sich auf formaler Ebene vor allem durch die Modalität, die bei der Wahrnehmung vorrangig beansprucht wird. Wie bei den nicht-computerbasierten, elektronischen Medien werden hier Informationen in erster Linie visuell, auditiv oder multimodal präsentiert. Wie weiter unten erläutert wird, kann hier noch nicht von Multimedia im eigentlichen Sinne gesprochen werden. Die in sich dynamischen Medien Animation und Simulation können sehr unterschiedlicher Art sein und ggf. als eigenständiges „Mikrolernsystem" angesehen werden. Auch hierauf wird auf den folgenden Seiten noch detaillierter eingegangen. Als gemeinsames Merkmal dieser konkreten Medien kann gelten, dass sie innerhalb eines didaktischen Lernangebotes die kleinsten Beschreibungsformen eines Inhaltselements darstellen. Zwar lässt sich ein Text prinzipiell weiter in einzelne Sätze oder sogar Worte zerlegen, jedoch geht dabei die inhaltliche Aussage des Mediums verloren. NIEGEMANN schlägt vor, solche bedeutungsrelevanten Inhalte als „Lernobjekte" zu bezeichnen. Die Erstellung solcher Lernobjekte kann sehr aufwändig sein, wie die Aufwandseinschätzung von KERRES deutlich macht:

| **Text** | **Audio** | **Einzelbild** | **Bewegtbild** |
|---|---|---|---|
| Niedriger Aufwand; 1 Seite 5 bis 50 € | Mittlerer Aufwand; 1 Min. 50 bis 500 € | Mittlerer Aufwand; 1Min. 50 bis 500 € | Hoher Aufwand; 1 Min. 500 bis 3000 € |

*Aufwandseinschätzung (Produktionskosten) für Lernobjekte (nach KERRES 2003, S. 17)*

Auch wenn diese Einschätzung sicherlich sehr relativ zu sehen ist, so zeigt sie dennoch den enormen Aufwand, der allein für die Produktion der einzelnen Lernobjekte zu erbringen ist. So ist das Bestreben, erstellte Objekte möglichst oft wieder verwenden zu können, gut nachvollziehbar. Zu diesem Zweck existiert mit LOM (Learning object metadata) ein Standard, der Lernobjekte unabhängig hinsichtlich ihres Inhaltes und weiterer Aspekte mit Hilfe von Meta-Daten beschreibt. Derartige Ansätze wurden vom SCORM-Standard (Shareable Content Object Reference Model) zwecks Bildung eines einheitlichen Standards zum Austausch von Lernobjekten aufgegriffen.

Neben den reinen digitalen Adaptionen konventioneller Medien stehen mit Verwendung des Computers als Mediengerät neuartige Beschreibungsformen zur Verfügung, welche für Lernzwecke einen echten

Mehrwert bieten, der mit konventionellen Medien nur mit sehr großem Aufwand oder gar nicht realisierbar wären.

Animationen werden aus einzelnen Bildern zusammengesetzt und erfordern somit bei der Produktion im Gegensatz zum Film bzw. Video keine kontinuierliche Aufnahme von Bildern durch eine Kamera. Animationen werden daher in didaktischen Funktionszusammenhängen häufig dazu eingesetzt, komplexe Zusammenhänge in dynamischer Form lernergerecht zu veranschaulichen und darzustellen.

Dabei wird der menschlichen, auf mechanische Veranschaulichung ausgerichteten Wahrnehmung (vgl. S. 52) insbesondere durch die visualisierende Komponente von Animationen entsprochen. „Visualisierung bezeichnet den Vorgang der Sichtbarmachung von Materie, Energie, Informationen oder Prozessen" (NIEGEMANN ET AL., S. 136) und ist somit für die Darstellung von technischen Systemen, welche nicht selten ein hohes Maß an Komplexität aufweisen, von besonderer Bedeutung. Die synthetische Bilderzeugung in Animationen erlaubt prinzipiell das Einfügen von Kontrollstrukturen, sodass der Lerner innerhalb einer Animation wahlfrei beliebige Informationsangebote abrufen kann, was ein entscheidendes Unterscheidungsmerkmal im Vergleich zum (Trick-) Film darstellt. Darüber hinaus kann die zeitliche Dimension bei der Erstellung frei gewählt werden, sodass Prozesse, die in der Realität mit einer Geschwindigkeit ablaufen, die eine direkte Wahrnehmung raumzeitlicher Merkmale durch den Lerner verhindern, in der Animation beliebig verlangsamt dargestellt werden können.

Eine weitere Beschreibungsform, die auf den Möglichkeiten des Computers als Mediengerät basiert, ist die Simulation. Sie bildet das Verhalten eines realen Systems aufgrund bestimmter Parameter dynamisch ab. Dazu dienen zur Laufzeit der Simulation durchgeführte mathematische Berechnungen als Grundlage für die Ermittlung der Reaktionen des simulierten Systems oder Prozesses auf die ebenfalls zur Laufzeit durch den Nutzer gesetzten Parameter. Auch Simulationen verfügen immer häufiger über visualisierende Komponenten, die in didaktischen Funktionszusammenhängen zur Veranschaulichung von Zusammenhängen genutzt werden können. Die Erstellung von Simulationen kann allerdings äußerst aufwändig sein und beschränkt sich daher in der Regel auf die Abbildung eines Systems innerhalb strikter Grenzen. Insbesondere die Simulation von komplexen Systemen, welche sich unter anderem durch ein hohes Maß an Unbestimmtheit auszeichnen, kann daher häufig nur in Teilausschnitten und nicht in aller Vollständigkeit erfolgen. In Vermittlungsprozessen der Naturwissenschaften wird eine solche Beschränkung auf bestimmte Eigenschaften eines Systems im Rahmen von Experimenten bewusst durchgeführt, um entsprechende Gesetzmäßigkeiten nachvollziehen zu können. Dabei kann die Simulation nicht nur dann eine zu bevorzugende Alternative zum gegenständlichen Medium sein, wenn das Experimentieren mit dem Original beispielsweise aus finanziellen oder organisatorischen Gründen nicht möglich ist. Bei entsprechender didaktischer Gestaltung kann die Simulation beispielsweise durch Nutzung einer Visualisierungskomponente einen Sachverhalt anschaulicher darstellen als das Original und somit für bestimmte Lernzwecke besser geeignet sein.

Die Übergänge zwischen Visualisierung, Animation und Simulation sind dabei nicht eindeutig trennscharf, da das Kriterium der Visualisierung im Grunde kennzeichnend für Animationen ist, allerdings auch wie angedeutet ein bestimmendes Merkmal einer Simulation sein kann.

Da in übergeordnete Zusammenhänge eingebettete Animationen und Simulationen beliebig umfangreich und komplex gestaltet werden können, erfüllen solche Lernobjekte lediglich technisch das Kriterium der nicht sinnvoll durchzuführenden Differenzierung in Bedeutungselemente, welche ja zuvor als Kriterium für ein Lernobjekt definiert wurde. In der Regel liegen solche Applikationen als eine Datei oder ein Softwaremodul vor, welches mit herkömmlichen Mitteln nicht mehr in einzelne Bestandteile zu zerlegen ist. Wenn aber eine solche Applikation mehrere Medien wie Bilder, Bewegtbilder, Texte, Audiosequenzen und die entsprechenden Kontrollstrukturen vereint, wäre sie eher auf der Seiten- oder Modulebene anzusiedeln und daher hinsichtlich ihrer ansprechenden Modalität nicht mehr eindeutig differenzierbar. In solchen Fällen stellt die Applikation ein eigenes didaktisches Lehr- und Lernsystem innerhalb eines übergeordneten Systems dar und müsste somit als Sub- oder Mikrolernsystem betrachtet werden. Wie die Analyse aktueller Webtechnologien noch beschreiben wird, wäre es technisch ohne weiteres denkbar, ein vollwertiges Lernsystem, welches auf der Management-Ebene anzusiedeln wäre, auf der Element-Ebene zu realisieren (vgl. Kapitel 4).

Der Begriff „Multimedia" wurde in der Literatur ausgiebig und durchaus kontrovers diskutiert, wobei sich die Vielfältigkeit des Begriffes in den zahlreichen Definitionsansätzen manifestiert.
Der Einstieg in diese Diskussion soll nicht Gegenstand dieser Arbeit sein; wenn allerdings die Multimediafähigkeit ein wesentliches Merkmal von modernen Computern ist, welches sie maßgeblich von den konventionellen Medien unterscheiden, so muss dieser Begriff im Rahmen dieser Arbeit charakterisiert werden.
WEIDENMANN identifiziert den Begriff Multimedia zunächst als „inkonsistent und theorielos" und legt die für einen wissenschaftlichen Diskurs erforderliche Differenzierung vor. In dieser wird der Begriff in die Kategorien „Medien", „Codierung" und „Modalität" unterteilt (vgl. WEIDENMANN 2002, S. 45ff).
Dabei ergeben sich die folgenden Bedeutungen:

- „Multimedial seien Angebote, die auf unterschiedliche Speicher- und Präsentationstechnologien verteilt sind, aber integriert präsentiert werden, z.B. auf einer einzigen Benutzerplattform. (Dies erlaubt die Unterscheidung zum traditionellen Medienverbund: Beim Medienverbund liegt die Verteilung auf unterschiedliche Medien vor, es fehlt aber die integrierte Präsentation.)
- Multicodal seien Angebote, die unterschiedliche Symbolsysteme bzw. Codierungen aufweisen.
- Multimodal seien Angebote, die unterschiedliche Sinnesmodalitäten bei den Nutzern ansprechen."

(WEIDENMANN 2002, S. 47)

Der Computer kann verglichen mit konventionellen Medien keine zusätzlichen Sinnesmodalitäten ansprechen; ebenso vermag der Rechner als solches keine neuartigen Codierungen mit dem Menschen zu kommunizieren. Die Leistungsfähigkeit des Rechners beruht im Wesentlichen auf der Integration mehrerer Modalitäten und Codierungen in einem Mediengerät. Während konventionelle Medien wie beispielsweise Buch, (Video-) Film oder Tonträger im Rahmen didaktischer Handlungen zusammen ein-

gesetzt zwar eine Medienkombination (Medienverbund) darstellen, welche mehrere Codierungen und Modalitäten benutzen bzw. anzusprechen vermag, leisten sie nicht die für multimediale Lernumgebungen zwingend erforderliche Integration der einzelnen Medien. Erst durch den Einsatz computerbasierter Lernumgebungen ist eine funktionale Vernetzung der kombinierten Medien mit hinreichenden Mitteln möglich. So lassen sich beispielsweise Texte, Grafiken oder Videostreams in einer einheitlichen Oberfläche präsentieren und funktional vernetzen.

Dabei wird insbesondere die Möglichkeit der Interaktivität, die mit computergestützen Lernumgebungen prinzipiell gegeben ist, als ein wesentliches, lernförderliches Merkmal ausgewiesen.

„Als ein wesentlicher Mehrwert von Multimedien gelten neue Formen von Interaktivität. Es ist vor allem dieses Merkmal, das sie für didaktische Zwecke interessant erscheinen lassen" (KERRES 2001, S. 100).

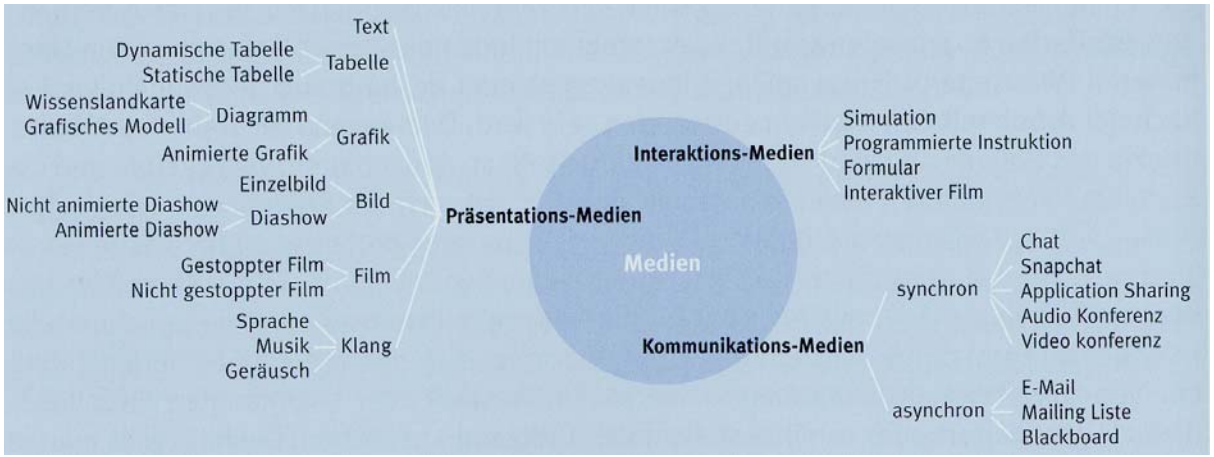
Allgemein definiert NIEGEMANN den Begriff:

> „Als Interaktion bezeichnen wir aus sozialwissenschaftlicher Perspektive das wechselseitige handelnde aufeinander Einwirken zweier Subjekte. Seit digitale Medien Funktionen menschlicher Kommunikationspartner übernehmen können, kann diese Definition (metaphorisch) erweitert werden auf Fälle, in denen eines der Subjekte durch ein entsprechendes technisches System ersetzt wird."
>
> (NIEGEMANN ET AL. 2004, S. 109)

In der folgenden Einteilung computerbasierter Medien beinhaltet die Gruppe der Präsentationsmedien alle konventionellen Medien. Werden diese auf dem Computer dargestellt, so können mit den beschriebenen Mitteln (z.B. Hypertext) durchaus interaktive Elemente in konventionelle Medien einfließen.

Offensichtlicher wird der interaktive Anteil bei den Interaktions-Medien: Diese durch künstliche Intelligenz repräsentierten Medien funktionieren nur, wenn der Nutzer entsprechende Informationen in das System eingibt. Eine nicht-interaktive Nutzung ist bei dieser Gruppe folglich nicht möglich.

Dies gilt auch für Kommunikations-Medien, jedoch wird die Rolle des Computers auf die reine Übertragung von Daten reduziert. Die eigentliche Interaktion findet zwischen zwei oder mehr menschlichen Interaktionspartnern statt.



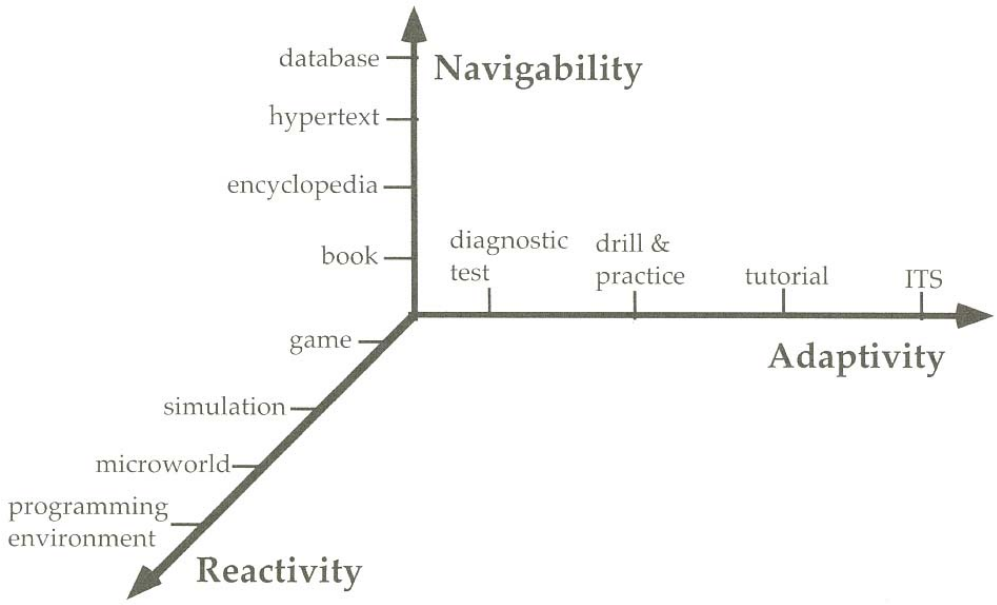

*Arten computergestützter Medien (EHLERS ET AL. 2003, S. 60)*

> „Der Begriff Interaktivität lässt sich als abgeleiteter Begriff verstehen, der in Bezug auf Computersysteme die Eigenschaften von Software beschreibt, dem Benutzer eine Reihe von Eingriffs- und Steuermöglichkeiten zu eröffnen. In den bisher häufig unscharfen Definitionen werden die aktive Rolle des Benutzers und die Freiheitsgrade der Auswahl als konstitutiv für die Interaktivität eines Computerprogramms betrachtet, im Idealfall auch die wechselnde Dialoginitiative von Mensch und Computer."
>
> (HAACK 2002, S. 128)

Bleibt man auf dieser sehr allgemeinen Ebene, dann ist jedes computerbasierte Medium als hochgradig interaktiv zu verstehen, da ja der Computer an sich schon auf Benutzereingaben reagiert. Der Computer ist sogar ein Mediengerät, welches ohne Interaktivtät (also ohne jegliche Benutzeraktivität) nicht nutzbar ist; schließlich reagiert der Computer in fast allen Fällen lediglich auf Eingaben des Benutzers: Bei Betätigung der Computermaus bewegt sich der Mauszeiger, und bei Benutzung der Tastatur erscheinen Buchstaben auf dem Bildschirm. Nach dieser Auffassung von Interaktivität wäre auch ein Buch interaktiv: Beim „Umblättern" wird automatisch ein anderer Inhalt „angezeigt". Es ist also offensichtlich, dass eine derartige Auffassung von Interaktivität für didaktische Zwecke kein Kriterium darstellen kann.
Für den weiteren Verlauf der Arbeit scheint jedoch eine Klassifizierung sinnvoll, welche den didaktischen Grad bzw. die didaktische Qualität der Interaktivität in den Vordergrund stellt. In Anlehnung an SCHULMEISTER kann die Qualität interaktiver Funktionen in drei Ebenen unterteilt werden:

> - „Eine reaktive Interaktion ist eine Antwort auf präsentierte Stimuli, z.B. eine Antwort auf eine gestellte Frage
> - Proaktive Interaktion betont die Konstruktion und generierende Aktivitäten des Lernenden. Die Handlungen des Lernenden gehen über die Auswahl vorhandener Informationen und die Antwort auf vorhandene Strukturen hinaus und generieren einzigartige Konstruktionen und Elaborationen jenseits der vom Designer eingerichteten Regeln.
> - Wechselseitige Interaktion findet in Designs mit künstlicher Intelligenz oder virtueller Realität statt, in denen Lerner und System sich wechselseitig anpassen können."
>
> (SCHULMEISTER 1997, S. 47)

Eine sehr ähnliche Auffassung müssen MIDORO / OLIMPO ET AL. vertreten haben, als sie die folgende Klassifikation von Lernprogrammen aufgrund der implizierten didaktischen Qualität vorgenommen haben:




*Klassifikation von Lernprogrammen nach MIDORO / OLIMPO et al. (SCHULMEISTER 1997, S. 47)*

KERRES sieht in der Quelle der der Interaktivität zugrunde liegenden Daten ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal. Relevant ist dabei, ob die Daten bereits fertig in gespeicherter Form vorliegen oder ob diese aufgrund von Benutzeraktivitäten zur Laufzeit generiert werden.

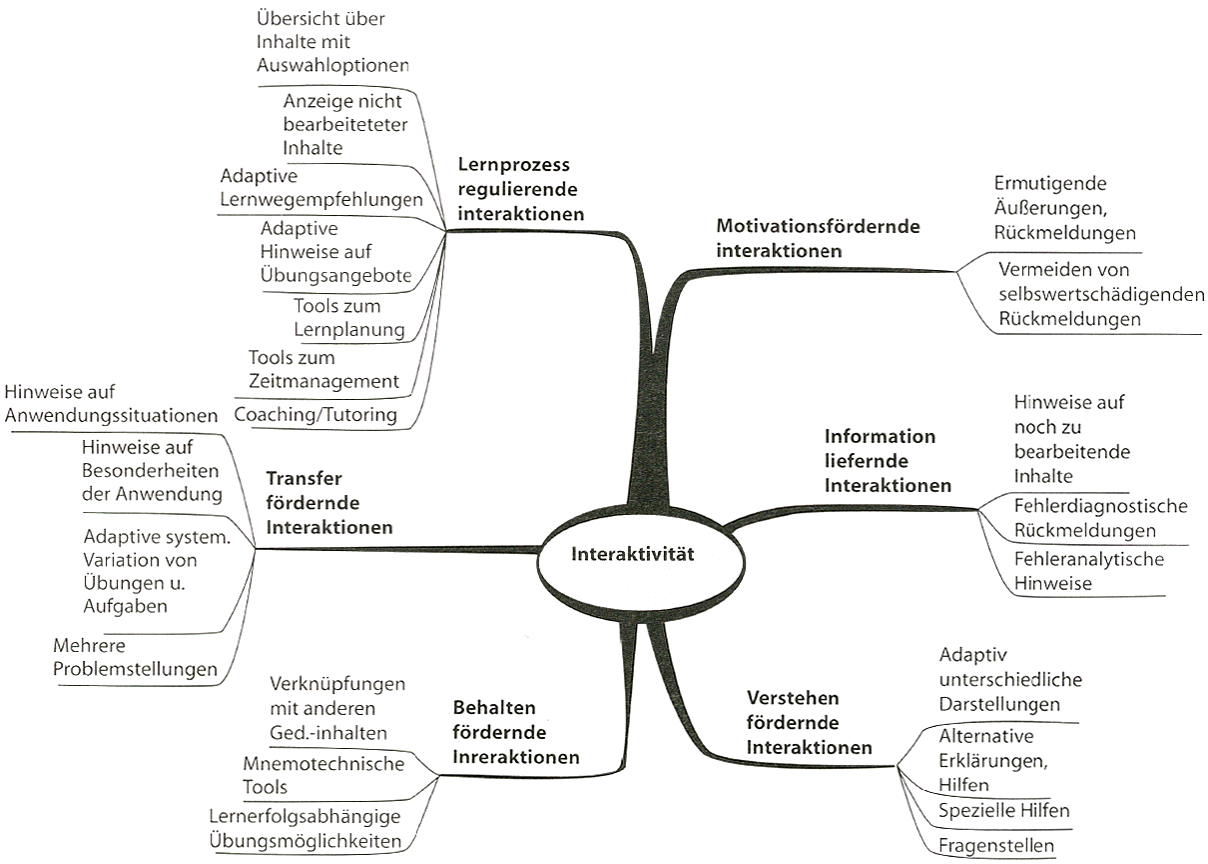
Für die Interaktivität bei gespeicherten Multimedia-Informationen liegen diese in einer physikalischen Anordnung auf einem Speichermedium vor. Damit ein Medium den interaktiven Zugriff auf diese Daten ermöglichen kann, muss die starre Informationsanordnung durch die Möglichkeit des wahlfreien Zugriffs aufgebrochen werden. Konventionelle Medien wie Buch, Videofilm oder Audio-CD ordnen Informationen stets linear an. Zwar kann jede Stelle in dieser linearen Struktur abgerufen werden, der Sprung bzw. das Auffinden der gewünschten Stelle ist jedoch der sequentiellen Anordnung der Informationen unterworfen und erfordert teilweise aufwändige Verfahren wie Spulen oder Blättern. Bei Medien mit wahlfreiem Zugriff sind die Informationen zwar ebenfalls linear auf Datenträgern gespeichert, dem Nutzer bleibt die physikalische Anordnung jedoch verborgen und wird durch komfortable Zugriffsfunktionen ersetzt, welche den unmittelbaren Aufruf einer gewünschten Information ermöglichen. Diese Zugriffsmöglichkeit ist Voraussetzung für zahlreiche reaktive Basistechnologien, welche die Funktionalität moderner Lernmedien (E-learning) maßgeblich prägen. Auf diese Weise werden Navigationen, Frage-Antwort-Schemata und auch Hypertext und Hypermedia realisiert.

> „Bei der Rezeption eines Mediums entwickelt der Lerner ein kognitives Schema insbesondere der zeitlichen sowie logischen Struktur der präsentierten Information [...] Bei einem linearen Medium (Video, Buch) deckt sich dieses kognitive Schema in weiten Teilen mit der physikalischen Organisation dieser Information auf dem Speichermedium. [...] Es findet keine Entkoppelung der zeitlichen Organisation auf dem physikalischen Speichermedium und der mentalen Repräsentation dieser Struktur beim Lerner statt. Es ist dieser Zusammenhang von physikalischer Speicherorganisation einerseits und mentaler Repräsentation beim Nutzer andererseits, der bei einem interaktivem Medium aufgebrochen wird."
>
> (KERRES 2001, S. 101f)

Wird dieser Sachverhalt als zwingendes Merkmal von Interaktivität in didaktischen Funktionszusammenhängen angesehen, so wird deutlich, dass die konventionellen Medien nicht interaktiv sein können.

Interaktivität bei generierter Multimedia-Information setzt hingegen voraus, dass das Lernsystem in der Lage ist, die relevanten Informationen in hinreichender Echtzeit, d.h. ohne merkliche Zeitverzögerung, eigenständig zu generieren. Auf diese Weise kann eine Information aufgrund von registrierbaren Benutzeraktivitäten entsprechend eines mathematischen Modells erzeugt werden. Dieses Prinzip liegt wie oben beschrieben auch der Simulation zugrunde, sodass es weitestgehend auch die gleichen didaktischen Möglichkeiten zur Verfügung stellt und den gleichen Einschränkungen unterliegt. Für den Lerner bietet sich nicht nur die Möglichkeit eines wahlfreien Abrufs einer vorgegebenen Information, sondern ihre aktive Gestaltung im Rahmen der vorgegebenen Freiheitsgrade. Auf dieser Grundlage können ganze virtuelle Welten (virtual reality) realisiert werden. Allerdings unterliegt auch diese Interaktivität Grenzen, nämlich denen des Modells, welches zur Berechnung der Daten zur Laufzeit dient. KERRES gibt jedoch zu bedenken, dass die Qualität der Interaktivität nicht allein davon abhängig ist, ob sie durch Abruf oder Generierung interaktiver Daten realisiert wird: „Die erlebte Qualität der Interaktivität des Systems hängt [...] nicht mit dem Typ der multimedialen Information zusammen: So kann eine Multimedia-Anwendung mit umfangreichem Videomaterial mehr Interaktivität vermitteln als ein Virtual Reality-System" (ebd., S. 102). Diese Aussage ist allerdings nur dann haltbar, wenn das Lernsystem Welten oder Systeme simuliert, über die in ausreichendem Maße Informationen vorliegen und wenn diese im interaktiven Lernsystem abgespeichert sind. Die erforderliche Datenmenge stellt somit einen limitierenden Faktor für die Realisierung von Interaktivität durch Abruf vorhandener Daten dar. So ist die fotografische Aufnahme eines Gegenstandes aus verschiedenen Perspektiven für die Umsetzung einer entsprechenden virtuellen Welt noch relativ einfach umzusetzen. Sobald dieser Gegenstand allerdings abhängig von weiteren Faktoren (z.B. verschiedene Lichtquellen) dargestellt werden muss, steigt der Aufwand für die Umsetzung signifikant, sodass eine grafische Simulation des Gegenstandes mit Berechnung aller notwendigen Faktoren nicht nur den geringeren Aufwand verursacht, sondern je nach Berechnungsmodell auch beliebig viele perspektivische und lichttechnische Einstellungen erlaubt. Auf diese Weise realisieren beispielsweise moderne Computerspiele fotorealistische Welten, in denen sich der Benutzer völlig frei bewegen kann und quasi unendlich viele Freiheitsgrade hat. Ein weiterer Vorteil der Interaktivität auf Grundlage berechneter Daten wird offensichtlich, wenn Welten oder Systeme interaktiv erschlossen werden sollen, die es in der Wirklichkeit nicht gibt oder wenn über diese nicht in ausreichendem Maße Daten zur Vorratsspeicherung erhoben werden können. Der Aufwand für die künstliche Herstellung dieser Daten kann im Vergleich zur Erstellung eines mathematischen Modells also auch unverhältnismäßig hoch sein.

NIEGEMANN ET AL. sehen die hauptsächliche Aufgabe von Interaktivität darin, das Fehlen eines Lehrers auszugleichen: „Im Bereich des E-learning haben wir es in der Regel mit Interaktionsketten zu tun, deren Idealtyp (außer beim kooperativen bzw. kollaborativen Lernen) der Situation eines einzelnen Lernendem mit einem kompetenten Privatlehrer oder Coach nahe kommt" (NIEGEMANN ET AL. 2004, S. 109). Dementsprechend sieht er die folgenden Funktionen von Interaktivität:




*Funktionen von Interaktivität (NIEGEMANN 2001, S. 84)*

Diese Darstellung zeigt das weite Funktionsspektrum von Interaktivität in didaktischen Handlungszusammenhängen. Es wird offensichtlich, dass durch den Einsatz von Interaktivität mehr erreicht werden kann, als der bloße Ersatz des Lehrers in klassischen Unterrichtssituationen. Damit greift NIEGEMANNS Auffassung von Interaktivität zu kurz, schließlich schreibt er doch der Interaktivität auch Informationen zu, die nicht pauschal durch jeden Lehrer verfügbar wären. In diesem Sinne kann dieser nicht beliebig adaptiv unterschiedliche Darstellungen von Inhalten realisieren; zu diesem Zweck wäre er ebenso auf ein interaktives Medium angewiesen wie ein computergestütztes Lernsystem ohne personalen Lehrer. Analog dazu kann im Rahmen personellen Unterrichts auch nicht pauschal die Umsetzung aller angeführten Aspekte der einzelnen Funktionen unterstellt werden. Für die Realisierung „Mnemotechnischer Tools" ist beispielsweise auch ein Lehrer auf entsprechende Hilfsmittel angewiesen, wobei diese nicht computerbasiert sein müssen. Es wird folglich neben dem Ersatz des Lehrers in seiner lernorganisatorischen Funktion der Ersatz verschiedenster Medien selbst offensichtlich. Werden spezifische Medien selbst interaktiv gestaltet (z.B. eine Simulation), so entspricht dies mehr als dem bloßen Ersatz einer Lehrperson. Derartig interaktive Medien stellen also einen wesentlichen Mehrwert computerbasierter Medien im Vergleich zu konventionellen Medien dar.

# 2.4 Aspekte der Fachdidaktik Technik

## 2.4.1 Wissenschaftsorientiertes Technikverständnis

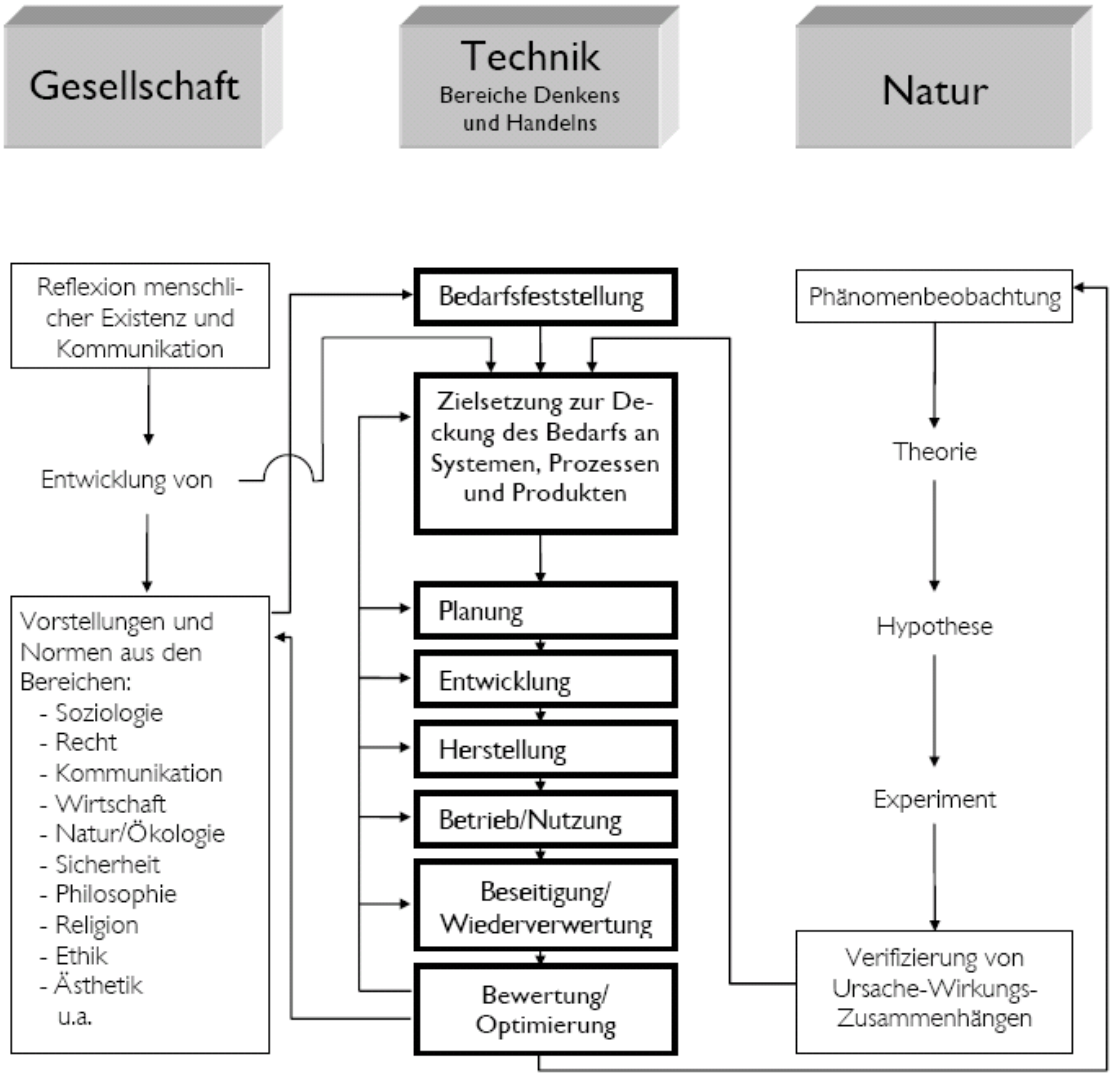
Das Verständnis des Begriffs „Technik" ist ausgesprochen inhomogen, wird er doch in den verschiedensten wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Disziplinen innerhalb der Fach- und Umgangssprache mit völlig unterschiedlicher Bedeutung verwendet.

Der Blick in entsprechende Nachschlagewerke identifiziert den Begriff als aus dem Altgriechischen stammend, wo er mit „Fähigkeit", „(Kunst-) Fertigkeit" und „Handwerk" übersetzt wird. So definiert „der Brockhaus" den Begriff als

> „konstruktives Schaffen von Erzeugnissen, Vorrichtungen und Verfahren unter Benutzung der Stoffe und Kräfte der Natur und unter Berücksichtigung der Naturgesetze. Für das technische Schaffen sind so wesentlich: Die schöpferische Idee, die Kenntnis der Naturgesetze, der Materialien und ihrer Eigenschaften sowie der Möglichkeiten ihrer Bearbeitung und schließlich das wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedürfnis."
>
> (BROCKHAUS 1983, S. 105)

Dabei fällt zunächst auf, dass der Begriff neben den technischen Erzeugnissen (die nicht immer materiell sein müssen) eine aktive menschliche Tätigkeit, die „technische Handlung" impliziert.

Neben der Technik selbst bedingen zwei Größen das technische Denken und Handeln maßgeblich: Die Gesellschaft (also letztendlich der Mensch) und die Natur (Umwelt). Die folgende Darstellung stellt diese Größen mit der Technik in Beziehung, indem sie sie in Bereiche einteilt, die Prozesse innerhalb eines Bereiches veranschaulicht und die Wechselwirkungen zwischen den Bereichen aufzeigt:




*Technik als Wirklichkeitsbereich zwischen Mensch, Gesellschaft und Natur (nach SCHÜLER 1994) (RAIMER 2002, S. 7)*

Eine menschliche Eigenschaft stellt die Reflektion der eigenen Existenz dar, sodass im Bereich „Gesellschaft" Normen und bestimmte Vorstellungen entwickelt werden. Derartige Prozesse können zur Feststellung eines bestimmten Bedarfs führen, welcher innerhalb des Bereiches „Technik" zur Zielsetzung führt, den festgestellten Bedarf zu befriedigen. Nach der Planungs-, Entwicklungs- und Herstellungsphase wird das entstandene technische Objekt[1] genutzt und muss schließlich entsorgt werden. Jeder dieser Prozesse mündet in einer Bewertung, welche stets eine Optimierung als Ziel hat. Dabei stehen derartige Prozesse stets in Zusammenhang mit menschlicher Arbeit und schließlich dem Menschen selbst, sodass als Bewertungskriterien immer auch gesellschaftliche Anforderungen einfließen. Die Ergebnisse dieser Bewertung können die zuvor genannten Prozesse einschließlich der Setzung neuer oder veränderter Ziele beeinflussen. Entsprechende Ergebnisse einer Bewertung können aber auch Einfluss auf die Bildung

[1] Ein technisches Objekt kann ein Artefakt (also ein stofflicher Gegenstand), eine Information oder eine Energie sein.

und Weiterentwicklung gesellschaftlicher Normen haben. Dieser Rückkopplungseffekt versinnbildlicht die angedeutete Wechselwirkung, in der Mensch und Technik stehen.
Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Handlungen sind im Bereich „Natur" beobachtete und analysierte Phänomene in der Natur selbst oder auch in künstlichen Artefakten (z.B. technischen Objekten), hier aber vorwiegend durch den Vorgang der Bewertung. Die Ursache solcher Phänomene - also der Zusammenhang von Ursache und Wirkung – wird typischerweise durch die Entwicklung von Theorien und Hypothesen ergründet und durch entsprechende Experimente nachgewiesen. Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse fließen ggf. in die Zielsetzungen zur Befriedigung eines Bedarfes durch technisches Denken und Handeln ein, sodass ein weiterer Rückkopplungseffekt unter Einbindung des Bereiches „Technik" identifiziert ist.
Es wird deutlich, dass für technische Zielsetzungen nicht allein technische Kriterien ausschlaggebend sind, sondern sowohl die Gesellschaft als auch die Natur einen bedeutenden Einfluss auf technische Denk- und Handlungsprozesse haben. Die ständige Reflektion bei den beschriebenen Phasen hat ebenso Einfluss auf die Gesellschaft und die Natur. Technik steht also in direkter Wechselwirkung mit beiden Bereichen. Die häufig anzutreffende Auffassung, Technik sei lediglich die Anwendung von Naturwissenschaften, ist somit falsch.
BURGMER fasst die Merkmale der Technik wie folgt zusammen:

- „Technik ist die zweck- und zielorientierte Veränderung der Umwelt mit materiellen Mitteln.
- Technik stellt die Gesamtheit der Verfahren dar, die unter Ausnutzung von Naturgesetzmäßigkeiten und Erfahrungswissen zur Umwandlung von Stoffen, Umformung von Energie, und Verarbeitung von Informationen eingesetzt werden.
- Technik muss stets in Zusammenhang mit aufzuwendender menschlicher Arbeit gesehen werden.
- Technik ist nicht wertneutral, sie wird gesellschaftsbezogen bewertet.
- Technik realisiert sich in der Herstellung technischer Produkte und in dem Betrieb technischer Einrichtungen.
- Herstellungs- und Nutzungsanforderungen bedingen einen Optimierungsprozess.
- Grundlegender Bedeutungsinhalt des Technikbegriffes ist die Prozessorientierung.
- Zentrale Denk- und Handlungsweise des Menschen in der Technik ist die Überwindung von Barrieren vom unerwünschten zum erwünschten Zustand."

(BURGMER 1985, S. 9f)

ROPOHL identifiziert in Abhängigkeit der Einbeziehung von technischen Handlungen und Artefakten drei Verständnisse für den Begriff „Technik":

- Der „weite Technikbegriff" umfasst jede Art von kunstfertiger Verfahrensroutine. In diesem Sinne werden alle Verfahren als Technik begriffen, die einen bestimmten Sinn oder Zweck verfolgen und „planvoll orientiert sind an Erfahrungen und Nachdenken" (ROPOHL 1999, S. 29). Dies hat zur Folge, dass Kochen ebenso zur Technik gezählt werden müsste wie medizinische Unter-

suchungstechniken oder die Bewegungstechniken aller Sportarten. Es liegt auf der Hand, dass ein derart weit gefasster Technikbegriff nicht als Grundlage für eine zweckorientierte Didaktik der Technik, wie sie für das Lehren, Lernen und die Auswahl entsprechender Inhalte erforderlich wäre, dienen kann, da sie „alle menschliche Praxis ins Spiel brächte und keinen überschaubaren Teilbereich abgrenzen würde" (ebd., S. 30).

- Der „enge Technikbegriff" meint ausschließlich die materiellen und immateriellen Artefakte (Sachsysteme[1]), also Betriebsmittel wie Maschinen und Apparate, sowie die Produkte technischer Handlungen, nicht jedoch die menschlichen Handlungen selbst. Begründet wird diese Exklusivität damit, dass das für technische Handlungen erforderliche Wissen subjektiv im Individuum verortet ist und daher durch dessen Individualität maßgeblich beeinflusst wird. Eine derart sachsystemfixierte Anschauung von Technik muss damit als Fundament für technische Bildung ebenso ausscheiden, da „die gemachten Sachen als eine vom Menschen abgelöste Eigenwelt erscheinen würden" (ebd., S. 30).
- Der „mittlere Technikbegriff" umfasst einerseits die technischen Artefakte (das künstlich Gemachte) und andererseits alle menschlichen Handlungen, die sich mit diesen Artefakten befassen. Bei genauerer Betrachtung schließt dies zwei Arten von Handlungen ein:
    - Handlungen, die die Herstellung technischer Artefakte verfolgen und
    - Handlungen, die die Benutzung von Artefakten implizieren.

Dieser „mittlere Technikbegriff" soll als grundlegendes Technikverständnis herangezogen werden. Somit sei für diese Arbeit folgende Charakterisierung gültig:

„Technik umfasst

1. die Menge der nutzerorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme)
2. die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und
3. die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden."

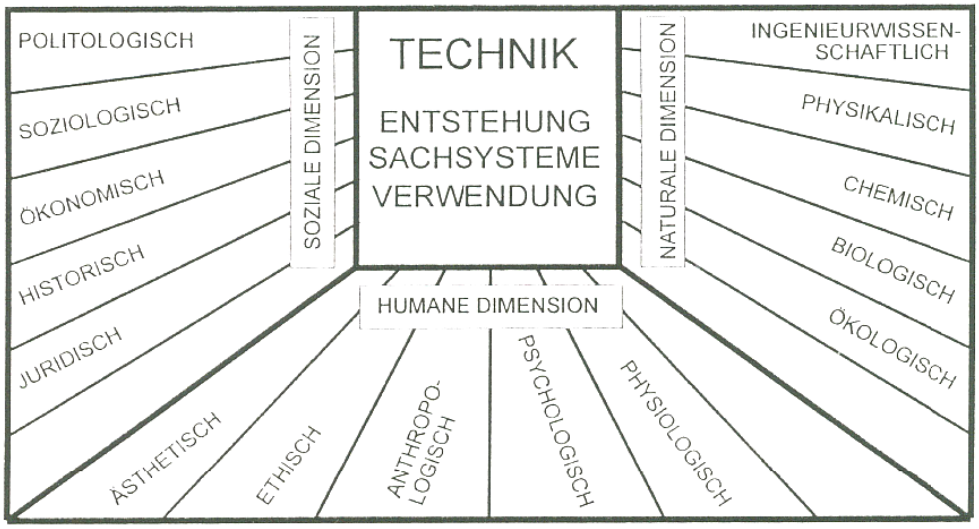
(ebd., S. 31)

Diese Menge an technischen Artefakten und Handlungen ist zunächst einmal nur eine Menge konkreter Erfahrungswirklichkeit und stellt somit kein eigenständiges, wissenschaftliches Konstrukt dar. Die Technologie – und darin liegt der entscheidende Unterschied dieser im allgemeinen Sprachgebrauch oft synonym verwendeten Begriffe – greift nun diese Menge auf und erfasst die „Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich" (ebd., S. 32), also die Menge der die Technik beschreibenden wissenschaftlichen Disziplinen. Damit wäre die Technologie als „die Wissenschaft von der Technik" definiert. Diese Menge setzt sich aus zahlreichen Disziplinen (also speziellen Technologien) zusammen, sodass jede Einzelne unmöglich in vollem Umfang in eine allgemeine technische Bildung einbezogen werden kann. „Dagegen ist die allgemeine Technologie eine generalistisch-interdisziplinäre

[1] Unter einem „Sachsystem" sei hier an Anlehnung an ROPOHL die Menge aller technischen Hervorbringungen verstanden; als „Sache" werden alle Dinge verstanden, die Produkte menschlicher Absicht und Arbeit sind.

Technikforschung und Techniklehre; sie ist die Wissenschaft von den allgemeinen Funktions- uns Strukturprinzipien technischer Sachsysteme und ihrer soziokulturellen Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge.“ (ebd., S. 32).

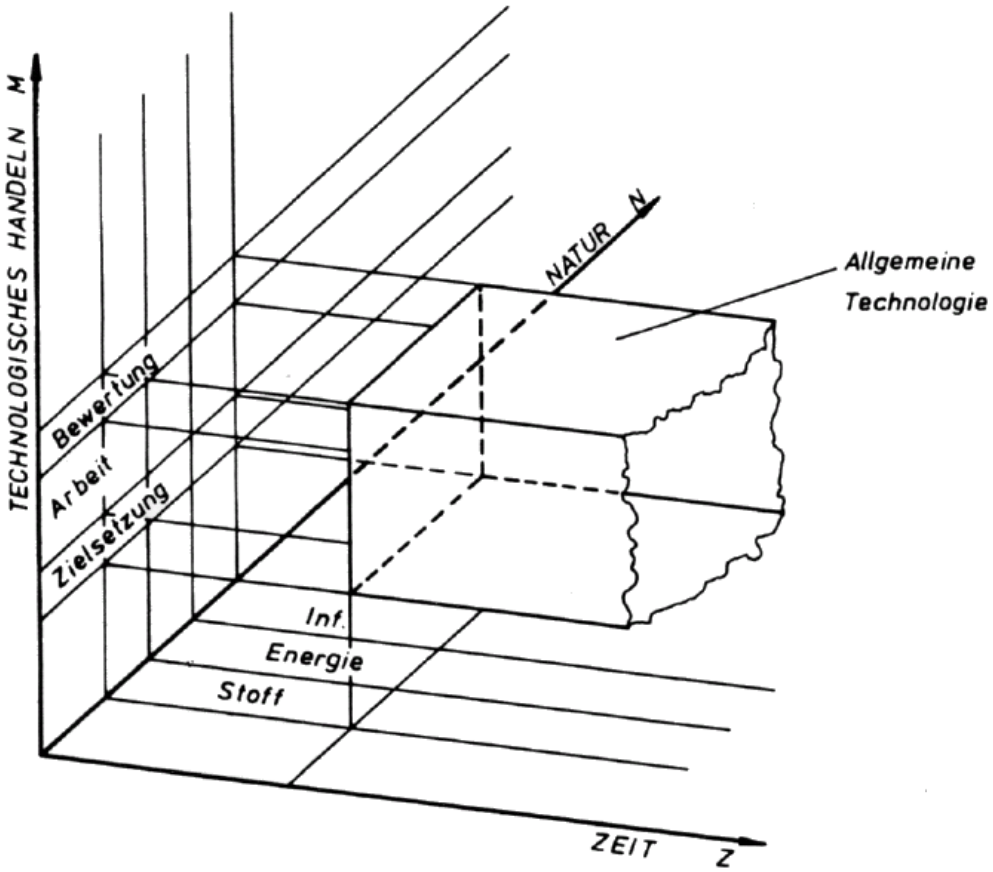
Die folgende Darstellung zeigt drei Dimensionen, die jeweils aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet werden können:




*Dimensionen und Erkenntnisperspektiven der Technik (ROPOHL, 1999, S. 32)*

In Bezug auf die Darstellung der technikrelevanten Bereiche (vgl. S. 44) entsprechen die naturale Dimension dem Bereich „Natur“ und die soziale und humane Dimension dem Bereich „Gesellschaft“. Ein weiteres Mal wird deutlich, dass Technik nicht isoliert, sondern in Beziehung zu Mensch und Natur gesehen werden muss.

Eine etwas andere Form der Darstellung verwendet ARP, indem er die beschriebenen technischen Handlungen (hier zusammengefasst zu „Zielsetzung“, „Arbeit“ und „Bewertung“) in einem dreidimensionalen Koordinatensystem gegen die Zeit und die Natur (hier differenziert in die Grundformen „Stoff“, „Energie“ und „Information“) aufträgt:




*Allgemeine Technologie (nach ARP, 1984, S. 15)*

Die Ebene NZ stellt die so genannte „Basis allen Geschehens" dar, und die Ebene MN symbolisiert die klassische Naturwissenschaft. In der Ebene MZ spiegelt sich das geisteswissenschaftliche Selbstverständnis wieder, sofern „technologisches Handeln" als menschliche Handlung verstanden wird. Die Allgemeine Technologie wird schließlich als ein Quader dargestellt, welcher Teilbereiche der Natur- und Geisteswissenschaften impliziert, sodass die zeitliche Veränderung des technologischen Handelns ebenso abgedeckt wird wie solche Änderungen, die die Natur in Abhängigkeit der Zeit vollzieht. Diese zeitabhängigen Entwicklungen sind dafür verantwortlich, dass die Allgemeine Technologie ständigem Wandel und Aktualisierungsprozessen unterworfen ist.

HÄRTEL, der technologische Handlungen in zwei Grundformen einteilt, „nämlich technologisches Gestalten als ‚mehr auf Kreativität und Reflexion ausgerichtete Form' und technologisches Umsetzen als ‚mehr auf Realisation und Praxis ausgerichtete Form' des Handelns" (BURGMER 1985, S. 18), hat für jede Grundform eine allgemeingültige Matrix erstellt, welche für eine systematische Einteilung der Technik auch in Zukunft noch herangezogen werden kann, da die Teilbereiche hinreichend abstrakt betrachtet werden:

| | Erschließen von Gestaltungsideen | | Gestalten von Produkten | |
|---|---|---|---|---|
| **Gestal-tungs-bereich** | **Wirkprinzip** | **Funktionsstruktur** | **Bauelemente** | **Technische Systeme** |
| **Stoff** | Stoffeigenschaften/ mechanische Wirk-prinzipien<br>z.B. Werkzeugkunde techn. Mechanik | Kopplung von Wirk-prinzipien zu Pro-blemlösungen<br>z.B. Konstruktionslehre | geometrische Ge-stalt/ mechanische Eigen-schaften von Bau-elementen<br>z.B. Maschinenelemente | Aufbau/mechanische Eigenschaften und Funktionen techn. Systeme<br>z.B. Werkzeugmaschinen |
| **Energie** | energetische Wirkprinzipien<br>z.B. technische Wärmelehre | Verknüpfung von energetischen Wandlungs-/Transport-/ Speichervorgängen<br>z.B. Energietechnik | energietechnische Bauelemente<br>z.B. Bauelemente der elektrischen Energietechnik | energietechnische Systeme<br>z.B. Kraftwerksanlagen |
| **Information** | Informationstech-nische Wirkprinzipien<br>z.B. Messwerterfassung | Aufbau von Informationstech-nischen Funktionsketten<br>z.B. Regelungstechnik | Informationstech-nische Bauelemente<br>z.B. Bauelemente der Nachrichtentechnik | Informationstech-nische Systeme<br>z.B. Automationssysteme |

*Matrix der Grundform „Technologisches Gestalten" (nach HÄRTEL, 1984)*

| **Funktionsklasse (nach G. ROPOHL)** | | **Wandlung** | | **Transport** | **Speicherung** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Art der Veränderung (nach H. WOLFFGRAMM)** | | **Strukturänderung** | **Formänderung** | **Ortsänderung** | |
| Gegen-stands-bereich | **Stoff** | physikal./chem. Umwandlung<br>z.B. Verfahrenstechnik | geometrische Gestaltgebung<br>z.B. Fertigungstechnik | Orts-/Lageänderung<br>z.B. Fördertechnik | Lager-/Speicher-Vorgänge<br>z.B. Lagertechnik |
| | **Energie** | Energiewandlung<br>z.B. Kraftmaschinentechnik | Energieumformung<br>z.B. Transformatortechnik | Energietransport<br>z.B. Hochspannungs- und Übertragungstechnik | Energiespeicherung<br>z.B. Wärmespeichertechnik |
| | **Information** | Informations-wandlung<br>z.B. Messtechnik | Informations-verarbeitung<br>z.B. Computertechnik | Informations-transport<br>z.B. Nachrichtenübertragungs-technik | Informations-speicherung<br>z.B. Magnetspeichertechnik |

*Matrix der Grundform „Technologisches Umsetzen" (nach HÄRTEL, 1984)*

Damit liegt eine systematische Einteilung technischer Teildisziplinen vor, welche als Bezugswissenschaft für ein wissenschaftsorientiertes Technikverständnis dient.

Daraus ergeben sich eine Reihe didaktischer Konsequenzen für technischen Unterricht:

- Wenn vorausgesetzt wird, dass das Ziel technischen Unterrichtes der Erwerb von Fähigkeit zu technologischem Handeln ist, dann legt die Allgemeine Technologie eine fachwissenschaftlich legitimierte und beschreibbare Zielkomponente vor.

- Die Allgemeine Technologie strebt eine möglichst vollständige, systematische Beschreibung invarianter Handlungen zur Umsetzung von Stoff, Energie und Information an. Obwohl die Vollständigkeit aufgrund der oben aufgezeigten Weiterentwicklung nie erreicht werden kann, so kann die Allgemeine Technologie dennoch als Orientierung für die Auswahl und Strukturierung von Inhalten für technischen Unterricht dienen.
- Neben den Inhalten lassen sich außerdem Hinweise auf techniktypische Methoden aus den invarianten Handlungen gewinnen.
- Analog dazu kann eine Übersicht über techniktypische Informationsträger und Beschreibungsformen (Medien) generiert werden und mediendidaktisch genutzt werden.

(vgl. BURGMER 1985, S. 23f und RAIMER 2002, S. 12)

## 2.4.2 Vermittlungsprozesse in technischen Bildungsprozessen

Finden Vermittlungsprozesse zu Zwecken technischer Aus- oder Weiterbildung statt, so sind technische Systeme, welche typischerweise Gegenstand technischer Bildungsprozesse sind, als Träger von Informationen in didaktischen Funktionszusammenhängen aufzufassen.

BURGMER definiert Medien im direkten Zusammenhang mit Vermittlungsprozessen im Rahmen technischer Bildung:

> „Didaktische technische Medien sind Träger/Vermittler von Informationen über technische Systeme in Vermittlungsprozessen im technischen Unterricht."

(BURGMER 1985, S. 113)

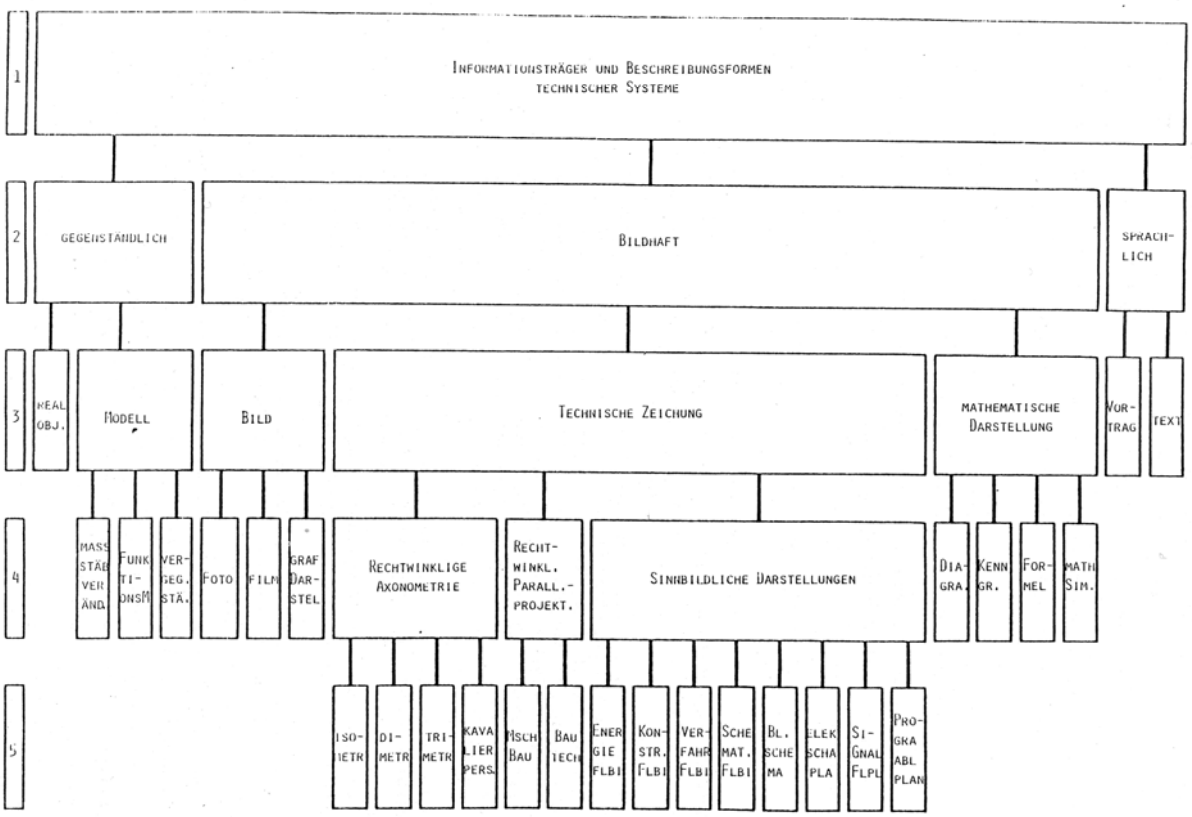
Dabei ist zwischen dem technischen System als Träger von Informationen und dem übermittelnden Medium zu unterscheiden. Ein weiteres Mal manifestiert sich die Doppeldeutigkeit des Medienbegriffes, diesmal in Bezug auf technische Vermittlungsprozesse:

> „Weiter zwingt die hier intendierte Absicht, Lerner mit technischen Systemen kommunizieren zu lassen, zu einer [...] Annahme: Um sich über technische Systeme [...] zu verständigen, müssen diese in eine Form oder zum Ausdruck gebracht werden, d.h. sie müssen in Beschreibungsformen oder Informationen [...] vorliegen; die Form der Beschreibung trägt also die Information über das technische System zum Lerner. Damit ist hier nicht das materielle Gebilde, auf dem sich die Information befindet, gemeint; ebenfalls unberücksichtigt bleibt hier die Art und Weise, wie die Information einem Lerner präsentiert wird. Technische Systeme werden somit als Beschreibungsformen, bzw. Informationen zum Lerner getragen; daher werden nicht die technischen Systeme selbst, sondern deren Beschreibungsformen und Darstellungsarten, hier Informationsträger genannt, klassifiziert."
>
> (ebd., S. 89)

Um eine Grundlage für die Auswahl von Medien im Rahmen von Unterrichtsplanungen zu gewinnen, klassifiziert BURGMER die Informationsträger und Beschreibungsformen für technische Systeme entsprechend ihres Grades an Anschaulichkeit bzw. Abstraktion. „Hierbei wird unter Abstraktion sowohl Vorgang wie Ergebnis des willkürlichen Herauslösens bestimmter raumzeitlicher Merkmale und/oder ihrer Relationen aus einem komplexen Original zum Zwecke der Kommunikation verstanden; anders ausge-

drückt: Ein Herauslösen sowohl ganzer Klassen von Sinneswahrnehmungen [...] als auch einzelner Sinnesmerkmale" (ebd., S. 89). Anschaulichkeit kennzeichnet die Ähnlichkeit mit dem originalen Realobjekt bzw. Ereignis hinsichtlich seiner raumzeitlichen Merkmale und wird somit im Sinne von Authentizität verwendet. „Steigende Abstraktion bedeutet dabei fallende Anschaulichkeit; Abstraktion und Anschaulichkeit sind also gegenläufig" (ebd., S. 89)

Abb. 15: Informationsträger und Beschreibungsformen für technische Systeme




*Informationsträger und Beschreibungsformen für technische Systeme (BURGMER 1985, S. 90)*

TULODZIECKI legt eine Klassifikation von Präsentationsformen vor, die mit der von BURGMER vorgenommenen Kategorisierung auf Ebene 2 und 3 im Wesentlichen übereinstimmt:

„ Die Inhalte können dabei in verschiedener Weise gegeben sein, und zwar:

- in realer Form, z.B. bei der realen Begegnung mit Menschen, Tieren, Pflanzen und Sachen,
- in modellhafter Form, z.B. beim Rollenspiel oder beim Umgang mit Modellen,
- in abbildhafter Form, z.B. bei der Information durch realgetreue oder schematische Darstellungen,
- in symbolischer Form, z.B. bei der Information durch verbale Äußerungen oder nicht-verbale Zeichen."

(TULODZIECKI 1992, S. 46)

Dabei betont er, „dass jede Präsentationsform [...] für den Lernprozess bestimmte Vorzüge und Probleme hat" (ebd., S. 46) und dass darauf zu achten sei, dass modellhafte, abbildhafte und symbolische Präsentationsformen zu irreführenden Vorstellungen führen können, wenn diese nicht „entweder direkt auf reale Erfahrungen mit dem jeweiligen Sachverhalt oder indirekt durch Vergleiche oder Analogieschlüsse auf reale Situationen bezogen werden können" (ebd., S. 47).

Das bedeutet, dass für technische Bildungsprozesse die Erfahrungsbildung mit technischen Realobjekten zwingend notwendig ist und somit als charakteristisch bezeichnet werden kann. Technische Systeme sind allerdings häufig äußerst komplex und nicht nach didaktischen, sondern nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien gestaltet. Dies hat zur Folge, dass der Grad der Anschaulichkeit äußerst gering sein kann, sodass für ein Systemverständnis bereits umfassende Kenntnisse seitens des Lerners vorhanden sein oder durch zusätzliche Medien ergänzt werden müssen. Somit sind sie zu Lernzwecken nicht unmittelbar geeignet, obwohl sie der immer wieder gestellten Forderung nach Praxisnähe entsprechen. Da auf ihren Einsatz zu Bildungszwecken nicht verzichtet werden kann, muss ein geeigneter Unterricht die mangelhafte Eignung realer technischer Objekte zu Lernzwecken mit geeigneten Mitteln kompensieren. Diese Kompensation kann im Rahmen technischer Bildungsprozesse nur durch eine zweckmäßige Kombination komplexer, technischer Realobjekte mit geeigneten, didaktischen Medien realisiert werden.

Auf diese Weise können Inhalte abstrakt, dafür aber nachvollziehbar vermittelt werden. Somit eignen sich abstrakte Beschreibungsformen für die Vermittlung bestimmter Teilkenntnisse eines komplexen, technischen Systems unter Umständen besser als eine direkte Konfrontation mit sämtlichen Aspekten des gesamten Systems. BURGMER begründet diese tendenziell bessere Eignung mit der Relevanz von Veranschaulichung für menschliches Lernen:

> „Verstehen bedeutet für den auf optische Daseinsorientierung ausgerichteten Menschen immer mechanische Veranschaulichung. Es ist daher unmittelbar einsichtig, welche Bedeutung den Medien im technischen Unterricht in diesem Zusammenhang zukommt, etwa bei der mechanischen Veranschaulichung elektrotechnischer und informationstechnischer Inhalte."
>
> (BURGMER 1986, S. 134)

Findet der technische Bildungsprozess im Rahmen konventionellen Unterrichts statt, so obliegt die sinnvolle Anordnung und Kombination der zur Verfügung stehenden Medien dem Lehrer. Die entsprechenden Vorbereitungen hat dieser dann im Rahmen seiner Unterrichtsplanung zu treffen. Wenn diese Vorbereitung und Planung als wesentliches Merkmal von Unterricht gelten darf, und Unterricht durch diese Eigenschaft von „spontanem Lernen" abgegrenzt werden kann, so liegt jeder Form von Unterricht ein gezieltes methodisches Vorgehen zugrunde. Die durch den Lehrer geplante Methodik berücksichtigt dabei die einzusetzenden Medien in besonderem Maße:

> „Wenn Methoden verstanden werden als gedachte Handlungsmuster, die die einzelnen Unterrichtsschritte determinieren, und Medien als Träger / Vermittler von Informationen über technische Systeme deren Inhalte in codierter Form darstellen, dann realisieren somit Medien die vorgegebene Methode unter Beachtung sachlich richtiger Darstellung der Inhalte."
>
> (BURGMER 1985, S. 153)

Eine Methode ist zunächst immer abstrakt, sie konkretisiert sich erst, wenn Medien definiert werden, die den Lernern im Rahmen des Unterrichts eine Erfahrungsbildung auf Grundlage von Kommunikations- und Interaktionsprozessen ermöglichen.

> „Medien sind ‚tiefgefrorene' Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen – zumeist in Form von Unterrichts- oder Lehrmaterialien. Sie müssen im Unterricht durch das methodische Handeln von LehrerInnen und SchülerInnen wieder ‚aufgetaut' werden."
>
> (JANK, MEYER 1991, S. 211)

Alle gegenständlichen Informationsträger, also Realobjekte und jede Art von Modellen sind ihrer Natur gemäß interaktiv. Der durch die Systemeigenschaften bestimmte Informationsvorrat liegt nicht linear vor, vielmehr muss er dem gegenständlichen Medium durch aktive Handlungen entnommen werden, sodass das Kriterium des Aufbruchs des Zusammenhangs zwischen physikalischer Informationsspeicherung und mentaler Repräsentation grundsätzlich gegeben ist. Es existieren zahlreiche computerbasierte Beschreibungsformen technischer Systeme, deren Funktion auf die reine Ablösung klassischer „delivery systems" wie Papier, Tonträger oder Videobändern durch digitale Informationsträger beschränkt und daher als Adaption zu verstehen ist. In der Regel bietet die bloße Digitalisierung, welche als Voraussetzung für die Adaption konventioneller auf computergestütze „delivery systems" gelten kann, für Lernzwecke kaum einen direkt nutzbaren Vorteil. Die Motive für die Digitalisierung sind wohl eher im Bereich der Erstellung, Verwaltung und Distribution von Computermedien zu suchen, da mit der Verwendung von computerbasierten Beschreibungsformen teilweise signifikante Zeit-, Leistungs- und Kostenvorteile einhergehen. Für die Erstellung und Bearbeitung digitaler Beschreibungsformen bzw. Informationsträger ist stets ein Rechner in Verbindung mit einer geeigneten Software erforderlich. Während die Hardwareplattformen in weiten Teilen einheitlich und miteinander kompatibel ausfallen, hat sich im Bereich der Anwendersoftware eine hochgradige Spezialisierung vollzogen. Dabei bietet jede Anwendung ein auf spezielle Zwecke ausgelegtes Leistungsspektrum. Beispielsweise existieren allein zum Zwecke der zeichnerischen Darstellung technischer Systeme verschiedenste CAD-Anwendungen, welche sich durch entsprechende Softwareerweiterungen nochmals spezialisieren lassen. Bei Bedarf werden verschiedene Darstellungsformen innerhalb einer Anwendung integriert, sodass hybride Darstellungen entstehen. Die in BURGMERs Klassifikation suggerierte Trennschärfe zwischen den einzelnen Beschreibungsformen zu den bildlichen und sprachlichen Beschreibungsformen ist bei Einbeziehung computerbasierter Medien somit nicht immer in der Form gegeben.

Eine allgemeingültige Klassifizierung von Medien in technischen Bildungsprozessen unter Einbeziehung der computerbasierten Medien kann nun nicht mehr auf einer derart konkreten Ebene wie bei BURGMER einzelne Informationsträger und Beschreibungsformen voneinander unterscheiden. Die sehr hohe Anzahl verschiedenartiger Beschreibungsformen würde eine eindeutige Unterscheidung zwar erschweren, im Grunde wäre sie aber noch realisierbar. Da jedoch mittlerweile jede Softwareanwendung mit zahlreichen nutzerseitig vorzunehmenden Einstellungen in hohem Maße individualisierbar ist, existieren keine

eindeutigen Unterscheidungsmerkmale mehr; die Übergänge zwischen den einzelnen Kategorien wären somit unscharf und eine exakte Einteilung wäre nicht möglich. Eindeutige Unterscheidungskriterien, wie sie für eine Klassifizierung erforderlich sind, lassen sich nur noch auf einer abstrakteren Ebene beschreiben. Die folgende Darstellung verwirft daher die Anordnung konkreter Medien nach Abstraktions- bzw. Anschaulichkeitsgrad und stellt stattdessen die technische Dimension des Mediums als Unterscheidungskriterium in den Mittelpunkt.

| | Kategorien von Medien in didaktischen Funktionszusammenhängen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Medien-kategorie** | nicht-elektronisch | | elektrisch / elektro-nisch | virtuell (computerbasiert) | | gegenständlich |
| **Medien-technologie** | analog | | analog / digital | digital | | analog |
| **Informa-tionsträger** | perso-nell | materiell | materiell | materiell | | materiell |
| **mediale Eigenschaft** | dyna-misch | statisch | statisch | statisch | dyna-misch | dynamisch |
| **Konkrete Medien-form** | Sprache<br>Laute<br>Mimik<br>Gestik | Bild<br>Grafik<br>Schrift | Bild<br>Grafik<br>Video<br>Schrift<br>Sprache<br>Ton | Bild<br>Grafik<br>Video<br>Schrift<br>Sprache<br>Ton | Anima-tion<br>Simula-tion | Modell<br>Komponente<br>Realobjekte |

Auf diese Weise entstehen vier Kategorien:

**Nicht-elektronische Medien** erfordern für eine Vermittlung kein technisches Mediengerät. Da digital codierte Informationen nur mit technischen Mediengeräten kommuniziert werden können, liegen in dieser Kategorie alle Informationen in analoger Form vor. Die klassischen Lehr- und Lernmedien basieren auf materiellen Informationsträgern wie z.B. Papier, welches nach wie vor vielen Lernmedien als etabliertes Trägermaterial dient. Daher sprechen diese Medien in erster Linie den visuellen Sinneskanal an; ihre konkreten Medienformen sind vor allem Bilder, Grafiken und geschriebene oder gedruckte Texte. Die gleichen konkreten Medienformen können in besonderen Fällen auch haptisch erfasst werden, wie es z.B. bei der Blindenschrift der Fall ist. Die nicht-elektronischen Medien erfordern keine weiteren Mediengeräte für ihre Darstellung und können mit den menschlichen Sinnesorganen direkt wahrgenommen werden, wie es z.B. bei Büchern oder auch bei Personen der Fall ist. Ein spezifisches Merkmal für technische Lehr- und Lernprozesse ist, dass zahlreiche Informationen mit verschiedenen künstlich generierten Grafiken (welche unterschieden werden von den Bildern, welche stets eine reale Bildquelle besitzen, wie z.B. Fotos oder Dias) dargestellt werden. Eine Übersicht über die einzelnen Formen geometrischer und mathematischer Darstellungen und technischer Zeichnungen ist BURGMERS Darstellung (vgl. S. 51) zu entnehmen. Allen materiellen Informationsträgern mit Ausnahme der gegenständlichen Medien ist zueigen,

dass sie sich zum Zeitpunkt ihrer Benutzung nicht verändern können und daher Informationen lediglich statisch darstellen können.
Der in klassischen Schulszenarien wohl etablierteste Informationsträger ist der Mensch selbst. Dieser kann in der Rolle des Schülers oder Lehrers in Form von gesprochener Sprache und Lauten (also auditiv wahrnehmbaren Signalen) oder in Form von Gestik und Mimik konkretisiert werden. Auch hier gibt es Fälle, bei denen der auditive Sinneskanal nicht genutzt werden kann und wie z.B. bei der Gebärdensprache durch visuelle Sinnesreize ersetzt wird. Da der Mensch bei der Sendung von Informationen gleichzeitig Reize seiner Umgebung (z.B. eines Gesprächspartners) wahrnimmt und zumindest bis zu einem gewissen Grad zeitgleich verarbeitet, kann er individuell auf diese Reize reagieren. Der Mensch kann somit als ein dynamisches Medium bezeichnet werden.

**Elektrische und elektronische Medien** sind für eine sinngemäße Darstellung von Informationen stets auf technische Mediengeräte angewiesen. Dabei werden Computer allerdings aus weiter unten darzustellenden Gründen ausgeklammert. Aufgrund der technischen Entwicklung bei den informationsspeichernden und –wiedergebenden Geräten kann zwischen analoger und digitaler Informationsspeicherung unterschieden werden.
Die Informationsspeicherung und –wiedergabe basiert bei den analogen Geräten auf Prinzipien, bei denen die Informationsdarstellung auf dem Speichermedium mittels einer der eigentlichen Information proportionalen physikalischen Größe realisiert wird. So speichern beispielsweise die Magnetbänder von Audio- oder Videokassetten die Informationen analog in Form von magnetischen Feldstärken ab; für die Wiedergabe wird diese Größe lediglich sensorisch erfasst und verstärkt. Für das Abspielen der Information ist also eine Interpretation durch das Mediengerät nicht erforderlich. Die serielle Art der Informationsspeicherung lässt den wahlfreien Zugriff auf die gespeicherten Inhalte praktisch nicht zu, sodass Interaktivität im oben beschriebenen Sinne mit derartigen Medien nicht möglich ist.
Digitale Medien speichern ihre Informationen ebenfalls durch die Konservierung physikalischer Größen; die für Analogmedien typische Proportionalität ist allerdings nicht gegeben. Vielmehr werden die analogen Daten (z.B. Ton oder Bild) digitalisiert und somit in einer codierten Form auf dem Datenspeicher abgelegt. Die für die Digitaltechnik charakteristische Differenzierung lediglich zweier Informationszustände (logisch „1“ oder „0“) erfordert für die Informationswiedergabe nach der sensorischen Erfassung zusätzlich eine Interpretation durch das darstellende Mediengerät, beispielsweise in Form einer digital-analog-Wandlung. Diese analogen Informationen müssen dann wiederum durch geeignete Ausgabegeräte in für den menschlichen Wahrnehmungsapparat rezipierbare Größen umgewandelt werden. Der wahlfreie Zugriff ist mit digitalen Medien wie z.B. Audio-CDs oder DVDs grundsätzlich möglich, jedoch sehen die für die Darstellung der Medien erforderlichen Mediengeräte keine Plattform vor, die diesen Zugriff und somit die Möglichkeit der Interaktivität in eine zu Lernzwecken taugliche Bedienung integrieren. Die Geräte sind auf den Medienkonsum ausgerichtet und versetzten den Benutzer in eine passive Rolle, welche reaktive oder proaktive Interaktion nicht vorsieht. Was bleibt, ist lediglich eine navigative Interaktion, bei der durch das Medium keine Inhalte erzeugt, sondern lediglich gespeicherte Inhalte abgerufen werden.

Zusammenfassend sind also analoge und digitale Medien auf materielle Informationsträger angewiesen und können Informationen zur Laufzeit nicht verändern, weshalb sie als statisch zu betrachten sind. Die navigative Interaktivität lässt sich jedoch so einsetzen, dass dem Lerner eine reaktive oder proaktive Interaktivität suggeriert wird. Tatsächlich werden dabei aufgrund von einfachen Benutzereingaben lediglich entsprechende fest abgespeicherte Inhalte unabhängig von ihrer physikalischen Anordnung wiedergegeben. Auf diese Weise wurden in der Vergangenheit die viel zitierten Bildplatten-Lernsysteme oder in der Gegenwart die spielerischen Zugaben auf Video-DVDs realisiert.
Elektrische bzw. elektronische Medien erlauben die Darstellung vieler monomodaler Medienformen, wie z.B. Bild, Grafik, Schrift, Ton oder Sprache. Die Kombination von konkreten Medienformen, die verschiedene Sinnesmodalitäten zur gleichen Zeit ansprechen, erlaubt die Wiedergabe multimodaler Medienformen, allen voran die Kombination von Bild und Ton in Form von Film oder Video.

**Virtuelle Medien** basieren auf einem Computer als Mediengerät und können daher auch als computerbasierte Medien bezeichnet werden. Viele moderne Medienwidergabegeräte stellen indes aufgrund des internen Aufbaus mit Mikroprozessoren und anderen computertechnischen Bauteilen einen Mikrocomputer dar, jedoch unterscheiden sich diese Geräte durch ein Merkmal wesentlich von den hier gemeinten Computern: Der Computer erlaubt die Verarbeitung beliebiger Software, während die Software in einem Medienwidergabegerät weitestgehend fix vorgegeben und nur in sehr kleinem Rahmen variiert werden kann.
Auch moderne Computer speichern Informationen digital auf materiellen Informationsträgern. Jedoch erfolgt hier die Interpretation der digital kodierten Informationen nicht ausschließlich für die Wiedergabe dieser Informationen und deren Darstellung in einer auf den Menschen zugeschnittenen Weise. Stattdessen besteht die Möglichkeit, geeignete Informationen auch im semantischen Sinne zu dekodieren und für eine anschließende Verarbeitung zu interpretieren. Dabei finden programmierte Algorithmen (z.B. in Form eines Betriebssystems) Anwendung, welche eine intelligente Verarbeitung zur Laufzeit erlauben und den Rechner somit zu einem intelligenten Medium machen, welches die Wiedergabe dynamischer Medien erlaubt.
Damit bieten computerbasierte Medien eine programmierbare Plattform, mit der ein Computer neben der reinen Darstellung der gespeicherten Informationen diverse Möglichkeiten für die Integration von lerngerechten Benutzeroberflächen bietet. So besteht die Möglichkeit, die Informationswiedergabe interaktiv zu gestalten. Dies bezieht sich neben dem wahlfreien Zugriff auf gespeicherte Informationen auch auf die Integration von interaktiv funktionierenden Medienelementen, welche sich dadurch auszeichnen, dass sie eine Adaption auf den Rezipienten auf Inhaltsebene erlauben. Nur mit computerbasierten Medien ist also eine Verknüpfung zwischen Interaktivität auf der Bedienungsebene und der Inhaltsebene möglich. So realisiert der Computer dynamische Medienformen, deren Nutzung überhaupt nur durch kontinuierliche Aktivitäten des Lerners möglich ist (wie z.B. Simulationen oder Animationen). Derartige Medien sind in der Lage, ein autonomes Lernen im konstruktivistischen Sinne zu ermöglichen. Die weitreichenden Möglichkeiten zur Umsetzung proaktiv interaktiver Lernkonzepte sind das wesentliche Kriterium für den Einsatz computerbasierter Lernmedien und stellen den entscheidenden Mehrwert im Ge-

gensatz zu nicht-computerbasierten Lernmedien dar. Dabei stellt nicht jedes computergestützte Lernmedium automatisch ein hochinteraktives und somit im Vergleich zu konventionellen Lernmedien überlegenes System dar. Der Rechner ist grundsätzlich in der Lage, neben den dynamischen Medienformen jede nicht-gegenständliche mono- oder multimodale konkrete Medienform wiederzugeben. In der Praxis erweisen sich computerbasierte Systeme, welche lediglich auf die Ablösung konventioneller Medien (z.B. Ersatz eines Buches durch eine pdf-Datei) in Form von statischen Darstellungen zielen, häufig als nachteilig, denn der Einsatz eines Computers ist lange nicht so flexibel möglich wie der Einsatz eines Buches. Zudem empfinden viele Menschen das Lesen längerer Texte am Bildschirm als unangenehm und bevorzugen zu diesen Zwecken Printmedien. Der Einsatz computerbasierter Lernmedien darf also aus didaktischer Sicht keinesfalls durch den Computer an sich und die damit verbundenen Vorteile bezüglich der unkomplizierten Distribution digitaler Informationen begründet sein. Vielmehr muss ein didaktischer Mehrwert vorliegen, welcher nicht selten in der ausgeprägten Fähigkeit zur Interaktivität liegen dürfte.
Die Möglichkeit der Vernetzung eröffnet dem Computer neuartige Anwendungen konkreter Medienformen. In diesem Sinne werden z.B. Texte online zum Zeitpunkt ihrer Erstellung für andere Teilnehmer sichtbar gemacht. Die konkrete Medienform ist zwar nach wie vor der geschriebene Text (Schrift), jedoch ermöglichen neuartige Verbreitungsformen Anwendungen wie z.B. Chat, Blog oder E-Mail mit potenziell vielen didaktischen Möglichkeiten.

**Gegenständliche Medien** unterscheiden sich durch ein wesentliches Merkmal von allen anderen Medienkategorien: Sie sind Information (media content) und Informationsträger (delivery system) zugleich. Im Rahmen von technischen Lehr- und Lernprozessen beinhaltet das gegenständliche Medium eine Menge von Informationen über ein technisches System. In konkreter Form kann es sich dabei um ein Modell, ein technisches Teilsystem oder ein ganzheitliches, technisches Realobjekt handeln. Keine andere Medienkategorie, ob nun auf nicht-technischen „delivery systems" basierend oder computergestützt, ist in der Lage, technische Realobjekte mit all ihren Eigenschaften darzustellen. Der materielle Gegenstand weist dabei ein seinem Charakter entsprechendes Verhalten auf und kann somit als grundsätzlich dynamisch bezeichnet werden. Die Information kann dem Medium auf unterschiedliche Art und Weise entnommen werden. Für jede Informationsgewinnung ist jedoch eine aktive Auseinandersetzung mit dem Gegenstand erforderlich. Diese aktive Tätigkeit wird als „Experimentieren" verstanden und soll im folgenden Abschnitt genauer betrachtet werden.

### 2.4.3 Das technische Experiment

Eine in der technischen Aus- und Weiterbildung etablierte Methode ist das technische Experiment. Der Begriff leitet sich aus dem Lateinischen ab, wo „expiri" für „versuchen" oder „erproben" steht. Des Weiteren gibt es den Begriff „experimentum", welcher die Bedeutung von „Versuch" und „Probe", aber auch von „Erfahrung" innehat. Eben diese Erfahrungsbildung ist eine wesentliche Zielkomponente von Experimenten. Mit der Erfahrungsbildung gehen ein Wissensaufbau und letztendlich auch ein Lernprozess einher. In Kapitel 2.4.1 wurde gezeigt, dass sich naturwissenschaftliches Denken und Handeln von techni-

schem Denken und Handeln unterscheidet. Dies gilt auch für das Experiment: Während naturwissenschaftliche Experimente in erster Linie als Beweis für Naturgesetze oder entsprechende Hypothesen dienen und somit eindeutig kausale Fragestellungen behandeln, sind technische Experimente eher explorativ. In der Regel steht hier die Ermittlung eines Funktionszusammenhangs im Vordergrund, was einer finalen Fragestellung entspricht. Stets folgt der experimentelle Lernprozess einem typischen Muster: Ausgangspunkt für jede (zielorientierte) experimentelle Handlung ist eine Problem- oder sonstige Fragestellung. Zur Lösung des Problems bzw. der Frage wird ein technisches Objekt untersucht, indem auf es einwirkende Parameter verändert werden und das entsprechende Verhalten des Systems beobachtet und analysiert wird. Dabei sammelt der Lerner Erfahrungen, die ihm bei der Beantwortung seiner Fragestellung bzw. der Lösung des Problems als Grundlage dienen.

Für technische Bildungsprozesse ist das Experimentieren mit realen technischen Objekten kennzeichnend. Derartige Objekte können wie in obiger Klassifizierung dargestellt in Form von Modellen, Komponenten oder Realobjekten in den Bildungsprozess einbezogen werden. Modelle haben die Funktion, komplexe Sachverhalte eines Originals zu reduzieren bzw. zu veranschaulichen und dienen der lernergerechten Vermittlung von Teilaspekten des Originals. Die für den Unterricht erforderliche Reduktion rechtfertigt den Einsatz von Modellen zu diesem Zweck trotz des mit der Entfernung vom Original einhergehenden erhöhten Grades an Abstraktion. HÄRTEL stellt fest, dass dies insbesondere für die technische Aus- und Weiterbildung zutrifft:

> „Die moderne technische Praxis ist zumeist dadurch gekennzeichnet, dass in ihr äußerst komplexe Wirkungszusammenhänge genutzt werden. Um diese Gegebenheiten für die technische Unterweisung anschaulich und damit leicht verständlich darzustellen, ist man häufig auf die Verwendung von geeigneten Modellen angewiesen."
>
> (HÄRTEL 1986, S. 183)

Um den hohen Grad an Veranschaulichung zu realisieren, sind Modelle oft in hohem Maße so didaktisiert, dass bestimmte Funktionszusammenhänge durch den Lerner leicht wahrgenommen und verstanden werden können. Zu diesem Zweck müssen Modelle zum Teil stark abstrahieren und sind im Gegensatz zu Realobjekten und realen Komponenten im Rahmen der dargestellten Funktion nicht mehr funktionsfähig. Beispielsweise kann das Schnittmodell eines Einzylindermotors die Vorgänge im Inneren des Zylinders anschaulich darstellen, jedoch kann es die Funktion des Originals (Antrieb) in keiner Weise mehr erfüllen. Daher eignen sich Modelle in Rahmen technischer Aus- und Weiterbildung zwar zur anschaulichen Darstellung von Funktionsprinzipien, aufgrund ihrer Abstraktion sind sie allerdings für die Vermittlung von Kompetenzen, die einen unmittelbaren Bezug zur technischen Realität voraussetzen (z.B. Messung von Betriebsparametern), nicht mehr geeignet.

Andere hardwarebasierte Lernmedien kombinieren Komponenten realer technischer Systeme mit didaktischen Komponenten, dabei steht weniger die Veranschaulichung als die Funktion im Vordergrund. Die Komponenten können in der Regel in Betrieb genommen werden und ermöglichen somit einen realitätsnahen Betrieb und Einsatz. Allerdings sind die realen Komponenten, welche typischerweise Teilsysteme eines übergeordneten technischen Systems sind, aus ihrem Betriebkontext herausgelöst, sodass auch

dieses Medium trotz der Verwendung realer Komponenten abstrahiert ist. Einerseits lassen sich so Aspekte des betreffenden Subsystems leichter erfassen, andererseits besteht wiederum eine gewisse Distanz zur (technischen) Realität, was den Umgang mit diesem zu Lernzwecken nur bedingt authentisch erscheinen lässt. Beispielhaft sei hier das Funktionsmodell einer Zündspule mit realer Zündkerze genannt, welches zwar einen echten Zündfunken erzeugen kann und somit sehr einfach realitätsnahe Messungen erlaubt, diverse Aspekte einer Zündanlage am Fahrzeug (wie z.B. Einbauort, Verbrennung von Kraftstoff) aber nicht berücksichtigen kann.

Mit der Verwendung von Simulationen bzw. Modellen von technischen Systemen geht stets eine Entfernung vom realen System und seinem Anwendungskontext einher. Erst das technische Realobjekt in Form von authentischen, technischen Gegenständen ermöglicht die Herstellung eines unmittelbaren Praxisbezugs und die Einbettung in einen entsprechenden Kontext. Dazu können einfache Werkzeuge wie beispielsweise ein Hammer ebenso wie ein Gerät oder eine ganze Maschine zählen. Während einfache Gegenstände noch relativ anschaulich und somit für didaktische Zwecke direkt nutzbar sind, zeichnen sich andere technische Systeme oft durch ein hohes Maß an Komplexität aus. Die Anschaulichkeit solcher Objekte ist in der Regel sehr klein, was sie zunächst für didaktische Zwecke ungeeignet erscheinen lässt. Dafür sind diese Objekte sehr authentisch und ermöglichen die realistische Inbetriebnahme und Anwendung. Sobald allerdings die Funktionsweise eines komplexen Objektes erschlossen werden soll, muss ein Eingriff in das System erfolgen, z.B. durch das Zerlegen in einzelne Funktionsgruppen oder das messtechnische Erfassen relevanter Betriebsparameter. Ein komplexes System zeichnet sich dabei wie folgt aus:

> „Wie jeder Organismus besteht ein komplexes System aus mehreren verschiedenen Teilen (Organen), die in einer bestimmten dynamischen Ordnung zueinander stehen, zu einem Wirkungsgefüge vernetzt sind. In dieses kann man nicht eingreifen, ohne dass sich die Beziehung aller Teile zueinander und damit der Gesamtcharakter des Systems ändern würden. Reale Systeme sind darüber hinaus auch immer offen und erhalten sich durch ständigen Austausch mit der Umwelt."
>
> (VESTER 2002, S. 25)

Wer nun zielorientiert Eingriffe in ein solches System durchführt, befindet sich in einer komplexen Handlungs- bzw. Entscheidungssituation und hat die folgenden Anforderungen zu bewältigen (vgl. DÖRNER 1989):

- Komplexität

  Die Existenz vieler voneinander abhängiger Merkmale innerhalb eines Systems begreift DÖRNER als Komplexität. Dabei erhöht sich der Grad der Komplexität in dem Maße, indem die Anzahl der vorhandenen Merkmale und die Anzahl der Abhängigkeiten dieser Merkmale steigen. „Der Grad an Komplexität ergibt sich also aus dem Ausmaß, in dem verschiedene Aspekte eines Realitätsausschnittes und ihre Verbindungen beachtet werden müssen, um eine Situation in dem jeweiligen Realitätsausschnitt zu erfassen und Handlungen zu planen" (DÖRNER 1989, S. 60). Entscheidendes Merkmal für Komplexität ist das Vorhandensein und der Grad von Verbindungen der einzelnen Aspekte. Diese Verbindungen bezeichnet DÖRNER als Vernetzung. Somit bleibt die Beeinflussung einer Variablen nicht isoliert, sondern zieht Neben- und Fernwirkungen

nach sich. Je höher der Grad der Vernetzung ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass derartig mittelbare Auswirkungen nicht erfasst werden und die erfolgreiche Bewältigung der komplexen Handlungssituation behindert.

Komplexität ist keine objektive Größe; die gleiche Situation kann einem erfahrenen Experten wenig komplex erscheinen, während sie einem Novizen sehr komplex vorkommt. Erfahrung im Umgang mit einem komplexen System wird als Vorhandensein eines umfangreichen Repertoires von Superzeichen aufgefasst. Solche Superzeichen beinhalten einen Teil der Subsysteme des Gesamtsystems und determinieren sie als ein einziges, geschlossenes, nicht komplexes Teilsystem. Auf diese Weise wird durch die Bildung von Superzeichen aus mehreren Merkmalen eins und somit der Grad der Komplexität reduziert.

- Dynamik

  Komplexe Systeme können eine Eigendynamik besitzen, welche das System ständigen Veränderungen unterwirft, auch dann, wenn keine Beeinflussung von Variablen durch äußere Einflüsse stattfindet. Für diese Dynamik kann bereits ein einzelnes Subsystem (Organ) verantwortlich sein. Ein solches Subsystem wird als aktiv bezeichnet, während Subsysteme, die sich nur dann verändern, wenn eine explizite Beeinflussung vorliegt, als passiv bezeichnet werden.

  Mit der Dynamik geht oft auch eine zeitliche Variabilität des Gesamtsystems einher, aus welcher sich für den Handelnden Zeitdruck in zweierlei Hinsicht ergeben kann. Einerseits steht nur ein beschränkter Zeitraum für die Erfassung von Subsystemzuständen zur Verfügung, andererseits hat auch die Einflussnahme auf das System innerhalb einer begrenzten Zeitspanne zu erfolgen.

- Intransparenz

  In der Regel sind einige der Variablen und Abhängigkeiten innerhalb eines komplexen Systems für den Handelnden nicht oder nicht unmittelbar zugänglich. In diesem Fall hat er Entscheidungen über ein System zu treffen, obwohl ihm nicht alle entscheidungsrelevanten Informationen zur Verfügung stehen. „Die Intransparenz ist eine weitere Quelle der Unbestimmtheit der Planungs- und Entscheidungssituation" (ebd., S. 64).

- Unvollständigkeit bzw. Falschheit der Kenntnisse über das System

  Für die zielorientierte Handlung in komplexen Situationen ist wie bereits beschrieben die Kenntnis über die Merkmale des komplexen Systems erforderlich. Um aus diesen Informationen sinnvolle Entscheidungen generieren zu können, sind außerdem Kenntnisse über die Struktur des Systems entscheidend. Dazu muss nicht nur der Grad an Vernetzung bekannt sein, sondern auch ausreichende Informationen über die Art und Weise, mit der einzelne Merkmale zusammenhängen, zur Verfügung stehen. Erst mit diesem Strukturwissen quantitativer und qualitativer Art wird eine Prognose über mögliche Auswirkungen von bestimmten, Einfluss nehmenden Handlungen möglich. Aufgrund dieses Strukturwissens bildet eine handelnde Person sein individuelles Realitätsmodell. Dieses kann explizit, also in bewusster und jederzeit abrufbarer Weise und / oder implizit vorliegen. Im letzteren Fall ist sich die Person nicht darüber bewusst, dass sie

Kenntnis über Zusammenhänge hat, sie kann sie jedoch intuitiv anwenden. Dies ist typisch für Fachleute und Experten in bestimmten Bereichen.

Um ein komplexes System für didaktische Handlungen zugänglich zu machen, kann der Abbau der Intransparenz einen entscheidenden Beitrag leisten. Wird ein System transparent, so werden die Variablen und die Abhängigkeiten, die zwischen ihnen bestehen, sichtbar. Dies ist bei mechanischen Systemen rein visuell möglich, sofern alle erforderlichen Komponenten einsehbar und zugänglich sind. Wenn dieser Schritt vollzogen ist, kann die Dynamik des Systems erkannt, untersucht und mangelhafte Systemkenntnis abgebaut werden. Durch aktives Eingreifen in das System durch Veränderung von Variablen (wie z.B. die Veränderung eines Gegengewichtes) oder Abhängigkeiten (beispielsweise die Manipulation von Riemenantrieben) können dann Auswirkungen von Bedingungen, die auf das komplexe System einwirken, experimentell untersucht werden.

Die Leistungs- und Kostenanforderungen an technische Systeme haben zur Folge, dass die Elektronik immer mehr mechanische Systeme ablöst. Dieser Trend lässt sich bei nahezu allen technischen Geräten, die den menschlichen Alltag prägen, beobachten. Für technischen Unterricht heißt das, dass auch solche Systeme unter dem Gesichtspunkt des komplexen Systems und des Abbaus von Intransparenz behandelt werden müssen. Zwar werden in allgemeinbildenden Schulen keine hochkomplexen Geräte zerlegt, um die Funktionsweise des gesamten Systems zu ergründen, aber einfachere elektrische Schaltungen werden hier durchaus untersucht. Je nach zugrunde liegendem Anspruch der technischen Ausbildung steigt die Komplexität der untersuchten Systeme, sodass auch in allgemeinbildenden Schulen technische Geräte analysiert werden. Da auch technische Bildung unter dem Aspekt des „Lebenslangen Lernens" gesehen werden muss, können Lernprozesse innerhalb beruflicher Aus- und Weiterbildung identifiziert werden, die den Abbau von Intransparenz in komplexen Systemen zu Lernzwecken verfolgen. An Hochschulen und anderen Institutionen werden schließlich auch hochkomplexe Systeme auf diese Art analysiert. Bei allen Systemen, deren Komplexität nicht allein durch den menschlichen Wahrnehmungsapparat erfassbar ist, ist ein Instrument erforderlich, welches im Stande ist, die nichtwahrnehmbaren Größen zu visualisieren. Für die Analyse elektrischer und elektronischer Systeme ist dies ein entsprechendes Messinstrument wie z.B. Multimeter, Oszilloskop oder Logikanalysator. Aus technikdidaktischen Gesichtspunkten stellt bereits der Umgang mit solchen Instrumenten eine fachspezifisch relevante Handlung dar. Allerdings haben reale (Mess-) Instrumente den Nachteil, dass sie häufig hinsichtlich der erforderlichen sachgemäßen Bedienung dem Lerner ein hohes Maß an Sachkenntnis abverlangen. Der Umgang mit dem Oszilloskop ist für die Analyse vieler elektrischer Schaltungen eine wesentliche Voraussetzung, für einen Schüler aber keineswegs trivial. In vielen technischen Systemen werden heute digitale Kommunikationsstrukturen eingesetzt. Die Analyse der kommunizierten Daten auf Protokollebene oder höheren Ebenen ist für den Abbau von Intransparenz typischerweise eine große Hilfe, erfordert jedoch den Umgang mit entsprechenden Protokollanalysatoren. Solche Instrumente werden nicht nach didaktischen Gesichtspunkten konzipiert und bieten einen oft erheblichen Funktionsumfang. Ihre Beherrschung erfordert nicht nur weitgehende Kenntnisse über das Instrument selbst, sondern nicht selten ein hohes Maß an Fachwissen. Beides kann bei Schülern nicht vorausgesetzt werden, sodass eine Konzeption derartiger Instrumente

unter didaktischen Gesichtspunkten (Reduzierung des Funktionsumfangs, Design einer einfacheren Benutzerschnittstelle usw.) wünschenswert erscheint.
Zwar kann die Behandlung eines komplexen Systems im Rahmen technischen Unterrichts prinzipiell theoretisch erfolgen, sobald aber der immer wieder zu Recht geforderte praktische Handlungsbezug eingelöst werden soll, ist das Experimentieren an einem Realobjekt unabdingbar. Für klassische Lernszenarien heißt dies, dass das reale Objekt im Rahmen des Unterrichts verfügbar gemacht werden muss. Neben den organisatorischen Rahmenbedingungen, die nicht immer als optimal vorausgesetzt werden können, müssen auch die für die Analyse erforderlichen Instrumente bereitgehalten werden. Da der Lehrer in klassischen Unterrichtsszenarien dauerhaft präsent ist, kann er die Schüler bei der Analyse unterstützten. Nicht selten mangelt es jedoch an entsprechender Ausstattung, sodass nicht jedem Schüler ein technisches Realobjekt und die erforderlichen Instrumente zur Verfügung gestellt werden können. Das eigenständige Experimentieren, mit dem der individuelle Aufbau von Erfahrungen im Sinne konstruktivistischer Auffassungen von Lernen möglich wäre, ist so kaum möglich.
Wie im Abschnitt 2.3.2 beschrieben, bieten computergestützte Medien zahlreiche Möglichkeiten zur Vermittlung von Inhalten, die sich mit konventionellen Medien nicht erreichen lassen. Als ein wesentlicher Vorteil wird immer wieder genannt, dass aufgrund der weiten Verbreitung von Standard-PCs jeder Lerner einen individuellen Zugriff auf das Lernsystem und die enthaltenen Lerninhalte hat. Daher bietet sich jedem Schüler die Möglichkeit, in Abhängigkeit der Gestaltung des jeweiligen Lernsystems selbstgesteuert zu lernen.
Wenn angestrebt wird, mit Hilfe computerbasierter Medien technische Inhalte handlungsorientiert und praxisgerecht zu vermitteln, so hat dies zur Folge, dass entsprechende gegenständliche Medien so in das Lernsystem integriert werden müssen, dass das selbstgesteuerte Experimentieren mit diesem Medium ermöglicht wird. Dies kann unter Nutzung der im Abschnitt 2.3.2 aufgezeigten Möglichkeiten mittels einer Simulation gegenständlicher Medien oder aber einer Integration gegenständlicher Medien in das computerbasierte Lernsystem geschehen.

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Komplexität eines technischen Systems vollständig offen liegt, so kann dieses Verhalten auf ein mathematisches Modell übertragen und das technische System auf diese Weise simuliert werden. Insbesondere in Kombination mit grafischen Elementen können bestimmte Systeme sehr realitätsnah simuliert werden. So existieren einige Simulationen von Oszilloskopen im Internet, welche das Verhalten eines realen Messgerätes außerordentlich authentisch nachbilden. Auf diese Weise sind virtuell praxisnahe Messübungen möglich. Allerdings beschränkt sich die Simulation auf die Bedienung des Messgerätes; Aspekte wie Wahl eines Tastkopfes, Abgriff von Signalen usw., welche für eine ganzheitliche Betrachtung messtechnischer Handlungen erforderlich wären, lassen sich auf diese Weise nicht realisieren. Solchen Beschränkungen sind generell alle Bildschirmanwendungen unterworfen: Es lassen sich stets nur solche Handlungen realitätsnah simulieren, die mit den Bedienelementen eines Computers (in erster Linie Tastatur und Maus) authentisch abgebildet werden können. Bei der Bedienung eines Oszilloskops kommt es nicht auf die motorischen Erfahrungen des Lerners an, von Interesse ist lediglich die Stellung von Bedienelementen (also die messtechnischen Einstellungen am Oszilloskop) an

sich, welche sich widerspruchslos zweidimensional auf dem Bildschirm abbilden und mit Hilfe der Computermaus verändern lässt. Für die Führung einer Messspitze hingegen spielt die Motorik und die Dreidimensionalität eine entscheidende Rolle. Wie bereits angedeutet unterliegt die Simulation außerdem den Grenzen des mathematischen Modells, auf dessen Grundlage das Verhalten des simulierten Systems basiert. Somit wären also zwei grundsätzlich limitierende Faktoren für den Einsatz von Simulationen in didaktischen Funktionszusammenhängen identifiziert. Simulationen können daher nicht als Ersatz für den Umgang mit dem Realobjekt dienen, als Ergänzung bieten sie jedoch erhebliches Potenzial.

Wenn also auf die Nutzung gegenständlicher didaktischer Medien für technische Bildungszwecke nicht verzichtet werden kann, so müssen diese bei der Nutzung computergestützter Lernsysteme angebunden bzw. integriert werden. Eine solche Anbindung kann auf verschiedene Arten erfolgen:

Die einfachste Art der Integration ist die **thematische Anbindung**. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Lerner neben dem eigentlichen Lernsystem über das gegenständliche Medium, mit dem experimentiert werden soll, sowie die erforderlichen Instrumente verfügt. Eine hardwaremäßige Verbindung ist dabei nicht erforderlich. Das Lernsystem kann den Lerner dabei lediglich anweisen, bestimmte Handlungen am Gegenstand durchzuführen. Das System besitzt keinerlei Mechanismen, mit deren Hilfe geprüft werden könnte, ob die Handlungen des Lerners zielführend sind. Rückmeldungen über den Status der didaktischen Handlungen lassen sich lediglich im Rahmen der interaktiven Möglichkeiten des Lernsystems realisieren.

Eine andere Art der Integration stellt die **instrumentelle Anbindung** dar. Dabei besteht eine Kommunikationsmöglichkeit zwischen dem Lernsystem und den für die Analyse des gegenständlichen didaktischen Mediums erforderlichen Instrumenten. Auf diese Weise kann zwar der Status der didaktischen Hardware im eigentlichen Sinne nicht erfasst werden, aber Messwerte und Einstellungen können direkt vom System interpretiert und der Lerner ggf. mit entsprechenden Hinweisen unterstützt werden. Je nach Art des Instruments kann für das Lernsystem die Möglichkeit bestehen, selbst Einstellungen am Instrument vorzunehmen.

Eine weitere Möglichkeit der Integration gegenständlicher Medien stellt die **direkte Anbindung** des technischen Objekts dar. In diesem Fall ist die didaktische Hardware mit einer zusätzlichen Intelligenz ausgestattet, welche Daten über die zu integrierende Hardware erfasst und über eine entsprechende Anbindung an das Lernsystem weitergeben kann. Der Vorteil einer solchen Lösung ist offensichtlich: Das Lernsystem kann den Status der Experimentierhardware direkt erfassen und somit Rückschlüsse über die Handlungen des Lerners ziehen. Es kann nun entsprechende Hinweise liefern, ohne dass dazu explizite Benutzereingaben erforderlich sind.

Betrachtet man zunächst lokal funktionierende CBTs, so kann die Anbindung von Hardware stets vor Ort geschehen. Dies setzt voraus, dass die für das Experimentieren erforderliche Hardware am Lernort verfügbar ist. Es existieren einige Experimentiersysteme, die ein mobiles Konzept verfolgen und die Experimentierhardware so leicht und klein ausführen, dass diese leicht transportabel und somit an jedem Ort flexibel eingesetzt werden kann. Dies hat allerdings zur Folge, dass diese Systeme Experimente nur mit solchen Modellen und Realobjekten unterstützen, die die Kriterien der Mobilität erfüllen können. Sollen

also immobile Modelle oder Realobjekte experimentell untersucht werden, so ist der Lernort grundsätzlich an den Standort der Experimentierhardware gebunden.

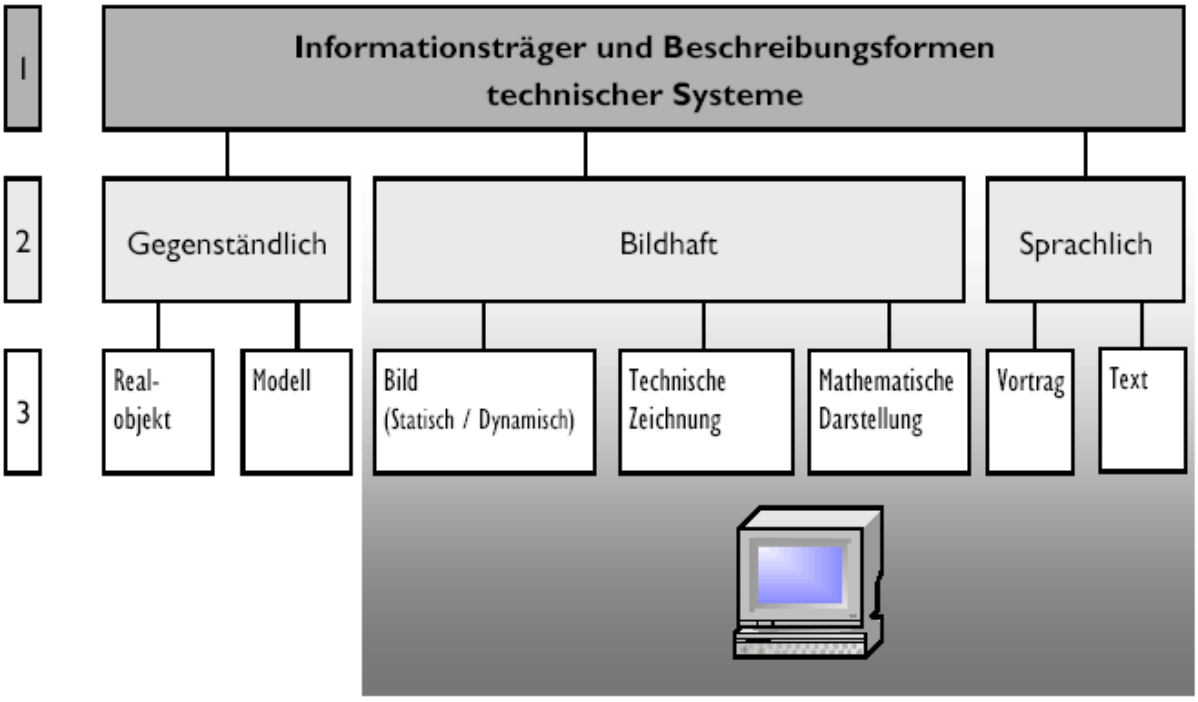
Eben diese Bedingung steht im Widerspruch zu den Einsatzszenarien webbasierter Lernsysteme, in denen grundsätzlich ortunabhängig gelernt werden kann. Dieser Mangel webbasierter Lernsysteme führt dazu, dass das technische Experiment nur als Simulation oder mit mobilen Lernsystemen mit den aufgezeigten Einschränkungen möglich ist. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Lösungsansätze zur Beseitigung dieses Mangels erarbeitet werden.

# 3 Zielsetzungen

Für den im vorigen Kapitel aufgezeigten Mangel sollen in den folgenden Abschnitten Lösungsansätze erarbeitet werden. Dazu soll das Problem zunächst auf medientechnischer Ebene genauer beleuchtet werden.

Um einen Inhalt innerhalb eines computerbasierten Lernsystems abbilden zu können, muss dieser mit den technischen Mitteln, die ein Standard-Computersystem zur Verfügung stellt, darstellbar sein. Auch moderne Computer verfügen als primäres Ausgabegerät über einen Bildschirm, welcher die Ausgabe visueller Daten erlaubt. Darüber hinaus verfügen die im Handel erhältlichen Rechner über einen integrierten Klangprozessor, sodass über nahezu jedes Lautsprechersystem, welches mit der erforderlichen Verstärkung ausgestattet ist, die Wiedergabe beliebiger auditiver Daten ermöglicht wird.

Mit der folgenden Systematik hat RAIMER die Übersicht BURGMERs (vgl. S. 51) aufgegriffen und einerseits vereinfacht dargestellt und andererseits unter besonderer Berücksichtigung von hypermedialem Lernen mit Computern dargestellt:




*Informationsträger und Beschreibungsformen für technische Systeme, modifiziert nach BURGMER (RAIMER 2002, S. 78)*

Im Vergleich zu BURGMERs Darstellung fällt die Unterteilung auf dritter Ebene auf: „Für den bildhaften Bereich wurde die weitere Unterteilung dynamisch (z.B. Video, 2D- und 3D- Animationen) bzw. statisch (etwa 2D- und 3D-Grafik, Foto) getroffen" (RAIMER 2002, S. 78f). Damit wird er den Möglichkeiten hinsichtlich der Darstellung bewegter Bilder (Videosequenzen, Animation) und den Multimediafähigkeiten moderner Computersysteme gerecht. Der Mangel, der computergestützten Lernsystemen im Rahmen

didaktischer Funktionszusammenhänge zu Eigen ist, wird offensichtlich: Computerbasierte Lernmedien können keine gegenständliche Experimentierhardware (Realobjekt bzw. Modell) integrieren.
In der Vergangenheit hat es jedoch verschiedene Versuche gegeben, diesen Mangel in webbasierten Lernszenarien zu Zwecken der technischen Bildung zu überwinden. Der folgende Abschnitt untersucht entsprechende Lernangebote.

## *3.1 Online-Zugriff auf Experimentierhardware in Remote Labs*

Der für technische Bildungsprozesse charakteristische Zugriff auf die Hardware ist mit bestehenden Lernplattformen nicht realisierbar und erfordert daher zusätzlichen, teilweise beträchtlichen Aufwand. Da bei der Realisierung derartiger Angebote kaum auf standardisierte Komponenten zurückgegriffen werden kann, ist in den meisten Fällen ein erheblicher Entwicklungsaufwand zu betreiben. Die Sichtung von Lernangeboten, welche eine Integration realer Hardwarekomponenten in Form eines Remote-Zugriffs in webbasierte Lernplattformen anbieten, ergab, dass diese zurzeit von sehr wenigen Institutionen realisiert wird. Dabei werden auffallend viele solcher Lernangebote von Hochschulinstituten vorgehalten, welche über die für die eigene Entwicklung erforderlichen Kompetenzen verfügen (vgl. z.B. L3S 2005). „Die Entwicklung von multimedialen Plattformen zur Fernsteuerung einer realen Hardware ist ein aktuelles Thema, insbesondere bei der Fernlehre in den Ingenieurswissenschaften. [...] Pädagogisch hochwertige Lehreinheiten in Verbindung mit fernsteuerbarer Hardware stellen innovative Laborexperimente für die Lehre in den Ingenieurswissenschaften dar.“ (ROTH ET AL. 2002, S. 207). Dabei werden besonders oft Gebiete aus der Automatisierungstechnik thematisiert, welche in der Praxis eine Webanbindung vorsehen, beispielsweise zu Zwecken der Prozessvisualisierung (vgl. z.B. RAIMER 2002, ROTH ET AL. 2002, LearNet 2005). Ein weiterer Schwerpunkt konnte im Bereich der Naturwissenschaften identifiziert werden, wo Experimentiereinrichtungen an Netzwerke angebunden werden um diese einem breiteren Publikum verfügbar zu machen (vgl. z.B. EBERHARD VON KUENHEIM STIFTUNG 2005, STEVENS INSTITUTE OF TECHNOLOGY 2005).
TUTTAS und WAGNER unterscheiden im Hinblick auf die Webanbindung drei Arten von Laboren im hochschulischen Kontext:

> „Local Labs
>
> The traditional way of doing experimental or constructive exercises is to go to a university's laboratory. Within that local lab you work in teams with tutorial help from teachers. [...] The feeling that students obtain by sitting in the laboratory will not be provided by simulations or remote access. Local labs are still the best way to get a first hands on experience in operating laboratory devices. [...]
>
> Virtual Labs
>
> Virtual labs are software simulations of physical devices (e.g. measurement instruments) or other real life systems (e.g. economic systems). Computer animation and visualization can help to illustrate complex relationships during classroom teaching as well as in individual learning at home. [...]

> Online Labs
>
> In our definition, online laboratories do offer remote access to laboratory equipment, workbenches and all types of experiments via the internet. Online labs try to combine the prerequisites of local labs with the flexibility of simulations. [...]"
>
> (TUTTAS, WAGNER 2001, S. 1)

Diese Einteilung kann auch für Anwendungen gelten, die nicht im Hochschulbereich angesiedelt sind. Wenn der Begriff „Labor" nicht im engeren Sinne als eine Einrichtung verstanden wird, die ausschließlich im wissenschaftlichen Hochschulkontext der Forschung und Lehre dient, sondern im allgemeinen Sinne als Ort, der die praktische Anwendung von Wissen zu Lernzwecken ermöglicht, kann auch ein Klassenraum oder eine Werkstatt als Labor verstanden werden. FALTIN ET AL. heben die besondere Bedeutung von Laboren für technische Bildungsprozesse jeder Art hervor: „Laboratories are important elements in technological education. They allow applying and testing theoretical knowledge in practical learning situations" (FALTIN ET AL. 2002, S. 1).

Dabei ist die Authentizität lokaler Labore ein besonders wichtiges Merkmal: „This full impression of being in the lab cannot be provided by remote labs where students interact with remote devices through a computer user interface. That is why remote labs are called by AKTAN the 'second best way to be there'" (ebd., S. 1). Dennoch finden sich Gründe, die für die Nutzung von Online-Labs zu Zwecken der technischen Bildung sprechen. Online-Labs erlauben prinzipiell einen weltweiten Zugriff, was den Kreis potenzieller Nutzer eines solchen Labors signifikant erhöhen dürfte. Besonders bei aufwendigen und kostenintensiven Experimenten liegt ein erhebliches Potenzial zur Kosteneinsparung vor, wenn durch die Vernetzung von Laboren eine Redundanz hinsichtlich der Installation und des Betriebes identischer Labore an mehreren lokalen Standorten vermieden werden könnte. Auf diese Weise stehen Experimente zur Verfügung, die ohne Vernetzung am lokalen Standort nicht realisierbar sind. Projekte wie "I-Lab" oder "LearNet" nutzen Online-Labs zu Zwecken der technischen Bildung, indem sie sich zu einem Netzwerk zusammengeschlossen haben und ihre jeweils verfügbaren Online-Labs mit anderen Partnern teilen. Im Gegenzug stellen diese wiederum ihre Labs zur Verfügung, sodass alle Seiten profitieren (vgl. L3S 2005, LearNet 2005).

Die hohe Verfügbarkeit von Online-Labs ermöglicht außerdem eine Nutzung zu jeder beliebigen Zeit, was bei lokalen Laboren ebenfalls nicht möglich ist. Nicht immer geht mit der Nutzung einer computerbasierten Benutzerschnittstelle zur Durchführung eines Online-Experiments automatisch ein zunehmender Abstraktionsgrad im Vergleich zu lokalen Laboren einher. So existieren Experimente, die die Nutzung computerbasierter Instrumente und Benutzerschnittstellen für die Erfassung und Analyse relevanter Größen des Experiments unabhängig von der Art des Labors erfordern, weil diese mit dem menschlichen Wahrnehmungsapparat nicht direkt wahrgenommen werden können. „Some experiments in areas like nano physics can not be accessed by human hands and eyes anyway, so students do not loose anything by working remotely (ebd., S. 1). Diesen Vorteil würden virtuelle Labore grundsätzlich auch bieten, jedoch schränken TUTTAS und WAGNER die Eignung solcher simulationsbasierter Labore zu Lernzwecken grundsätzlich ein:

> „It is very expensive and time consuming to implement simulations which come close to reality, because you need to take account of far too many parameters and dependencies. If the behaviour of the real system cannot be formalized by mathematical functions or precise rules, a simulation can be used to show general principles only. Simulations are artifactal and do not represent reality. If the lab experiment needs to show very specific effects, one has to use local or remote labs."
>
> (TUTTAS, WAGNER 2001, S. 1)

Mit der synthetischen Generierung des Verhaltens eines simulierten Experiments geht offensichtlich eine grundsätzliche Entfernung von der Realität einher, sodass bestimmte Verhaltensweisen, die ein System in der Praxis an den Tag legt, als nicht simulierbar gelten können. Dies gilt insbesondere für spontanes und unvorhersehbares Verhalten: „While simulations tend to be too simplistic, remote experiments naturally demonstrate problems of measurement tolerance, device failure and difficulties to return to a start state" (FALTIN ET AL. 2002, S.1).

Somit bleibt also festzuhalten, dass virtuelle Labore und Online-Labs mit der Möglichkeit des ort- und zeitunabhängigen Zugriffs seitens des Lerners einen entscheidenden Vorteil gegenüber lokalen Laboren aufweisen. Je nach Art der für das Experimentieren am realen Objekt erforderlichen Instrumente stellt die Distanz und der Computer als einzig verfügbare Benutzerschnittstelle nicht einmal einen zunehmenden Abstraktionsgrad dar. Für beide Labortypen ist ein unter Umständen beträchtlicher Aufwand zu treiben. Online-Labs erfordern bereits einen verhältnismäßig großen Aufwand allein für die Installation und Inbetriebnahme. Die Hardware, welche auf diese Weise online verfügbar gemacht wird, kann dabei beliebig komplex sein, ohne dass der Aufwand für die Online-Anbindung wächst, da das für das technische Objekt spezifische Verhalten allein durch das Objekt selbst bestimmt wird.

Im Gegensatz dazu lassen sich Simulationen, welche die Grundlage für virtuelle Labore liefern, mit sehr einfachen Mitteln und sehr schnell auf entsprechenden Servern installieren und somit online vorhalten. Hier steigt der Aufwand für die Programmierung des mathematischen Modells, welches allein für das Verhalten und die Charakteristika des simulierten Objekts bzw. des Prozesses verantwortlich ist, mit dessen Komplexität. Aus diesem Grund sind virtuelle Labore immer dann den Online-Labs vorzuziehen, wenn die Programmierung des erforderlichen mathematischen Modells einfacher geleistet werden kann als die Anbindung des Originals. Lässt die Komplexität des Objekts eine Simulation nicht zu, so muss unter Berücksichtigung aller relevanten Faktoren geprüft werden, ob die Online-Anbindung des Objektes möglich und sinnvoll ist.

Wie beschrieben richten sich die vorhandenen Lernangebote im Sinne eines „Online Labs" in erster Linie an Hochschulstudenten. Angebunden werden dabei im Bereich der Ingenieurswissenschaften Anlagen und Geräte aus dem Bereich der Automatisierungstechnik, welche ohnehin über eine Webschnittstelle verfügen, sodass der Entwicklungsaufwand sich hier auf die Gestaltung und Einbindung von Benutzerschnittstellen beschränkt, welche häufig auch schon in vorbereiteter Form vorliegen. Im Bereich der Naturwissenschaften werden mit den untersuchten Angeboten ebenfalls Studenten einschlägiger Fächer angesprochen. In Kapitel 2.4.3 wurde gezeigt, dass naturwissenschaftliche Experimente andere Ziele verfolgen als technische und daher auch grundsätzlich anders strukturiert sind. Aus diesem Grund sollen die

gefundenen Lernangebote, welche in den naturwissenschaftlichen Bereich fallen, nicht weiter betrachtet werden.
Die Lernangebote in den ingenieurswissenschaftlichen Fächern richten sich mit Studenten der entsprechenden Fächer an Lerner, denen ein nicht unerhebliches Vorwissen unterstellt werden kann. Die starke fachspezifische Ausrichtung solcher Versuche manifestiert sich in verschiedenen Gestaltungsmerkmalen solcher Systeme. Ähnlich wie in einem klassischen Praktikum wird vorausgesetzt, dass die Lerner bereits über das nötige Wissen für die Durchführung der Praktika verfügen. Wenn dieses stark fachspezifische Wissen nicht vorhanden wäre, könnten die untersuchten Lernangebote nicht sinnvoll genutzt werden. Dementsprechend beschränkt sich die Gestaltung der Angebote auf die Bedienung der angebundenen Hardware. Auf die Darstellung der eigentlichen Funktionsweise und Abläufe innerhalb der angebundenen Systeme hingegen wird verzichtet. Diese Eigenschaft kann als übereinstimmendes Merkmal für alle untersuchten Online-Labs gelten und stellt ein wesentliches Kriterium dar, welches sie für die Nutzung im Sinne einer disziplinübergreifenden (allgemeinen) Technikdidaktik als wenig geeignet identifiziert. Die gesichteten Online-Labs zielen auf die fachgerechte Bedienung im weitesten Sinne (Steuerung, Programmierung) und verzichten auf die explizite Analyse der allgemeinen Funktionsprinzipien dieser fachspezifischen Objekte. Im Sinne einer Komplexitätsbewältigung als typisches Merkmal technischen Denkens und Handelns wird bei der vorgefundenen Form angebundener Hardware zwar die Manipulation von auf das System einwirkenden Variablen ermöglicht, der Abbau der den technischen Objekten zu eigenen Intransparenz jedoch wurde nicht explizit fokussiert.

## *3.2 Ziele*

Im Rahmen dieser Arbeit sollen nun Konzepte für die technische Umsetzung einer solchen Integration gefunden werden. Diese Konzepte dürfen sich nicht auf die oben beschriebene Bedienung technischer Objekte beschränken, sondern sollen dem Lerner die Möglichkeit bieten, sich experimentell und somit interaktiv mit dem integrierten Objekt mit dem Ziel der Komplexitätsbewältigung auseinanderzusetzen. Eine Übersicht von Strategien, die derartige Anforderungen erfüllen können, existiert zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht. Daher sollen zunächst aktuelle Webtechnologien identifiziert, bewertet und gegenübergestellt werden. Dieser Schritt erfolgt in Kapitel 4.

Anhand eines konkreten Beispiels sind die didaktischen Möglichkeiten, die sich mit einer entsprechenden Integration bieten, aufzuzeigen. Dazu soll zunächst ein geeignetes technisches Realobjekt gefunden, bezüglich seiner komplexen Eigenschaften untersucht und hinsichtlich der bestehenden Möglichkeiten für die angestrebte Integration analysiert werden, was in Kapitel 5 geschieht.

Aufgrund der gefundenen Ergebnisse soll das analysierte Realobjekt unter Verwendung einer der in Kapitel 4 entwickelten Strategien so aufbereitet werden, dass eine Integration in gängige, webbasierte Lernsysteme ermöglicht wird. Durch diese Integration soll die techniktypische Bewältigung von Komplexität

ermöglicht werden und die Anwendung der beschriebenen Strategien erprobt werden. Der entwickelte prototypische Aufbau wird in Kapitel 6 beschrieben.

Abschließend soll der entwickelte Prototyp im Rahmen eines Tests unter authentischen Bedingungen auf die praktische Eignung sowohl aus didaktischer Sicht als auch aus technischer Sicht hin untersucht werden. Neben der technischen Funktionsfähigkeit steht die Frage nach den didaktischen Möglichkeiten, die durch die Integration des technischen Realobjektes entstehen. Die gewonnenen Ergebnisse sollen aufgezeigt und diskutiert werden, was in Kapitel 7 geschieht.

# 4 Web-Technologien

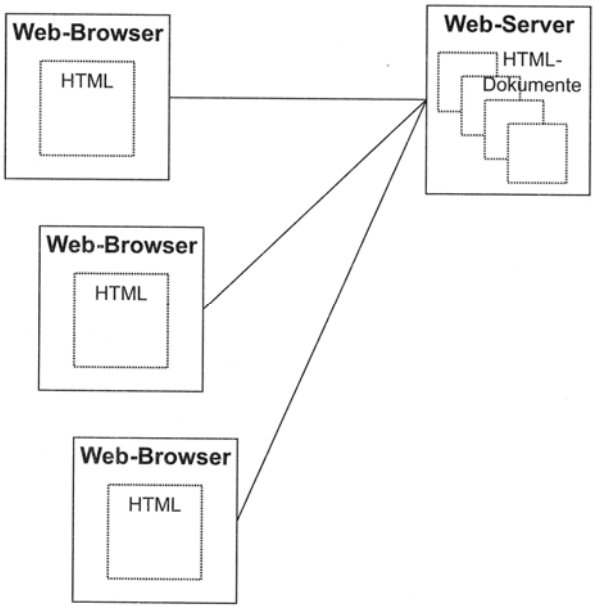
Im Fokus dieser Arbeit steht die Frage, wie technische Objekte optimal zum Zweck des Experimentierens im technischen Sinne im Rahmen didaktischer Funktionszusammenhänge über das Internet dem Lerner verfügbar gemacht werden können. Daher ist dieses Netzwerk und seine Technologien nun genauer zu beschreiben und die technologische Basis für den Prototyp zu definieren. Dazu stellt dieses Kapitel moderne Konzepte zur Integration von dynamischen Daten in Web-Applikationen vor. Diese werden abschließend diskutiert und auf ihre Eignung für den zu entwickelnden Prototyp untersucht.

## *4.1 Statische und dynamische Daten im WWW*

Auf Grundlage des in den 70er Jahren etablierten ARPA-Nets entstand 1990 mit der Verknüpfung der Technologien Internet und Hypertext durch BERNERS-LEE die Grundlage für das heutige World Wide Web (WWW). Das WWW ist nach WÖHR maßgeblich für die schnelle und weite Verbreitung dessen, was heute allgemein als „Internet" bezeichnet wird, verantwortlich, obwohl es eigentlich nur einer von vielen Diensten ist, die das Internet zur Verfügung stellt. Bis heute hat sich das Internet mit seinen Diensten zu einem festen Bestandteil der Gesellschaft etabliert:

> „Während das Internet für die Informationstechnologie bereits seit Mitte der 80er Jahre große praktische Bedeutung hat, blieb es dem WWW vorbehalten, dieser Bedeutung eine neue Dimension zu geben. Durch einen im Vergleich zur klassischen Kommandozeile spielerischen Umgang mit der Maus am Arm hat das World Wide Web zu einer beispiellosen Kommerzialisierung des Internets geführt. Die Art und Weise, wie Individuen kommunizieren und die globalisierte Ökonomie ihre Aufgaben verteilt, wurde einem grundlegenden Wandel unterzogen. Das WWW hat enorme wirtschaftliche Potenziale freigesetzt."
>
> (WÖHR 2004, S. 4)

Grundsätzlich funktioniert das WWW nach dem Client-Server-Prinzip. Dabei spielt der Webbrowser die Rolle des Internet-Clients. Er kontaktiert den Server und fordert die gewünschte Ressource an. Im Falle einer Website erfolgt die Beschreibung einer solchen mit Hypertext Markup Language (HTML).




*Client/Server-Prinzip (WÖHR 2004, S. 4)*

Der Server stellt im Netz kontinuierlich einen Dienst zur Verfügung, der die Auslieferung von HTML-Dateien ermöglicht. Dabei verhält er sich solange passiv, bis eine Anforderung durch einen Client erfolgt. Erst dann liefert er das entsprechende Dokument aus und der Browser übernimmt die Interpretation und die Darstellung der empfangenen Daten.
Prinzipiell gehören HTML-Dokumente zu den statischen Ressourcen. Sobald sie einmal ausgeliefert sind, verändern sie sich im Browser nicht mehr. Eine Änderung der Ressource auf dem Server wirkt sich erst dann im Browser aus, wenn die gesamte Datei erneut angefordert und dargestellt wird. Aktuelle Entwicklungen wie AJAX sind zwar in der Lage, nur ausgewählte Teile der statischen Seite durch neue Inhalte zu ersetzen, jedoch benötigen auch sie dazu eine explizite Anforderung des clientseitigen Browsers. Zu den statischen Ressourcen gehören darüber hinaus pdf-Dateien sowie alle Bilddateien. Auch Multimedia-Dateien (Bild und Ton) sind zunächst als statisch einzuordnen, obwohl sie in der Lage sind, nicht-statische Medien darzustellen. Als dynamisch können sie erst dann gelten, wenn der Benutzer durch Interaktion in die Lage versetzt wird, die Wiedergabe des Mediums zu beeinflussen.

Für die Realisierung des Prototyps soll eine fortgeschrittene, proaktive Interaktion realisiert werden, welche den Einsatz clientseitiger Technologien voraussetzt. Andererseits erfordert die Anbindung an das technische Realobjekt serverseitige Maßnahmen, sodass in den folgenden Abschnitten auf beide Ansätze eingegangen werden muss.

## 4.2 Anwendungskonzepte

Zahlreiche Anwendungen gehen über die reine Präsentation und Distribution von Inhalten hinaus und übertragen Leistungsmerkmale lokal lauffähiger Anwendungen auf das Web. So wird das Netzwerk als Übertragungsmedium als zentraler Bestandteil in komplexe Applikationen integriert, die verteilt auf meh-

reren Rechnern laufen und deren Dienste von mehreren Nutzern gleichzeitig in Anspruch genommen werden können. Diese Gattung von Applikationen wird als Web-Applikation bezeichnet und nach WÖHR wie folgt definiert:

> „Unter Web-Applikationen werden Anwendungen verstanden, die durch mehrere Benutzer gleichzeitig genutzt und über einen Browser bedient werden können. Die Ausführung der von Web-Applikationen bereitgestellten Funktionen, Prozesse und Dienste erfolgt mehrheitlich auf einem oder mehreren Servern. Für die Präsentation notwendige Funktionalitäten können auch auf dem Client ausgeführt werden.
>
> Web-Applikationen stellen ihrer Natur nach verteilte Mehrbenutzeranwendungen dar."
>
> (WÖHR 2004, S. 24)

Derartige Web-Applikationen haben sich innerhalb von Unternehmen und ihren Geschäftsprozessen längst etabliert. In diesem Kontext hat WÖHR die folgenden Anwendungskonzepte identifiziert:

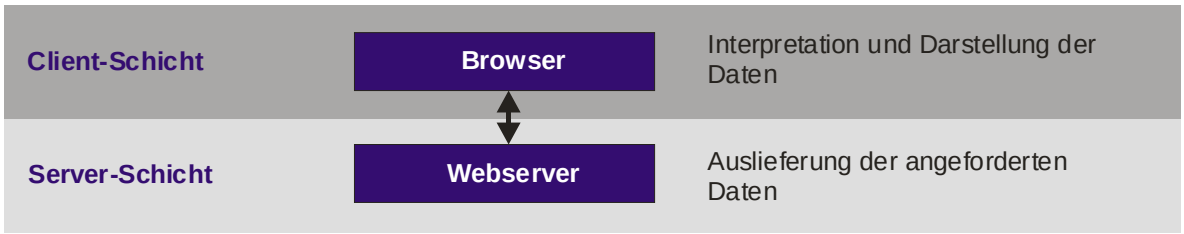
| Anwendungskonzept | Beschreibung |
|---|---|
| **Web Publishing** | **Bereitstellung von Informationen in Form von HTML/XML-Dokumenten** |
| **Web Integration** | **Zugriff auf Informationen aus unterschiedlichen heterogenen Quellen über einen universellen Web-Client** |
| **GroupWeb** | **Bereitstellen einer einheitlichen Infrastruktur für die innerbetriebliche Kommunikation, Kollaboration und Koordination** |
| **E-Business** | **Erweitern der Infrastruktur für die Interaktion mit externen Partnern** |

*Tabelle nach* WÖHR *2004, S. 29*

## 4.2.1 Web Publishing

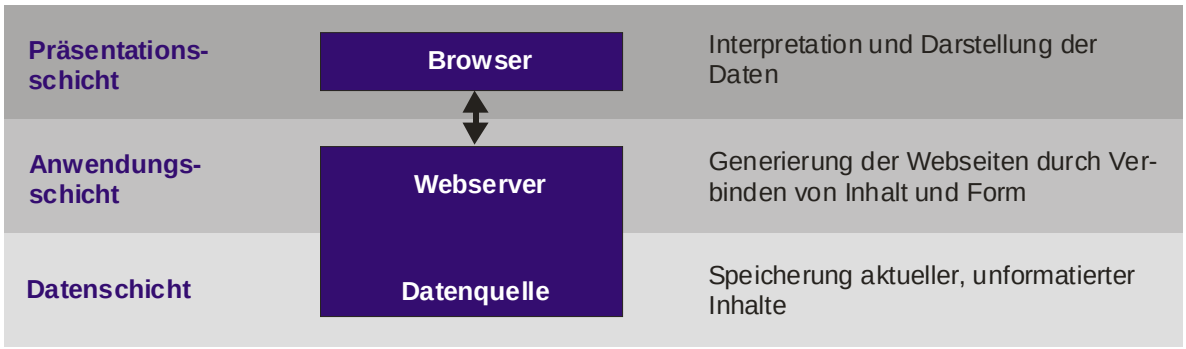
Im Rahmen des Web Publishing wird zwischen den eigentlichen Informationen und ihrer Darstellung unterschieden. So ist es möglich, beliebige Informationen in einer definierten Form darzustellen. Die Kriterien für Ausführung der Formatierung können sehr verschieden begründet sein; beispielsweise ist es möglich, das Format vom Anzeigegerät des Clients anhängig zu machen. Moderne Browser realisieren derartige Formatierungen mit HTML, der Extensible Markup Language (XML) und Cascading Style Sheets (CSS).

Kennzeichnend ist dabei, dass die darzustellende Information und die Definition des Formats auf der gleichen Maschine abgelegt sind, die auch die Distribution der Webseiten übernimmt (also dem Webserver). Dabei kommt dem Client eine darstellende und präsentierende Rolle zu, während die Aufgaben des Servers sich im Wesentlichen auf die Auslieferung der angeforderten Daten beschränken. Für diesen Vorgang ist keine weitere Logik erforderlich, sodass dieses Konzept bereits mit einer zweischichtigen Architektur realisiert werden kann.




*2-schichtige Architektur*

Für zahlreiche Szenarien dieses Konzeptes ist das Ablegen von Inhalten und Formatangaben in vielen individuellen Webseiten nicht praktikabel, da z.B. die hohe Aktualität der Inhalte ein zentrales Vorhalten dieser in einem einheitlichen Speicher erfordert. Typisch für solche Speicher sind Datenbanken, deren Inhalte sich über implementierte Schnittstellen durch den Webserver leicht und ohne weiteren technischen Aufwand auslesen und schreiben lassen, sofern diese auf der gleichen Maschine installiert ist. Mit den gleichen Schnittstellen lassen sich die Datenbestände dezentral durch beliebig viele Anwender pflegen. Die unformatierten Daten werden aufgrund einer Anwendungslogik dem gewünschten Design entsprechend in die Webseiten implementiert und anschließend an den Client ausgeliefert. Somit ist für die prinzipielle Darstellung der Architektur eine weitere Schicht erforderlich.

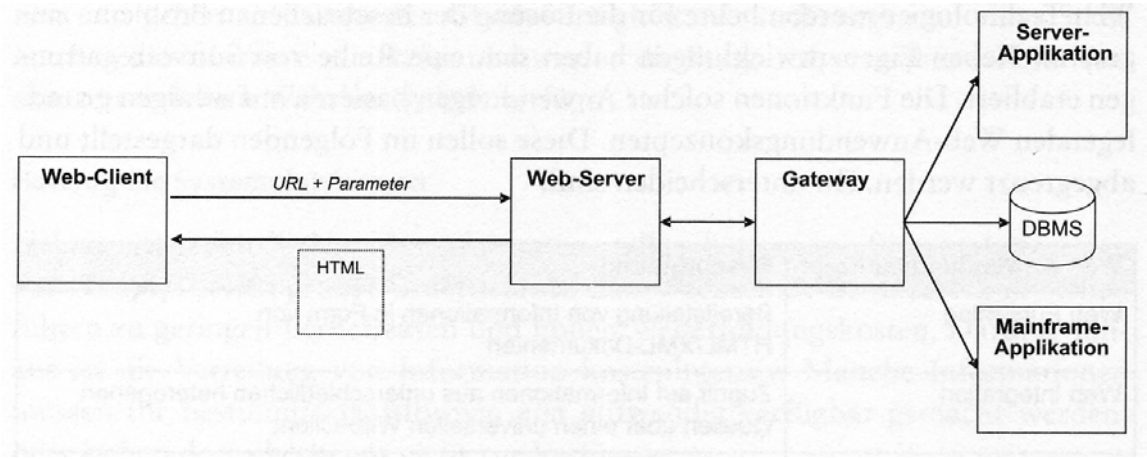



*3-schichtige Architektur*

## 4.2.2 Webintegration

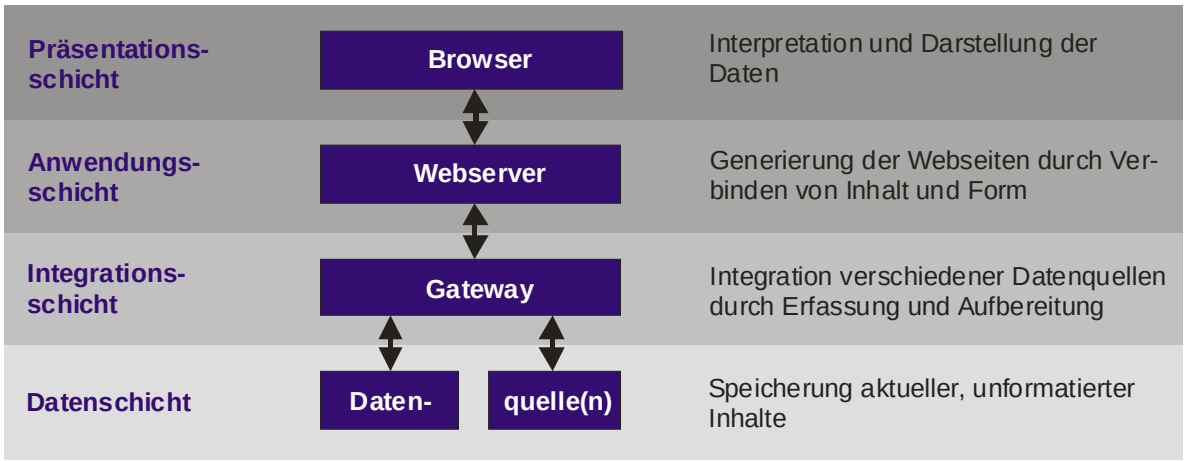
Geschäftsrelevante Daten liegen häufig nicht zentral, sondern in verteilten Quellen vor. Außerdem dürfte die Struktur der Daten aus den unterschiedlichen Quellen nur in den seltensten Fällen homogen sein; vielmehr ist von heterogenen Datenquellen auszugehen. Im Rahmen der Webintegration werden solche Daten zentralisiert und auf Grundlage des Web Publishing in einheitlicher Struktur publiziert. Diese Funktion fällt einem Gateway zu. Im Sinne der Anwendungskonzepte von Web-Technologien ist ein Gateway „ein Programm, das den Zugriff auf die jeweilige Informationsquelle implementiert“ (ebd., S. 30). Zu diesem Zweck müssen das Gateway selbst wie auch die Datenquellen über geeignete Schnittstellen verfügen. Da im Gateway die Informationen der einzelnen Datenquellen erstmalig zusammenlaufen, liegt es nahe, diesem bei Bedarf eine die einzelnen Datenquellen koordinierende Funktion zuzuweisen. Netzwerkseitig kommuniziert das Gateway direkt mit dem Webserver, welcher die Informationen in ein Ser-

viceangebot integriert, welches den Clients zur Verfügung gestellt wird. Im Gegensatz zum Web Publishing liegen die eigentlichen Informationen nicht mehr auf dem Webserver, sondern werden aus den verteilten Datenquellen erhoben.




*Auslieferung verteilter Informationen (WÖHR 2004, S. 30)*

Das Konzept lässt sich nicht mehr mit einer 3-schichtigen Architektur realisieren, da die Funktion des Gateways nur bedingt der Anwendungsschicht zugeordnet werden kann. Sie beinhaltet zwar eine Logik, diese dient allerdings nicht der Anwendung an sich, sondern vielmehr der Integration und Bereitstellung der Daten in einer geeigneten Form. Daher liegt die Einführung einer vierten Schicht - der Integrationsschicht - nahe.




*4-schichtige Architektur*

## 4.2.3 GroupWeb

Das Konzept des GroupWeb fokussiert die Optimierung der Zusammenarbeit dezentral vernetzter Personen. Dabei steht die Umsetzung dreier Funktionalitäten im Vordergrund:

- Um die Kommunikation zwischen den Personen zu vereinfachen, werden entsprechende Web-Applikationen mit Funktionen wie Email, Chat, Foren oder anderen Messaging-Diensten versehen.

- Kollaborative Dienste wie z.B. Dokumenten-Management ermöglichen eine systematische und strukturierte Erfassung, Speicherung und Auslieferung von Dokumenten innerhalb eines Kontextes durch verschiedene Personen. Häufig stellt ein Rechte-Management sicher, dass nur befugten Personen der Zugriff auf bestimmte Dokumente ermöglicht wird.
- Die Koordination von routinemäßigen Abläufen kann durch geeignete Automatismen erfolgen. In diesem Sinne übernimmt ein System die Distribution von Vorgängen, die für einen bestimmten Personenkreis relevant sind. So können beispielsweise Termine im Rahmen eines Projektmanagements zentral verwaltet und an alle beteiligten Personen ausgeliefert werden.

Ein derartiges Konzept kann mit der oben beschriebenen 4-schichtigen Architektur ohne weitere Maßnahmen umgesetzt werden. Dabei wird der Funktionsumfang in erster Linie auf der Anwendungsschicht durch entsprechende serverseitige Programme realisiert. Dabei ist zu beachten, dass alle Dienste auf Grundlage des WWW funktionieren müssen.

### 4.2.4 E-Business

Im Rahmen des E-Business werden die Kommunikationsprozesse zu externen Kommunikationspartnern in ein internes System integriert. Dadurch sollen auch solche Geschäftsprozesse in elektronischer Form abgewickelt werden können, die eine Kommunikation über das lokale Datennetz hinaus erfordern. Da in diesem Falle nicht mehr von homogenen Netzen ausgegangen werden kann, müssen sämtliche Features mit solchen Funktionen realisiert werden, die problemlos und sicher über das Internet zur Verfügung stehen. Dabei spielt bei sensiblen Daten besonders die Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten eine große Rolle.

Auch dieses Konzept lässt sich prinzipiell mit der 4-schichtigen Architektur realisieren. Dabei kommt der Integrationsschicht eine tragende Rolle zu, da diese die Schnittstelle zu externen Kommunikationspartnern zur Verfügung stellen muss, welche aus Sicht des internen Systems Daten liefern und somit als verteilte Datenquellen aufgefasst werden können.

Die Anwendungsschicht und die Integrationsschicht können bei umfangreichen Anwendungen leicht eine Komplexität erreichen, die eine Aufteilung und Einführung weiterer Schichten erfordert. In diesem Fall kann die 4-schichtige Architektur zu einer n-schichtigen Architektur erweitert werden.

### 4.2.5 Anwendungskonzepte in webbasierten Szenarien des E-learnings

Dieser Abschnitt bezieht die soeben erläuterten Anwendungskonzepte auf Szenarien aus dem Bereich des E-learning. Da es sich um grundlegend webbasierte Konzepte handelt, sollen dabei ausschließlich webbasierte Systeme berücksichtigt werden.

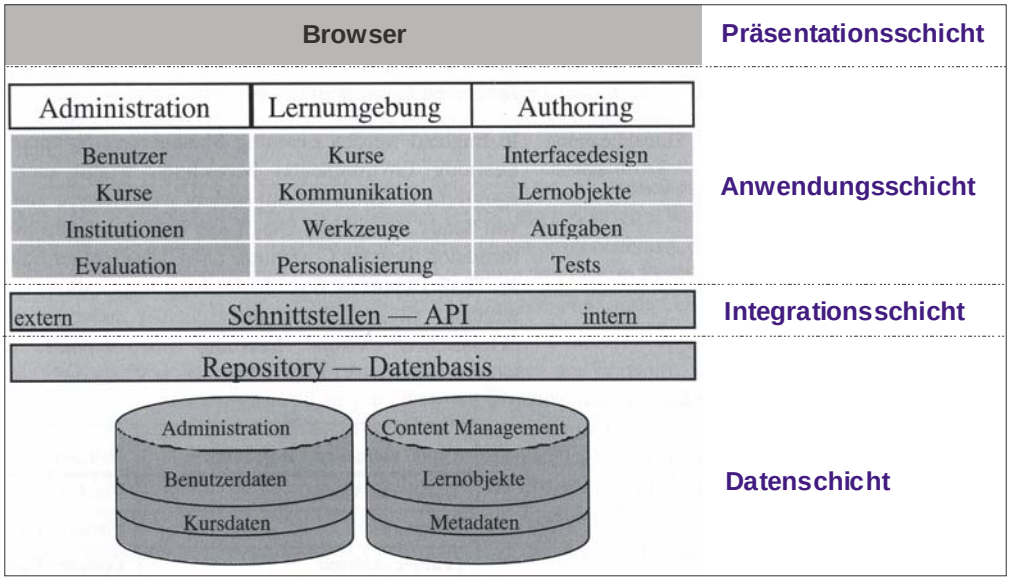
Die Trennung von Inhalt und Form stellt auch für computergestützte Lernangebote ein grundlegendes Konzept dar. Dabei wird eine Formatierung gewählt, die sich in erster Linie an den Bedürfnissen des Lerners orientieren und somit insbesondere Aspekte der Wahrnehmungspsychologie berücksichtigen sollte. Die Definition eines Designs beinhaltet Teile der Benutzerschnittstelle, die weniger für die Wahr-

nehmbarkeit als für die Bedienung relevant sind und somit die Softwareergonomie maßgeblich beeinflussen.
Da mittlerweile leistungsfähige und einfach zu wartende Datenbanksysteme mit implementierter Schnittstelle für Webapplikationen existieren, werden auch kleinere Lernsysteme in der Regel mit der 3-schichtigen Architektur realisiert. Die Datenbank ist dann weniger aufgrund der Menge der Inhalte als vielmehr wegen der Vorteile hinsichtlich der Pflege der Inhalte nahe liegend. Zu diesem Zweck implementieren viele Datenbanken ein Webinterface, welches zur Aktualisierung und Ergänzung des Datenbestandes benutzt werden kann. Die Administration der Inhalte erfolgt demnach nicht über das eigentliche Lernsystem, sodass auf ein komplexes Rollensystem verzichtet werden kann. Dabei werden sowohl der Seitenaufbau als auch Gestaltungsmerkmale einzelner Medienelemente erst auf der Anwendungsschicht erstellt und mit den entsprechenden Inhalten in der Datenbank verknüpft. Die Wartung der auf dieser Schicht befindlichen Programme erfolgt im Rahmen der Wartung des eigentlichen Webservers, sodass auch hier keine Rollenvergabe seitens des Lernsystems erfolgen muss.
Für webbasierte Lernsysteme stellt das Konzept des Web Publishing auf Grundlage einer 3-schichtigen Architektur ein Grundprinzip dar, auf das komplexere Systeme aufsetzen können.

Einige Lernsysteme thematisieren Inhalte, deren Anwendung maßgeblich mit dem Umgang mit realen Gegenständen in Form von Hardware verbunden ist. In solchen Online-Labs kann die Praxisnähe des Lernsystems durch eine Integration dieser Gegenstände hergestellt werden und das Erlernte somit möglichst direkt angewendet werden.
Im Rahmen von Kommunikationsprozessen im Bereich der Produktions- und Automatisierungstechnik ist ein transparenter Datenaustausch zwischen Leitrechnern und Fertigungsprozessen auf der Aktor-Sensor-Ebene vielfach realisiert. Die technischen Konzepte derartiger Prozessanbindungen können für entsprechende webbasierte Lernsysteme herangezogen werden. Die Anbindung an einen solchen realen Prozess erfolgt auf der Integrationsschicht, sodass hier das Konzept der Webintegration mit einer 4-schichtigen Architektur zur Anwendung kommt. Die Art des anzubindenden Prozesses bestimmt dabei maßgeblich den für die Integration erforderlichen Aufwand auf der Integrationsschicht.
Auch Lernsysteme, die keine Inhalte thematisieren, die eine explizite Integration von Hardware erfordern, betreiben teilweise Aufwand für die Integration systemfremder Komponenten. In diesem Sinne ist beispielsweise die Anbindung einer separaten Software wünschenswert, wenn diese eine maßgebliche Bedeutung für die Anwendung des Lerngegenstandes hat.

Wenn große Datenmengen und viele Benutzer in unterschiedlichen Rollen mit einem System arbeiten sollen, so erhöht sich der administrative Aufwand für die Pflege des Lernsystems signifikant. Das Konzept des Web Publishing ist in diesem Fall unzureichend, da es kein explizites Rollenkonzept umsetzten kann und die administrativen Vorgänge nur in dem Maße unterstützt, wie es die integrierten Benutzerschnittstellen der Datenbank und des Webservers erlauben. Indes sind viele Learning Management Systeme (LMS) in Form von kommerziellen Produkten und auch als Open-Source-Projekte erhältlich, die ein ausgeprägtes Rollen- und Benutzermanagement implementieren.

Die Funktionen eines LMS legitimieren die Zuordnung zu den GroupWebs, da übereinstimmend die gemeinsame Nutzung bestimmter Ressourcen im Vordergrund steht. SCHULMEISTER stellt eine für LMSs idealtypische Architektur vor, die mit der beschriebenen 4-schichtigen Architektur realisierbar ist.




*Idealtypische Architektur eines LMS mit vier Schichten (nach* SCHULMEISTER *2003, S. 11)*

Auf der Integrationsschicht beschreibt SCHULMEISTER dabei zweierlei Schnittstellen zu den Datenquellen:

- Interne Schnittstellen ermöglichen den Zugriff auf Datenquellen, die innerhalb des LMS angesiedelt sind. In erster Linie sind dies Datenbanken, die verschiedenartige Informationen und Inhalte enthalten können, es sind aber auch Softwarekomponenten denkbar, die für die Umsetzung spezieller Funktionen verantwortlich sind. Derartige Komponenten verfügen häufig über eine offene Schnittstelle (API), mit der übergeordnete Applikationen auf bestimmte Funktionen der Komponente zugreifen können.
- Über externe Schnittstellen können Funktionen solcher Softwarekomponenten implementiert werden, die nicht explizit in das LMS eingebunden sind. Auf diese Weise erfolgt häufig die Anbindung an leistungsstarke Editoren, die für die Erstellung von Inhalten prädestiniert sind.

Die Verteilung von Anwendungen ist das wesentliche Merkmal für Web-Applikationen, die nach dem Konzept „E-Business" arbeiten. Bei genauer Betrachtung findet sich dieses Konzept auch in Szenarien des E-learnings wieder. Dabei werden dezentral verteilte Ressourcen wie z.B. Experimente durch übergeordnete LMS zu einem einheitlichen Lehrangebot integriert. Dabei müssen neben den eigentlichen Inhalten auch administrative Vorgaben wie z.B. Zugriffszeiten und Versuchsergebnisse berücksichtigt werden. Diese Vorgänge erfordern den Austausch von Daten zwischen verschiedenen Systemen über das Internet, sodass derartig vernetzte Lernsysteme das für E-Business charakteristische Merkmal offensichtlich erfüllen.

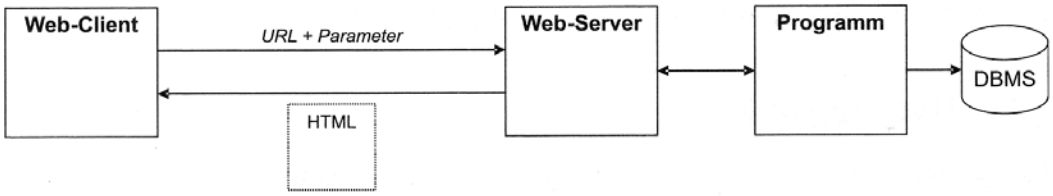
Für den zu entwickelnden Prototypen bedeutet dies, dass sich dieser in die 4-schichtige Architektur vieler LMS einfügen lassen muss.

## *4.3 Strategien für die Umsetzung von Web-Applikationen*

Web-Applikationen bedingen eine Kommunikation über ein Intra- oder Internet. Zu diesem Zweck basieren sie auf einer Summe von Technologien, welche die für eine systemübergreifende Ausführung, Kommunikation und Darstellung über Netzwerke technologischen Rahmenbedingungen realisieren. Die Palette der existierenden Web-Technologien sowie deren Dialekte und Ausführungen ist umfangreich und ausgesprochen unübersichtlich. Zusätzlich ergibt sich eine kontextabhängige Unschärfe bei der Trennung zwischen expliziter und impliziter Web-Technologie, da Funktionen, deren Anwendung im Kontext einer Web-Applikation erfolgt, mit zunächst nicht Web-orientierten Technologien realisiert werden können. Zudem unterliegen Web-Technologien ständigen (Weiter-) Entwicklungen und Optimierungen durch kommerzielle Institutionen und Open-Source-Projekte. Daher ist eine systematische Darstellung in aller Vollständigkeit nicht möglich. Sie wäre ohnehin nicht lange gültig, da die entsprechenden Innovationszyklen oft sehr kurz sind. Deshalb wird auf den Versuch, eine vollständige Momentaufnahme aller bestehenden Web-Technologien zu erstellen, verzichtet. Stattdessen werden an entsprechender Stelle etablierte Technologien beispielhaft vorgestellt und charakterisiert.

### 4.3.1 Server- und clientseitige Strategien

Das heutige Informationsangebot im Internet ist mit ausschließlich statischen Ressourcen nicht mehr realisierbar. Die Aktualität vieler derartiger Angebote erfordert ein häufiges Aktualisieren von Inhalten in teilweise sehr kurzen Zeitabständen. Beispielsweise bieten diverse Tageszeitungen stets die aktuellen Nachrichten auf ihren Websites zur Einsicht an. Sollte dieses Angebot ausschließlich mit statischen Websites realisiert werden, so entstünde ein erheblicher Aufwand hinsichtlich der Wartung und Pflege des Webauftrittes. Es bietet sich daher an, die Inhalte zentral ein einer Datenbank zu verwalten und die Generierung der vom Server ausgelieferten Website einem Automatismus zu überlassen.




*Dynamisch erzeugte Websites (WÖHR 2004, S. 23)*

Für die dynamische Generierung von Websites sind stets serverseitige Programme erforderlich, die einerseits die Anbindung an die dynamische Datenquelle und andererseits die Generierung der eigentlichen Website realisieren. Dynamisch erzeugte Websites liefern prinzipiell statische Websites aus, wobei diese auch dynamische Elemente beinhalten können. Eine clientseitige Aktualisierung der Inhalte kann nur

durch das erneute Anfordern der Daten beim Server (Reload) erfolgen[1]. Somit muss zwischen serverseitiger und clientseitiger Dynamik unterschieden werden, welche dementsprechende Maßnahmen auf dem Client oder auf dem Server erfordern.

Clientseitige Maßnahmen bestehen aus Code, der im Rahmen einer Datenanforderung einmalig durch den Server ausgeliefert und anschließend durch den Client interpretiert und ausgeführt wird. Auf diese Weise können statische Daten (wobei serverseitig dynamisch generierte Daten aus Sicht des Webbrowsers ebenfalls als statisch zu betrachten sind) und dynamische Elemente im Rahmen einer Website übertragen werden.

Das generelle Ziel des Einsatzes von serverseitigen Technologien ist die Implementierung dynamisch erzeugter Inhalte auf Websites. Das können einzelne Elemente wie z.B. ein aktuelles Datum genauso wie der komplette Inhalt eines Webauftrittes, der aus nahe liegenden Gründen in einer Datenbank abgelegt ist, sein.

Dabei bestehen im Vergleich zu clientseitigen Maßnahmen aufgrund der Zentralität des Webservers die folgenden wesentlichen Unterschiede:

| Clientseitige Technologien | Serverseitige Technologien |
|---|---|
| **Der unmittelbare Zugriff auf eine zentrale Datenquelle ist direkt nicht möglich. Stets ist die Implementierung einer Middleware erforderlich.** | **Die Anbindung einer zentralen Datenquelle kann im Rahmen der zur Verfügung stehenden Maßnahmen erfolgen. Auf diese Weise kann eine Middleware auf der Anwendungs- bzw. Integrationsschicht realisiert werden.** |
| **Die Verschiedenartigkeit der zugreifenden Clients muss besonders berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck ist ein erheblicher Aufwand für die Erkennung und Anpassung auf die verschiedenen Webbrowser zu leisten.** | **Die Vielfältigkeit der zugreifenden Clients ist nur dann von Interesse, wenn Aufgaben durch den Client abgedeckt werden sollen. Dies ist vor allem bei der Präsentation auf der Darstellungsschicht der Fall. Ansonsten können alle Aufgaben der Anwendungs- und Integrationsschicht (wenn vorhanden) durch den Server realisiert werden. Da dessen Möglichkeiten transparent und fix sind, reduziert sich der Aufwand deutlich.** |
| **Die Speicherung von Zuständen über die Dauer einer Session hinweg ist prinzipiell durch die Nutzung von Cookies möglich, unterliegt jedoch strikten Einschränkungen was die Quantität der abgelegten Daten angeht.** | **Zustände können relativ einfach durch Anbindung einer geeigneten Datenbank an den Server im Rahmen der technischen Möglichkeiten in beliebiger Menge und zu jedem Zeitpunkt abgespeichert und wieder aufgerufen werden.** |

Es wird offensichtlich, dass durch den Einsatz serverseitiger Maßnahmen wesentliche Vorteile für die Realisierung von Intelligenzen auf der Anwendungs- und Integrationsschicht entstehen. Zu diesem Zweck steht dem Programmierer ein weites Spektrum an Programmier- und Skriptsprachen zur Verfügung wie z.B. Java, Delphi, Pearl, PHP, C, Python usw. Dabei lassen sich definierte Ziele oft mit mehreren dieser Sprachen erreichen, sodass für die Entscheidung zugunsten einer konkreten Sprache oft sekundäre Gründe wie Kosten, Erfahrungen und Kenntnisse ausschlaggebend sind. Zudem lassen sich einige dieser Sprachen miteinander kombinieren und erlauben somit eine ausgeprägte Modularisierung unter Nutzung

[1] Es existieren Mechanismen, die clientseitig die zyklische Anforderung von ganzen Seiten ohne Benutzereingabe realisieren. Prinzipiell wird dazu lediglich ein automatischer Reload durchgeführt, sodass dem Benutzer die damit verbundene Dynamik lediglich suggeriert wird.

verschiedener Technologien. Aus diesen Gründen soll auf die Erläuterung einzelner Sprachen an dieser Stelle verzichtet und auf die entsprechende Literatur[1] verwiesen werden.
Die Integration von dynamischen Daten erfordert stets die Einführung einer Integrationsschicht. Der Aufwand für die Ausführung der Maßnahmen auf dieser Schicht hängt stark von der Art der zu implementierenden Daten ab. Zu diesem Zweck haben sich einige Konzepte etabliert, die in den folgenden Abschnitten vorgestellt und auf ihre Eignung für die Realisierung des Prototyps hin überprüft werden sollen.
Während dynamische Prozesse auf dem Server zur Erzeugung von Inhalten dienen und dem Nutzer verborgen bleiben, ermöglicht eine clientseitige Dynamik die Gestaltung interaktiver Inhalte. Für Lernzwecke kann also nur die Letztere einen didaktischen Wert darstellen. Für die Distribution von Inhalten über Netzwerke sind allerdings stets auch serverseitige Maßnahmen erforderlich. Insbesondere bei der Integration zusätzlicher Datenquellen oder Intelligenzen kommt den serverseitigen Technologien eine wesentliche Bedeutung zu. Wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, bietet Interaktivität vielfältige Möglichkeiten zur Nutzung des Mediengerätes „Computer" zu Lernzwecken, welche mit nicht-computerbasierten Medien nicht realisierbar wären. Die didaktische Relevanz von Interaktivität legt eine Untersuchung etablierter Technologien auf ihre diesbezügliche Leistungsfähigkeit nahe. Die folgende dreistufige Unterteilung von Web-Technologien hinsichtlich ihres Interaktivitätsgrades zeigt, mit welchen Technologien unterschiedliche Interaktivitätsgrade erreicht werden können.

### 4.3.2 Navigative Interaktion mit Hypertext und Hypermedia

Das WWW ist prinzipiell ein interaktives Medium. Da die Hypertext-Technologie grundsätzlich implementiert ist, kann eine clientseitige Dynamik auch mit statischen Ressourcen realisiert werden. Eine Sequenz von untereinander verlinkten Seiten ermöglicht die Interpretation von Benutzereingaben und eine individuelle Reaktion auf diese. Eine Interaktivität durch statische Medien kann erreicht werden, wenn ganze Dokumente innerhalb des gleichen Kontextes den Eingaben des Benutzers entsprechend ausgetauscht werden. Diese Art der Interaktivität ist durch die technischen Voraussetzungen zwar leicht implementierbar, bietet aber lediglich eine sehr restringierte Möglichkeit der Interaktion. Im Wesentlichen beschränkt sich die Qualität der Interaktion auf das individuelle Anfordern von Dokumenten vom Server. So lässt sich in erster Linie eine individuelle Navigation innerhalb eines Angebots verschiedener Inhalte umsetzen, indem entsprechende Hyperlinks verwendet werden. Die selbstständige Auswahl von Lerninhalten „darf [in webbasierten Lernangeboten] natürlich nicht fehlen, obwohl es eher lächerlich wirkt, diese Möglichkeit bei der Beschreibung eines Lernprogramms als Beleg für Interaktivität aufzuführen" (NIEGEMANN ET AL. 2004, S. 113). Die didaktische Leistungsfähigkeit entsprechender Technologien ist also sehr begrenzt.

[1] Einen Überblick über die einzelnen Sprachen liefern beispielsweise LUBKOWITZ 2004, LOUIS, WENZ 2001 oder WÖHR 2004

Die Umsetzung einer derartigen Interaktivität ist indes mit sehr einfachen und grundlegenden Webtechnologien möglich:
Die Extensible Markup Language (XML) ist eine reine Auszeichnungssprache. Sie ist allerdings nicht auf einen bestimmten Kontext wie z.B. die Darstellung in einem Webbrowser ausgerichtet, sondern stellt eine kontextunabhängige und universelle Beschreibung für Dokumenten- und Datenstrukturen dar. Dabei existieren keine vordefinierten Elemente wie Überschriften, Absätze oder Aufzählungen. In XML ist die Verwendung eigener Elemente erforderlich, was in Verbindung mit einer ebenso beliebigen Verschachtelung der Elemente eine semantische Beschreibung jeder Datenstruktur erlaubt.
Für die optische Darstellung eines XML-Dokumentes benötigt eine Applikation Informationen über die konkreten Formate der einzelnen Elemente. Diese Formatierung kann mit cascading stylesheets (CSS) oder einer anderen Extensible Stylesheet Language (XSL) erfolgen. XSL ist im Gegensatz zu CSS nicht speziell auf die Darstellung von Inhalten im Webbrowser ausgelegt und somit wesentlich abstrakter. Cascading Style Sheets (CSS) ist eine Sprache, die das Format und das Design für die Darstellung von XML-Dokumenten beschreibt. Mit CSS wird die explizite Formatierung von Elementen ermöglicht, wobei das Prinzip der Trennung von Inhalt (auf der Datenschicht) und Layout (auf der Darstellungsschicht) durchgehalten wird. Diese Spezifikation erfolgt separat von den XML-Elementen, die beschrieben werden. Somit dient XML ausschließlich zur Beschreibung der Struktur eines Dokumentes, während CSS die Darstellung beschreibt.
Außerdem ermöglicht CSS ein Design in Abhängigkeit vom darstellenden Mediengerät. Auf diese Weise kann die gleiche Website ohne zusätzliche Maßnahmen für die Darstellung auf dem Bildschirm und für den Druck auf Papier optimiert werden.

Hypertext Markup Language (HTML) ist eine Auszeichnungssprache, die auf der Präsentationsschicht die Dokumentenstruktur eines Web-Dokumentes für die Anzeige im Webbrowser beschreibt. Sie stellt somit eine konkrete und stark zweckorientierte Form von XML dar. HTML wurde 1990 mit dem Ziel entwickelt, statische Dokumente mit Fließtexten, Grafiken und Hypertexten in Webbrowsern darstellen zu können. Der rasanten Entwicklung und Nutzung des WWW ist es wohl zu verdanken, dass HTML verhältnismäßig schnell weiterentwickelt wurde und heute mit der aktuellen Version 4.01 Merkmale wie Framesets, Multimedia, Tabellen und Formulare realisieren kann. Dazu verfügt die Sprache über eine XML-Syntax, mit der die Knoten eines Dokumentes hierarchisch angeordnet werden können. Auf diese Weise können Elemente wie Überschriften, Fließtexte, Aufzählungen und Tabellen in einem Textdokument beschrieben und angeordnet werden. Dieses Textdokument wird durch den Webserver ausgeliefert und durch den Webbrowser dargestellt. Dazu muss dieser wissen, wie welches Element konkret darzustellen ist. Zu diesem Zweck verfügt er standardmäßig über Formatvorgaben, die den Elementen entsprechend zugeordnet werden. Das auf diese Art generierte Dokument kann nun auf dem Bildschirm dargestellt werden.
Es besteht weiterhin die Möglichkeit, die einzelnen Elemente mit HTML explizit zu formatieren. So kann der Programmierer die Formate der darzustellenden Elemente exakt festlegen und dafür sorgen, dass die Website in einem bestimmten Design dargestellt wird. Diese Art der Formatierung bedingt allerdings die

Vermischung von Inhalt und Formatierung; im Sinne einer drei- bzw. n-schichtigen Architektur ist die Trennung von Inhalten auf der Datenschicht und Formatangaben auf der Darstellungsschicht indes Voraussetzung, sodass die explizite Formatierung durch HTML nicht praktiziert werden sollte. Vor diesem Hintergrund hat das World Wide Web Consortium (W3C) die Verabschiedung neuer HTML-Standards aufgegeben und mit XHTML einen Standard definiert, der die Darstellung von Inhalten in Webbrowsern mit XML und CSS vorsieht.

Die beschränkte Funktionalität dieser Technologien hat dabei den Vorteil, dass keinerlei serverseitige Maßnahmen erforderlich sind. Die Auslieferung statischer Dateien gehört zur Grundfunktion eines jeden Webservers.

Für die Anwendung im zu entwickelnden Prototyp kann auf den Einsatz von XML bzw. HTML nicht verzichtet werden, ist doch die Nutzung des Systems über einen Internet-Browser vorgesehen. Auf diese Weise lassen sich ausschließlich Steuerungsinteraktionen wie Auswahl von Inhalten und Steuerung des Lernweges bei Webangeboten mit mehreren Seiten realisieren. Die im Rahmen konstruktivistischer Ansätze immer wieder gestellte Forderung, den Lerner als aktiven Teil in ein Lernsystem zu integrieren, kann mit diesem Konzept allerdings nicht erfüllt werden. Die Aktion des Lerners ist auf die Anwahl von Inhalten beschränkt, sind diese erstmal auf dem Bildschirm, so wird der Lerner erneut in eine passive Rolle gezwungen, da er die statischen Inhalte lediglich rezipieren kann. Eine intrinsische Motivation ist durch solche Systeme nur sehr schwer erreichbar, vielmehr muss der Lerner extrinsisch motiviert werden. Aus diesem Grund eignen sich derartige Systeme insbesondere zur gezielten Recherche aktuell benötigter Informationen. Sie nutzen die Möglichkeiten des Computers als Mediengerät nicht aus und stellen somit keinen echten didaktischen Mehrwert dar. Berücksichtigt man nun noch den organisatorischen Aufwand, der für die Nutzung von Computern erforderlich ist, so wird offensichtlich, dass solche Lernsysteme im Vergleich zu konventionellen Medien durchaus lernhemmend wirken können. Für die Umsetzung des Prototyps sind didaktische Interaktionen erforderlich, welche weit über die Lernwirksamkeit von Steuerungsinteraktionen hinausgehen (vgl. STRZEBKOWSKI, KLEEBERG 2002, S. 233). Daher sind für die Realisierung des Prototyps weitere Web-Technologien auf ihre interaktiven Möglichkeiten zu prüfen.

### 4.3.3 Reaktive Interaktivität: Auswertung von Benutzereingaben

Dynamische Medien sind in der Lage, eine elaborierte Interaktion zwischen Nutzer und Medium zu realisieren. Zu diesem Zweck erlauben sie eine individuelle Reaktion auf Benutzereingaben, die über das Austauschen von Dokumenten im Sinne einer Navigation weit hinausgehen. Eine derartige Qualität von Interaktion ist erst durch Implementierung einer clientseitigen und / oder serverseitigen Intelligenz möglich.

Mit Hilfe solcher Intelligenzen lassen sich didaktische Interaktionen wie Auswertung und Feedback auf Benutzereingaben, Modifikation von Form und Inhalt lernerseitig ausgewählter Inhalte sowie eingeschränkte Adaptivität des Inhalts und der Intelligenz eines webbasierten Lernangebots implementieren.

Weiterhin sind Mechanismen implementierbar, welche auf Benutzereingaben reagieren können. Klassisch sind z.B. Formulareingaben, mit deren Hilfe sich Fragen per Multiple Choice, oder durch die Eingabe von Zahlen oder Text auswerten und beantworten lassen. Die Benutzereingaben lassen sich auch dazu benutzen, den Lerner seinen Antworten entsprechend durch die Inhalte zu führen. Das gleiche Prinzip kann auf bereits vorhandene grafische Elemente angewendet werden, sodass sich Objekte auf einen Mausklick hin scheinbar verändern. Die Veränderung kann aber nur suggeriert werden, in Wirklichkeit kann ein Objekt lediglich ausgetauscht oder in seiner Dimension verändert werden. Daher ist der Vorrat an visuellen Reaktionsmöglichkeiten begrenzt.

Dabei verfügt (X)HTML als Auszeichnungssprache nicht ansatzweise über den Funktionsumfang einer Programmiersprache, sodass keinerlei clientseitige Logik auf der Anwendungsschicht programmiert werden kann. Zu diesem Zweck sind ergänzende Technologien erforderlich, die auf die einzelnen Elemente eines Dokumentes und deren Parameter zugreifen und auf Grundlage eines programmierten Verhaltens auf diese Elemente einwirken können.
Dazu wird eine Schnittstelle benötigt, die der Skriptsprache den Zugriff auf die Elemente ermöglicht. Diese Schnittstelle stellen zahlreiche Browser mit einem Document Object Model (DOM) bereit, welches die Dokumentstruktur in Form einer Objekthierarchie abbildet. Eine Scriptsprache kann nun auf die Eigenschaften eines jeden Objektes zugreifen und diese während der Laufzeit aufgrund ihrer Programmierung verändern. Auf diese Weise können herkömmliche (X)HTML-Dokumente um dynamische Komponenten erweitert werden.
Das Skript kann direkt in ein (X)HTML-Dokument eingebunden sein oder als separate Datei vorliegen. In beiden Fällen muss der Quelltext im Gegensatz zu höheren Programmiersprachen nicht in einem separaten Schritt kompiliert werden; stattdessen wird er zur Laufzeit interpretiert. Durch den Einsatz von Skriptsprachen kann Intelligenz, welche sonst auf dem Server verortet wäre, auf den Client ausgelagert werden. Dadurch reduziert sich der Datenaustausch während einer Anwendung unter Umständen drastisch, sodass je nach Geschwindigkeit der Netzwerkanbindung sogar ein spürbarer Performancegewinn erreicht werden kann.
Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Interpretation des Quelltextes allein durch den Webbrowser erfolgt. Neben der durch die Verschiedenartigkeit der auf dem Markt befindlichen Webbrowser bedingten Problematik kann jeder Benutzer seinen Webbrowser individuell konfigurieren und so die Ausführung von Skripten verhindern. In diesem Fall wären alle Funktionen, die auf einem Skript basieren, nicht mehr verfügbar. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass Skriptsprachen bei weitem nicht die Mächtigkeit einer vollwertigen Programmiersprache aufweisen. Da clientseitig ausgeführter und von einem beliebigen Webserver ausgelieferter Code grundsätzlich ein Sicherheitsrisiko darstellt, läuft dieser in einer „Sandbox“ ab, welche kritische Funktionen wie beispielsweise den Zugriff auf das lokale Dateisystem unterbindet.
Die technischen Möglichkeiten sind also begrenzt. Die Ursache für diese Einschränkungen ist vor allem durch die Interpretation durch den Browser begründet. Dadurch stehen nur solche Elemente zur Verfügung, die der Browser direkt darstellen und verändern kann. Dieses Prinzip findet bei skript-gestützten

Navigationselementen Anwendung, sodass sich teilweise beeindruckende Navigationsmenüs erzielen lassen. Die dynamische Manipulation multimedialer Elemente ist mit clientseitigen Skriptsprachen hingegen nicht möglich. Gerade solche Elemente sind für die Erzeugung möglichst realitätsnaher und authentischer Situationen besonders wichtig. Nur so lassen sich Elemente dynamisch beeinflussen, welche durch (X)HTML nicht vorgesehen sind. Auf diese Weise lassen sich Datenquellen oder Benutzereingaben auslesen, verarbeiten und grafisch orientiert wiedergeben. Beispielsweise ist die dynamische Generierung eines mathematischen Graphen aufgrund von Benutzereingaben oder anderen Datenquellen per Skript nicht möglich. Ebenso wenig können Animationen oder Simulationen dynamisch beeinflusst werden.

Dieser Mangel lässt sich mit serverseitig implementierten Technologien kompensieren. Auf dem Server lassen sich ebenfalls Skripte einsetzten, allerdings mit Möglichkeiten, die zumindest teilweise mit denen vollwertiger Programmiersprachen vergleichbar sind. Auf diese Weise kann auf clientseitige Aktionen dynamisch reagiert werden. Voraussetzung ist dabei, dass die Aktion vom Client initiiert wurde. Ein serverseitiges Skript kann nicht seinerseits eine Kommunikation mit dem Client initiieren. Werden allerdings Informationen vom Client kommuniziert, so kann der Server dynamisch auf diese reagieren. Auf diese Weise werden z.B. Formulareingaben eingelesen, auf Konsistenz überprüft, ausgewertet und verarbeitet. Das Resultat kann dann wiederum an den Client gesendet werden – sofern dieser entsprechende Antworten erwartet. Die Antwort selbst kann allerdings im Rahmen der Darstellungsmöglichkeiten des Clients (welche in der Regel durch den Webbrowser realisiert wird) beliebig gestaltet werden. So können nicht nur neue Seiten dynamisch generiert werden, sondern auch Grafiken, pdf-Dokumente oder andere browserseitig darstellbare Formate aufgrund der zuvor ausgewerteten, individuellen Daten erzeugt und ausgeliefert werden.

In Kombination mit entsprechenden clientseitigen Intelligenzen lassen sich auf diese Weise sehr komplexe und leistungsfähige Lösungen erstellen; die im Internet zahlreich verfügbaren Anwendungen dieser Art belegen dies (z.B. Webmailer, Bild-Datenbanken). Grundsätzlich unterliegen alle diese Lösungen der Einschränkung, dass eine Interaktion stets durch den Client initiiert werden muss. Erst neuere Technologie-Kombinationen, die mit Begriffen wie „Web 2.0“ oder „AJAX“ bekannt geworden sind, überwinden diese Einschränkung und verleihen Webanwendungen das „look and feel“ lokaler Anwendungen, da nicht mehr jede Benutzereingabe eine Wartezeit auslöst, welche durch das synchrone Nachladen neuer Inhalte über das Netz hervorgerufen wird. Stattdessen wird mittels der Technologien Javascript, XML und CSS eine Engine realisiert, welche als Schnittstelle zwischen der clientseitigen Benutzeroberfläche und dem Server fungiert. Diese Engine unterhält eine ständige Kommunikation zum Server und kann daher Inhalte laden, bevor der Benutzer sie explizit anfordert. Das bedeutet jedoch nicht, dass die technischen Grenzen, die die Übertragungsgeschwindigkeit über das Internet bestimmen, außer Kraft gesetzt werden können. Web 2.0 versucht lediglich, den Datenverkehr zwischen Client und Server zu optimieren, Wartezeiten, die durch die Internetanbindung oder Serverauslastung auftreten, lassen sich auch mit diesen Technologien nicht vermeiden.

Durch die geschickte Programmierung von Mechanismen, die auf clientseitigen Skripten beruhen, lassen sich dennoch Lernangebote erstellen, die durchaus eine mit den Lerninhalten direkt in Verbindung stehende, reaktive Interaktion erlauben. Besonders die differenzierte Reaktionsfähigkeit des Systems auf

Aktionen des Lerners ermöglichen Funktionen, die nur mit dem Einsatz eines Computers als Mediengerät möglich sind und einen echten didaktischen Mehrwert bieten.

Die wohl gängigste clientseitige Skriptsprache ist JavaScript (JS), welches 1995 mit dem Ziel entwickelt wurde, HTML-Dokumente dynamisch beeinflussen zu können. Dieser Ansatz wurde schnell von den Browserherstellern aufgegriffen und in die Webbrowser implementiert. Dabei haben sich ähnlich wie bei HTML zahlreiche Dialekte und Versionen etabliert, welche bei der Programmierung von clientseitigen JS berücksichtigt werden müssen.
Im „Internet Explorer" realisiert MICROSOFT mit „Active Scripting" ein Konzept, welches die Einbindung von Skripten ermöglicht, die als COM-Klasse implementiert werden können. Derartige Skripte können beispielsweise in JScript oder VBScript vorliegen. Durch alternative Browser können diese Skripte nicht interpretiert werden, was sie für Cross-Browser-Anwendungen disqualifiziert.

Für den serverseitigen Einsatz haben sich eine Reihe von Programmier- und Skriptsprachen etabliert. Zwar hat jede Sprache ihre Stärken und Schwächen, allerdings lassen sich Lösungen meist auf unterschiedliche Art und Weise realisieren, sodass die Wahl einer konkreten Sprache nicht selten vordergründig durch die Neigungen des Programmierers bestimmt wird. Generell lassen sich die Sprachen in drei Kategorien einordnen:

- Programmiersprachen
  Die Quelltexte solcher Sprachen müssen vor der Ausführung zunächst kompiliert werden. Als Resultat liefert der Compiler eine durch das Betriebssystem direkt ausführbare Binär-Datei. Sprachen wie C, C++, Pascal oder Basic gehören in diese Kategorie.
- Interpretersprachen
  Auch die Quelltexte von Interpretersprachen wie Java oder C# müssen kompiliert werden. Allerdings erfolgt die Ausführung derartiger Dateien nicht direkt durch das Betriebsystem, sondern durch eine betriebsystemspezifische Laufzeitumgebung. Der eigentliche Quellcode ist dabei plattformunabhängig, sodass er prinzipiell auf jeder Maschine lauffähig ist, für die eine Laufzeitumgebung existiert. Mit „Java Server Pages" (JSP) steht eine Technologie zur Verfügung, die auf Java basiert, sich aber ähnlich komfortabel wie eine Skriptsprache in webgestützte Lösungen implementieren lässt.
- Skriptsprachen
  Der Quelltext von Skriptsprachen wird ohne Kompilierung direkt durch den Webserver interpretiert und ist somit recht einfach portierbar. Die Interpretation geschieht dabei zur Laufzeit, sodass die Performance im Vergleich zu den vorangehenden Ansätzen relativ gering ist. In der Praxis wirkt sich dieser Nachteil allerdings bei vielen Lösungen nicht spürbar aus, sodass sich hier Skriptsprachen wie PHP, Pearl oder Python großer Beliebtheit erfreuen, sind sie doch speziell auf die Anwendung im Rahmen von Web-Szenarien ausgelegt. Auf Microsoft-basierenden Ser-

vern stellt „Active Server Pages“ (ASP) ein Konzept dar, mit dessen Hilfe sich Skripte in den eigenen Sprachen wie „VBScript“ oder „JScript“ erstellen und implementieren lassen.

Mit diesen Technologien lassen sich Intelligenzen gemäß folgender Konzepte umsetzten:

#### 4.3.3.1 Server Side Includes (SSI)

Server Side Includes (SSI) sind direkt im HTML-Quelltext einer Website eingebrachte Kommentare, die bei ihrer Auslieferung aufgrund einer Anfrage durch einen Client vom Webserver interpretiert und durch entsprechende Inhalte ersetzt werden. Auf diese Weise ist es leicht möglich, eine an sich statische Seite zur Laufzeit dynamisch mit Elementen zu versehen. Dazu kann auf folgende Informationen zugegriffen werden:

- Umgebungs- und SSI-Variablen
  „Eine Umgebungsvariable ist eine Variable, die global auf einem Rechner gespeichert wird und auf die alle Programme, die auf diesem Rechner ablaufen, zugreifen können“ (LOUIS, WENZ 2001, S. 659). Einige Programme halten weitere kontextabhängige Umgebungsvariablen vor. So hält z.B. ein entsprechend eingerichteter Webserver SSI-Umgebungsvariablen vor, mit deren Hilfe auf Ortszeit und Datum, Dokumentnamen, URLs oder einen Query-String zugegriffen werden kann. Auf diese Weise lassen sich kleine Elemente wie z.B. das aktuelle Datum auf dem Server in eine auszuliefernde Website integrieren.
- Dateiinhalte
  Mit SSI lassen sich die Inhalte entsprechend freigegebener Dateien dynamisch in ein Webdokument einfügen. Dies ermöglicht z.B. das Einfügen eines zentral vorgehaltenen Website-Fragmente (z.B. Seitenköpfe oder Banner) in beliebig viele andere Seiten auf dem Server.
- Ausgabe externer Programme
  Mit SSI lassen sich entsprechend vorgesehene Programme starten und ihre Ausgabe dynamisch in die Website integrieren. Da bestimmte Kommandos auf dem Server ebenfalls als Programm vorliegen, können mit SSI auch Kommandos auf dem Webserver ausgeführt werden. Dadurch entsteht ein hohes Sicherheitsrisiko, sodass in der Praxis die direkte Ausführung von Programmen durch SSI häufig deaktiviert wird.

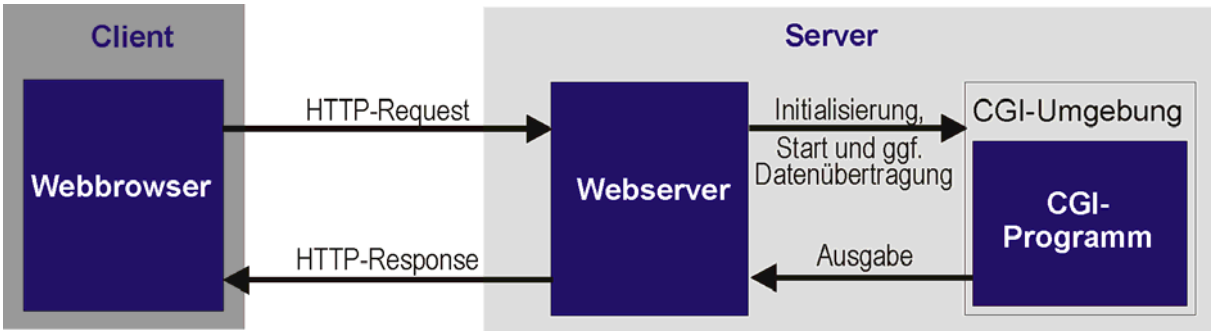
#### 4.3.3.2 Common Gateway Interface (CGI)

Das Common Gateway Interface (CGI) ist eine Spezifikation zur Anbindung externer Programme an den Webserver. Zu diesem Zweck werden die anzubindenden Programme in einem speziellen Verzeichnis im Dateisystem des Webservers abgelegt und durch eine Client-Anforderung per HTTP aufgerufen. Da das CGI-Programm auf der Servermaschine läuft, hat es Zugriff auf entsprechende CGI-Umgebungsvariablen, welche unter anderem Informationen über den aufrufenden Webbrowser, seine IP-Adresse, Portnummer, Query-String usw. enthalten. Das CGI-Programm kann prinzipiell in jeder beliebigen Skript- oder Programmiersprache verfasst werden und von einer einfachen Passwortabfrage bis

zu Zugriffen auf externe Ressourcen und aufwändigen Berechnungen beliebig komplex sein. Die Ausgabe des CGI-Programmes wird durch den Webserver per HTTP an den Client übertragen.
Dabei ist besonders entscheidend, wie der Browser Daten an das CGI-Programm übermitteln kann und wie er das Ergebnis geliefert bekommt. Da die Kommunikation auf dem zustandslosen HTTP basiert, wird eine Verbindung nach jeder vollständig übertragenden Website wieder abgebaut.

Die Funktionsweise von CGI ist mit beiden Übertragungsmethoden durch eine feste Schrittfolge gekennzeichnet.

1. Ein bestimmtes Ereignis im Webbrowser löst die Anforderung eines CGI-Programmes aus. Sind für die Ausführung zusätzliche Daten erforderlich, so überträgt der Browser sie im Rahmen eines HTTP-Requests unter Verwendung der GET- oder POST-Methode an den Webserver.
2. Der Webserver erkennt an dem angeforderten Dateityp, dass es sich um ein CGI-Programm handelt und leitet dessen Ausführung ein. Dazu wird die CGI-Umgebung initialisiert (wozu auch das Setzen der CGI-Umgebungsvariablen gehört) und das CGI-Programm gestartet. Falls der Request mit der POST-Methode erfolgt ist und Daten an das CGI-Programm geleitet werden müssen, so werden diese über die Standardeingabe (STDIN) übermittelt.
3. Das CGI-Programm verfügt nun über alle erforderlichen Daten und nimmt die Arbeit auf. Dabei kann das gesamte Potenzial der verwendeten Skript- oder Programmiersprache ausgeschöpft werden.
4. Das Resultat des ausgeführten CGI-Programmes wird über die Standardausgabe (STDOUT) an den Webserver übergeben.
5. Der Webserver liefert das Resultat in Form eines HTTP-Requests an den Webbrowser weiter.




Funktionsweise von CGI

Da der Client nur dann Daten des CGI-Programmes berücksichtigt, wenn er zuvor einen HTTP-Request an den Server gesendet hat, ist die Initiierung einer Kommunikation durch Ereignisse, die außerhalb des clientseitigen Webbrowsers vorliegen, nicht möglich. Damit wird verhindert, dass der Client auf eine serverseitige Initiative reagieren kann.

#### 4.3.3.3 Server-Applikationen

Als Server-Applikationen werden solche Applikationen bezeichnet, die prinzipiell Serverdienste über ein Netzwerk anbieten, aber nicht innerhalb eines übergeordneten Webservers implementiert sind. Sie sind in der Regel auf eine bestimmte Aufgabe spezialisiert und bieten einen entsprechenden Dienst an, der von beliebigen Clients in Anspruch genommen werden kann. Im Rahmen dieses Dienstangebots muss die Applikation die für die Netzwerkkommunikation erforderlichen Komponenten selbst realisieren. Dazu muss sie die Hardwareressourcen der Wirtsmaschine, welche nicht mit der den Webserver implementierenden Maschine identisch sein muss, für die Netzwerkanbindung nutzen und mit entsprechenden softwaretechnischen Maßnahmen für die Serverfunktionalität sorgen.
Da es sich um eine vollwertige Applikation handelt, die im stand-alone-Betrieb laufen kann, ist diese nicht auf Laufzeitumgebungen angewiesen. Der Funktionsumfang der Programmiersprache, in der die Applikation erstellt wurde, steht uneingeschränkt zur Lösung der entsprechenden Aufgabe zur Verfügung. Dabei können auch Leistungsmerkmale, die das Betriebssystem oder die Hardware der Maschine zur Verfügung stellt, genutzt werden. Da der eigentliche Kommunikationsprozess zwischen clientseitiger Komponente und serverseitiger Applikation ausschließlich durch die Programmierung der Applikation realisiert wird, kann der Programmierer serverseitig proprietäre Technologien nutzen und diese durch entsprechende Gestaltung der Applikation unter Nutzung von Standard-Technologien als Serverdienst über ein Netzwerk anbieten. Dieser Aspekt ist besonders dann von Bedeutung, wenn der Applikationsserver über spezielle Hardware wie z.B. Schnittstellenkarten verfügt, die über das Netzwerk Clients zur Verfügung gestellt werden soll. Da solche Hardwarekomponenten oft nur in speziellen Umgebungen (Betriebsystem, rechnerseitige Anschlussmöglichkeit) lauffähig sind und einen softwareseitigen Zugriff nur über proprietäre Treiber bzw. Schnittstellen (APIs) erlauben, liegt die Anbindung einer solchen Hardwarekomponente über einen Applikationsserver nahe. Dabei wird die entsprechende Maschine mit einer Applikation versehen, die einerseits die Hardware zu inkludieren vermag und andererseits in der Lage ist, einen entsprechenden Dienst über ein Netzwerk anzubieten. Somit müssen Webserver und Applikationsserver nicht auf der gleichen Maschine implementiert sein, sondern können beliebig verteilt angeordnet sein.
Grundsätzlich kann eine solche Server-Applikation mit Gateway-Funktion mit jeder beliebigen Programmiersprache realisiert werden, es liegt jedoch die Verwendung einer Sprache nahe, die sowohl über ausreichend leistungsfähige Funktionalitäten für die Netzwerkprogrammierung als auch über die Möglichkeit verfügt, die relevante Hardware zu implementieren.

Alle gängigen Webserver verfügen über eine Programmierschnittstelle (API)[1], welche dem Programmierer die Erweiterung des Servers mit zusätzlichen Funktionen erlaubt. Dabei können beliebige Applikationen auf den Server zugreifen und umgekehrt. Voraussetzung dafür ist, dass die Applikation in einer Sprache erstellt wird, die durch die Server-API unterstützt wird und somit die Schnittstelle nutzen kann. Auf

[1] Beispielsweise verfügt der Apache-Server über das Apache-API; der Internet Information Server (IIS) von Microsoft bietet das Internet Server-API (ISAPI) an.

diese Weise bieten sich ähnliche Möglichkeiten wie mit einer separaten Server-Applikation. Je nach verwendeter Programmiersprache und Betriebssystem besteht die Möglichkeit zur Ansteuerung von relevanter Hardware oder anderen Datenquellen wie z.B. Datenbanken. Durch die Anbindung über eine API entstehen Performance-Vorteile, da Webserver und Applikation auf derselben Maschine ausgeführt werden und ein zusätzlicher Kommunikationsprozess über tendenziell langsame Netzwerkverbindungen entfällt. Andererseits wird die Kommunikation mit dem Client maßgeblich von der Leistungsfähigkeit und dem Funktionsumfang des verwendeten Servers bestimmt, sodass Anforderungen unter Umständen nur mit ausgesuchten Serverplattformen erfüllbar sind.

### 4.3.4 Proaktive Interaktion durch bidirektionale Aktionen

Dieser Interaktivitätsgrad zeichnet sich dadurch aus, dass Aktionen nicht ausschließlich durch den Client ausgelöst und kommuniziert werden können. Auf diese Weise ist es möglich, den Benutzer über bestimmte Ereignisse informieren zu können, ohne dass dieser die Information explizit angefordert hat. Der Nutzer sieht sich jetzt mit einer veränderten Situation konfrontiert und kann entsprechend reagieren. Auf diese Weise können authentische und dynamische Lernsituationen realisiert werden.

Derartige Funktionen können mit den bisher beschriebenen clientseitigen Technologien nicht mehr bereitgestellt werden. Vielmehr ist der Einsatz von Technologien, die nicht den Restriktionen des Webbrowsers unterliegen, erforderlich.

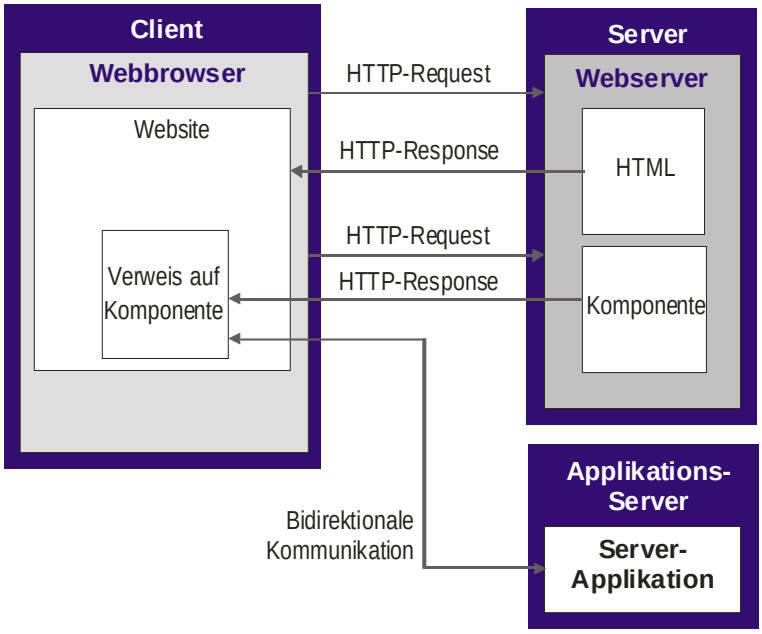
Eine Möglichkeit, die Restriktionen des Webbrowsers zu umgehen, besteht in der Verwendung einer eigenen clientseitigen Applikation. Diese setzt nicht mehr auf dem Webbrowser auf, sodass alle entsprechenden Funktionen durch die Applikation selbst realisiert werden müssen. Dabei entfallen die Beschränkungen, die durch die zwingende Nutzung von clientseitigen Browsertechnologien bestehen, sodass signifikant mehr Möglichkeiten zur Gestaltung der Client-Applikation bestehen. Je nach verwendeten Technologien kann auf etablierte Konzepte für verteilte Anwendungen oder Web-Services wie z.B. Common Object Request Broker Architecture (CORBA), Remote Procedure Calls (RPC), Dynamic Object Compontent Model (DCOM) oder Simple Objects Access Protocol (SOAP). Diese Standards stellen zwar eine prinzipielle Kompatibilität mit anderen etablierten Frameworks sicher, erhöhen die Mengen der übertragenen Daten jedoch signifikant, da sie einen Overhead erfordern, welcher leicht ein Vielfaches gegenüber den eigentlichen Nutzdaten betragen kann.

Jede Client-Applikation muss für seine Nutzung zuvor auf dem Client installiert werden, was einen zusätzlichen distributiven Aufwand bedeutet und in der Praxis nicht durch jeden Nutzer selbst durchführbar ist, beispielsweise wegen fehlender Rechte auf einem Rechner. Zudem setzt eine Applikation stets eine bestimmte Umgebung (z.B. Betriebssystem) voraus, welche unter Umständen nicht auf allen Clients vorliegt und auf diese Weise einige Nutzer von der Nutzung des Dienstes ausschließt.

Diese Nachteile wirken sich insbesondere an Bildungseinrichtungen aus, wo der Lerner aufgrund der Rechtevergabe keine spontanen Installationen durchführen kann. Daher scheint dieses Konzept gerade für den Einsatz zu Bildungs- bzw. Lernzwecken besonders ungeeignet zu sein.

Allerdings besteht darüber hinaus ein weiteres Konzept, welches diesen Nachteilen nicht so direkt ausgeliefert ist. Dabei wird auf einer Webseite ein Container für eine Anwendung implementiert, dessen Inhalt unabhängig vom clientseitig darstellenden Webbrowser ausgeführt wird. Je nach Art dieser eingebetteten Komponente stehen leistungsfähige Gestaltungsmittel zur Realisierung von Interaktivität zur Verfügung. So kann beispielsweise eine grafisch ansprechende und auf Benutzereingaben reagierende Benutzeroberfläche geschaffen werden. Besonders in Verbindung mit multimedialen Elementen wie Animation, Film, Ton und Grafik lassen sich interaktive Konzepte umsetzen, die den Lerner aus der passiven Rolle des „Konsumenten" von Lerninhalten entlassen. Vielmehr ist der Lerner ein wesentlicher Teil des Lernsystems, da seine Aktionen nicht nur kontinuierlich erforderlich sind, sondern darüber hinaus auf eine vielfältige Weise abgefragt werden. Dabei bieten die eingebetteten Komponenten Möglichkeiten, individuell auf die Bedürfnisse des Lerners zu reagieren.

Stößt der Webbrowser bei der Darstellung eines Dokumentes auf eine eingebettete Komponente, so wird der entsprechende Bytecode vom Server geladen und durch die Laufzeitumgebung ausgeführt. Da mit der Ausführung von aus externen und ggf. unsicheren Quellen stammendem Code auf dem Client-Rechner ein potenzielles Sicherheitsrisiko einhergeht, läuft die Komponente ähnlich wie ein clientseitiges Skript innerhalb einer Sandbox, welche z.B. den Zugriff auf das lokale Dateisystem einschränkt. Ansonsten kann die Komponente über eine ähnliche Mächtigkeit und Funktionsvielfalt verfügen wie eine lokale Anwendung. Dies gilt auch für die Kommunikation mit serverseitigen Intelligenzen wie Server-Applikationen. Obwohl die Darstellung der Informationen innerhalb des Webbrowser erfolgt, überlässt dieser die Kommunikation mit der Server-Applikation der eingebundenen Komponente. Die Möglichkeiten, die sich hinsichtlich der Kommunikation mit dem Server bieten, hängen nun maßgeblich von der verwendeten Komponente ab. Auf diese Weise kann eine Kommunikationsfähigkeit zu einer Server-Applikation erreicht werden, ohne den Nachteilen, die durch die Verwendung einer eigenständigen Client-Applikation entstehen, unterworfen zu sein. Darüber hinaus bieten multimediale Komponenten vielfältige Möglichkeiten zur Gestaltung auf der Darstellungs- und Applikationsschicht.
Die folgende Abbildung veranschaulicht das Funktionsprinzip hinsichtlich der Kommunikationsprozesse einer Website mit eingebetteter Komponente.



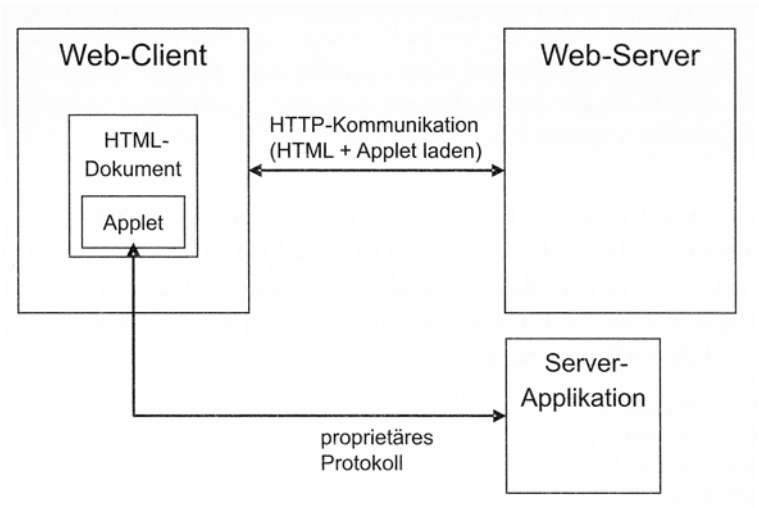

Beispielhafte Implementierung einer Server-Applikation

Der Aufbau einer solchen Struktur erfolgt nach folgendem Schema:

1. Der clientseitige Webbrowser fordert die Auslieferung einer Website mit einem HTTP-Request beim Webserver an.
2. Der Anfrage wird mit einem HTTP-Response, welcher die entsprechenden Daten beinhaltet, entsprochen.
3. Der Webbrowser interpretiert die empfangenen Daten und stellt sie im Browserfenster dar. Dabei stellt er fest, dass eine Komponente in die Website eingebettet ist. Diese Komponente wird mit einem eigenen HTTP-Request angefordert.
4. Mit einem entsprechenden HTTP-Response beantwortet der Webserver die Anfrage und stellt dem Client die in seinem Dateisystem vorgehaltene Komponente zur Verfügung.
5. Der Webbrowser bettet die Komponente in die Website ein und führt sie aus. Die Details für die Ausführung sind abhängig von der Art der Komponente.
6. Kann die Komponente fehlerfrei ausgeführt werden, so agiert sie als eigenständiges Objekt unabhängig vom Webbrowser. Somit ist sie nicht mehr auf Technologien angewiesen, die direkt durch den Browser bereit gestellt werden. Dies ermöglicht den Aufbau einer Kommunikation mit einem beliebigen Host. Dabei können verschiedene Protokolle wie HTTP, UDP oder TCP zum Einsatz kommen. Oftmals ist ein auf die Anwendung hin optimiertes Kommunikationsprotokoll auf den anwendungsorientierten Schichten zweckmäßig, welches auf den Standards zur Netzwerkkommunikation auf den transportorientierten Schichten aufsetzt.

In der Praxis werden häufig Java Applets als in Webseiten eingebettete Komponenten verwendet. Ein besonderes Leistungsmerkmal von Java Applets ist die Fähigkeit der Netzwerkkommunikation. Auch, wenn diese nur mit dem Host erfolgen kann, der die Applet-Klasse ausgeliefert hat, erschließt dies prinzi-

piell die Möglichkeit der Realisierung von verteilten Anwendungen. Dabei stellt das Applet lediglich ein Web-Frontend dar, welches die auf der Präsentationsschicht angesiedelte Benutzeroberfläche unter Verwendung der entsprechenden Bibliotheken bereitstellt. Die eigentliche Anwendungslogik, welche die Benutzereingaben verarbeitet und somit der Anwendungsschicht zuzuordnen ist, befindet sich auf dem Server. Damit eine derart verteilte Anwendung korrekt arbeiten kann, muss eine Kommunikation zwischen Java Applet und dem Server erfolgen. Diese kann beispielsweise per HTTP oder einer Socket-Verbindung aufgebaut werden.




Kommunikation zwischen Java Applet und Server-Applikation mittels Socket (WÖHR 2004, S. 193)

Auf der Präsentationsschicht kann mit Applets eine zeitgemäße grafische Benutzerschnittstelle zur Verfügung gestellt werden; für die Realisierung von GUIs, die sich nicht aus den entsprechenden Java-Bibliotheken zusammenstellen lassen, erhöht sich allerdings der Aufwand.

Auch mit ActiveX kann beliebiger Code im Rahmen einer Website clientseitig ausgeführt werden. Da es sich um eine proprietäre Technologie des Herstellers Microsoft handelt, basiert ActiveX auf dem Component Object Model (COM), welches den Zugriff auf zahlreiche betriebsystemnahe Funktionen ermöglicht. COM ist ausschließlich in Windows-Betriebssysteme integriert, was die Ausführung auf Nicht-Windows-Clients unmöglich macht. Weiterhin ist die Ausführung seitens Microsoft nur mit den eigenen Webbrowsern (Internet Explorer) vorgesehen; es gibt allerdings Bemühungen von Entwicklern alternativer Browser, ActiveX mit Hilfe von Plugins auch in solchen Browsern ausführbar zu machen.
Der eigentliche Code kann mit jeder COM-fähigen Programmiersprache (z.B. Visual Basic, C#) erstellt werden und wird mit Hilfe von ActiveX-Controls ähnlich wie Java Applets in die Website integriert. Die Ausführung des Codes erfolgt im Gegensatz zu Java nicht in einer Sandbox, sodass der Zugriff auf nahezu sämtliche Funktionen des Betriebsystems besteht. Dies schließt auch sicherheitskritische Dateioperationen ein, sodass von ActiveX ein erhebliches Gefahrenpotenzial ausgeht. Aus diesem Grund deaktivieren zahlreiche Anwender in ihrem Webbrowser die Ausführung von ActiveX-Controls.

Auch Flash-Dateien lassen sich als Komponente in eine Webseite einbetten. Im Gegensatz zu anderen Sprachen zur Erstellung von Komponenten ist Flash speziell für die Erstellung intelligenter und multimedialer Objekte in Webbrowsern optimiert. Die Entwicklungsumgebung ist stark design-orientiert und ermöglicht eine teilweise grafische Programmierung. Auf diese Weise lassen sich sehr einfach Vektorgrafiken und 2-dimensionale Animationen erstellen. Außerdem besteht die Möglichkeit, multimediale Bild-, Ton- und Videodateien in allen gängigen Formaten in den Flash-Film zu implementieren.
Die integrierte Scriptsprache ActionScript besitzt eine ähnliche Syntax wie JavaScript und arbeitet ebenso objektbasiert. Ähnlich wie beim DOM eines Webbrowsers ordnet Flash alle Objekte auf dem Bildschirm in einer Hierarchie an, was einen problemlosen Zugriff auf beliebige Objektinstanzen und deren Eigenschaften und Methoden ermöglicht. Für die Umsetzung interaktiver Konzepte stellt ActionScript zahlreiche Methoden bereit, mit deren Hilfe auf Benutzereingaben reagiert werden kann. Zu diesem Zweck hält Flash Bibliotheken vor, die grafische Komponenten enthalten und die Gestaltung aufwändiger und komplexer grafischer Benutzeroberflächen ermöglichen.
ActionScript verfügt über ein ähnliches Spektrum an Operatoren, Kontrollstrukturen und Kommandos wie JavaScript, sodass sich außer anspruchsvollen GUIs auf der Präsentationsschicht auch eine leistungsfähige Anwendungslogik auf der Anwendungsschicht realisieren lassen. Für die Kommunikation mit einer serverseitigen Anwendungslogik unterstützt Flash sowohl HTTP- als auch Socket-Verbindungen.

Das Konzept der Server-Applikation hat sich in industriellen Automatisierungsumgebungen in den letzten Jahren fest etabliert: „OLE[1] for process control" (OPC) ist ein offener Standard für den Austausch von Prozess- und Betriebsdaten zwischen den Automatisierungssystemen der Feldebene bis in die computerbasierten Systeme in der Leitebene im industriellen Umfeld. Während auf der unteren Aktor-Sensor-Ebene viele proprietäre Aktoren, Sensoren und Kommunikationssysteme eingesetzt werden, sind die höheren Ebenen zunehmend durch standardisierte PC-Komponenten und –Technologien geprägt.
Um den Ansprüchen moderner PC-basierter Automatisierungslösungen gerecht zu werden, ist der Zugang zu vielerlei Prozessdaten unterer Ebenen bis hin zu einzelnen Sensoren und Aktoren erforderlich. Für die Umsetzung solcher prozessnaher Daten wurden in der Vergangenheit spezifische Schnittstellenerweiterungen mit proprietären Softwaretreibern versehen, die den PC-basierten Zugriff durch Rechner ermöglichten. Die weite Verbreitung von EDV-Techniken und entsprechender Software in den übergeordneten Ebenen machte die kostenintensive Entwicklung vieler Treiberkomponenten erforderlich. Der marktbeherrschende Anbieter von Betriebsystemen für PCs (MICROSOFT) reagierte auf diesen Umstand und entwickelte mit dem „component object model" (COM) eine in allen modernen Betriebssystemen auf Windows-Basis einheitliche Schnittstelle für Software. COM legt die Definition und den Zugriff auf globale Objekte des Betriebssystems fest und bietet externen Anwendungen verschiedene Dienste als einheitliche Schnittstelle an. Dazu gehört auch „object linking and embedding" (OLE), welches die Funktionalität von OPC wesentlich bestimmt und so in dessen Namen eingeflossen ist. Die weite Verbreitung

[1] OLE steht für „object linking and embedding".

von Windows veranlasste die OPC-Foundation, COM bzw. OLE als Basis für eine in der Automatisierungswelt einheitliche Schnittstelle zu definieren, welche eine durchgängige Kommunikation zwischen allen Ebenen der Automatisierung ermöglicht. Dazu werden die nach wie vor erforderlichen hardwarespezifischen Treiber gekapselt und mit einer einheitlichen OPC-Schnittstelle versehen, auf die alle Applikationen auf die gleiche Art und Weise zugreifen können.

OPC arbeitet nach dem klassischen Client-Server-Prinzip und ermöglicht somit mehreren Clients den gleichzeitigen Zugriff auf die Daten eines OPC-Servers. Dazu stellt der OPC-Server Dienste zur Verfügung, die den Clients den bidirektionalen Zugriff auf die Prozessdaten erlauben. Die Erweiterung von COM zu „distributed COM" (DCOM) erlaubt die Kommunikation und Datendistribution über Netzwerke, sodass sich Client und Server nicht auf demselben Rechner befinden müssen, wodurch verteilte Applikationen ermöglicht werden.

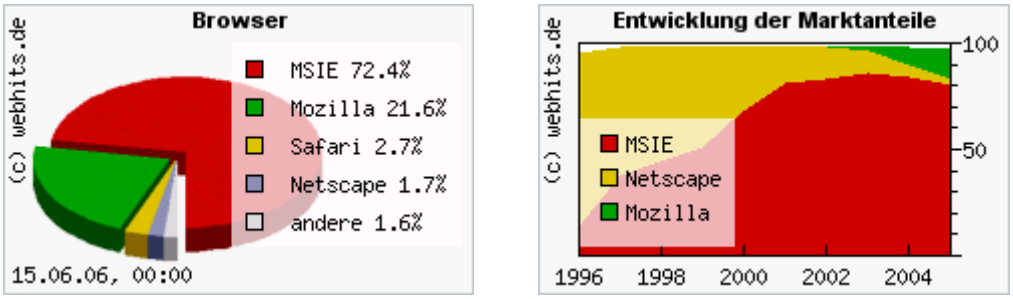
Der zunehmende Grad an Vernetzung im industriellen Umfeld schließt mittlerweile vor allem in der Feldebene auch Automatisierungsgeräte ein, die nicht auf MICROSOFT Windows basieren. Dies erforderte die Erweiterung der OPC-Technologie zu einem plattformunabhängigen Standard. Zu diesem Zweck wurde die „extensible markup language" (XML) als plattformübergreifende Auszeichnungssprache herangezogen und als Basis für das „simple object access protocol" (SOAP) definiert. Diese Basis ermöglicht die herstellerunabhängige Kommunikation von Prozessdaten mittels standardisierter Web-Services, welche lediglich noch die Unterstützung von XML und dem „hypertext transfer protocol" (HTTP) voraussetzen.

Die Nutzung von OPC erfordert einen Server, der den Zugriff auf die zur Erfassung der relevanten Prozessdaten benötigte Hardware erlaubt. Dazu ist außer den entsprechenden hardwareseitigen Schnittstellen ein entsprechender Treiber erforderlich. Da solche Treiber in der Regel vom Anbieter der Hardware entwickelt werden, stellen diese oftmals auch den entsprechenden OPC-Server zur Verfügung.

Für die clientseitige Nutzung von OPC-Diensten ist eine entsprechende Applikation erforderlich, welche die Dienste des OPC-Servers anfordert und dem Anwender zugänglich macht. Die Applikationen sind auf die Anforderungen im industriellen Umfeld angepasst und implementieren Funktionen zur Unterstützung der entsprechenden Geschäftsprozesse. Derartige Leistungsmerkmale sind mit Webtechnologien in einem Webbrowser nicht mehr realisierbar, sodass der OPC-Client in Form einer separaten Software (Client-Applikation) auf jedem Client installiert sein muss.

Eine Ausnahme stellt der Webbrowser von Microsoft (Internet Explorer) dar, welcher mit ActiveX über eine Technologie verfügt, die aufgrund ihrer Nähe zum Windows-Betriebssystem die Visualisierung von OPC-Daten über eine eingebettete Komponente erlaubt.

Da ActiveX auf COM aufsetzt, ist es ausschließlich unter Windows und nur in Verbindung mit dem Microsoft Internet Explorer nutzbar. Den folgenden Darstellungen ist zu entnehmen, dass der Internet Explorer zwar eine marktbeherrschende Stellung einnimmt, ActiveX-Komponenten aber von etwa einem Viertel aller Nutzer nicht dargestellt werden können. Dabei besteht offensichtlich eine Tendenz zur Nutzung alternativer Webbrowser.




*Marktanteile von Webbrowsern (WEBHITS 2006)*

Dabei ist der Anteil alternativer Webbrowser in Deutschland sogar noch weitaus größer: Über 30 Prozent der deutschen Internet-Nutzer verwenden allein den kostenlos erhältlichen Browser „Firefox" (vgl. HEISE 2006). Weiterhin veranlasst das von ActiveX potenziell ausgehende Sicherheitsrisiko Anwender, die Ausführung von ActiveX-Komponenten im Internet Explorer zu deaktivieren, sodass der Anteil der Clients, auf denen ActiveX und OPC nutzbar ist, noch kleiner sein dürfte.

# 5 Das Entwicklungsvorhaben

Im folgenden Abschnitt soll untersucht werden, ob ein handelsübliches Kraftfahrzeug als Experimentierhardware für techniktypische, experimentelle Denk- und Handlungsweisen dienen kann. Dazu wird zunächst der technische Aufbau aktueller PKWs skizziert und festgestellt, ob die Eigenschaften eines komplexen Systems vorliegen. Abschließend wird das ausgewählte Fahrzeug bezüglich der Möglichkeiten für eine Anbindung an webbasierte Lernsysteme untersucht.

## *5.1 Das Automobil als typisches, technisches System*

Das Jahr 1886 gilt als Geburtsjahr des Automobils. Seine Geschichte ist eng mit der des Otto-Motors verbunden. Schnell erkannte man, dass die Kombination aus einem mit flüssigem Treibstoff betriebenem Verbrennungsmotor und einem Fahrwerk das Fortbewegungsmittel der Zukunft darstellte. So ist es kaum verwunderlich, dass das Automobil bzw. allgemein das Kraftfahrzeug mehr und mehr zu einem alltäglichen technischen Gegenstand wurde. Es stellte die Mobilität der Menschen sicher, welche heute mehr denn je eine wichtige Größe unserer Gesellschaft darstellt. Am Anfang des Jahres 2006 betrug die Zahl der zugelassenen Kraftfahrzeuge in Deutschland 54,9 Millionen, davon ca. 46 Millionen Personenkraftwagen (PKWs) (vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT 2006a). Ende 2005 lebten in der Bundesrepublik Deutschland 82,4 Mio. Menschen in 39,2 Millionen Haushalten (vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT 2006b und 2006c). Das bedeutet, dass auf jeden PKW lediglich 1,8 Personen fallen. Wenn also die gesamte Bevölkerung Deutschlands gleichzeitig mit dem Auto fahren würde, so würden nicht mal in jedem Fahrzeug zwei Menschen sitzen. Wenn man nun berücksichtigt, dass in 2006 14,3 Millionen Personen nicht volljährig waren und somit keinen PKW führen dürfen, so fallen sogar auf jedes Fahrzeug nur etwa 1,5 potenziell fahrbefugte Personen, wobei diese Zahl noch nicht einmal Personen berücksichtigt, die aufgrund eines fehlenden Führerscheins keinen PKW führen dürfen. Statistisch gesehen verfügt sogar jeder Haushalt über mindestens einen PKW.

Die Zahlen vermitteln eindrucksvoll, dass das Kraftfahrzeug zu einem wesentlichen Bestandteil unserer heutigen Gesellschaft geworden ist. Vor breitem Publikum werden Aspekte wie Umweltfreundlichkeit, oder Sicherheit moderner Fahrzeuge diskutiert. Der Gesetzgeber schreibt regelmäßige technische Überprüfungen und einzuhaltende Grenzwerte vor. Für nicht wenige Menschen stellt das Kraftfahrzeug ein wesentliches Statussymbol dar. Somit dürfte an der hohen gesellschaftlichen Relevanz des Kraftfahrzeuges kein Zweifel bestehen.

Die weite Verbreitung und die gesellschaftliche Bedeutung von Kraftfahrzeugen legitimieren diese bereits als Gegenstand allgemeiner, technischer Bildung. Dabei kann unmöglich jedes technische Detail und jeder Aspekt des Fahrzeuges beleuchtet werden; diesen Anspruch erheben nicht einmal einschlägige Berufe. Stattdessen sollten aber im Rahmen einer technischen Grundbildung die wesentlichen technischen Eigenschaften und Funktionsweisen des Kraftfahrzeuges als Gegenstand technischer Bildung in Betracht kommen.

Auf S. 49 wurde die Matrix der Grundform „Technologisches Umsetzen“ als ein Hilfsmittel für die Auswahl von Inhalten zu technischen Bildungszwecken vorgestellt. Wenn diese Matrix auf das Kraftfahrzeug angewendet wird, stellt sich heraus, dass das Kraftfahrzeug als technisches Objekt einen großen Teil dieser Inhalte impliziert:

| Funktionsklasse (nach G. ROPOHL) | | Wandlung | | Transport | Speicherung |
|---|---|---|---|---|---|
| Art der Veränderung (nach H. WOLFFGRAMM) | | Strukturänderung | Formänderung | Ortsänderung | |
| Gegenstandsbereich | Stoff | physikal./chem. Umwandlung: Kraftstoffe | geometrische Gestaltgebung: Karosserie | Orts-/Lageänderung: Fahrwerk, Fahrdynamik | Lager-/Speicher-Vorgänge: Kraftstofftank |
| | Energie | Energiewandlung: Bremssysteme, Kraftmaschinen | Energieumformung: Zündsysteme | Energietransport: Kfz-Elektrik | Energiespeicherung: Fahrzeugbatterie |
| | Information | Informationswandlung: Sensorik | Informationsverarbeitung: Steuergeräte | Informations-Transport: Vernetzung, Bussysteme | Informationsspeicherung: Steuergeräte, Diagnose |

*Matrix der Grundform „Technologisches Umsetzen“ (nach HÄRTEL, 1984)*

Alle Bereiche sind mit verschiedener Ausprägung am Kraftfahrzeug thematisierbar. Berücksichtigt man nun auch noch die Allgegenwärtigkeit und die Bedeutung von Kraftfahrzeugen in unserer Gesellschaft, so wird deutlich, dass das Kraftfahrzeug als technisches Objekt im Rahmen einer technischen Allgemeinbildung leicht zu rechtfertigen ist. Je nach angestrebtem Niveau einer solchen Bildung können einzelne Bereiche mit verschiedener fachlicher Tiefe behandelt werden. Dabei müssen die Bereiche durchaus nicht einzeln und isoliert voneinander thematisiert werden. Die Bereiche „Informationsverarbeitung“ und „Informationstransport“ lassen sich beispielsweise im Rahmen dieser Arbeit zusammen am Realobjekt „Kraftfahrzeug“ thematisieren. Zu diesem Zweck soll das Fahrzeug jedoch zunächst in technischer Hinsicht genauer beschrieben werden. Da für die Informationsverarbeitung und den Informationstransport vor allem die Elektronik und Informationstechnik verantwortlich ist, stehen diese im folgenden Abschnitt im Vordergrund.

## 5.2 Elektronik und Informationstechnik im Kraftfahrzeug

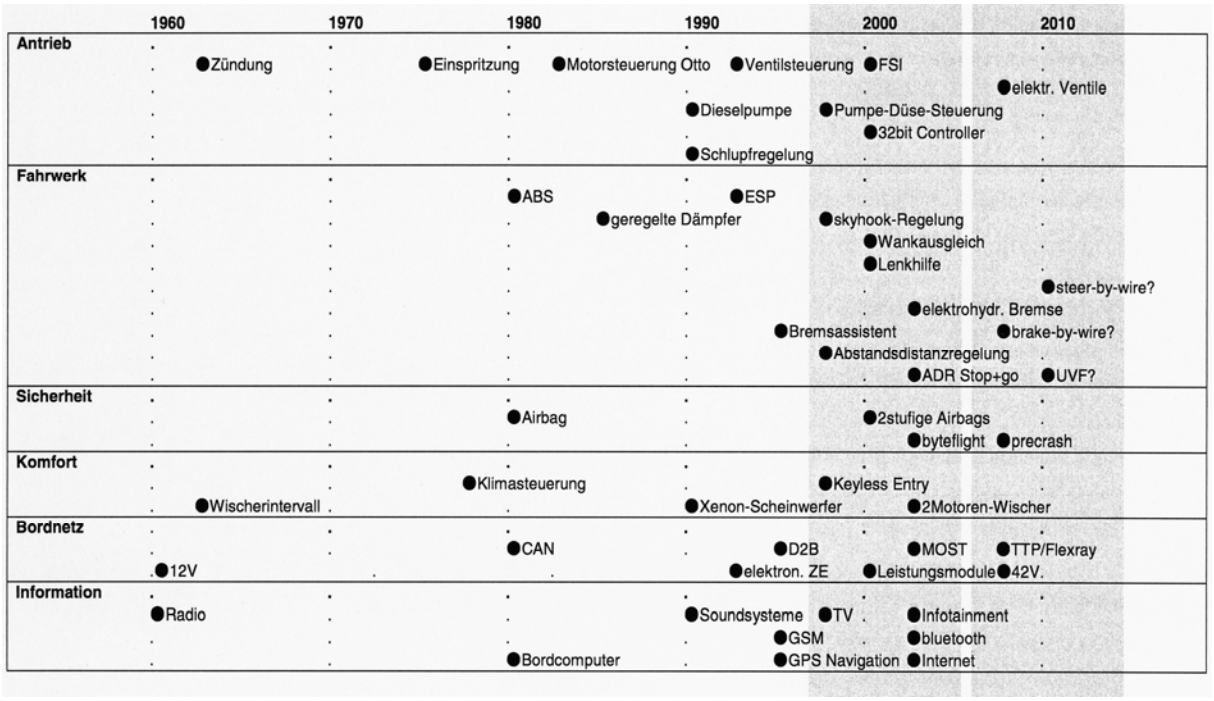
Moderne Kraftfahrzeuge implizieren eine hohe Zahl von technischen Systemen und Subsystemen und sind durch eine außerordentlich hohe Innovationsrate geprägt. Als Ende der 70er Jahre die Elektronik Einzug in das Kraftfahrzeug erhielt, etablierten sich nach kurzer Zeit Funktionen, welche ohne diesen Innovationssprung mit vertretbaren Mitteln nicht realisierbar gewesen wären. Den immer preiswerter

und leistungsfähiger werdenden elektronischen Komponenten ist es zu verdanken, dass der durchschnittliche Wertanteil der Elektronik am Automobil von gerade einmal einem halben Prozent im Jahre 1980 auf aktuell etwa 20 Prozent gestiegen ist.

> „Die Elektronik hat sich in den letzten Jahren zur Schlüsseltechnologie im Automobilbau entwickelt – und zum wichtigsten Treiber für Innovation. Elektronische Komponenten verdrängen immer mehr Mechanik und Hydraulik. Rund 90 Prozent der Innovationen, so schätzen Branchenexperten, kommen heute bereits aus der Elektronik. Der Anteil am Fahrzeugwert wird Studien zufolge von heute rund 20 Prozent auf 35 bis 40 Prozent im Jahr 2010 steigen."
>
> (VASEK, 2004, S. 22)

Typisch ist, dass Systeme, die solche Funktionen ermöglichen, zunächst im Nutzfahrzeugbereich und in den Kraftfahrzeugen der Oberklasse Einzug erhalten. So konnte beispielsweise das Antiblockiersystem (ABS) zunächst nur als aufpreispflichtige Zusatzausstattung in ausgewählten Modellen geordert werden; mittlerweile gehört das ABS zur Serienausstattung eines jeden Kleinwagens.

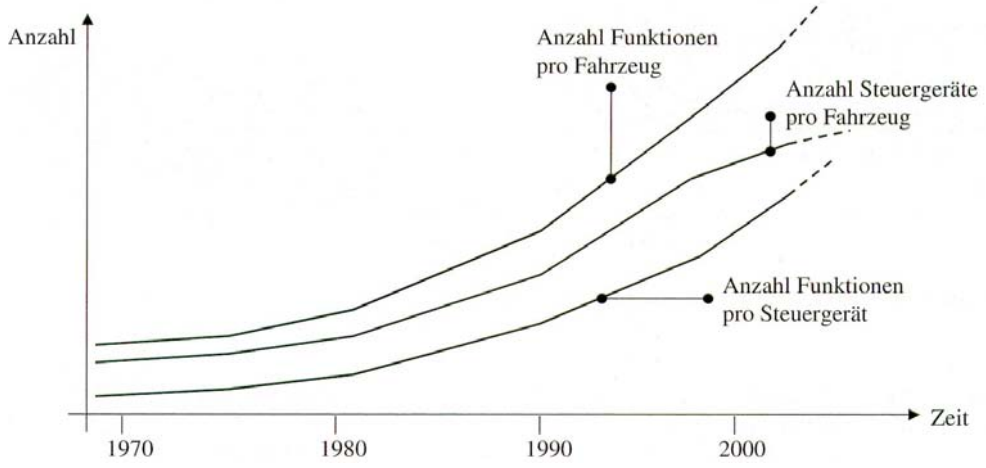
Ähnliches gilt für den Einzug der Informations- und Kommunikationstechnik in das Kraftfahrzeug. Während die frühen Elektroniksysteme noch stand-alone-Geräte waren, verlegte man später Datenkabel zwischen den einzelnen Steuergeräten, um den steigenden Ansprüchen an den Funktionsumfang technisch Rechnung zu tragen. Der Funktionsumfang stieg jedoch weiter an und ließ die Punkt-zu-Punkt-Verbindungen unwirtschaftlich werden. Seit Anfang der 90er Jahre besitzen die ersten Oberklassefahrzeuge (z.B. die S-Klasse von Mercedes-Benz) Bussysteme wie den CAN-Bus zur Übertragung von Daten im Antriebsstrang. Zur Jahrtausendwende hat sich diese Technologie in allen Bereichen des Fahrzeugs (z.B. Komfortbereich, Infotainment) und in allen Fahrzeugklassen durchgesetzt. Somit steht ein fahrzeuginternes Netzwerk zur Verfügung, welches beliebige Subsysteme miteinander verbindet, ohne dass hierfür separate Datenleitungen erforderlich sind. Die grundsätzlich digitale Datenübertragung stellt dabei eine prinzipielle Kompatibilität aller Subsysteme sicher. Dieses Netzwerk bewältigt auch große Datenmengen, wie sie beispielsweise für die Übertragung digitaler Bild- und Audiosignale erforderlich sind und erschließt damit völlig neue Funktionen aus dem Bereich des Infotainments für den Einsatz im Kraftfahrzeug. Als Konsequenz wird die Vernetzung als weitere Technologie angesehen, durch die ein wesentlicher Innovationssprung ermöglicht wurde, denn während früher eine eindeutige Zuweisung von Funktionen zu einem Steuergerät möglich war, lassen sich mit Hilfe leistungsfähiger Bussysteme auch übergeordnete Softwarefunktionen realisieren, welche über die Grenzen einzelner Systeme hinausgehen. Die folgende Abbildung belegt die in der aktuellen Dekade ausgesprochen hohe Innovationsrate, indem sie die Einführungszeitpunkte von für die Entwicklung des Kraftfahrzeuges wesentlichen Technologien in chronologischer Folge darstellt. Dabei fällt auf, dass aktuelle Technologien und solche, deren voraussichtliche Einführung innerhalb der aktuellen Dekade erfolgen wird, auf dem Prinzip der Vernetzung aufbauen oder ihm unmittelbar dienen.




*Innovationen im Kfz (LEOHOLD 2003)*

Trotz des hohen Grades an Vernetzung ist im Fahrzeug eine große Zahl spezialisierter Steuergeräte erforderlich. Beispielsweise verfügt der Volkswagen Phaeton als Vertreter der aktuellen Oberklasse bereits über 60 einzelne Steuergeräte, bei anderen Fahrzeugen der Luxusklasse übersteigt diese Anzahl sogar 80 Steuergeräte. Diese arbeiten nach dem EVA-Prinzip und weisen computerartige Strukturen (bestehend aus Ein- und Ausgabeeinheiten, Mikroprozessor und Arbeitsspeicher) auf. Diese datenverarbeitenden Systeme erfassen die Zustände von zahlreichen Sensoren und steuern den erfassten Messgrößen gemäß und ihrer softwareseitigen Programmierung entsprechend diverse Aktuatoren an. Obwohl jeder Sensor bzw. Aktuator nur an einem Steuergerät mit einer separaten elektrischen Leitung angeschlossen ist, sind im VW Phaeton ca. 3800 Meter elektrische Leitungen verbaut.

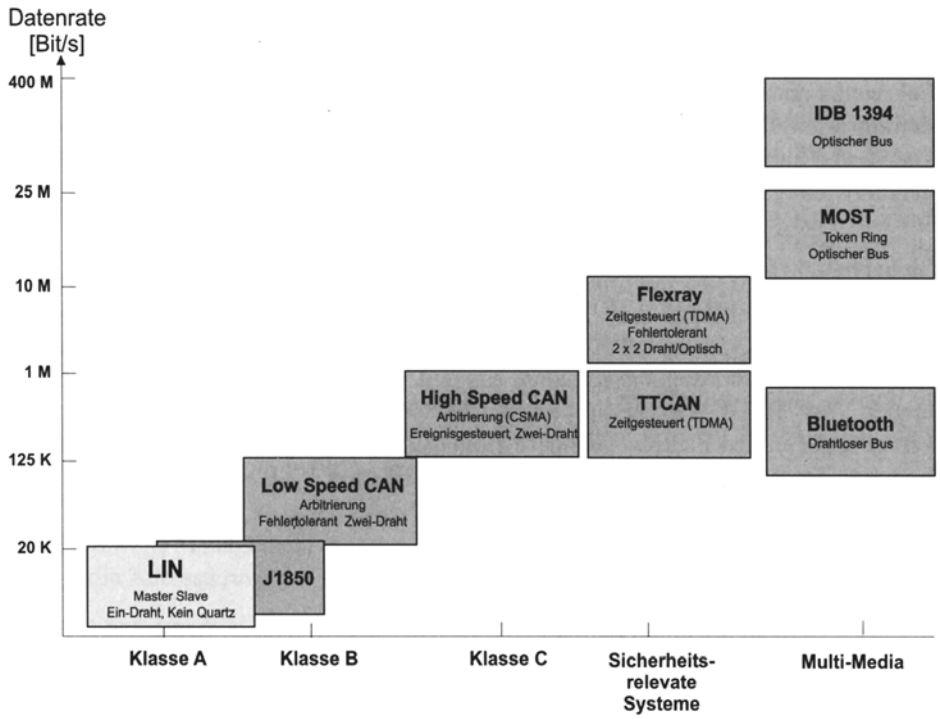
Die folgende Darstellung illustriert die quantitative Entwicklung von Funktionen und Steuergeräten im Fahrzeug. Dabei wird offensichtlich, dass trotz exponentiell wachsendem Funktionsumfang die Anzahl der verbauten Steuergeräte seit Ende der 1990er Jahre nicht mehr in gleichem Maße wächst. Stattdessen wird die Funktionsvielfalt durch eine Anreicherung der einzelnen Steuergeräte mit mehr Funktionen realisiert.




*Funktionen und Steuergeräte pro Fahrzeug (SCHÄUFFLE, ZURAWKA, 2003, S. 15)*

Damit verbunden ist die vermehrte Nutzung vernetzter Strukturen, sodass die für die Funktionalität des Kraftfahrzeuges herausragende Bedeutung des Prinzips der Vernetzung immer offensichtlicher wird. Diese Vernetzung erfolgt in modernen Kraftfahrzeugen mittels Netzwerken, die als Feldbussysteme ausgeführt sind und ihrem Funktionsbereich entsprechend klassifiziert werden.

Die SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE) hat zu diesem Zweck 1994 ein Modell entwickelt, welches die verwendeten Bussysteme zunächst in drei Klassen gemäß ihrer Datenübertragungsgeschwindigkeit aufteilt. Aufgrund der hohen Innovationsrate im Kraftfahrzeug genügt dieses Modell inzwischen nicht mehr den Anforderungen und musste um zwei Klassen erweitert werden, welche den Anforderungen von sicherheitsrelevanten Systemen und den Multi-Media-Systemen entsprechen, sodass sich nun ein 5-Klassen-Modell ergibt.




*Klassifizierung von Bussystemen (GRZEMBA, ET AL., 2005, S. 41)*

- Antrieb

  Im Antriebsstrang verbinden Bussysteme die Komponenten des Motors und des Getriebes miteinander. Für den optimalen Betrieb müssen viele Berechnungen in Abhängigkeit diverser Parameter in kurzen Intervallen durchgeführt werden. Außerdem werden die Daten der Steuergeräte übertragen, die wesentliche Komponenten des Fahrwerks betreffen. Daher sind die Sicherheit und die Geschwindigkeit der Datenübertragung über dieses Bussystem für die Fahrsicherheit von außerordentlicher Bedeutung. In den meisten Fällen erfüllt ein schneller CAN-Bus nach ISO 11898-2 diese Anforderungen.

- Karosserie / Komfort

  An diesen Bus sind Systeme angeschlossen, die dem Komfort der Fahrzeugpassagiere dienen und somit zu einem großen Teil um den Bereich der Fahrgastzelle angeordnet sind. Außerdem werden Informationen für an der Karosserie angeordnete Komponenten, wie z.B. Scheibenwischanlage oder Fahrzeugbeleuchtung, über diesen Bus transportiert. Er überträgt die Daten der entsprechenden Steuergeräte, welche auf das Betätigen von Schaltern und Tastern und auf sensorisch erfasste physikalische Größen reagieren müssen, indem sie entsprechende Aktuatoren steuern. Die Übertragung von Daten in diesem Bereich ist nicht zeitkritisch, sodass als Bussystem in aller Regel ein fehlertoleranter Low-Speed-CAN-Bus nach ISO 11898-3 mit Übertragungsraten im Bereich von 30 bis 100 kBit/s dient.

- Subbusse

  Einzelne Subsysteme, wie z.B. die Klimaanlage, können ggf. über ein eigenes Bussystem verfügen und bilden somit einen Subbus. Dafür kann der äußerst kostengünstige LIN-Bus zum Einsatz kommen, welcher mit einer einzigen Datenleitung Übertragungsraten von bis zu 20 kBit/s realisiert. Typischerweise sind die Subbusse nicht direkt mit dem Zentralsteuergerät eines Fahrzeuges verbunden, sondern nutzen zur Kommunikation über den Subbus hinaus übergeordnete Bussysteme wie z.B. den Komfort-Bus.

- Sicherheitsrelevante Systeme

  Systeme, die der passiven Sicherheit der Passagiere dienen, erlauben bei der Datenübertragung einerseits nur äußerst kurze zeitliche Verzögerungen und erfordern andererseits eine ausgesprochen hohe Ausfallsicherheit. Daher kommen in diesem Bereich ausschließlich zeitgesteuerte und redundante Bussysteme mit streng deterministischem Übertragungsverhalten wie z.B. FlexRay zum Einsatz.

  BMW hat außerdem für die Kommunikation zwischen Komponenten der passiven Sicherheit ein optisches Bussystem namens „byteflight" etabliert. Der byteflight benutzt als Übertragungsmedium Lichtwellenleiter, welche einerseits eine sehr hohe Datenübertragungsrate ermöglichen und andererseits unempfindlich gegen elektromagnetische Störeinflüsse sind und somit den Anforderungen in diesem Bereich entsprechen.

- Infotainment

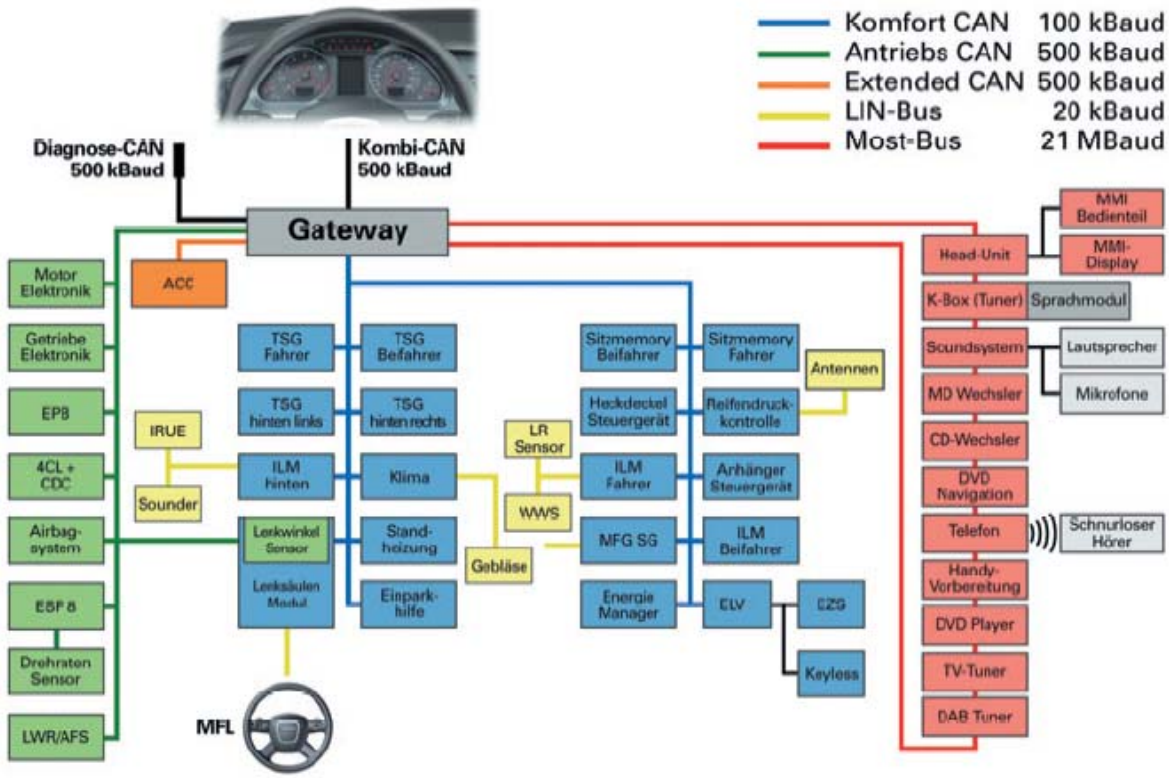
  Moderne Kraftfahrzeuge verfügen neuerdings über eine Vielzahl von Geräten, die multimediale Daten verarbeiten. In der Oberklasse sind Systeme für die Telekommunikation über GSM und UMTS, Einrichtung für die Internetnutzung, Navigationsgeräte, Abspielgeräte für DVD und CD, TV-Tuner und einige mehr erhältlich. Für ihre Nutzung ist der synchrone Austausch von großen Datenmengen zwischen Audiosystemen, Bildschirmen, Bedieneinheiten und Medienabspielgeräten in digitaler Form erforderlich. Selbst schnelle Bussysteme erfüllen diese Anforderungen aufgrund ihres Übertragungsmediums in Form elektrischer Leitungen nicht oder nur mit erheblichem zusätzlichem technischen Aufwand (z.B. Abschirmung von Kabeln). Daher werden für die Übertragung von multimedialen Daten im Kraftfahrzeug Lichtwellenleiter verwendet, welche gegen elektromagnetische Störeinflüsse unempfindlich sind und über keine elektrischen Leitungsreflexionen verfügen. Da die Entwicklung solcher optischen Bussysteme relativ aufwändig ist, haben sich in der Vergangenheit mehrere Hersteller zusammengeschlossen und im Wesentlichen zwei serienreife optische Multimedia-Bussysteme für das Kraftfahrzeug entwickelt: Der „media oriented system transport (MOST)" weist eine ringförmige Struktur auf und erfordert eine spezielle Elektronik, die die Lichtwellen mit Hilfe von optoelektronischen Bauteilen in elektrische Signale umwandelt, sodass diese von den Steuergeräten verarbeitet werden können. Die Sendung von Daten über den Lichtwellenleiter erfolgt analog dazu mit Hilfe von geeigneten Leuchtdioden. Auf diese Weise werden Datenübertragungsraten von über 20 MBit/s erreicht. Da der Bedarf an schnelleren optischen Bussystemen zur Übertragung multimedialer Daten absehbar ist, befindet sich der nächste Standard bereits in der Entwicklung: „Die Bandbreite von 24,8 Mbit/s reicht noch aus, es zeichnet sich jedoch ein Engpass ab. Aus diesem Grund arbeitet man an einer Erhöhung auf 150 Mbit/s in der Version MOST II" (HUBER 2004, S. 36).

  Für bestimmte Anwendungen ist außerdem eine kabellose Datenübertragung Voraussetzung. So nutzt die Bluetooth-Technologie eine Funkstrecke, um Daten über kurze Entfernungen zu übertragen. So werden beispielsweise beliebige Mobiltelefone mit Bluetooth-Schnittstelle zur Realisierung einer Freisprecheinrichtung in die Fahrzeugelektronik integriert.

Für die Realisierung komplexer Funktionen wie z.B. das „adaptive cruise control" (ACC)[1] ist eine Vielzahl von Daten erforderlich, welche durch Sensoren bzw. Steuergeräte erfasst und aufbereitet werden, die unterschiedlichen Klassen zugehörig sind. Bei einem Fahrzeug (Audi A6, Modelljahr 2004) setzt allein diese Funktion eine Kommunikation von 17 Steuergeräten aus den Fahrzeugbereichen Karosserie, Komfort und Antrieb mit jeweils eigenen Bus- und Subbussystemen voraus. Für diese klassenübergreifende Kommunikation ist eine Verbindung der beteiligten Datenbusse erforderlich. Dabei müssen die spezifischen Merkmale der einzelnen Bussysteme wie z.B. Buspegel, Übertragungsprotokolle, Übertragungsrate,

[1] ACC erfasst mittels geeigneter Sensorik den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, passt unter Berücksichtigung der aktuellen Fahrsituation die Geschwindigkeit selbstständig an und sorgt somit für die Einhaltung von Sicherheitsabständen zu vorausfahrenden Fahrzeugen.

Zugriffsverfahren und Übertragungsmedium berücksichtigt werden, was durch Einsatz eines Gateways realisiert wird. In den meisten Kraftfahrzeugen wird zweckmäßiger Weise nur ein zentrales Gateway verbaut, an dem alle Busse mit Ausnahme der Subbusse angeschlossen sind.




**Ein zentrales Gateway verbindet im Audi A6 CAN, Most und LIN**

*Vernetzungsstruktur beim Audi A6 (GORONCY 2004, S. 33)*

Da an diesem Supergateway alle über die Datenbusse des Fahrzeuges übertragenden Informationen zusammenlaufen, eignet es sich besonders gut für den Anschluss eines entsprechenden Diagnosegerätes. Die zentrale Position im Datennetzwerk des Fahrzeuges qualifiziert das Supergateway außerdem für die Realisierung von Funktionen, die eine Kommunikation über besonders viele Bussysteme impliziert (z.B. Zugangskontrolle, Wake-up-Funktionen oder Sleep-Mode-Aktivierung). Daher ist das Gateway als vollwertiges Steuergerät ausgeführt und wird häufig als Zentralsteuergerät bezeichnet.

Weiterhin verfügen moderne Kraftfahrzeuge zur computergestützten Diagnose über zusätzliche Kommunikationsysteme wie z.B. eine K-Leitung oder auch einen Diagnose-CAN-Bus. Diese Datenleitungen sind über eine genormte Schnittstelle am Fahrzeug direkt zugänglich und ermöglichen den Anschluss entsprechender Diagnosegeräte. Die Datenleitungen des Diagnose-CAN-Busses verbinden nun das Diagnosegerät mit dem Zentralsteuergerät und bilden somit ein eigenes Datennetzwerk. Wiederum fungiert das Zentralsteuergerät als Gateway und ermöglicht dem Diagnosegerät auf diese Weise eine Kommunikation über die Datenbusse der verschiedenen Klassen mit jedem einzelnen Steuergerät im Fahrzeug. So lässt sich prinzipiell jeder einzelne Sensor und Aktor im Fahrzeug erfassen bzw. ansteuern.

Die Steuergeräte haben die Möglichkeit, in jeweils einem dafür vorgesehenen nichtflüchtigen Speicherbereich (Fehlerspeicher) Betriebsdaten wie z.B. sensorisch erfasste Messwerte während der regulären Nutzung des Fahrzeugs zu hinterlegen. Diese Daten können später bei einer Diagnose über die Datenbusse, das Zentralsteuergerät und die Diagnoseleitungen ausgelesen und ausgewertet werden. Dieses Prinzip findet beispielsweise mit der Onboard-Diagnose (OBD) für die Überwachung vor allem abgasrelevanter Komponenten im Fahrzeug Verwendung.

Zusammenfassend kann das moderne Kraftfahrzeug wie folgt charakterisiert werden:

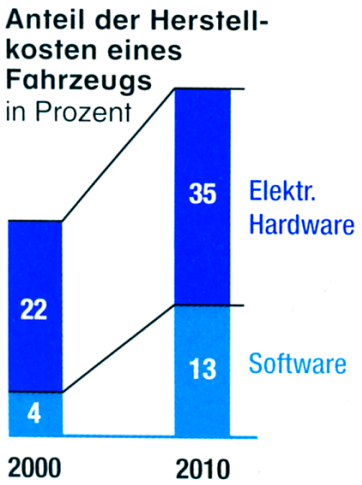
- Hardwareseitig werden im Kraftfahrzeug immer mehr elektronische und mikroelektronische Komponenten verbaut. Für die Umsetzung komplexer Funktionen müssen immer mehr physikalische Messgrößen sensorisch erfasst werden, sodass die Zahl der verbauten Sensoren ansteigt. Teilweise ist dies nur durch Sensoren möglich, die bereits zur Vorverarbeitung der Messwerte über eine komplexe Intelligenz verfügen müssen, welche sich nur mit (mikro-) elektronischen Komponenten wirtschaftlich realisieren lässt. Gleiches gilt für die Fahrzeugaktorik, welche immer seltener mechanisch gesteuert wird, sondern Stellgrößen elektronisch empfängt und diese mit Hilfe einer Intelligenz und eines entsprechenden Stellgliedes umsetzen muss. Vor allem aber haben sich die „konventionellen" Steuergeräte mit Hilfe der preiswert verfügbaren Mikroelektronik zu regelrechten Klein-Computern entwickelt, deren Funktionen und Eigenschaften nicht mehr aufgrund von verbindungsprogrammierten Hardwarebauteilen, sondern durch Programme realisiert werden, die intern durch computerähnliche Architekturen verarbeitet werden.
- Immer mehr Funktionen im Fahrzeug werden durch Software realisiert. Softwarelösungen haben den Vorteil, dass sie ohne besonderen Aufwand sehr schnell aktualisiert werden können. In diesem Fall werden Fehlfunktionen, die erst dann identifiziert werden, wenn das Fahrzeug bereits verkauft wurde und vielfach genutzt wird, verhältnismäßig einfach mittels eines Softwareupdates behoben. Ähnlich wie bei handelsüblicher Computersoftware können solche Softwareupdates durchgeführt und Programmierfehler behoben werden, ohne dass dafür Hardwarekomponenten im Fahrzeug aufwändig ausgetauscht werden müssen. Außerdem besteht im Rahmen eines Upgrades die Möglichkeit, bestimmte Funktionen softwareseitig nachzurüsten.
- Aus den bereits dargestellten Gründen ist die Vernetzung von Steuergeräten für die Erfüllung der Anforderungen an moderne Kraftfahrzeuge eine wesentliche Voraussetzung. Durch die Vernetzung aller einzelnen Hardwarekomponenten entsteht aus diversen Systemen ein Gesamtsystem, dessen technische Möglichkeiten weit über die Summe der Funktionen der Einzelsysteme hinausgehen. Als Medium für die Vernetzung dienen verschiedene Datenbusse, welche innerhalb eines Funktionsbereiches alle beteiligten Komponenten verbinden und ihnen eine transparente Kommunikation ermöglichen. Ein zentrales Supergateway verbindet wiederum alle einzelnen Datennetzwerke und dient als Schnittstelle zur computergestützten Fahrzeugdiagnose auf Grundlage der Vernetzungsstrukturen.

Das System „Automobil" zeichnet sich also durch einen immer bedeutenderen Anteil von Software und elektrischer und elektronischer Hardware aus. Mit Hilfe dieser informationstechnischen Komponenten wird gleichzeitig ein Teil der mechanischen Systeme im Kraftfahrzeug substituiert, da Steuer- und Regelmechanismen durch Rechner und Software leistungsfähiger und vor allem wirtschaftlicher realisiert werden können. „Einst war das Auto ein mechanisches Produkt. Heute ist es eher ein Computer auf Rädern." (VASEK 2004, S. 23). Mechanische Komponenten werden dabei vor allem als Stellglieder verwendet, oft in Form von Elektromotoren und Schrittmotoren. Bei abnehmender Zahl mechanisch gesteuerter Systeme sind derartige Stellglieder an immer mehr Stellen erforderlich.

Das Kraftfahrzeug als technisches System ist also eine Kombination aus zahlreichen elektronischen und mechanischen Komponenten, welche allgemein als „Mechatronik" bezeichnet wird.

> „Das Automobil von heute ist ein Computernetzwerk auf Rädern, oder besser: ein Ensemble aus mechatronischen Systemen, die auf vielfältige Weise miteinander vernetzt sind. Mechatronik – das bedeutet nicht bloß die Ablösung mechanischer durch elektronische Komponenten, sondern vielmehr die Integration von Mechanik, Elektronik und Software."
>
> (ebd., S. 24)

Bereits heute prägen mechatronische Systeme das Fahrzeug wesentlich. Aus den bereits aufgezeigten Prognosen hinsichtlich der wachsenden Bedeutung von Elektronik im Kraftfahrzeug lässt sich außerdem ableiten, dass der Anteil und damit der Einfluss mechatronischer Prinzipien weiter ansteigen wird. Dies belegt der steigende Anteil elektronischer Komponenten im Kraftfahrzeug:




*Anteil der Herstellkosten eines Fahrzeugs (HONSIG 2005, S. 48)*

Der Anteil elektronischer Komponenten dürfte dabei auch in der näheren Zukunft weiter ansteigen:

> „Fahrzeughersteller führen derzeit eine Vielzahl neuer Fahrerassistenzfunktionen ein. Sie sollen den Fahrer in der täglichen Routine entlasten, in schwierigen Situationen unterstützen und dabei helfen, Unfälle aktiv zu vermeiden oder Unfallfolgen abzuschwächen. Beispiele sind hier Infrarot-Nachtsichtsysteme, vorausschauende Sicherheitssysteme und adaptive Temporegelung, auch für den Geschwindigkeitsbereich unter 30 km/h. Es gibt noch eine ganze Reihe weiterer guter Ideen, die das Autofahren komfortabler und sicherer machen.

> [...] Moderne Fahrzeuge sind heute schon „Computernetze auf Rädern". Und es gibt weitere Techniken und Technologien wie zum Beispiel AUTOSAR (Automotive Open System Architecture) oder auch Flexray, die noch in diesem Jahrzehnt in den Fahrzeugen der Endkunden sein werden."
>
> (JASCHINSKI 2005, S. 77)

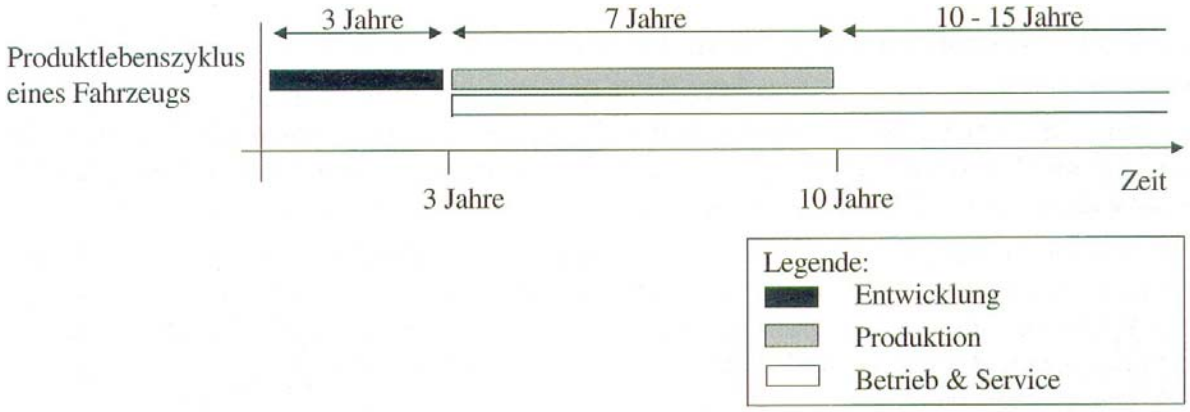
Zusammenfassend besteht also kein Grund zum Zweifel, dass die Elektronik das moderne Automobil wie kaum eine andere Technologie prägt. Sie wird auch in der näheren Zukunft eine der wichtigsten Quellen für Innovationen im Kraftfahrzeug darstellen und zusammen mit der Software die Funktionalität und die Eigenschaften von Fahrzeugen maßgeblich bestimmen. Daher können die Elektronik und die Informationstechnik im Bezug auf die Fahrzeugtechnik durchaus als „Mega-Trend" bezeichnet werden.

## *5.3 Medien für die Vermittlung datenverarbeitungstechnischer Vorgänge an Kraftfahrzeugen*

Die soeben dargestellten Entwicklungen haben allerdings nicht nur Auswirkungen auf das System selbst und denjenigen, der das System bedienen will, sondern auch auf denjenigen, der dieses System verstehen will oder muss.

> „Wer das heutige Automobil verstehen will, muss in mechatronischen Regelkreisen denken."
>
> (HONSIG 2005, S. 22)

Der Produktlebenszyklus eines Kraftfahrzeuges grenzt den betroffenen Personenkreis grob auf drei Gruppen ein.




*Produktlebenszyklus eines Kraftfahrzeuges (SCHÄUFFLE, ZURAWKA, S. 21)*

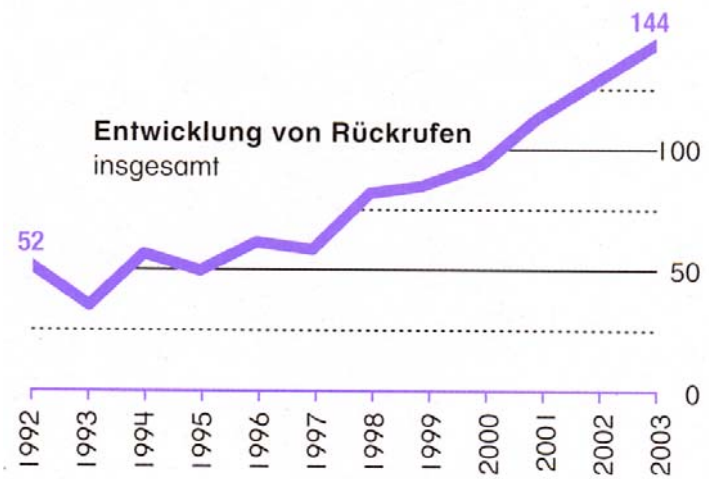
Die Entwicklung und Produktion eines Fahrzeuges finden zentral beim Hersteller statt, sodass einerseits entsprechend ausgebildete Fachkräfte (z.B. Ingenieure) und andererseits alle erforderlichen Dokumentationen mit relativ geringem Aufwand zur Verfügung stehen.

Während der Phase „Betrieb und Service" sind andere Rahmenbedingungen bestimmend. Die produzierten Fahrzeuge werfen während ihres Betriebes vielfältige und individuelle Probleme auf, die im Rahmen der Entwicklung teilweise nicht berechenbar waren oder nicht erfasst worden sind.

In immer mehr Fällen liegt die Ursache für Fehler und Mängel im Bereich der Elektronik bzw. Mechatronik:

> „Rund 30 Prozent der Pannen gingen im Vorjahr laut ADAC-Statistik auf Probleme mit Elektrik und Elektronik zurück, [...] Tendenz steigend. Wenn der Elektroniktrend weiter anhält, könnte der Anteil bis zum Jahr 2013 sogar auf rund 63 Prozent ansteigen. Laut einer Repräsentativbefragung der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz hatten 17 Prozent von 2175 befragten Autofahrern bereits Ärger mit der Elektronik - in der oberen Mittelklasse ist es sogar jeder vierte."
>
> (VASEK 2004, S. 22)

Da der Anteil elektronischer und elektrischer Komponenten gemäß den Prognosen zunehmen wird, besteht an der von VASEK aufgezeigten Tendenz kein Anlass zum Zweifel. Die Zunahme der Rückrufaktionen in Deutschland unterstützt diese Prognose zusätzlich:




*Rückrufaktionen in Deutschland (HONSIG 2005, S. 48)*

Es ist also offensichtlich, dass Fehler und Versäumnisse in der Phase der Entwicklung bzw. Herstellung erst dann zu Tage kommen können, wenn ein Fahrzeug bereits viele tausend Male verkauft ist und sich in der Praxis bewähren muss.

Reparatur und Wartung von Kraftfahrzeugen finden nicht zentral beim Hersteller statt, sondern dezentral in einer Fachwerkstatt. Dort werden zunächst die Facharbeiter Kfz-spezifischer Ausbildungsberufe mit den Fahrzeugen konfrontiert. Gerade der Umgang mit den elektronischen Komponenten und den damit verbundenen Kommunikations- und Informationstechnologien stellt in den Werkstätten offensichtlich ein großes Problem dar: „So werden Studien zufolge bis zu 80 Prozent der Elektronikkomponenten irrtümlich ausgetauscht, bloß weil ein Problem nicht gut genug analysiert [...] wird" (VASEK 2004, S. 30).

## 5.4 Das Kraftfahrzeug als komplexes System

Die dargestellten technischen Eigenschaften des modernen Automobils zeigen, dass das Kraftfahrzeug als komplexes System verstanden werden kann:

- Die einzelnen Steuergeräte können als Einzelteil (Organ) aufgefasst werden.
- Aufgrund ihrer programmierten Eigenschaften werden Funktionen realisiert, welche einer dynamischen Ordnung entsprechen. Dabei beeinflussen sich die Steuergeräte gegenseitig, indem sie über das Netzwerk Informationen austauschen. Werden die Eigenschaften eines der Steuergeräte durch einen äußeren Einfluss seiner Programmierung entsprechend verändert, so hat dies die dem Fahrzeug entsprechenden Konsequenzen auf das gesamte komplexe System.
- Wird nur ein Steuergerät manipuliert, so hat dieser Eingriff auch Auswirkungen auf das gesamte System, also die gesamte Funktionalität des Fahrzeuges. Ist dies der Fall, so verändert sich der Gesamtcharakter des Systems.
- Die gesamte Sensorik eines Kraftfahrzeuges nimmt kontinuierlich Größen seiner Umwelt wahr, was aufgrund des Charakters des gesamten Systems zu entsprechenden Reaktionen durch die verfügbaren Aktoren führt. Das Fahrzeug tauscht sich also ständig mit seiner Umwelt aus und ist somit offen. Im Grunde stellt das gesamte Fahrzeug wiederum lediglich ein Teil eines übergeordneten Systems, nämlich der Umwelt, dar.

Die fahrzeuginternen Vorgänge sind durch ein außerordentlich hohes Maß an Komplexität geprägt. Zudem laufen sie im Fahrzeug aus Lernersicht völlig intransparent ab, da sie ohne besondere Hilfsmittel und Systemkenntnis nicht in leicht nachvollziehbarer Form dargestellt werden können. Damit wären die formulierten Voraussetzungen für techniktypisches Experimentieren am komplexen System hinreichend erfüllt. Der Einsatz didaktischer Medien und Instrumente zur Visualisierung der internen Vorgänge ist für technische Aus- und Weiterbildung am Kfz nicht nur nahe liegend, sondern erscheint aus den genannten Gründen sogar zwingend notwendig. Die Analyse existierender didaktischer Medien liegt also ebenfalls nahe.

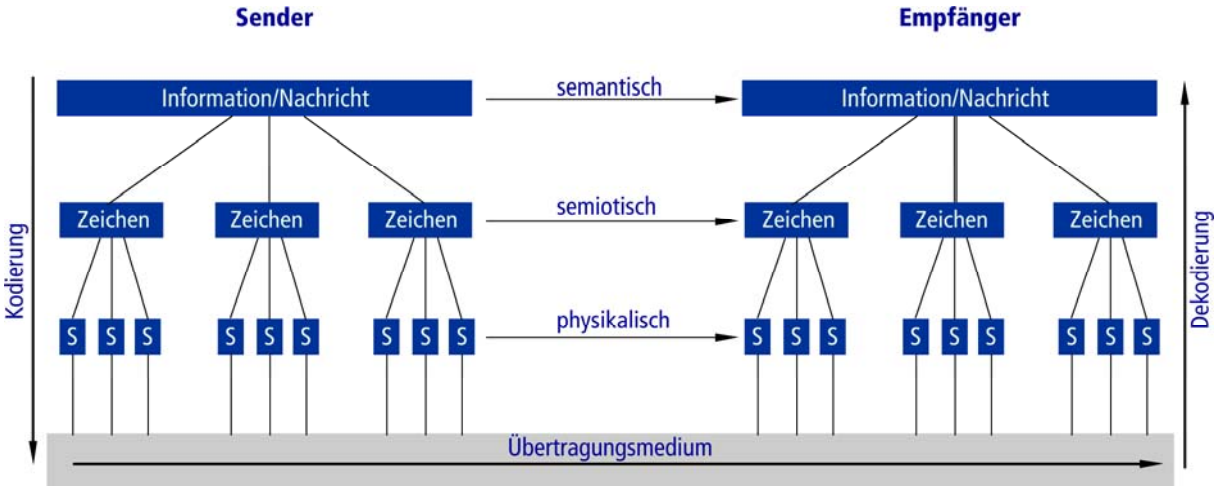
Der hohe Grad an Dynamik von kraftfahrzeuginternen Datenverarbeitungsprozessen lässt eine Darstellung durch Medien, die lediglich statische Beschreibungsformen vermitteln können, als ungeeignet erscheinen. Statische Medien können dynamische Systeme lediglich beschreiben, der interaktive Eingriff in derartige Systeme ist mit ihnen allerdings nicht möglich. Die Forderung nach der Durchführbarkeit von Experimenten an dem dynamischen System setzt den Einsatz dynamischer Medien voraus, sodass die ausschließliche Abhandlung des Themas auf theoretischer Ebene durch entsprechende statische Medien, wie z.B. Lehrbücher, ausscheiden muss.

Ein geeignetes Medium sollte also so beschaffen sein, dass es die entsprechenden Inhalte durch Einbringung von Interaktivität vermitteln kann. Nur auf diese Weise kann ein Lerner aktiv Eingriffe in das System vornehmen, die entsprechenden Resultate beobachten und auf diese Weise individuell und experimentell lernen. Grundsätzlich könnte diese Interaktivität durch Simulationen realisiert werden. Da es sich bei

Kraftfahrzeugen insbesondere im Bezug auf die datenverarbeitungstechnischen Prozesse jedoch um hochkomplexe Systeme handelt und deren Funktionsweise von außerordentlich vielen Parametern abhängig ist, disqualifiziert sich der ausschließliche Einsatz von Simulationen zu den beschriebenen Zwecken gemäß der von TUTTAS und WAGNER angeführten Gründe (vgl. S. 67).

Weil das Kraftfahrzeug nicht in zufrieden stellendem Maße simuliert werden kann, ist der Einsatz von gegenständlichen Informationsträgern unumgänglich. Unabhängig vom Grad der Didaktisierung eines solchen Mediums muss es in der Lage sein, die datenverarbeitungstechnischen Vorgänge im Kraftfahrzeug absolut authentisch darzustellen. Dazu muss es eine realitätsnahe Kommunikationsplattform zur Verfügung stellen, welche einen den fahrzeuginternen Kommunikationsprozessen nachempfundenen Datenverkehr einerseits bereitstellt und andererseits für interaktive Experimente verfügbar macht. Ein solches System müsste mindestens über einen entsprechenden Sender, eine Kommunikationsstrecke (z.B. Busleitung) und einen geeigneten Empfänger verfügen.

Diese Komponenten kommunizieren wie alle technischen Systeme nach folgendem Prinzip:




*S = Signal*

*Kommunikation zwischen zwei technischen Systemen*

Ein gesamter Kommunikationsvorgang kann eine beliebig lange Folge von Nachrichten beinhalten und ggf. eine Antwort erfordern, bei der die Rolle von Sender und Empfänger vertauscht sind. Derartige Vorgänge bestehen im Grunde jedoch aus Folgen sich gegenseitig bedingender Nachrichten, sodass die eigentliche Nachricht als größte gemeinsame Invariante gelten kann. Das Modell beschreibt daher einen unidirektionalen Kommunikationsvorgang, bei dem der Sender aus seinem Nachrichtenvorrat eine Nachricht mit der Absicht auswählt, diese einem Empfänger zu übermitteln. Um die Nachricht übermitteln zu können, muss der Sender diese in eine Folge von Zeichen kodieren. Zu diesem Zweck verfügt er über einen Zeichenvorrat, aus dem er sich beliebig bedienen kann. Um die Zeichenfolge übertragen zu können, ist ein Übertragungsmedium erforderlich. Je nach Beschaffenheit dieses Übertragungsmediums überträgt der Sender jedes Zeichen mit entsprechenden Signalen. Ist der vorliegende Zeichenvorrat größer als die Anzahl der zur Verfügung stehenden unterscheidbaren Signale, was zweifellos bei allen Bussystemen der Fall ist, so ist wiederum eine Kodierung des Zeichens in eine Signalfolge erforderlich. Nun ist das Über-

tragungsmedium in der Lage, die Signale über die erforderliche Distanz zu übertragen, wobei äußere Störeinflüsse auf das Medium einwirken und die Übertragung stören oder gar ganz verhindern können, sodass ggf. Mechanismen zur Erkennung fehlerhafter Signale eingreifen und eine Korrektur einleiten müssen.

Bei erfolgreicher Übertragung dekodiert der Empfänger die Signale, setzt die resultierenden Zeichen zusammen und kann die sich ergebenden Nachrichten abschließend verarbeiten. Dazu ist eine Kompatibilität zwischen Sender und Empfänger auf drei Ebenen nötig:

- physikalische Ebene (Signalebene)
  Der Empfänger muss über den entsprechenden sensorischen Wahrnehmungsapparat (Empfangsorgan) verfügen, um die vom Sender mit Hilfe des Sendeorgans über das Übertragungsmedium gesendeten Signale überhaupt als solche erkennen und auswerten zu können.
- semiotische Ebene (Zeichenebene)
  Der Sender hat zwecks Kodierung der Nachricht ein oder mehrere Zeichen aus seinem Zeichenvorrat ausgewählt und diese Teilmenge unter Berücksichtigung eines bestimmten Algorithmus in die entsprechende Signalfolge gewandelt. Der Empfänger muss seinerseits zumindest über diese Teilmenge verfügen und den zur Dekodierung erforderlichen Algorithmus anwenden können.
- semantische Ebene (Nachrichtenebene)
  Das sendende System verfügt über einen Vorrat an Nachrichten, aus dem eine oder mehrere ihrer Bedeutung gemäß für die Sendung ausgewählt wurden. Sofern der Empfänger aus den empfangenen Signalen bzw. Zeichen eine Nachricht dekodieren konnte, so muss auf semantischer Ebene jedoch eine Kompatibilität vorliegen, damit der Empfänger aus der Nachricht seine richtige Bedeutung ableiten und entsprechend reagieren kann.

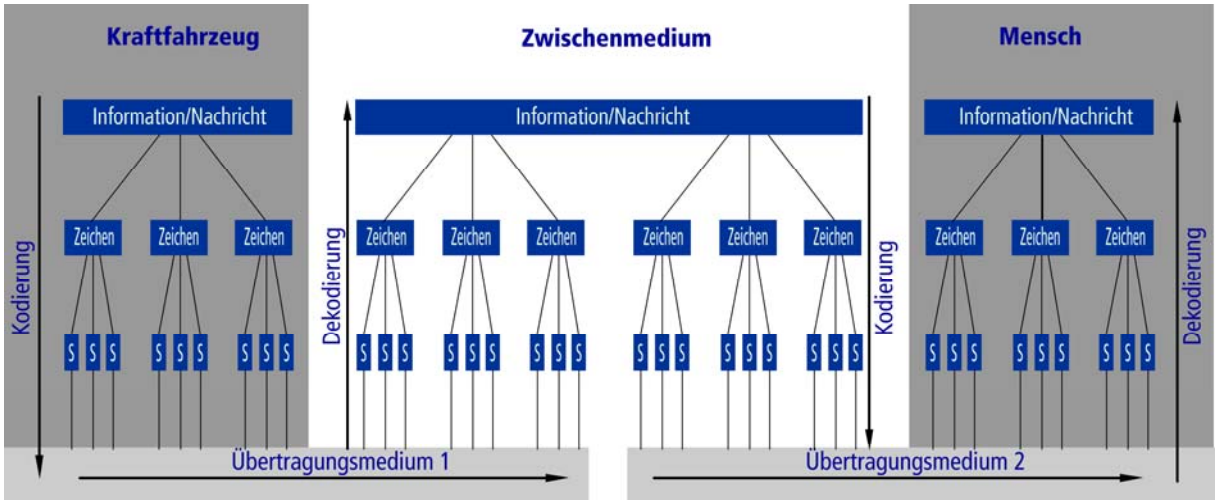
Auf das Fahrzeug bezogen entspricht dieser Vorgang einem Nachrichtenaustausch zwischen zwei Steuergeräten, die über das fahrzeuginterne Datennetz miteinander kommunizieren. Solange sich die Kommunikation auf technische Systeme, die an das Datennetz angeschlossen sind, beschränkt, hängt die Leistungsfähigkeit der an der Kommunikation beteiligten Komponenten ausschließlich von technischen Spezifikationen ab und kann - selbstverständlich innerhalb der technischen Möglichkeiten – prinzipiell den vorliegenden Bedingungen und Anforderungen gemäß beliebig gestaltet werden. So stellen Transmitter und Receiver auf der Signalebene sicher, dass die Art der physikalischen Größe, die innerhalb eines Übertragungsmediums für die Signaldarstellung verantwortlich ist, zum einen überhaupt sensorisch erfasst (also wahrgenommen) und zum anderen einem Signalzustand zugeordnet werden kann. Mit Hilfe weiterer elektronischer Komponenten werden die Signale auf der Zeichenebene in sinnvolle Zeichen gewandelt (z.B. ASCII oder hexadezimale Zahlen), die auf der Nachrichtenebene wiederum zu ganzen Nachrichten zusammengesetzt werden. Ihrer Programmierung entsprechend ordnen die Steuergeräte der Nachricht die passende Bedeutung zu und reagieren entsprechend.

Für die Möglichkeit der Analyse von über fahrzeuginterne Netzwerke kommunizierte Daten durch den Lerner ist jedoch nicht nur eine netzwerkübergreifende Kommunikation über die Fahrzeuggrenzen hinaus erforderlich, sondern vor allem eine Kommunikation zweier grundsätzlich nicht miteinander kompatibler Systeme, bestehend aus den beteiligten Fahrzeugkomponenten und dem Menschen.
Die folgende Übersicht zeigt die wesentlichen Differenzen nach den beschriebenen Ebenen kategorisiert auf:

| Ebene | Fahrzeug | Mensch |
|---|---|---|
| **Physikalische Ebene (Signalebene)** | **Datenübertragung erfolgt über technische Übertragungsmedien, z.B. Busleitung, Lichtwellenleiter, Funkstrecke. Für jedes Medium existiert ein geeigneter Sender / Empfänger. Die Übertragung auf mehreren verschiedenartigen Medien, also eine Multimodalität, kommt im Fahrzeug nicht vor.** | **Die Übertragung von Signalen ist nur über die Sinnesorgane möglich, meist visuell oder auditiv. Nicht selten erfolgt eine Übertragung über mehrere Sinneskanäle gleichzeitig (multimodal).<br>Für nahezu alle technischen Signalgrößen existiert kein passender Wahrnehmungsapparat.** |
| **Semiotische Ebene (Zeichenebene)** | **Der Zeichenvorrat kann sehr groß sein, ist aber endlich. Die Bildung neuer Zeichen ist technischen Systemen nicht möglich. Die Zeichen sind auf die maschinelle Weiterverarbeitung ausgelegt und daher oft äußerst kryptisch.** | **Menschen verfügen über einen begrenzten Vorrat an definierten Zeichen (z.B. Alphabet). Allerdings bestehen darüber hinaus zahlreiche unkonventionelle Zeichen (z.B. Gesten), welche stark kontextabhängig sein können. Die spontane Bildung neuer Zeichen ist möglich.** |
| **Semantische Ebene (Nachrichtenebene)** | **Der Nachrichtenvorrat kann systembedingt sehr groß sein, allerdings ist er immer begrenzt. Die Nachrichten werden dem Einsatzzweck entsprechend ausgelegt. Die Bedeutung einer Nachricht ist oftmals nur den beteiligten Systemen selbst bekannt. Die Zuordnung einer Bedeutung zu einer Information ist immer eindeutig.** | **Der Nachrichtenvorrat ist beliebig groß, da der Mensch in der Lage ist, beliebig neue Nachrichten zu generieren. Die Bedeutung von Nachrichten ist stark kontextabhängig.** |

Die Übersicht deckt auf allen Ebenen gravierende Differenzen auf, die einer Kommunikation zwischen Mensch und fahrzeuginternem Netzwerk entgegenstehen und durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden müssen.
Eine offensichtliche Differenz besteht mit der Art des Überragungsmediums schon auf der physikalischen Ebene. Fahrzeuginterne Netzwerke basieren größtenteils auf elektrischen Leitungen, seltener auf optischen Übertragungsmedien (z.B. Lichtwellenleiter) oder Funkstrecken (z.B. Bluetooth). Dem Menschen fehlen entsprechend empfindliche Sinnesorgane, um Signale auf diesen Leitungen wahrnehmen zu können. Aufgrund der grundsätzlich verschiedenen Sende- bzw. Empfangsorgane besteht also eine die Kommunikation verhindernde Barriere.
Auch die semiotische Ebene birgt eine Inkompatibilität, denn im Falle des fahrzeuginternen Datennetzes handelt es sich durchweg um digitale Datenübertragungsverfahren. Somit werden nur zwei verschiedene Signalgrößen unterschieden, die logischen Zustände „1“ bzw. „0“. Es widerspricht der menschlichen Natur, jedwede Kommunikation digital zu vollziehen. Zwar existieren digitale Codesysteme, die der Mensch

interpretieren kann (z.B. Morsecode), jedoch ist dies stets mit erhöhtem Aufwand und reduzierter Übertragungsgeschwindigkeit verbunden. Für die im Kraftfahrzeug kommunizierten Daten fehlt dem Menschen jedoch der für die Dekodierung erforderliche Algorithmus bzw. er ist nicht in adäquater Weise anwendbar. Zwar existieren Darstellungssysteme, die für Menschen einfacher zu verarbeiten sind (beispielsweise die Zusammenfassung von unüberschaubaren Bitfolgen zu alphabetischen Zeichen mit Hilfe des hexadezimalen Zahlensystems), jedoch kann diese Umwandlung dem Menschen nicht zugemutet werden. Dieser Effekt wird außerdem durch die schnelle Datenübertragungsrate sowie den kurzen Übertragungszyklus verstärkt, sodass eine Darstellungswandlung nur durch geeignete Hilfsmittel realisiert werden kann.
Die Kompatibilität auf semantischer Ebene wird ebenfalls durch Differenzen und Barrieren verhindert. Das Fahrzeug verfügt über definierte Kommunikationsprotokolle für die Kodierung bzw. Dekodierung einer Zeichenfolge zu einer Nachricht. Für das Kraftfahrzeug lässt sich die eigentliche Information aus einer Nachricht nun direkt ableiten, da einer Nachricht immer genau eine Information zugeordnet werden kann. Dem Menschen ist die Dekodierung einer im Kraftfahrzeug kommunizierten Zeichenfolge zu einer Nachricht indes nicht ohne weiteres möglich, da sich die Übertragungsprotokolle durch den Menschen selbst bei entsprechender Sachkenntnis nicht in der erforderlichen Geschwindigkeit anwenden lassen. Selbst wenn diese Prozedur dem Menschen durch entsprechende Hilfsmittel abgenommen wird, ist die Interpretation der Nachricht kaum möglich, da hierfür die Kenntnis erforderlich ist, welche Information welcher Stelle einer Nachricht zu entnehmen ist.
Also muss ein System, welches wie gefordert die über das fahrzeuginterne Netzwerk kommunizierten Daten lernergerecht darstellen und zu Analysezwecken aufbereiten soll, die beschriebenen Differenzen ausgleichen. Dazu muss es einerseits eine Kompatibilität zum entsprechenden technischen Kommunikationssystem realisieren und gleichzeitig über ein geeignetes Mediengerät in einer humanverständlichen Form wiedergeben und so die Kommunikationsbarrieren überbrücken.




*Kommunikation zwischen Fahrzeug und Mensch mit Hilfe eines Zwischenmediums*

In der kraftfahrzeugspezifischen Aus- und Weiterbildung haben sich verschiedene Verfahren zur Realisierung dieses Zwischenmediums etabliert. Als Beispiel sollen gängige Verfahren zur Veranschaulichung der

kommunizierten Daten auf dem CAN-Bus als typisches Bussystem in modernen Kraftfahrzeugen erläutert werden:

- Ein Oszilloskop dient zur Messung der Signalpegel auf den CAN-Bus-Leitungen CAN-H und CAN-L. Das Resultat sind schnell wechselnde Spannungspegel in Oszillogrammen. Dem Menschen ist es auch bei den langsameren CAN-Bussen im Fahrzeug nicht möglich, die beobachteten Signale einer Nachricht oder gar einer Funktion zuzuordnen. Die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Mensch findet also lediglich auf der physikalischen Ebene statt; weder ist eine Dekodierung auf semiotischer noch auf semantischer Ebene möglich. Der didaktische Wert solcher Messungen bleibt damit auf Phänomene der elektrischen Signalübertragung über die Busleitungen beschränkt.
- Ein PC mit geeigneter CAN-Schnittstelle wird mit einem CAN-Bus im Fahrzeug verbunden. Der CAN-Monitor zeichnet die kommunizierten CAN-Nachrichten auf und stellt sie als Bytes meist hexadezimal dar. Somit ist für den Lerner eine Dekodierung auf semiotischer Ebene möglich, jedoch ohne weitere Maßnahmen nur wenig hilfreich. Wiederum fehlt die Möglichkeit der Zuordnung von einzelnen Daten zu bestimmten Funktionen im Fahrzeug. Ohne weitere Konfiguration der Monitoring-Software ist der menschliche Wahrnehmungsapparat bereits mit der Menge und Geschwindigkeit der übertragenen Nachrichten weit überfordert. Mit viel Mühe und Kenntnis über die kommunizierten Daten ist eine Definition von Filtern und softwareseitigen Visualisierungskomponenten möglich, sodass aufgrund der aufgezeichneten CAN-Nachrichten eine Ableitung auf vereinzelte Funktionen des Fahrzeugs möglich ist. Die dazu erforderlichen Kenntnisse aus dem Bereich der Informationstechnik und des Fahrzeugs sind bei einem Experten möglicherweise vorhanden; ein Schüler, der diese Zusammenhänge erst noch erlernen will, ist damit jedoch sicherlich überfordert.
- Durch Betätigen eines Sensors (z.B. eines Schalters) wird eine entsprechende Aktion ausgelöst. Im Komfortbereich existieren viele solcher Aktionen, deren Auswirkungen durch den Lerner direkt wahrgenommen werden können (z.B. Betätigung des Fensterhebers). Der Lerner kann Ursache und Wirkung von kommunizierten Daten leicht wahrnehmen und somit die Bedeutung einer kommunizierten Nachricht verstehen. Es findet also eine Kommunikation auf semantischer Ebene statt. Aus kommunikationstechnischer Sicht spielt es dabei keine Rolle, ob die Aktion durch ein Bedienelement im Fahrzeug oder durch ein Kfz-Diagnosegerät (z.B. bei einem Stellgliedtest) ausgelöst wird, da in beiden Fällen keine Möglichkeit zur Identifizierung der der Funktion zugehörigen kommunizierten Daten möglich ist.

Auch die gleichzeitige Anwendung dieser drei Verfahren lässt keine Zuordnung von aufgezeichneten Signalen oder Nachrichten zu einer Funktion durch Personen ohne entsprechendes Spezialisten-Wissen zu.

Für das Verstehen der kommunikationstechnischen Vorgänge im Fahrzeug ist demnach eine Verknüpfung von Dekodierungen auf verschiedenen Ebenen erforderlich. Welche Ebenen verknüpft werden müssen,

hängt vom gesetzten Lernziel ab: Um die generelle Funktionsweise datenverarbeitungstechnischer Vorgänge im Kraftfahrzeug verstehen zu können, steht die Zuordnung von Bits und Bytes zu einzelnen Funktionen des Fahrzeugs im Vordergrund. Auf die Darstellung der kommunizierten Nachrichten auf physikalischer Ebene kann dabei verzichtet werden.
Ein für die beschriebenen Zwecke taugliches Lernmedium muss folglich den Inhalt der übertragenden Daten so darstellen, dass sich dieser dem Lerner in leicht verständlicher und adressatengerechter Weise darbietet und somit unmittelbar semantisch dekodiert und analysiert werden kann. Gleichzeitig sind die kommunizierten Daten auf semiotischer Ebene so anzuordnen, dass die Zuordnung von Zeichen und Bedeutung auch unerfahrenen Personen mit keinen oder wenig entsprechenden Kenntnissen leicht möglich ist.

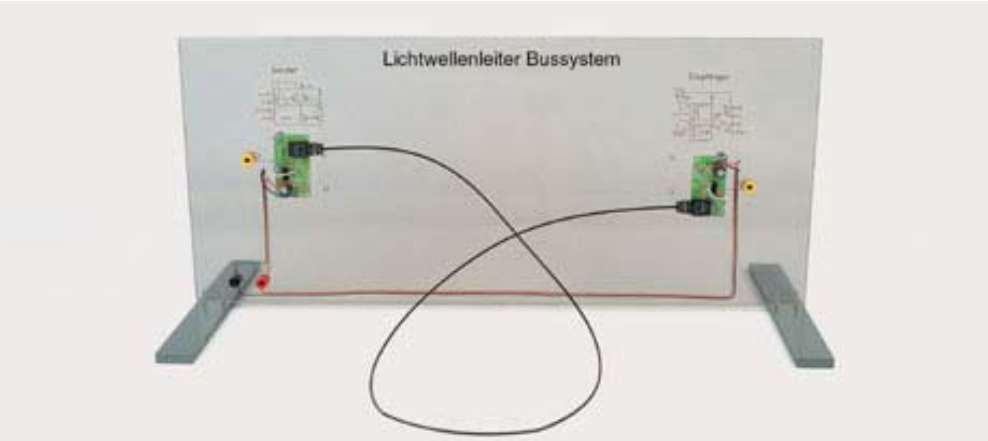
## 5.4.1 Didaktische Lehr-/Lerngeräte

Gegenwärtig existieren eine Reihe kommerziell vertriebener Lehr-/Lernmittel, welche Kommunikationsprozesse in Kraftfahrzeugen mit dynamischen Medien thematisieren. Hier sollen nur solche Lehr-/Lernmittel betrachtet werden, die zumindest teilweise gegenständliche Informationsträger enthalten, sodass reine Softwarelösungen hier nicht beschrieben werden.
Die geforderte Realitätsnähe macht den Einsatz von Modellen aus den gleichen Gründen problematisch wie die Programmierung von Simulationen: Der Aufwand für die Entwicklung eines Modells, welches derartig viele Parameter berücksichtigen muss wie es beim Kraftfahrzeug der Fall ist, wäre enorm hoch. Zwar existieren kommerzielle Lehrmittel die Modellcharakter aufweisen, jedoch bilden diese die Komplexität eines Kraftfahrzeuges stets mit reduziertem Grad ab.
Dabei können entsprechende Lehrmittel zur kraftfahrzeugspezifischen Datenverarbeitung und Kommunikation in drei Gruppen eingeteilt werden. Als Unterscheidungskriterium dienen bei der folgenden Einteilung die bereits erläuterten Ebenen der Kommunikation zwischen technischen Systemen (vgl. S. 111).

### 5.4.1.1 Nachbildung der physikalischen Ebene

Kommunizierte Daten werden stets über ein physikalisches Busmedium kommuniziert. Wenn der Fokus im Unterricht auf Messungen und Analyse des Übertragungsmediums beschränkt wird, so genügt für eine didaktische Betrachtung oft schon ein entsprechendes Medium, über welches geeignete Daten übertragen werden. An diesem kann mit geeigneter Messtechnik die Qualität der kommunizierten Signale hinsichtlich der physikalischen Größen untersucht werden. Dabei werden oft keine Nutzdaten übertragen, sodass auf kommunikativer Ebene keine Auswertung authentischer Daten erfolgen kann. Auch auf systemischer Ebene findet kein Informationsaustausch statt, da die kommunizierten Signale nicht ausgewertet und interpretiert werden können. Systemdiagnostische Inhalte lassen sich mit solchen Systemen folglich nicht behandeln.
Beispielhaft sei für diese Kategorie ein Trainingsgerät „Lichtwellenleiter Bussystem“ des Herstellers HAKO DIDACTIC angeführt, welches beliebige elektrische Signale über einen Lichtwellenleiter kommuniziert. Als

Signalquelle muss ein zusätzlicher Signalgenerator benutzt werden (z.B. ein Funktionsgenerator). Damit ist es dem Nutzer überlassen, ob und welche echten Daten über die optische Strecke übertragen werden.




*Trainingsgerät „Lichtwellenleiter Bussystem" (HAKO-DIDACTIC 2007)*

### 5.4.1.2 Nachbildung der semiotischen Ebene

Lehr- und Lernsysteme dieser Ebene realisieren funktionierende Kommunikationssysteme (Bussysteme), welche mit denen im realen Kraftfahrzeug identisch sind und somit identische Kommunikationsstrukturen nutzen wie ein originales Fahrzeug. Über ein solches Bussystem werden mittels einer Signalquelle realitätsnahe Signale gesendet und von mindestens einem Empfänger ausgewertet. Im Grunde wird ein didaktisch reduziertes Netzwerk nachgebildet, welches mindestens aus zwei Kfz-ähnlichen Steuergeräten und einem Bussystem für die Datenübertragung besteht. Auf diese Weise sind Messungen auf physikalischer Ebene beispielsweise zur Überprüfung der physikalischen Signale wie am originalen Fahrzeug möglich. Da außerdem ein reales Bussystem zum Einsatz kommt, welches die gleichen Übertragungsverfahren wie die Kommunikationssysteme im realen Fahrzeug verwendet, kann der kommunizierte Datenverkehr auch auf kommunikativer Ebene analysiert werden. Ein Datenmonitoring kann damit ebenso wie am Fahrzeug durchgeführt werden.

Für die realitätsnahe Abbildung der datenverarbeitungstechnischen Funktionsweise eines Kraftfahrzeuges auf systemischer Ebene ist allerdings nicht nur die Struktur der kommunizierten Daten von Interesse, sondern auch die Daten selbst. Gerade diese Daten unterscheiden sich jedoch teilweise erheblich von denen eines realen Kraftfahrzeugs. Insbesondere das übertragende Datenvolumen und die Sendezyklen werden im Vergleich zum Original reduziert. Während im Kraftfahrzeug Daten in der Regel zeitgesteuert gesendet werden, erfolgt die Sendung einer Nachricht im Modell vor allem ereignisgesteuert. Mit dieser Abstraktion des Originals und der Reduzierung der Komplexität geht bei entsprechender Gestaltung eine potenziell hohe Didaktisierung einher, sodass mittels geeigneter Messgeräte eine lernergerechte Visualisierung und die leichte Durchführbarkeit von Experimenten realisiert werden kann. Mit solchen Systemen lässt sich die grundsätzliche Funktionsweise der Kommunikationsstrukturen lernergerecht vermitteln, aufgrund ihrer stark abstrahierten Daten sind sie allerdings nur als bedingt authentisch im Bezug auf die Inhalte der kommunizierten Daten.

Ein beispielhaftes Lehr- und Lernsystem ist der UniTrain-I-Kurs „Kommunikation mit dem CAN-Bus“ der LUCAS-NÜLLE LEHR- UND MESSGERÄTE GMBH. Das System stellt zwei abstrahierte Steuergeräte (Fahrzeugfront und Fahrzeugheck) zur Verfügung, welche über einen normgerechten CAN-Bus Informationen vorwiegend ereignisgesteuert austauschen. Die für die Analyse der kommunizierten Daten erforderlichen Instrumente werden mittels eines anschließbaren Standard-PCs realisiert und gehören zum Lieferumfang. Die Anzahl der zyklisch übertragenen Daten lässt sich reduzieren, was einer benutzerbestimmten, didaktischen Reduktion gleichkommt.

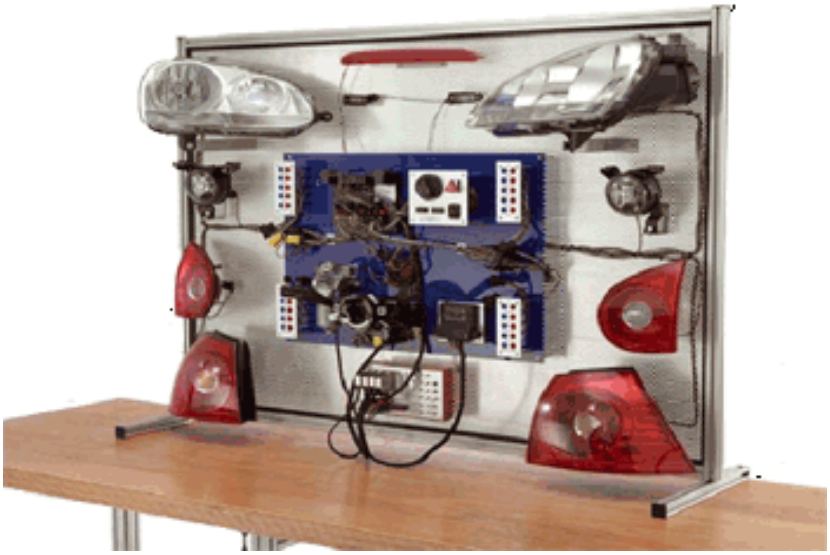
*UniTrain-I-Kurs „Kommunikation mit dem CAN-Bus“ (LUCAS-NÜLLE LEHR- UND MESSGERÄTE GMBH 2007)*

### 5.4.1.3 Nachbildung der semantischen Ebene

Es existiert eine weitere Kategorie von kommerziell vertriebenen Lehrmitteln, welche Teile des Kommunikationssystems eines Kraftfahrzeuges nachbilden. Dazu ordnen sie ausgewählte Steuergeräte aus einem realen Kraftfahrzeug didaktisch begründbar an und vernetzen diese dem Original entsprechend. Auf diese Weise entsteht ein System, welches Teile der kommunizierten Informationen absolut realitätsnah realisiert. Leider geht mit dieser Realitätsnähe auch der aus didaktischer Sicht als Nachteil zu bezeichnende hohe Grad an Komplexität und Intransparenz einher, denn ebenso wie im realen Fahrzeug sind die kommunizierten Daten für den Lerner zunächst nicht wahrzunehmen und selbst bei Verwendung entsprechender messtechnischer Hilfsmittel aufgrund ihrer kryptischen Gestalt und ihrer Übertragungsgeschwindigkeit sowie -häufigkeit wenig oder gar nicht hilfreich. Somit stellt sich das gleiche Dilemma ein, welches für die Verwendung eines realen Fahrzeugs zu Aus- oder Weiterbildungszwecken gilt: Realitätsnahe Medien sind enorm komplex und für didaktische Zwecke nur sehr bedingt einsetzbar.

Beispielhaft für diese Kategorie soll das Trainingssystem „Schulungsstand CAN-LIN-Bus“ angeführt werden, welches in der dargestellten Form von zahlreichen Lehrmittelherstellern angeboten wird. Dieses System besteht aus auf einer Gitterwand montierten Komponenten des Fahrzeuges „Volkswagen Golf V“. Neben den Beleuchtungseinheiten sind auch die nötigen Steuergeräte und Bedieneinheiten auf der

Wand angebracht und mit originalen Steckverbindern angeschlossen. Über einen LIN-Bus kann der Scheibenwischer-Motor angesteuert werden. Viele relevante Signale lassen sich an 4mm-Messbuchsen abgreifen. Das Gateway-Steuergerät erlaubt eine Diagnose mit entsprechenden Diagnosegeräten.



*Schulungsstand CAN-LIN-Bus (SCHREINER-DIDAKTIK 2007)*

Das System lässt sich mit einigen Modulen (z.B. Fahrzeugtür) erweitern, über eine optionale Fehlerschaltbox lassen sich verschiedene Busfehler auf das System aufschalten. Der Anbieter fügt dem System keinerlei Instrumente bei, mit welchen der Datenverkehr didaktisch analysiert werden kann. Als Option ist zwar eine CAN-Monitoring-Software erhältlich, diese entspricht allerdings den oben genannten Einschränkungen und sieht keine didaktische Funktion vor, welche über die hexadezimale Darstellung der kommunizierten Daten hinausgeht. Damit bietet der Schulungsstand gegenüber einem realen Fahrzeug lediglich den Vorteil, dass er deutlich weniger Komponenten beinhaltet und somit den Grad der Komplexität verringert, jedoch keine Transparenz erzeugt. Die für eine Analyse erforderlichen Instrumente sind die gleichen wie bei der Untersuchung der kommunizierten Daten eines realen Kraftfahrzeugs und bieten somit eine vergleichbare didaktische Qualität.

#### 5.4.1.4 Fazit

Die aufgezählten didaktischen Lehr- und Lernsysteme unterscheiden sich teilweise erheblich hinsichtlich ihrer didaktischen Konzeption und werden bezüglich ihrer Eignung zu didaktischen Zwecken durchaus kontrovers diskutiert. Die Beschreibung der exemplarisch angeführten konkreten Systeme erfolgte dabei lediglich zur Veranschaulichung der identifizierten Ebenen und ohne jede Wertung. Sie erhebt selbstverständlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die erhältlichen Systeme haben ihre spezifischen Stärken und Schwächen, welche sie für verschiedene didaktische Ziele ausweisen oder disqualifizieren. Allen Systemen ist jedoch gemein, dass sie nicht in der Lage sind, die Komplexität kommunikativer Prozesse innerhalb eines echten Fahrzeugs zu reduzieren.

Durch die quantitativ unterschiedlich ausgeprägte Nachbildung Kfz-spezifischer Strukturen wird lediglich eine Reduktion des kommunizierten und somit zu didaktischen Zwecken verfügbaren Datenvolumens erreicht. Eine qualitative Reduktion der Komplexität beispielsweise in Form einer lernergerechten Visualisierung der Daten kann keines der untersuchten Systeme realisieren.
Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass es an einem geeigneten Lehr-/Lernmittel, welches dem Lerner den über die Datenbusse kommunizierten Datenverkehr in transparenter und authentischer Art und Weise auf semantischer und semiotischer Ebene darbietet und interaktive Experimente zulässt, mangelt.

## 5.4.2 Kfz-Diagnosegeräte und -software

Um die kommunizierten Daten eines Fahrzeuges (oder eines entsprechenden Lehrmodells) überhaupt visualisieren zu können, sind geeignete technische Geräte erforderlich. Die Suche nach einem entsprechenden Mediengerät führt zwangsläufig zu den computergestützten Diagnosegeräten, welche die Fahrzeughersteller und entsprechend spezialisierte Anbieter vorhalten und welche in den Kfz-Werkstätten zu einem alltäglichen Werkzeug geworden sind. Diese Geräte basieren auf einem Computer, welcher sich mittels einer geeigneten Schnittstelle an die Diagnoseschnittstelle eines Fahrzeugs anschließen lässt und so eine Kommunikation zum fahrzeuginternen Datennetzwerk aufbauen kann. Über einen Bildschirm oder Touchscreen, Tastatur und Maus wird eine Benutzerschnittstelle zur Verfügung gestellt, die einerseits dem Facharbeiter als Visualisierung dient und andererseits die Benutzereingaben entgegennimmt. Somit wird eine zeitnahe und bedarfsgerechte Darstellung von benötigten Informationen und das Auslösen entsprechender Aktionen möglich. Es existieren Varianten, die die Infrastruktur eines Standard-PCs nutzen und über dessen Schnittstellen (z.B. RS232 oder USB) mittels eines Adapters die Kommunikation mit dem Fahrzeug aufbauen. Auf dem PC muss eine Software vorhanden sein, die die kommunizierten Daten interpretieren und über die übliche Peripherie darstellen kann. In den Werkstätten haben sich kompakte Geräte etabliert, welche Rechner sowie Fahrzeug- und Benutzerschnittstellen in einem Gehäuse integrieren.
Derartige Geräte werden darüber hinaus für die Integration von sekundären Informationsträgern wie beispielsweise Reparaturanleitungen oder Teilekatalogen genutzt. Die Leistungsfähigkeit moderner Rechner bietet somit das Potenzial, um die aufwendige Speicherung, Handhabung, Pflege und Anzeige dieser umfangreichen Datenmengen mit relativ einfachen Mitteln auf elektronischem Wege zu realisieren. In diesem Sinne integrieren solche Geräte Programme für die eigentliche Diagnose von Kraftfahrzeugen (Diagnosesystem), für die Darstellung technischer Informationen (Informationssystem), für die Identifikation spezifischer Ersatzteile des jeweiligen Fahrzeugs und teilweise sogar für die Messung physikalischer Größen mittels entsprechender Messtechnik. Ohne solche computerbasierten Systeme ist die fachgerechte Arbeit an Kraftfahrzeugen mittlerweile nicht mehr möglich:

> „Zur Diagnose der Fahrzeuge ist mehr und komplexeres Wissen als bisher dem Anwender in adäquater, wissensbasierter Form bereitzustellen. Damit die daraus resultierenden Diagnosedaten und Informationsmengen sicher beherrscht werden, ist der Einsatz rechnergestützter Diagnose- und Informationssysteme unumgänglich."
>
> (RAUNER ET AL. 2002, S. 15)

Da ein leistungsfähiger Computer, der Daten mit dem Kraftfahrzeug austauschen kann, offensichtlich zur Standardausrüstung einer jeden Fachwerkstatt gehört, bietet sich die Möglichkeit, dieses System zur Verknüpfung von Arbeiten und Lernen im Sinne der Arbeitsprozessorientierung geradezu an. Allerdings stellt SCHREIER fest, dass „die große Lernchance beim Arbeiten mit tutoriellen Diagnosesystemen durch die geringe Lerneignung der Software[1] erheblich eingeschränkt ist" (SCHREIER 2002a, S. 10). Die Ursachen sieht er im Wesentlichen auf der Softwareebene. In diesem Sinne schlägt er die Weiterentwicklung der tutoriellen Komponente von Diagnosesystemen zu vollwertigen Lernsystemen vor. „Ein tutorielles Computersystem kann das Lernen des Anwenders verbessern, wenn es erstens Lernprozesse innerhalb der Arbeitsumgebung und während der Arbeitszeit anregt und unterstützt und zweitens als Lernmedium in arbeitsprozessorientierten Qualifizierungsmaßnahmen eingesetzt wird" (SCHREIER 2002b, S. 58).

Gängige Diagnosegeräte sind auf den Einsatz in der Werkstatt ausgelegt und sollen dem Facharbeiter dort im Sinne eines Werkzeugs vor allem Daten aus dem Fahrzeug (z.B. Fehlercodes) anzeigen. Dazu werden Daten aus dem Fahrzeug ausgelesen, auf semantischer Ebene interpretiert und auf dem Bildschirm visualisiert. Die im Fahrzeug tatsächlich kommunizierten Daten bleiben dem Bediener jedoch verborgen, sodass eine Kommunikation zwischen Bediener und Fahrzeug auf semiotischer Ebene nicht möglich ist. Um die Funktionsweise der fahrzeuginternen Kommunikation zu vermitteln ist dieses allerdings erforderlich, sodass die Diagnosesoftware neben der geforderten tutoriellen Komponente außerdem um eine Komponente zur semiotischen Kommunikation zu erweitern wäre.

Da es sich bei der Diagnosesoftware stets um Closed-Source-Software handelt, kann die entsprechende Erweiterung und Modifikation der Diagnosesoftware zur Steigerung der Lerneignung nur durch den jeweiligen Hersteller der Software bzw. des Diagnosegerätes erfolgen. Bis in die Gegenwart haben diese Hersteller keine derartigen Modifikationen vorgenommen und es kann vorausgesetzt werden, dass sie dieses in naher Zukunft auch nicht anstreben werden. Damit scheidet das Diagnosegerät trotz seiner prinzipiellen Eignung hinsichtlich der bereits vorhandenen Schnittstellen und der Leistungsfähigkeit der Hardwareplattform für die beschriebenen Lernzwecke aus.

## *5.5 Definition des Prototyps*

Wie Kapitel 5.4.1und 5.4.2 darstellen, existiert mit den aktuellen Lehr- und Lernmitteln sowie den gebräuchlichen Diagnosegeräten kein Lernmedium, welches sich unmittelbar in webbasierten Lernszenarien nutzen ließe. Aus diesem Grund liegt die Entwicklung eines entsprechenden Lernsystems nahe. Zu diesem Zweck folgt die Definition von Eigenschaften, die das zu entwickelnde System aufweisen muss.

---

[1] SCHREIER meint die Software, die auf den Diagnosesystemen läuft und somit die Leistungsfähigkeit des gesamten Systems maßgeblich beeinflusst.

Das Lernsystem soll die datenverarbeitungstechnischen Kommunikationsprozesse in Kraftfahrzeugen lernergerecht visualisieren. Dafür muss es den Datenverkehr eines Fahrzeugs realitätsnah ab- oder nachbilden können. Um dem Lerner ein Verständnis der im Fahrzeug kommunizierten Daten überhaupt erst zu ermöglichen, ist eine wahrnehmungs- und verarbeitungsfreundliche Präsentation der übertragenen Information durch das System zu leisten. Die Darstellung der Informationen soll dem Lerner die Bedeutung der kommunizierten Daten vermitteln, sodass dieser in die Lage versetzt wird, die Funktionsweise des Fahrzeugs als System zu erfassen. Aus diesem Grund muss das System außer der ausschließlichen Darstellung des Datenverkehrs auf semiotischer Ebene eine Interpretation der Daten auf semantischer Ebene leisten (vgl. S. 111).

Im Falle des Kraftfahrzeugs liegt (im Bezug auf die internen Kommunikationsprozesse) zweifelsfrei ein komplexes System vor, welches eine unüberschaubar große Zahl von Parametern verarbeitet und kommuniziert, sodass eine Simulation durch mathematische Modelle im Rahmen eines virtuellen Labors zwar möglich wäre, aus den auf Seite 66 genannten Gründen jedoch als wenig zweckmäßig und nicht sinnvoll bezeichnet werden muss. Aus dem gleichen Grund müssen Modelle ausscheiden, es sei denn, sie geben die kommunikationstechnischen Prozesse im Fahrzeug absolut realitätsnah und authentisch wieder. Kapitel 5.4.1 zeigt, dass derartige Modelle zwar existieren, für didaktische Zwecke jedoch nur sehr eingeschränkt geeignet sind. Es fehlt ein lernergerechtes Instrument zur Visualisierung und Analyse der kommunizierten Daten. Da diese Modelle Teile eines realen Kraftfahrzeugs darstellen, wäre ein entsprechendes Instrument ebenso am Fahrzeug einsetzbar. Grundsätzlich ist das technische Realobjekt, im untersuchten Falle also das Kraftfahrzeug, aufgrund seiner Authentizität vorzuziehen, sodass das zu entwickelnde Instrument direkt am Fahrzeug einsetzbar sein sollte.

Dabei ergeben sich jedoch eine Reihe organisationstechnischer Herausforderungen, die im Rahmen eines lokalen Labors (z.B. in der Schule) mit großer Wahrscheinlichkeit nicht lösbar sind. Für das Erlernen von Funktionsweisen technischer Systeme ist die Durchführung von Experimenten erforderlich. Dabei ist es wünschenswert, dass jeder Lerner individuelle Erfahrungen beim Umgang mit technischen Realobjekten oder Modellen machen kann.

Da Fahrzeuge häufig aufgrund ihrer relativ hohen Anschaffungskosten selbst dann, wenn relativ preiswerte Modelle zu teilweise stark reduzierten Preisen verfügbar sind, nicht in ausreichend hoher Stückzahl vorgehalten werden können, sind Experimente am Fahrzeug oft nur in Gruppen oder als Lehrerpräsentation möglich. Verstärkend kommt hinzu, dass die Innovationszyklen der Fahrzeughersteller mittlerweile so kurz sind, dass Fahrzeuge bereits nach kurzer Zeit nicht mehr den aktuellen Stand der Technik repräsentieren können. Der Forderung nach individueller Erfahrungsbildung kann ohne ausreichende Anzahl von Fahrzeugen nicht oder nur sehr unzureichend nachgekommen werden. Außerdem handelt es sich bei den preiswerten Modellen häufig nicht um Serienfahrzeuge, sondern um prototypische Vorserienmodelle, welche insbesondere im Bezug auf die fahrzeuginternen Kommunikations- und Datenverarbeitungsprozesse ein von zulassungsfähigen Serienfahrzeugen signifikant abweichendes Verhalten zeigen. Neben den finanziellen Aspekten sind aber auch raumorganisatorische Bedingungen zu berücksichtigen. In dem Großteil der verschiedenen Bildungseinrichtungen dürfte der Platz für ganze „Klassensätze" identischer Fahrzeuge nicht vorhanden sein.

Der individuelle Zugang zu einem Fahrzeug muss also mit weniger Fahrzeugen als Lernern realisiert werden, sodass mehrere Lerner auf ein Fahrzeug zugreifen. Daher sollte ein Lernsystem möglichst vielen Lernern gleichzeitig einen individuellen Zugriff auf die vorhandenen Fahrzeuge gewähren. Für das Entwicklungsvorhaben wird unterstellt, dass lediglich ein Fahrzeug für die beschriebenen Zwecke zur Verfügung steht. Das zu entwickelnde System muss also ein Zugriffsmanagement realisieren, welches jedem Lerner einen individuellen Zugang ermöglicht, wobei alle anderen Lerner hinsichtlich ihrer Zugriffsmöglichkeiten so wenig wie möglich eingeschränkt werden sollen.

Für die Kommunikationsstrukturen im Fahrzeug bedeutet dies, dass ein lesender Zugriff für beliebig viele Lerner gleichzeitig realisiert werden soll. Sobald der Lerner jedoch im Rahmen eines Experiments manipulierend auf das Fahrzeug einwirkt und somit die Rolle des Senders einnimmt, führen gleichzeitige Zugriffe mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Komplikationen und einem unplausiblen Verhalten des Fahrzeugs. Das Zugriffsmanagement muss also sicherstellen, dass jeweils nur ein Lerner den schreibenden Zugriff realisieren kann, während der Lesende Zugriff uneingeschränkt verfügbar sein kann.

Darüber hinaus soll die Möglichkeit eines ortunabhängigen Zugriffs gegeben sein. Nur auf diese Weise stünde das Fahrzeug auch an außerschulischen Lernorten für interaktive Experimente zur Verfügung, sodass der Lerner für Vor- oder Nachbereitung von Unterricht die Möglichkeit des Zugriffs auf ein reales Fahrzeug hat.

Für diesen Zugriff ist eine prinzipiell ortunabhängige Kommunikationsbasis erforderlich, welche in Form des Internets mit seinen fast flächendeckend verfügbaren Breitbandanschlüssen bereits zur Verfügung steht. Die damit verbundene lernerseitige Nutzung eines Computers als Mediengerät hat außerdem den Vorteil, dass eine leistungsfähige Plattform für eine grundsätzlich frei programmierbare Benutzerschnittstelle genutzt werden könnte.

Die Distribution der aus dem Fahrzeug gewonnenen Daten an mehrere Lerner über lokale Netze hinaus über das Internet ist grundsätzlich nur mit einer Client-Server-Technologie möglich. Das zu entwickelnde System muss für die Kommunikation mit den Clients also eine Webserverfunktionalität ermöglichen. Der Webserver muss in der Lage sein, die Daten aus dem Fahrzeug lernergerecht und der Übertragung über das WWW gemäß an beliebig viele Clients[1] auszuliefern. Die Clients müssen dabei auch über die Möglichkeit des schreibenden Zugriffs auf das Fahrzeug verfügen, was hinsichtlich des Webservers bedeutet, dass dieser über Mechanismen zur Verarbeitung von clientseitigen Benutzereingaben, die das Fahrzeug unmittelbar betreffen, verfügen muss. Um die Zugriffsmöglichkeit nicht durch clientseitige, technische Varianten einzuschränken, soll die Nutzung des Systems ohne Einschränkungen mit jedem beliebigen, grafischen Internetbrowser möglich sein.

Das System ermöglicht mit der bidirektionalen Kommunikation über das Internet die Möglichkeit, individuell auf das Fahrzeug einzuwirken. Auf diese Weise sollen Aktionen realisiert werden, die der Lerner in

[1] Jeder Server kann aufgrund seiner technischen Leistungsfähigkeit nur eine begrenzte Zahl von Clients bedienen. Die quantifizierende Angabe „beliebig" ist daher in diesem Zusammenhang so aufzufassen, dass die Anzahl möglicher Clients nur durch technische Grenzen des Servers und der Infrastruktur des Netzwerkes begrenzt ist, nicht jedoch durch die Gestaltung des Prototyps.

einem lokalen Labor zur Verfügung hätte. Dazu gehört vor allem das Auslösen bestimmter Ereignisse durch die Betätigung entsprechender Bedienelemente. Im lokalen Labor kann der Lerner die Auswirkungen seiner Aktionen direkt beobachten, sofern die resultierende Aktion ohne weitere Hilfsmittel wahrnehmbar ist. In den meisten Fällen sind die Reaktionen des Fahrzeugs visuell wahrnehmbar. Diese visuelle Rückkopplung soll in dem zu entwickelnden System ebenfalls zur Verfügung stehen. Ein entsprechendes Konzept ist also im Rahmen des Entwicklungsvorhabens zu implementieren.

Für den experimentellen Umgang mit dem Fahrzeug ist es wichtig, dass sich das Fahrzeug hinsichtlich seiner Aktionen und seiner kommunizierten Daten absolut fehlerfrei verhält. Wenn allerdings das Soll-Verhalten des Fahrzeuges bekannt ist, können dessen Manipulation und ein damit von der Norm abweichendes Fehlverhalten einen Anreiz zum weiterführenden experimentellen Umgang mit dem Fahrzeug führen. In der Realität wird ein Kfz-Facharbeiter ständig mit fehlerhaften Fahrzeugen konfrontiert, sodass ein fehlerhaftes Fahrzeug den Grad der Authentizität des gesamten Systems signifikant erhöhen dürfte. Auf diese Weise lassen sich mit dem System authentische Szenarien produzieren, in denen der Lerner zu handlungsorientiertem Lernen motiviert wird.

Für die Kommunikation des Servers mit dem Fahrzeug bietet sich auf den ersten Blick die Nutzung am Fahrzeug vorhandener Diagnoseschnittstellen, welche zum Anschluss von Diagnosegeräten dienen, an. Es existieren prinzipiell verschiede Varianten solcher Schnittstellen, jedoch gibt es seit einigen Jahren Bestrebungen, diese zu vereinheitlichen und in verbindlichen Normen (z.B. ISO 15765, ISO 14230) zu definieren.

> „Der doch recht frei interpretierbare Standard ISO 9141-2 wurde abgelöst durch das Keyword Protocol 2000 (KWP 2000), definiert in der ISO 14230/Road Vehicles – Diagnostic Systems. Für die herstellerspezifische Diagnose wird üblicherweise eine Teilmenge der in der ISO 14230 definierten Diagnostic Services implementiert. Mit ISO 14230 Keyword Protocol 2000 und ISO 15765 Diagnostics on CAN ist die Diagnoseschnittstelle der Steuergeräte nun weitgehend standardisiert."
>
> (SOFTING 2002, S. 41)

Das (Super-) Gateway eignet sich aufgrund seiner zentralen Funktion als Mittler zwischen allen beteiligten Bussystemen für den Anschluss eines Diagnosegerätes, da es die Kommunikation zwischen Diagnosegerät und jedem beliebigen Steuergerät im Fahrzeug vermitteln kann. Dieses Diagnoseprinzip schreibt mittlerweile sogar der Gesetzgeber vor. So müssen laut Gesetz alle Fahrzeuge, die seit 2000 (Otto-Motor) bzw. 2003 (Diesel-Motor) in Europa zugelassen wurden, über eine fahrzeuginterne Diagnosefunktion (EOBD) zur Überwachung der abgasrelevanten Funktionen verfügen, welche über eine genormte, 16-polige Diagnoseschnittstelle mit geeigneten Diagnosegeräten über die Fahrzeuggrenzen hinaus nutzbar sein muss.

Die Nutzung der Diagnose-Funktionen über die Diagnose-Schnittstelle kann gravierende Auswirkungen auf die fahrzeuginternen Funktionen haben. Die Steuergeräte aktivieren einen Diagnosemodus, der sich hinsichtlich der Funktionsweise der einzelnen Steuergeräte sowie Kommunikationsvorgänge über das fahrzeuginterne Netzwerk wesentlich von dem normalen Betrieb ohne angeschlossenes Diagnosegerät

unterscheidet. Für die beschriebenen Lernzwecke ist die Betrachtung des Fahrzeuges im normalen Betriebszustand erforderlich, da das Fahrzeug nur dann betriebstypische Eigenschaften aufweist.
Damit scheidet die Verwendung der genormten Diagnoseschnittstelle aus, sodass im Rahmen der Entwicklung des Prototyps für den beschriebenen Zugang zum Fahrzeug eine alternative Schnittstelle gefunden werden muss.
Daher muss eines der beschriebenen Hauptbussysteme mit einer zusätzlichen Schnittstelle versehen werden. Die systemübergreifende Einsatzfähigkeit des CAN-Busses prädestiniert diesen für die Ausstattung einer entsprechenden Schnittstelle. Trotz seiner verschiedenen Ausführungen hinsichtlich Übertragungsmedium, Fehlertoleranz und Übertragungsgeschwindigkeit ist seine Ausführung auf der Sicherungsschicht (Layer 2, Data Link Layer) des OSI-Referenzmodells einheitlich, sodass unabhängig von der Art und Weise der physikalischen Datenübertragung auf der Bitübertragungsschicht (Layer 1, physical Layer) stets das gleiche Datenformat verwendet wird, welches in der ISO-Norm ISO 11898 verbindlich definiert wird. Für den Zugang zum Fahrzeug ist die Bitübertragungsschicht indes irrelevant, entsprechende Instrumente visualisieren die fahrzeuginterne Kommunikation, indem sie auf der Sicherungsschicht aufsetzen. Damit kann dem Anspruch nach einer herstellerunabhängigen Funktionsfähigkeit des Prototyps prinzipiell entsprochen werden.
In modernen Kraftfahrzeugen werden fast ausschließlich fehlertolerante Low-Speed-CAN-Busse nach ISO 11898-3 und High-Speed-CAN-Busse nach ISO 11898-2 verwendet, sodass die Schnittstelle mit einem CAN-Knoten realisiert werden könnte, dessen für die CAN-Anbindung verantwortlicher CAN-Transceiver einer dieser Normen entspricht. Aufgrund der weiten Verbreitung dieser zwei CAN-Varianten (auch in der Produktionstechnik) existiert auf dem Markt eine breite Palette an CAN-Knoten, welche in bestehende CAN-Netze eingefügt werden können.
Da der CAN-Bus außerdem als einziges Bussystem nicht nur in Automobilen, sondern auch vielen Nutzfahrzeugen wie LKW, land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge und in Zweirädern eingesetzt wird, soll er für die Ausstattung einer Schnittstelle zur Anbindung an die für die beschriebenen Zwecke erforderliche Serverkomponente verwendet werden.
Nach der Diskussion der Rahmenbedingungen wird ein Prototyp entwickelt, der die Visualisierung und den Eingriff in die Kommunikation eines fahrzeuginternen CAN-Busses eines realen Serienfahrzeuges lernergerecht über das Internet in bidirektionaler Richtung ermöglicht. An diesen Prototyp werden die folgenden Anforderungen gestellt:

- Der Prototyp muss über eine Schnittstelle zur Integration in ein aktuelles Kraftfahrzeug in Form eines CAN-Knotens verfügen.
- Als Benutzerschnittstelle soll ein Standard-PC dienen.
- Die im Fahrzeug kommunizierten Daten sollen so in der Benutzerschnittstelle dargestellt werden, dass einem Lerner ohne Expertenwissen eine Dekodierung auf semantischer und semiotischer Ebene ermöglicht wird.

- Das angebundene Fahrzeug soll zeit- und ortsunabhängig zur Verfügung stehen, sodass das zu entwickelnde System in Form eines Online-Labs zu realisieren ist. Dazu muss die Verbindung zwischen dem PC des Lerners und dem Fahrzeug über das Internet möglich sein.
- Das System soll ausschließlich die Anbindung an das Fahrzeug realisieren; um es in computergestützte Lernprogramme integrieren zu können, muss es so gestaltet sein, dass es sich mit möglichst geringem Aufwand in übliche WBTs bzw. LMS integrieren lässt.
- Das System soll möglichst authentisch wirken. Zu diesem Zweck sollen Bilder des angeschlossenen Fahrzeugs übertragen werden.
- Um dem Lerner ein authentisches Feedback über seine Aktionen am angebundenen Fahrzeug zu liefern, soll das System eine visuelle Rückkopplung in Form eines Live-Videos vom Fahrzeug realisieren.
- Um ein fehlerhaftes Verhalten des Fahrzeuges zu provozieren, soll dieses bei Bedarf über die Benutzerschnittstelle mit definierten Fehlern versehen werden können.

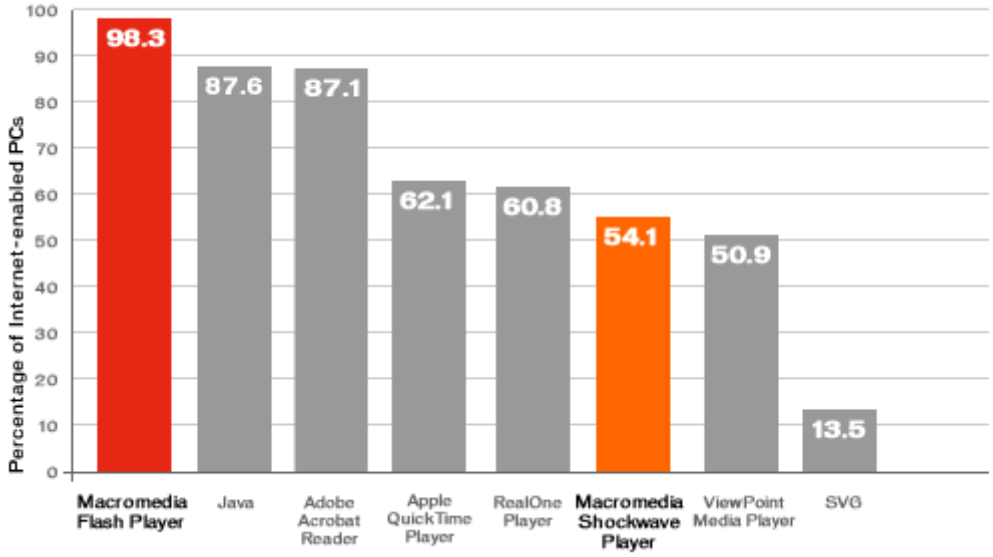
# 6 Der Prototyp

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Prototyps zur Integration eines Kraftfahrzeuges in webbasierte Lernsysteme beschrieben. Dazu wird zunächst der strukturelle Aufbau des Systems aufgezeigt und anschließend die verwendeten Komponenten „Fahrzeug", „Gateway", „Server-Applikation", „Client" und „WebCam" erläutert.

## 6.1.1 Webtechnologien für den Prototyp

Die gute Eignung zur abstrakten Darstellung von Inhalten, die hohe Anschaulichkeit und die Fähigkeit, verschiedene Komponenten einbetten zu können, legt die Verwendung von HTML/XHTML für die Definition einer entsprechend zu gestaltenden Website nahe. Die Umsetzung einer CAN-Monitoring-Funktionalität und einer Visualisierung des Fahrzeuges kann dabei nur durch geeignete Komponenten geschehen. Da ansonsten keine nennenswerten Inhalte auf der Seite vorgesehen werden müssen, ist die Formatierung der Seite mit CSS als optional zu betrachten.
Die Komponente zur Realisierung des Monitorings muss als entscheidendes Merkmal zum Empfang von CAN-Bus-Nachrichten Möglichkeiten zur Kommunikation vorsehen, sodass JavaScript ausfällt. Die Verwendung von DirectX wurde an vorangehender Stelle als kritisch eingestuft, sodass diese Technologie für die Verwendung im Rahmen des Prototyps gänzlich ausscheidet. Grundsätzlich erfüllen die Technologien Java Applets und Flash die technologischen Anforderungen, da die clientseitige Benutzeroberfläche stark grafisch orientiert sein sollte und Flash entsprechende explizite Funktionen bietet, scheint diese Technologie für die Realisierung des CAN-Monitorings im Webbrowser am besten geeignet zu sein.
Für die Visualisierung des Fahrzeuges ist ein Videostream erforderlich, welcher durch eine weitere Komponente in die Website eingebunden werden muss. Da der Videostream stets zur Laufzeit der Website aufgenommen wird, muss dieser mit einer Technologie dargestellt werden, die die Darstellung von Live-Videos ermöglicht. Mit JavaScript ist eine solche Darstellung nur durch das kontinuierliche Aktualisieren von Standbildern möglich, was in Abhängigkeit des Aktualisierungsintervalls dazu führt, dass die Bildsequenz durch den Anwender nicht als zusammenhängender Film interpretiert wird. Es besteht die Möglichkeit, dass wichtige Ereignisse am Fahrzeug zwischen zwei Intervallen liegen und somit clientseitig nicht dargestellt werden können. Wiederum ist eine Komponente mit der Möglichkeit zur Kommunikation mit serverseitigen Anwendungen erforderlich. Grundsätzlich erlauben Java Applets und Flash die Darstellung von Live-Streams. Da für die Einbettung des Monitorings bereits ein Flash-Plugin vorausgesetzt werden muss, bedeutet eine aktive Java-Laufzeitumbegung (JRE) ein weitere Bedingung zur Nutzung des Prototyps, was die Möglichkeit, dass ein Browser die Bedingungen nicht erfüllt und der Prototyp somit nicht genutzt werden kann, erhöht. Daher empfiehlt sich die Verwendung möglichst weniger verschiedener Technologien, was Flash auch für die Darstellung des Videostreams als die meist geeignete Technologie identifiziert.
Das für die Darstellung in Webbrowsern erforderliche Flash-Plugin wird durch die Firma Macromedia kostenlos im Internet zur Verfügung gestellt und ist für alle gängigen Webbrowser lieferbar. Da Flash

einen Quasi-Standard für Web-Animationen darstellt ist das entsprechende Plugin auf nahezu allen internetfähigen Browsern installiert (vgl. WÖHR 2004, S. 206).




*Prozentualer Anteil der Webbrowser mit installiertem Flash-Plugin (*MACROMEDIA *2005)*

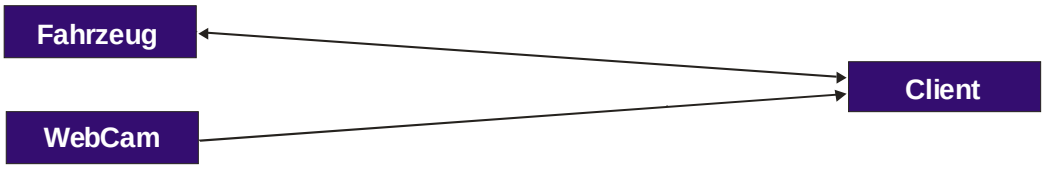
Der Anwender hat nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten zur Konfiguration der Laufzeitumgebung im Webbrowser, sodass von einer einheitlichen und browserunabhängigen Darstellung ausgegangen werden kann.

## 6.2 Struktureller Aufbau

Um die für die Umsetzung des Vorhabens erforderlichen Technologien identifizieren zu können, ist es notwendig, die beteiligten Komponenten hinsichtlich ihrer Kommunikation zu analysieren. Als Komponenten gelten dabei:

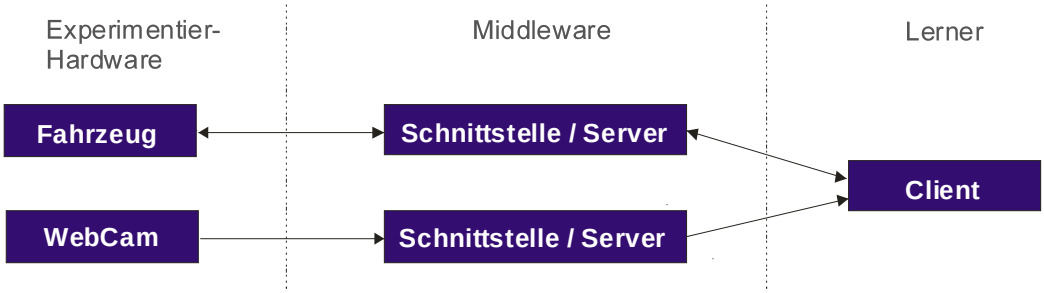
- Das Fahrzeug mit seinem internen Netzwerk stellt zunächst die Quelle der zu analysierenden Daten dar. Zugleich dient es jedoch als interaktives Experiment, soll es doch auf Eingaben des Lerners authentisch reagieren. Folglich ist ein bidirektionaler Zugriff auf das Fahrzeug zu realisieren.
- Eine bzw. mehrere WebCams sollen die Auswirkungen, die der Eingriff eines Lerners hat, visuell darstellen. Auf eine Steuerfunktion, die eine Veränderung der Neigung um eine oder mehrere Achsen oder des Zooms der WebCams realisiert, kann bei entsprechenden Einstellungen verzichtet werden. Somit ist lediglich der unidirektional lesende Zugriff auf die Kameras erforderlich.
- Der Client soll auf einem Rechner alle Funktionen in einem Standard-Webbrowser nutzen können. Dieser muss also mit den entsprechenden clientseitigen Maßnahmen versehen werden

und einen bidirektionalen Zugriff auf das Fahrzeug bzw. einen unidirektionalen Zugriff auf die WebCam zur Verfügung stellen.




Prinzipielle Datenströme

Das Fahrzeug bietet dabei keine direkt nutzbare Schnittstelle, welche ohne weitere Maßnahmen die intern kommunizierten Daten über ein Intra- bzw. Internet verfügbar machen könnte. Dies gilt auch für die WebCams, welche üblicherweise lediglich mit einem USB-Anschluss ausgestattet sind.
Zudem soll der Zugriff nicht nur durch einen Client erfolgen können; vielmehr ist von einem gleichzeitigen Zugriff durch mehrere Clients auszugehen, sodass die Architektur mit einer Middleware zu ergänzen ist, welche einerseits die erforderlichen Schnittstellen und andererseits die distributive Funktion eines Servers zur Verfügung stellt. Ebenso ist mit der WebCam-Anbindung zu verfahren, hier ist eine Middleware mit USB-Konnektivität und Serverfunktion zu implementieren.
Beide Maßnahmen müssen dabei nicht auf einer Komponente untergebracht sein. Um auf standardisierte Lösungen zurückgreifen zu können, scheint es vielmehr zweckmäßig, für die Kamera sowie das Fahrzeug jeweils eine eigene Middleware zu implementieren.



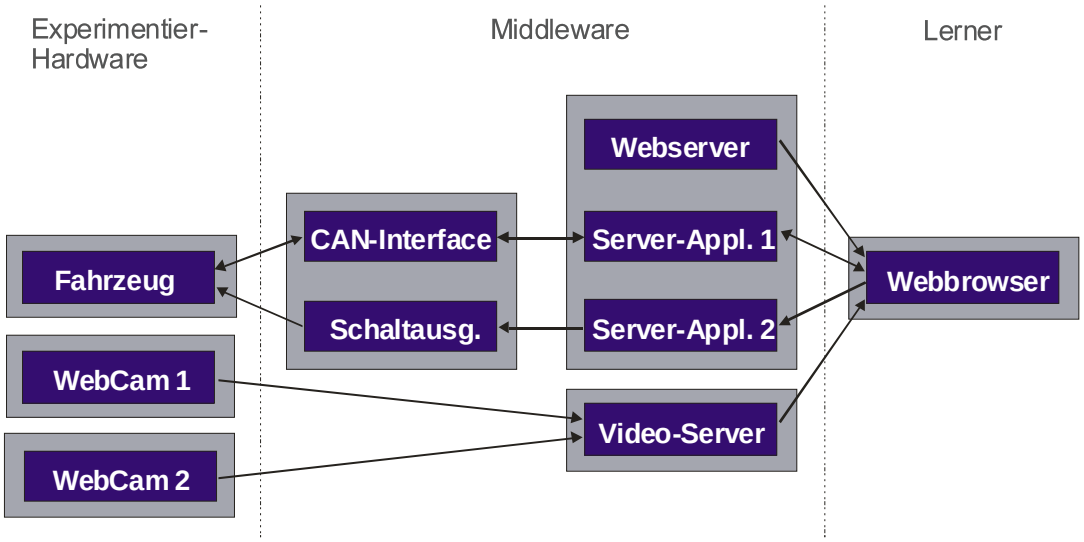

Prinzipielle Datenströme mit Middleware

Auf dieser Grundlage wurde das System neben dem Fahrzeug, der WebCam und dem clientseitigem Webbrowser mit folgenden Komponenten realisiert:

- Das CAN-Interface
  Dieses Interface weist eine geeignete CAN-Bus-Schnittstelle auf und ist darüber an den CAN-Bus des Fahrzeuges angebunden. Die auf diese Weise erfassten CAN-Nachrichten werden mit einer geeigneten Schnittstelle der entsprechenden Server-Applikation zur Verfügung gestellt.
- Server-Applikation 1
  Die Server-Applikation bindet die prozessintegrierende Hardware (CAN-Interface) an. Sie realisiert die Kommunikation mit der clientseitig eingebetteten Flash-Komponente.

- Schaltausgang
  Das Aufschalten von Fehlern auf das angebundene Fahrzeug erfordert den Einsatz von Relais- oder Transistorausgängen, welche über ein entsprechendes Interface mit einer Server-Applikation geschaltet werden können.
- Server-Applikation 2
  Analog zum CAN-Interface erfolgt die Anbindung der Schaltausgänge mit einer Server-Applikation.
- Video-Server
  Die von der WebCam dokumentierten Bilder werden mittels eines Video-Servers als Video-Stream an eine clientseitig eingebettete Komponente übertragen. Dabei funktioniert der Video-Server wie eine Server-Applikation, welche die digitalisierten Signale der WebCam in einen für die Darstellung im Webbrowser angepassten Datenstrom konvertiert.
- Webserver
  Dem Webserver obliegt die Auslieferung der statischen Inhalte an die clientseitigen Webbrowser. Dazu gehört vor allem die Website, welche die für die Kommunikation mit den Server-Applikationen erforderlichen Komponenten einbettet.

Die folgende Übersicht veranschaulicht die Anordnung und die Kommunikationsprozesse dieser Komponenten. Dabei ist zu erkennen, dass im Bereich der Middleware die Schnittstellen und die serverseitigen Maßnahmen auf jeweils einer eigenen Hardware verortet sind (die einzelnen Hardwarekomponenten sind durch die graue Hinterlegung dargestellt).




Prinzipielle Architektur

Die beschriebenen Anforderungen an das System erfordern die Möglichkeit der Interaktion des Nutzers mit dem Fahrzeug. Die Einflussnahme auf das Fahrzeug wird durch geeignete Elemente in der Benutzeroberfläche (z.B. Schaltflächen) ausgelöst. Der Client generiert ein Kommando, welches über das Intra-

bzw. Internet an die entsprechende Server-Applikation übertragen wird. Diese veranlasst das Interface, eine entsprechende CAN-Nachricht auf den CAN-Bus abzusetzen. Das Fahrzeug wird dann seinen Systemeigenschaften gemäß auf diese CAN-Nachricht reagieren. Für die gezielte Manipulation des Fahrzeuges ist außerdem die unidirektionale Ansteuerung der beschriebenen Schaltausgänge erforderlich.
In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Komponenten detailliert erläutert.

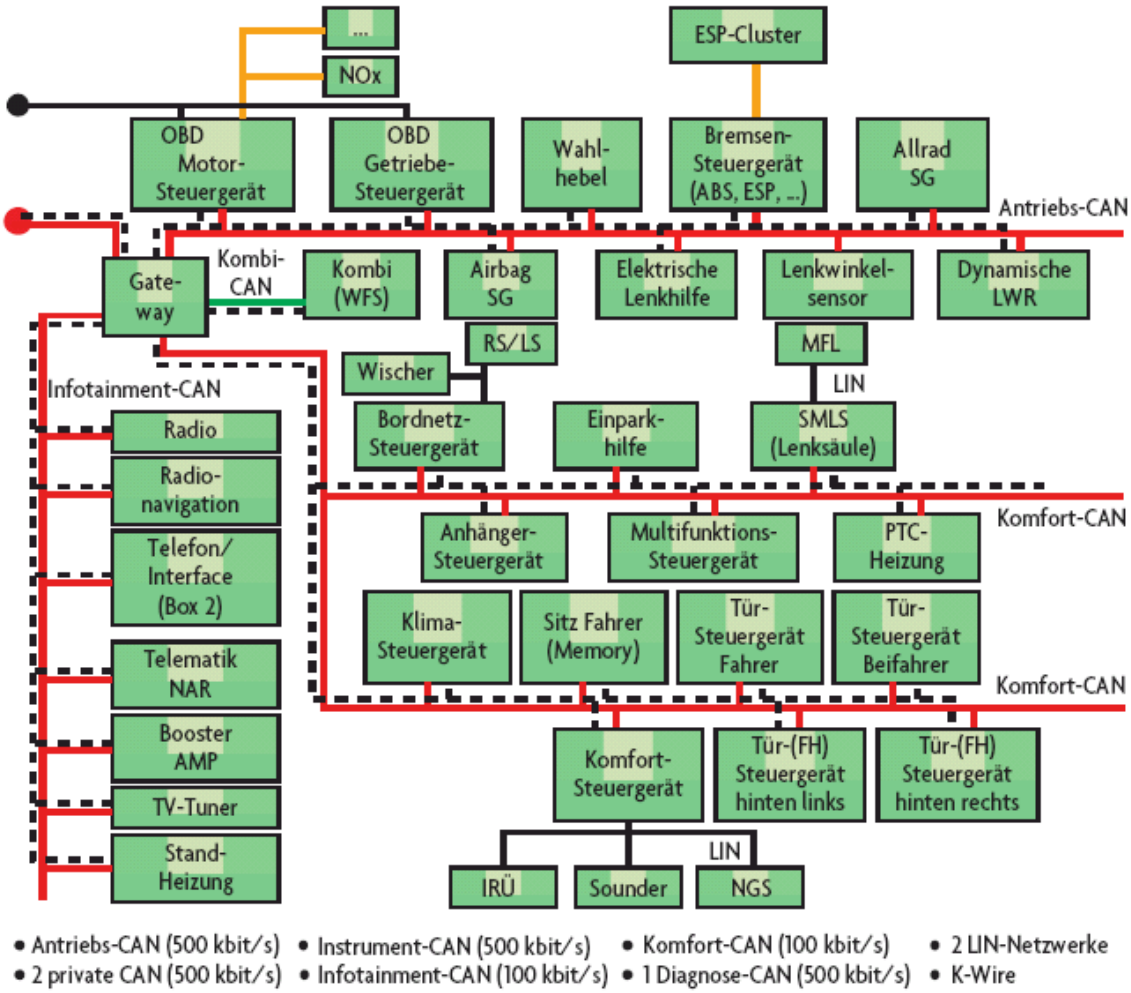
## 6.3 Das Fahrzeug

Das eingesetzte Fahrzeug ist mit seiner Rolle als Realobjekt direkt in das System eingebunden und somit von zentraler Bedeutung. Um der Forderung nach Authentizität gerecht zu werden, kommt nur ein Fahrzeug aus der aktuellen Serienproduktion in Betracht. Um einen Beta-Test mit Auszubildenden aus dem näheren Umland durchzuführen, wurde ein gängiges Fahrzeug aus deutscher Produktion eingesetzt. Auf diese Weise soll erreicht werden, dass das Fahrzeug sowohl für Lerner aus freien Werkstätten wie auch aus markengebundenen Werkstätten ohne außerordentliche Transferleistungen als authentisch angesehen werden kann.
Außerdem muss das Fahrzeug über mindestens einen geeigneten CAN-Datenbus verfügen. Dieser muss von außen zugänglich und um mindestens einen CAN-Knoten erweiterbar sein.
Im Einzelnen sind die technischen Anforderungen an das Fahrzeug wie folgt zu stellen:

- Das Fahrzeug muss über einen CAN-Bus verfügen, der Daten für die Erfassung geeigneter Sensorik sowie für die Ansteuerung geeigneter Aktorik transportiert. Als geeignet werden Sensoren bezeichnet, die eine physikalische Messgröße erfassen, welche durch den Lerner durch direkte visuelle Wahrnehmung auf dem Computerbildschirm mit Hilfe einer WebCam ohne weitere technische Hilfsmittel erfassbar und somit visuell direkt nachvollziehbar sind. Analog dazu sind nur solche Aktoren geeignet, welche eine ebenso unmittelbar wahrnehmbare Stellgröße beeinflussen.
- Über den CAN-Bus muss eine Kommunikation realisiert werden, ohne dass zusätzliche Aggregate betrieben werden müssen. Auch ein laufender Motor darf aus ökonomischen, ökologischen und organisatorischen Gründen nicht Voraussetzung für eine Kommunikation über den entsprechenden CAN-Bus sein. Das Einschalten der Zündung am Fahrzeug hingegen ist ohne besondere technische oder organisatorische Maßnahmen möglich und kann somit toleriert werden.
- Das Fahrzeugmanagement muss das Absetzten von Kommandos auf den CAN-Bus zulassen. Einige Fahrzeughersteller statten das Fahrzeugmanagement mit Funktionen aus, die das Absetzten von Nachrichten über einen fahrzeuginternen Datenbus nur durch die autorisierten Steuergeräte im Fahrzeug zulassen. Alle Versuche, eine Kommunikation von externen CAN-Knoten aus zu initiieren, führen zur Erkennung eines Kommunikationsfehlers durch das Netzwerkmanagement, welches daraufhin das Ignorieren der eingeschleusten Nachricht veranlasst. Weil dadurch das Absetzen von manipulierten Nachrichten verhindert würde, darf das Fahrzeugmanagement nicht über derartige Mechanismen verfügen.

- Das Fahrzeugmanagement darf durch das Absetzten von CAN-Nachrichten nicht in undefinierte Zustände versetzt werden, welche ein Systemabsturz zur Folge hätten. Es sind Fälle bekannt, in denen einzelne Steuergeräte durch das Absetzten willkürlicher Nachrichten auf einem Datenbus softwareseitig sogar dauerhaft irreparabel beschädigt wurden, sodass der Austausch der entsprechenden Komponenten und die erneute Programmierung des Netzwerkmanagements erforderlich wurden. Da während des Aufbaus und der Entwicklung des Prototyps auf das willkürliche Absetzten von Daten auf den CAN-Bus nicht verzichtet werden kann, muss das Fahrzeugmanagement ausreichend fehlerresistent sein.

Um den Umgang mit dem Prototyp für möglichst viele Lerner authentisch zu gestalten, ist der Einsatz eines aktuellen Volumenmodells wünschenswert.
Für den prototypischen Aufbau diente ein fünftüriger Volkswagen Golf V mit 1.6 Liter Motor und 75 kW. In der Ausstattungsvariante Trendline verfügt das Fahrzeug über eine Vielzahl elektrisch betriebener Zubehörteile, welche über diverse Steuergeräte miteinander vernetzt sind. Insgesamt besitzt der Golf V elf separate Datenbusse; davon sind fünf CAN-Busse über das das Zentralsteuergerät (Gateway) miteinander verbunden. Zwei weitere CAN-Busse arbeiten als Subbusse in den Bereichen Motor- und Fahrwerksmanagement. Außerdem verfügt das Fahrzeug über eine ODB-Schnittstelle und drei LIN-Busse als Subbusse im Komfortbereich.




*Vernetzung im Golf V (FALKNER, PICARD 2006)*

Für den entwickelten Prototyp ist insbesondere der CAN-Komfort von besonderem Interesse. Er verbindet keine fahrsicherheitsrelevanten Steuergeräte und verzichtet somit auf die oben beschriebenen Mechanismen zur Autorisierung von Busnachrichten. Wird die Zündung ausgeschaltet, so läuft der Bus noch einige Sekunden nach und versetzt alle angeschlossenen Steuergeräte in den Sleep-Modus. In diesem Betriebszustand findet kein Datenverkehr auf dem Bus statt. Allerdings genügt das Einschalten der Zündung, um einen Wakeup durch das Zentralsteuergerät zu veranlassen. Es erfolgt bereits bei eingeschalteter Zündung ein Datenverkehr im Umfang von etwa 12 kBit/s in ca. 60 periodisch übertragenen CAN-Nachrichten, ohne dass zusätzliche Bedienkommandos durch den Fahrer erfolgen. Die Bedienung der angeschlossenen Systeme ist indes in vollem Umfang möglich.

Die folgende Darstellung führt die technischen Daten des CAN-Komfort-Busses auf:

| Kriterium | Ausführung |
|---|---|
| Standard | ISO 11898-3 fault-tolerant |
| Identifier | CAN 2.0 A; Standardformat |
| Übertragungsgeschwindigkeit | 100 kBit/s |
| Datenmenge | Ca. 12 kBit/s |

Der Datenverkehr auf dem CAN-Komfort-Bus wurde mit Hilfe der Software PCAN-Explorer und eines geeigneten CAN-Dongles desselben Herstellers analysiert. Der Fokus wurde dabei auf solche Nachrichten gelegt, die Informationen über für Lernzwecke geeignete Sensoren bzw. Aktoren beinhalten. Es konnten u. a. für die folgenden hexadezimal kodierten CAN-Nachrichten Bedeutungen identifiziert werden:

- Türsteuergerät Fahrer, Beifahrer, hinten links und hinten rechts
- Kommandos für die elektrischen Fensterheber
- Schaltermodul Lenksäule (SMLS)
- Zustände der Türen, Motorhaube und Heckklappe
- Innenraumbeleuchtung
- Beleuchtungseinrichtungen
- Kommandos für die elektrisch verstellbaren Außenspiegel
- Kraftstoffvorrat

Eine detaillierte Auflistung einiger CAN-Nachrichten und ihrer Bedeutungen erfolgt im Anhang.

### 6.3.1 Geeignete Funktionen

Da eine Visualisierung und Interpretation der über den CAN-Bus übertragenden Daten wie sie für die Realisierung des entwickelten Prototyps erforderlich sind, nur unter Beachtung des auf der Sicherungsschicht definierten Datenformates (Nachrichtenrahmen) möglich ist, soll dieses in kurzer Form beschrieben werden. Ausführliche Darstellungen finden sich in ETSCHBERGER 2002, LAWRENZ 2000 oder ENGELS 2002 bzw. in der entsprechenden Norm ISO 11898.

Diese Norm sieht grundsätzlich vier verschiedene Nachrichtenrahmen (Frames) vor:

- Der Datenrahmen (Data Frame) enthält Nutzdaten, deren Sendung auf Initiative des Senders heraus erfolgt. Dieses Nachrichtenformat wird im Kraftfahrzeug unter normalen Umständen (normaler Betrieb ohne Störungen) mit Abstand am häufigsten verwendet.
- Mit dem Datenanforderungsrahmen (Remote Frame) können Busteilnehmer die Sendung von Informationen durch den die gewünschte Information vorhaltenden Teilnehmer veranlassen. Im Kraftfahrzeug erfolgt die Sendung von Informationen, die für andere Busteilnehmer relevant sein könnten, in aller Regel zyklisch in kurzen Intervallen von einigen Millisekunden, sodass die explizite Anforderung von Daten über einen CAN-Bus im Fahrzeug faktisch nicht vorkommt. Für Applikationen im industriellen Umfeld, welche auf Protokollen der höheren Schichten aufsetzten (z.B. CANopen), kann der Datenanforderungsrahmen jedoch von großer Bedeutung sein.
- Der Fehlerrahmen (Error Frame) kann durch jeden Busteilnehmer gesendet werden, wenn dieser einen Fehler bei der Datenübertragung (z.B. durch Erkennung einer falschen Prüfsumme) erkennt. Das Fehlertelegramm initiiert in diesem Fall die erneute Sendung der fehlerhaften Nachricht.

- Eine spezielle Variante des Fehlerrahmens ist der Überlastrahmen (Overload Frame), welcher bei Erkennung einer Überlastung des CAN-Busses durch zu hohen Datenverkehr von einem Busteilnehmer gesendet wird und eine kurze Sendepause aller Teilnehmer zur Regeneration des Busses veranlasst.

Für die Visualisierung der über einen CAN-Komfort-Bus übertragenden Daten ist eine Analyse der Nutzdaten einer jeden CAN-Nachricht erforderlich. Da Nutzdaten ausschließlich mit Datenrahmen übertragen werden, genügt die Analyse dieser Art der Nachrichtenrahmen für die beschriebenen Lernzwecke.
Aus dem Spektrum der identifizierten CAN-Nachrichten wurden fünf CAN-Datenrahmen ausgesucht, die unter Berücksichtigung der bereits beschriebenen Kriterien für Lernzwecke besonders geeignet sind. Für die konkrete Auswahl der Nachrichten wurden außerdem die Art der Auswirkungen und die Sendeweise von CAN-Nachrichten berücksichtigt, welche die Vorgehensweise für die Aufbereitung der Daten maßgeblich beeinflussen:
Die Forderung nach Wahrnehmbarkeit von Aktionen lässt sich am einfachsten erfüllen, wenn eine ausreichend lange Wirkzeit einer durch den Lerner ausgelösten Aktion gewährleistet ist. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Wirkung über die Dauer der eigentlichen Aktion für eine ausreichend lange Zeit hinausläuft.
Dieser Sachverhalt soll an zwei Beispielen veranschaulicht werden:

- Die Lichthupe (nicht das Fernlicht) leuchtet nur dann auf, wenn der entsprechende Bedienhebel betätigt wird. Sobald dieser wieder in die Neutralstellung bewegt wird, erlischt das Aufblendlicht unmittelbar. Wird der Bedienhebel nur sehr kurz angetippt, so ist das Aufleuchten der Scheinwerfer unter Umständen gar nicht wahrnehmbar.
- Anders verhält es sich mit der Komfort-Blinker-Funktion. Ein kurzes Betätigen des Blinkerhebels genügt, um ein dreimaliges Blinken der Fahrtrichtungsanzeiger zu erwirken. Die Wirkung der Aktion überdauert die Aktion selbst für Sekunden und stellt damit ihre Wahrnehmbarkeit sicher.

Wiederholt ein Steuergerät CAN-Nachrichten zyklisch, so wird innerhalb des vorgesehenen Zeitintervalls von in der Regel 50 bis 200 Millisekunden der Zustand der angeschlossenen Sensoren (also auch Bedientaster und –Schalter) über den CAN-Bus an alle angeschlossenen Systeme übermittelt. Würde in diesem Falle durch einen eingefügten CAN-Knoten eine zu Lernzwecken manipulierte CAN-Nachricht abgesetzt, so erfolgt nach Ablauf der Zykluszeit die Sendung der unmanipulierten CAN-Nachricht durch das entsprechende Steuergerät. Je nach vorgesehener Zykluszeit bleibt der durch die manipulierte CAN-Nachricht ausgelöste Zustand lediglich für Sekundenbruchteile erhalten. Diesem Umstand kann prinzipiell wie folgt begegnet werden:

- Der entsprechende Zustand könnte durch technische Maßnahmen (z.B. Aufnahme eines Momentbildes) konserviert werden. Die dazu zur Verfügung stehende Zeitspanne ist allerdings

nicht nur sehr kurz, sondern vor allem abhängig von der bereits durchlaufenden Zykluszeit bei Absetzten der manipulierten CAN-Nachricht stets von unterschiedlicher Dauer. Sind von der manipulierten Nachricht außerdem noch träge Aktoren (z.B. Elektromotoren) betroffen, so reicht die Wirkzeit der Manipulation mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht für eine wahrnehmbare Aktion seitens des angesprochenen Aktors aus. Aus diesen Gründen scheidet diese Lösungsmöglichkeit aus.

- Die manipulierte CAN-Nachricht könnte mit einer Zykluszeit wiederholt werden, die deutlich unter der Zykluszeit der Originalnachricht liegt. Damit würde im Prinzip der zuvor beschriebene Zustand erreicht, allerdings steht jetzt der unmanipulierten CAN-Nachricht eine extrem verkürzte Wirkzeit zur Verfügung, sodass sich der durch die manipulierte CAN-Nachricht hervorgerufene Zustand dauerhaft einstellen dürfte. Dabei resultiert aus der sehr kurzen Zykluszeit eine hohe Auslastung des betreffenden CAN-Busses, welche ggf. sogar zu einer Überlastung und somit zum temporären Ausfall der Kommunikation führen könnte. Weiterhin wird der CAN-Bus auf diese Weise mit manipulierten Nachrichten „überflutet", sodass diese im CAN-Monitoring unverhältnismäßig oft auftauchen würden. Dieser Umstand ermöglicht ohne weiteren technischen Aufwand (z.B. intelligente Nachrichtenfilter) kein realitätsnahes Abbilden der fahrzeuginternen Kommunikation mehr und scheidet somit ebenfalls aus.
- Es erfolgt kein Absenden einer manipulierten CAN-Nachricht durch den eingefügten CAN-Knoten. Stattdessen wird der erfasste Sensor direkt manipuliert. In diesem Fall wird die entsprechende CAN-Nachricht nach wie vor zyklisch gesendet, jedoch mit dem durch die Manipulation veränderten Inhalt. Somit bleibt die eigentlich fahrzeuginterne Kommunikation mit ihren systembedingten Eigenschaften unverändert. Die Auswirkungen der Manipulation könnten ohne weitere technische Hilfsmittel so lange beobachtetet werden, wie die Manipulation des entsprechenden Sensors andauert. Allerdings erfordert diese Art der Manipulation einen verhältnismäßig hohen Installationsaufwand, da die Manipulation nicht allein durch Einfügen eines CAN-Knotens in den CAN-Komfort-Bus erreicht werden kann.

Erfolgt die Sendung einer CAN-Nachricht azyklisch nur bei Bedarf, so entfallen die beschriebenen Bedingungen und das Absetzten einer manipulierten Nachricht kann ohne weiteres durch einen eingefügten CAN-Knoten erfolgen. Dabei gilt auch hier, dass die ausgelöste Aktion wahrnehmbar sein muss.
Die Bedeutung dieses Sachverhaltes für die Eignung einzelner CAN-Nachrichten zu Lernzwecken wird deutlich, wenn man sich vor Augen hält, dass der Lerner mit Hilfe des im Entwicklungsvorhaben realisierten Prototyps im Rahmen der Fahrzeugbedienung lediglich Aktionen durchführen kann, die durch Manipulation des CAN-Busses (also durch das Absetzten manipulierter Nachrichten durch einen eingefügten CAN-Knoten) ausgelöst werden.

### 6.3.1.1 Elektrische Fensterheber

Das Fahrzeug verfügt über jeweils zwei elektrische Fensterheber vorne und hinten. Jede Tür verfügt über ein eigenes Türsteuergerät (vgl. Abbildung S. 132). Jedes dieser Türsteuergeräte übernimmt u. a. die Ansteuerung der Motoren für den Hebemechanismus der Fensterscheibe sowie die Abfrage der zugehörigen, in die entsprechende Tür eingelassenen Bedientaster. Jedes Türsteuergerät setzt dabei zyklisch alle 50 Millisekunden eine CAN-Nachricht in der folgenden Gestalt (ID 381, ID 3B5, ID 4B9 und ID 4BD) auf den Bus ab:

| | |
|---|---|
| ID 0x381: Türsteuergerät Fahrer<br>ID 0x3B5: Türsteuergerät Beifahrer<br>ID 0x4B9: Türsteuergerät hinten links<br>ID 0x4BD: Türsteuergerät hinten rechts | |
| Länge: | 6 Bytes |
| Byte 1: Türschloss | 0x00: Schloss offen<br>0x02: Schloss verriegelt<br>0x20: Tür offen<br>0x40: Tür geschlossen |
| Byte 3: Position Fensterscheibe | 0x01: Fenster Pos. Ganz oben<br>0xC3: Fenster Pos. Ganz unten<br>(das Byte gibt die Pos. der Fensterscheibe stufenlos zwischen 0x01 und 0xC3 an) |
| Byte 4: Aktion | 0x00: keine Aktion<br>0x01: Fenster fährt hoch<br>0x02: Fenster fährt runter<br>0x0C: Fenster ganz geschlossen |

Diese Informationen lassen Rückschlüsse auf die aktuelle Position und Aktion der Fensterscheibe zu, welche im weiteren Verlauf des Vorhabens lernergerecht aufzubereiten und zu visualisieren sind.

Die jeweiligen Bedientaster in den Türen sind direkt an das entsprechende Türsteuergerät angeschlossen und erfordern daher keine Datenübertragung auf dem CAN-Komfort-Bus. Zusätzlich lassen sich alle Fensterheber zentral vom Fahrer mit einer in der Fahrertür eingelassenen Konsole (der vom Hersteller genannten „multifunktionalen Steuereinheit“) bedienen. Jeder Fensterheber ist über einen separaten Taster in der multifunktionalen Steuereinheit ansprechbar, welcher über fünf Schalterstellungen verfügt (Fensterscheibe ganz öffnen, Fensterscheibe runter, neutrale Mittelstellung, Fensterscheibe hoch und Fensterscheibe ganz schließen). Die Stellungen „Fensterscheibe ganz öffnen“ und „Fensterscheibe ganz schließen“ bewirken bereits durch kurzes Antippen des entsprechenden Tasters ein vollständiges Öffnen bzw. Schließen der jeweiligen Fensterscheibe, auch wenn der Taster sofort wieder losgelassen wird. In den Stellungen „Fensterscheibe runter“ bzw. „Fensterscheibe hoch“ stoppt die Fensterscheibe ihre Fahrt hingegen unmittelbar bei Loslassen des Tasters. Da die multifunktionale Steuereinheit ausschließlich mit dem Türsteuergerät für die Fahrertür verbunden ist, wird eine Kommunikation über den CAN-Komfort-Bus erforderlich. Die entsprechende CAN-Nachricht (ID 181) wird über den Bus an das entsprechende Türsteuergerät übertragen und durch dieses die gewünschte Aktion des Fensterhebers veranlasst. Bei dieser Nachricht gelang eine vollständige Zuordnung der Bedeutungen:

| ID 0x181: Kommandos für elektrische Fensterheber | |
|---|---|
| Länge: | 2 Bytes |
| Byte 1: Fensterheber vorne | 0x00: Fensterheber aus<br>0x01: Fenster Fahrer hoch<br>0x02: Fenster Fahrer ganz schließen<br>0x04: Fenster Fahrer runter<br>0x08: Fenster Fahrer ganz öffnen<br>0x10: Fenster Beifahrer hoch<br>0x20: Fenster Beifahrer ganz schließen<br>0x40: Fenster Beifahrer runter<br>0x80: Fenster Beifahrer ganz öffnen |
| Byte 2: Fensterheber hinten | 0x00: Fensterheber aus<br>0x01: Fenster hinten rechts hoch<br>0x02: Fenster hinten rechts ganz schließen<br>0x04: Fenster hinten rechts runter<br>0x08: Fenster hinten rechts ganz öffnen<br>0x10: Fenster hinten links hoch<br>0x20: Fenster hinten links ganz schließen<br>0x40: Fenster hinten links runter<br>0x80: Fenster hinten links ganz öffnen |

Im Gegensatz zu den meisten CAN-Nachrichten im verwendeten Fahrzeug erfolgt die Sendung dieser CAN-Nachricht nicht zyklisch, sondern nur dann, wenn dies durch Betätigen eines Tasters erforderlich ist. Somit kann das vollständige Öffnen und Schließen der Fensterheber durch das Absetzten der entsprechenden CAN-Nachrichten durch einen eingefügten CAN-Knoten im CAN-Komfort-Bus realisiert werden. Eine Manipulation der Taster ist folglich nicht nötig.
Weiterhin ist die Bewegung der Fensterscheibe außerordentlich gut visuell wahrnehmbar und somit für Lernzwecke gut geeignet.

### 6.3.1.2 Zustände der Türen, der Motorhaube und der Heckklappe

Das verwendete Fahrzeug besitzt im Schalttafeleinsatz u. a. zwei Kontrollleuchten, die die Zustände der vier Fahrgastraumtüren und der Heckklappe bzw. der Motorhaube anzeigen. Dazu sind die jeweiligen Schlösser mit Sensoren versehen, welche registrieren, ob die jeweilige Tür, Haube oder Klappe vollständig geschlossen ist (in diesem Fall ist der Schließmechanismus vollständig im Schloss eingerastet). Sobald dies nicht der Fall ist, wird dies durch eine entsprechende Kontrollleuchte im Schalttafeleinsatz angezeigt. Der Zustand der vier Fahrgastzellentüren und der Heckklappe werden mit einer Kontrollleuchte angezeigt. Eine nicht vollständig verriegelte Motorhaube wird über eine separate Kontrollleuchte im Schalttafeleinsatz gemeldet.
Die Signale der Sensoren für die Schlösser der vier Fahrzeugtüren werden durch die vier Türsteuergeräte erfasst, in den vier Nachrichten der Türsteuergeräte (ID 381, ID 3B5, ID 4B9 und ID 4BD) wie oben beschrieben verarbeitet und über den CAN-Komfort-Bus veröffentlicht. Eine Sendung bezüglich der Schlösser an Motorhaube und Heckklappe findet indes nicht statt, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die entsprechenden Sensoren über ein weiteres Steuergerät (z.B. Zentralsteuergerät) erfasst werden. Dieses wertet offensichtlich auch die vier Nachrichten von den Türsteuergeräten aus und generiert aufgrund dieser Daten eine weitere CAN-Nachricht (ID 470) in folgender Form:

| ID 0x470: | Zustände der Türen, Motorhaube und Heckklappe |
|---|---|
| Länge: | 5 Bytes |
| Byte 2: offene Türen / Hauben / Klappen | 0x00: alle Türen / Hauben zu<br>0x01: Fahrertür offen<br>0x02: Beifahrertür offen<br>0x04: Tür hinten links offen<br>0x08: Tür hinten rechts offen<br>0x10: Motorhaube offen<br>0x20: Kofferraumklappe in erster Schlossraste<br>0x40: Kofferraumklappe offen |

Die Sendung dieser Nachricht erfolgt zyklisch und stellt auf diese Weise den restlichen Steuergeräten die Information über die Zustände der Türen, der Motorhaube und der Heckklappe zur Verfügung.
Während das Auslesen und Aufbereiten dieser Daten mittels eines eingefügten CAN-Knotens keine außerordentlichen Probleme bereitet, macht die zyklische Erfassung und Sendung der sensorisch erfassten Messgrößen der Türschlösser eine Manipulation per CAN-Knoten nicht ohne weiteres möglich. Da wie im weiteren Verlauf der Arbeit noch dargestellt werden wird die Manipulation dieser Nachricht jedoch erforderlich ist, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Diese werden im Einzelnen in Kapitel 6.3.2 beschrieben.

### 6.3.1.3 Kraftstoffvorrat (Tankanzeige)

Das verwendete Fahrzeug besitzt eine Anzeige für den Kraftstoffvorrat im Schalttafeleinsatz, welche wie auch in anderen Fahrzeugen üblich mittels eines Zeigerinstruments den Füllstand des Kraftstoffbehälters darstellt. Unterschreitet dieser eine bestimmte Menge, so ist der Reservebereich erreicht, was dem Fahrzeugführer durch eine entsprechende Kontrolllampe und einen Signalton signalisiert wird. Daher eignet sich diese Funktion aufgrund ihrer direkten Wahrnehmbarkeit für die vorgesehenen Lernzwecke.
Die Erfassung des Füllstandes wird mit einem Schwimmer realisiert, der einen variablen Widerstand betätigt. Über diesen Widerstand fällt eine Spannung ab, welche durch das entsprechende Steuergerät erfasst, digital gewandelt und mit einer entsprechenden CAN-Nachricht (ID 621) auf dem CAN-Komfort-Bus anderen Systemen zur Verfügung gestellt wird. Diese Nachricht weist folgende Struktur auf:

| ID 0x621: | Kraftstoffvorrat |
|---|---|
| Länge: | 5 Bytes |
| Byte 4, Kraftstoffvorratsanzeige (Nadelinstrument mit Reservekontrollleuchte) | 0x8X: Kraftstoffvorrat im Reservebereich<br>0x00: Kraftstofftank leer<br>0x3A: Kraftstofftank voll<br>(Das Byte nimmt ja nach Kraftstoffvorrat Werte zwischen 0x00 und 0x3A an. Ist der Reservebereich erreicht, so wird die zweite Tetrade mit 0x8X überschrieben.) |

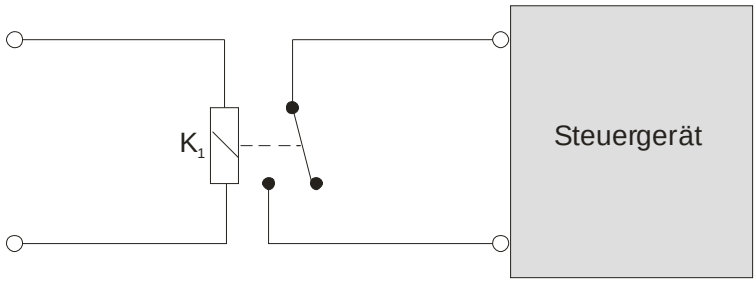
Die Übertragung dieser Nachricht erfolgt ebenfalls zyklisch. Für die Verwendung zu Lernzwecken im Rahmen des Entwicklungsvorhabens soll diese Nachricht einerseits auslesbar, andererseits aber auch manipulierbar sein. Da eine Manipulation auf CAN-Bus-Ebene aus den bereits dargestellten Gründen ausscheidet, sind auch hier zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

## 6.3.2 Aufschaltung von definierten Fehlern auf das Fahrzeug

Für die Vergrößerung des interaktiven Potentials des zu entwickelnden Prototyps soll zusätzlich zur reinen Bedienung von Fahrzeugfunktionen das Aufschalten definierter Fehler möglich sein. Da eine solche Aufschaltung von definierten Fehlern auf das Fahrzeug nicht ausschließlich durch das Absetzten von CAN-Nachrichten auf den CAN-Komfort-Bus möglich ist, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Nachfolgend werden zwei im Prototyp umgesetzte Fehlerquellen beschrieben.

### 6.3.2.1 Manipulation des Schaltkontaktes für die Erkennung einer verriegelten Motorhaube

Eine nicht vollständig verriegelte Motorhaube wird durch den Fahrzeugführer möglicherweise irrtümlich als geschlossen erkannt. Wird das Fahrzeug in diesem Zustand bewegt, so besteht die Möglichkeit, dass die Haube durch den Fahrtwind ergriffen und geöffnet wird. Da die Haube in diesem Fall den Fahrer vollständig die Sicht nach vorne versperren würde, ist das gezielte Führen des Fahrzeuges nicht mehr möglich, was im Straßenverkehr schwere Folgen haben kann. Das Fahrzeug verfügt über eine Kontrollleuchte im Schalttafeleinsatz für die Anzeige einer nicht vollständig verriegelten Motorhaube. Diese sicherheitsrelevante Funktion soll im Rahmen der definierten Fehleraufschaltung dahin gehend manipuliert werden, dass die Lampe trotz vollständig geschlossener und verriegelter Motorhaube ständig leuchtet.
Zu diesem Zweck wurde die elektrische Leitung zu dem entsprechenden Schalter am Motorhaubenschloss getrennt und die eigentliche Schaltfunktion durch ein Relais realisiert, welches clientseitig durch den Lerner betätigt werden kann. Somit ist der eigentliche Zustand der Motorhaube irrelevant; das entsprechende Steuergerät erfasst ausschließlich den Zustand des Relais.

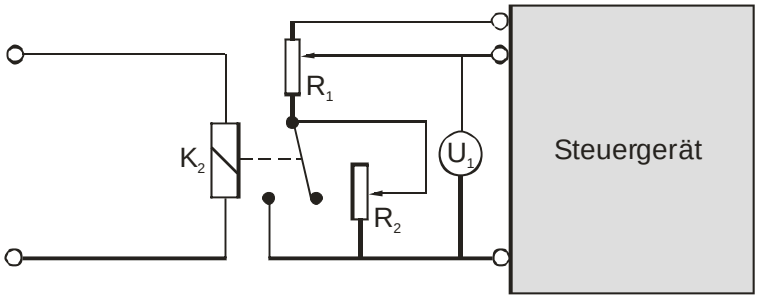



Schaltung für die Manipulation des Schaltkontaktes für die Erkennung der verriegelten Motorhaube

### 6.3.2.2 Manipulation des variablen Widerstandes für die Erfassung des Tankinhaltes

Der Füllstand des Kraftstofftanks wird über ein Analoginstrument im Schalttafeleinsatz des Fahrzeuges angezeigt. Dadurch wird der Fahrzeugführer stets über den vorhandenen Kraftstoffvorrat informiert und kann diesen auffüllen, bevor der Kraftstoff vollständig verbraucht ist und das Fahrzeug somit nicht mehr fahrbereit ist. Da liegen gebliebene Fahrzeuge im Straßenverkehr ein Gefahrenpotenzial darstellen, wird

das Unterschreiten einer definierten Kraftstoffreserve zusätzlich über eine Kontrollleuchte im Schalttafeleinsatz und einem akustischen Signalton angezeigt. Beide Funktionen (Anzeige durch Zeigerinstrument und Kontrollleuchte) sollen im Rahmen der definierten Fehleraufschaltung dahin gehend manipuliert werden, dass dem Fahrzeugführer unabhängig vom tatsächlich vorhandenen Kraftstoffvorrat ein vollständig entleerter Kraftstofftank signalisiert wird.
Dafür wurde eine Manipulation der elektrischen Schaltung, mit derer das entsprechende Steuergerät die Größe der am variablen Widerstand des Tankschwimmers abfallenden Spannung erfasst, realisiert:




Schaltung für die Manipulation des Tankgebers

Ein zusätzlicher Widerstand $R_2$ wurde in Reihe mit dem variablen Widerstand (Tankgeber) $R_1$ geschaltet. Mit Hilfe des zu $R_2$ parallel geschalteten Relais $K_2$ kann dieser überbrückt werden, sodass ausschließlich $R_1$ als Messgröße vom Steuergerät ausgewertet wird. Bei geöffnetem $K_1$ liegen nun $R_1$ und $R_2$ in Reihe, sodass sich ein Gesamtwiderstand $R_{ges}$ von 270 $\Omega$ ergibt, was einem leeren Tank entspricht.

## *6.4 Das Gateway*

Da für die Realisierung des beschriebenen Prototyps der Datenübertragung über Netzwerke eine wesentliche Bedeutung zukommt, ist diese zunächst prinzipiell zu beschreiben. Die wesentliche Aufgabe des Gateways besteht darin, eine Kommunikation zwischen verschiedenartigen und zueinander inkompatiblen Netzen zu ermöglichen. Für den Prototyp trifft dies auf Computernetzwerke (Intra- und Internet) und den CAN-Bus zu, sodass deren kommunikationstechnische Funktionsweise einer detaillierten Erläuterung bedarf.

### 6.4.1 Das OSI-Referenzmodell der Kommunikation

Für die Darstellung von Datenübertragungen über Netzwerke hat die INTERNATIONAL STANDARDS ORGANISATION (ISO) 1983 ein Referenzmodell entwickelt. Eine detaillierte Erläuterung dieses Modells ist in der Literatur vielfach erfolgt (vgl. KUROSE, ROSS 2004), sodass an dieser Stelle lediglich eine kurze Zusammenfassung folgen soll.

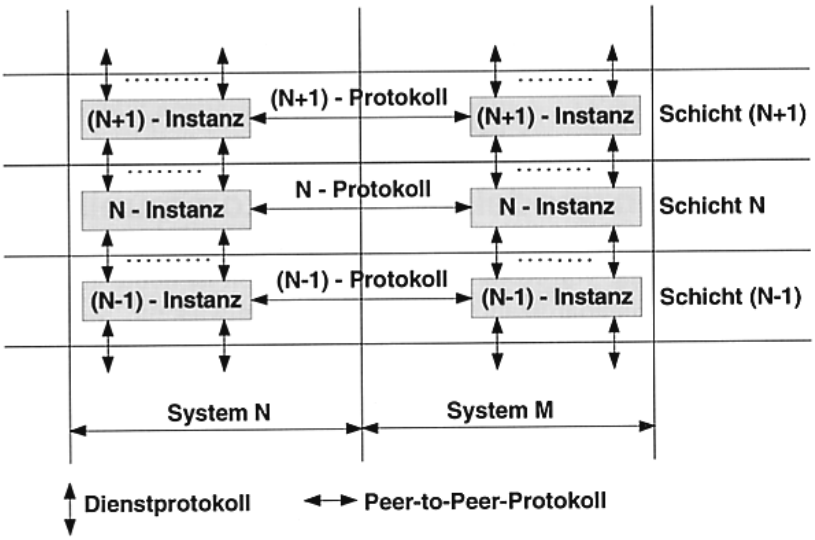
Das Open Systems Interconnections Referenzmodell (OSI-Referenzmodell)[1] definiert sieben Schichten, welche jeweils eine Teilaufgabe des Kommunikationsprozesses über Netzwerke übernehmen.

| Schicht | Beschreibung |
|---|---|
| Schicht 7, Application Layer | Die Anwendungsschicht stellt hauptsächlich Dienste für den Anwender bzw. übergeordnete Applikationen zur Verfügung, die nicht mehr primär für die Übertragung der Daten ausgelegt sind. Für die einheitliche Bereitstellung dieser Dienste sind zahlreiche Protokolle erforderlich. |
| Schicht 6, Presentation Layer | Die Darstellungsschicht realisiert die Darstellung der übertragenden Daten in einer für die darüber liegende Schicht verständlichen Form. Dazu konvertiert sie Zahlen- und Zeichensysteme oder ver- bzw. entschlüsselt zu sendende bzw. empfangene Daten. |
| Schicht 5, Session Layer | Die Sitzungsschicht (auch Verbindungsschicht genannt) sorgt für den ordnungsgemäßen Auf- und Abbau von Verbindungen. Dazu gehört beispielsweise das Zulassen von bidirektionalen Verbindungen oder die Vergabe von Sende- und Empfangsrechten bei unidirektionalen Verbindungen. |
| Schicht 4, Transport Layer | Die Transportschicht organisiert den Datenfluss zwischen Sender und Empfänger und stellt über Quittierungsmechanismen sicher, dass die gesendeten Daten beim Empfänger angekommen und verstanden worden sind. |
| Schicht 3, Network Layer | Die Vermittlungsschicht sorgt dafür, dass die Datenpakete von ihrem Startsystem über eventuelle Zwischensysteme zum richtigen Zielsystem gelangen. Im Rahmen dieses Routings passieren die Datenpakete ggf. mehrere Netzwerkknoten und unterschiedliche Netzwerke. |
| Schicht 2, Data Link Layer | Die Sicherungsschicht (oder auch Verbindungsschicht) organisiert die gesicherte Übertragung der Daten vom Sender zum Empfänger. Dazu werden die Daten in Rahmen (Frames) aufgeteilt und sequentiell gesendet. Bestimmte Mechanismen (z.B. Prüfsummenchecks) ermöglichen die Erkennung von Übertragungsfehlern und die Veranlassung entsprechender Maßnahmen. |
| Schicht 1, Physical Layer | Die Bitübertragungsschicht (oder auch physikalische Schicht) beschreibt die bitweise Übertragung der digitalen Daten über ein physikalisches Medium (z.B. Kabel oder Lichtwellenleiter). Dazu gehören die Spezifikationen der mechanischen Leitungen und Verbindungen genauso wie die Definition der physikalischen Größen, die die Bits darstellen (z.B. Spannungspegel, Übertragungsgeschwindigkeit) |

Bei genauerer Betrachtung lassen sich die Schichten in zwei Klassen mit unterschiedlich orientierter Funktion einteilen: Die Schichten 1 bis 4 orientieren sich an dem eigentlichen Transport von Daten, während die darüber liegenden Schichten anwendungsorientiert sind.

Dabei stellt eine Schicht (N) eine Instanz dar, welche der übergeordneten Schicht (N+1) einen oder mehrere Dienste anbietet. Wird durch die übergeordnete Schicht (N+1) ein Arbeitsauftrag erteilt, so führt die Schicht (N) mit eigenen Mitteln diesen Auftrag aus oder sie nimmt einen durch die untergeordneten Schichten (N-1) angebotenen Dienste in Anspruch.

[1] Die offizielle Bezeichung lautet „ISO-OSI-Referenzmodell", in der Praxis hat sich jedoch die Bezeichnung „OSI-Referenzmodell" durchgesetzt. In dieser Arbeit wird die verkürzte Schreibweise verwendet.




*Hierarchie der Schichten nach dem OSI-Referenzmodell (REISSENWEBER 2001, S. 23)*

Ein Kommunikationsprozess zwischen zwei Systemen erfolgt letztendlich ausschließlich über das physikalische Übertragungsmedium, aus Sicht der unterschiedlichen Schichten besteht jedoch jeweils eine schichtspezifische Verbindung (horizontale Richtung). Die Kommunikation über diese virtuellen Verbindungen wird durch anwendungsspezifische Protokolle realisiert. Auch für die ordnungsgemäße Kommunikation zwischen den verschiedenen Schichten (also in vertikaler Richtung) sind verbindliche Protokolle verantwortlich, welche nicht durch das OSI-Referenzmodell, sondern stets durch die Anwendung selbst definiert werden.

Mit dem bewussten Verzicht auf die Definition einzelner Dienste und Protokolle stellt das OSI-Referenzmodell keine verbindliche Architektur dar und ermöglicht eine universelle Auslegung für die unterschiedlichsten Kommunikationssysteme.

## 6.4.2 Kommunikation über Computernetzwerke

Die Kommunikation über Computernetzwerke wurde seit der Nutzung des ARPA-Nets[1] für wissenschaftliche Zwecke in den frühen 70er Jahren durch zahlreiche Institutionen vorangetrieben. Aus den Entwicklungen von Firmen und wissenschaftlichen Instituten gingen einige proprietäre Kommunikationstechnologien hervor (z.B. Appletalk, IPX/SPX oder NetBEUI). 1974 wurde ein Protokollstapel entwickelt, der eine Kommunikation zwischen verschiedenartigen Netzwerken ermöglichen sollte. Für die Kommunikation über Intranets und das Internet hat sich dieser TCP/IP-Protokollstapel als Standard etabliert, „denn diese Protokollfamilie dominiert seit einigen Jahren in allen Netzwerken vom kleinsten LAN bis (natürlich) zum Internet. [...] Die rasante Ausbreitung des Internets und die freie Verfügbarkeit sorgten dafür, dass diese Protokolle heute häufiger als jeder andere Protokollstapel eingesetzt werden" (KERSKEN 2003).

[1] ARPA steht für „advanced research Projects agency"; das ARPA-Net wird im Allgemeinen als Grundlage für die Entwicklung des Internets bezeichnet (vgl MÜNZ, NEFZGER 1999).

Daher soll auf die Kommunikation über Computernetzwerke auf der Grundlage von TCP/IP genauer eingegangen werden.

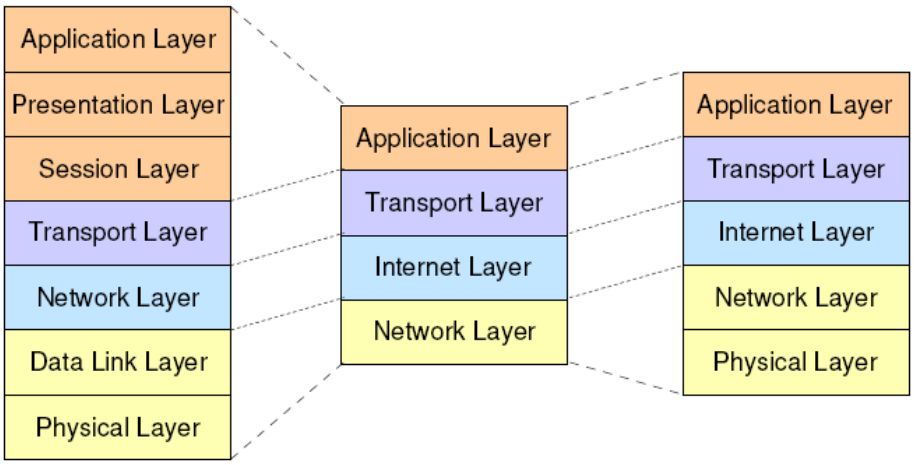
### 6.4.2.1 Das TCP/IP-Kommunikationsmodell

Für die TCP/IP-Protokolle ist einige Jahre vor der Erarbeitung des OSI-Referenzmodells ein eigenes, auf TCP/IP ausgerichtetes Kommunikationsmodell entstanden.

Die folgende Übersicht liefert eine kurze Beschreibung der Aufgaben der vier Schichten des TCP/IP-Modells.

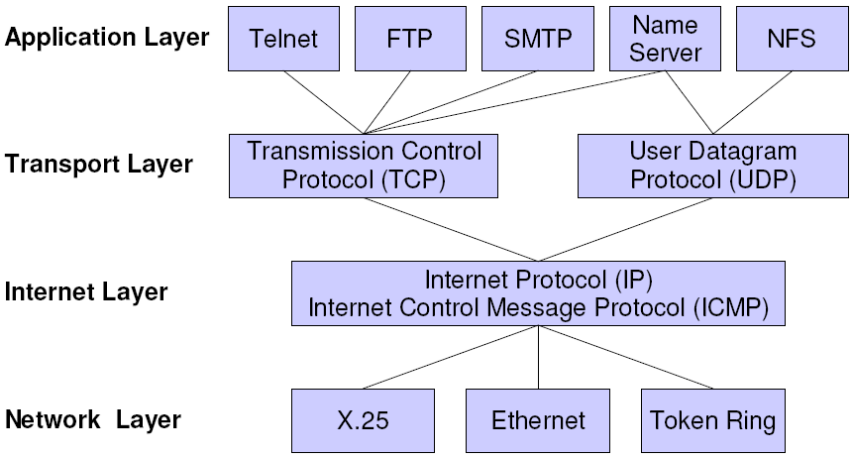
| Schicht | Beschreibung |
|---|---|
| Schicht 4, Application Layer | Die Applikationsschicht (oder Verarbeitungsschicht) definiert die Kommunikation mit den zur Weiterverarbeitung der übertragenden Daten abgestellten Programmen. Sie umfasst alle höheren Protokolle wie File Transfer Protocol (FTP), Telnet oder das für das world wide web (WWW) grundlegende Hypertext Transfer Protocol (HTTP). |
| Schicht 3, Transport Layer | Die Transportschicht stellt Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen dem Quell- und Zielhost her und organisiert den Datenfluss zwischen den beiden Kommunikationspartnern. Dazu definiert das TCP/IP-Modell zwei Protokolle, das Transmission Control Protocol (TCP) und das User Datagram Protocol (UDP). |
| Schicht 2, Internet Layer | Die Internetschicht definiert das für die Datenübertragung über Intra- und Internet unverzichtbare Internet Protokoll (IP) und realisiert auf diese Weise die logische Adressierung von Kommunikationsteilnehmern innerhalb eines Netzes und darüber hinaus. Außerdem sorgt sie dafür, dass Datenpakete so geroutet werden, dass sie das vorgesehene Ziel erreichen. |
| Schicht 1, Network Layer | Die Netzwerkschicht (oder Netzzugangsschicht) beschreibt, wie die physikalische Datenübertragung zu erfolgen hat. Da die Datenübertragung über verschiedene Übertragungsmedien mit unterschiedlichsten Übertragungsprotokollen erfolgen kann, sagt das TCP/IP-Modell über diese Schicht nur aus, „dass zur Übermittlung von IP-Paketen ein Host über ein bestimmtes Protokoll an ein Netz angeschlossen werden muss“ (HOLTKAMP 2002, S. 13). |

Da dieses Modell statt sieben Schichten nur vier vorsieht, erfolgt die Übertragbarkeit der Schichten von einem Modell auf das andere in der Literatur nicht einheitlich, sodass zusätzlich hybride Modelle vorgeschlagen wurden.




Vergleich: OSI-Referenzmodell, TCP/IP-Referenzmodell, Hybrides Referenzmodell (*HOLTKAMP* 2002, S. 14)

Die folgende Darstellung führt eine Auswahl von Protokollen und Diensten an und ordnet sie in das TCP/IP-Modell ein.




Einordnung der Web-Technologien in das TCP/IP-Referenzmodell (*HOLTKAMP* 2002, S. 14)

Auf der Netzwerkschicht existieren mehrere Übertragungsmedien, die sich unterschiedlich weit verbreitet haben und durch das „Institute for Electric and Electronic Engeneers" (IEEE) standardisiert wurden. Während früher ringförmige Busstrukturen eine Kommunikation über ein geschirmtes Koaxialkabel nach dem Token-Ring-Verfahren (IEEE 802.5) gängig waren, sind diese inzwischen durch einfacher handhabbare und kostengünstigere Strukturen nach dem Ethernet-Standard IEEE 802.3 verdrängt worden. In jüngster Zeit etablieren sich drahtlose Übertragungstechnologien (wireless LAN) nach IEEE 802.11.

Die Internetschicht definiert lediglich ein Protokoll, welches für die Datenübertragung per TCP/IP von elementarer Bedeutung ist. Das Internet Protocol (IP) arbeitet verbindungslos und unzuverlässig[1], da es über keinerlei Mechanismen zur Fehlererkennung verfügt. Für die Übertragung werden die Daten in einzelne Pakete (Datagramme) aufgeteilt und mit entsprechenden Metainformationen in einem Header versehen. Dazu gehören unter anderem der Quell- und der Zielhost. Für die Adressierung dieser Teilnehmer benutzt das Internet Protocol eine 32-Bit-lange Zahl, die IP-Adresse. Jeder Host innerhalb eines Netzes besitzt eine im Netz einmalige IP-Adresse, anhand derer die Zuordnung der Datagramme erfolgt. Darüber hinaus ermöglicht die IP-Adresse bei Netzübergängen und im weltweiten Internet das Routing der Datagramme.

Die Transportschicht definiert verschiedene Protokolle, die auf dem Internet Protocol aufsetzten. Die beiden wichtigsten sind das Transport Control Protocol (TCP) und das User Datagram Protocol (UDP).

TCP arbeitet nach dem Client-Server-Prinzip. Dabei fungiert ein Host als TCP-Server, welcher Dienste über das Netzwerk bereitstellt und sich solange passiv verhält, bis ein TCP-Client eine Verbindung initiiert. In Abhängigkeit vom Dienst kann dieser auch mehreren TCP-Clients gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden.

TCP arbeitet verbindungsorientiert, indem es für die Dauer einer Übertragung eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen dem Quell- und dem Zielhost herstellt. Dazu verwendet es ein Dreiwege-

[1] Der Begriff "unzuverlässig" bedeutet in diesem Zusammenhang nicht, dass das Internet Protocol für die Erfüllung seiner Aufgaben nicht zuverlässig genug ist. Vielmehr ist gemeint, dass das IP die ordnungsgemäße Zustellung der Daten nicht garantieren kann (vgl. HOLTKAMP 2002, S. 17).

Handshake, welches durch einen abwechselnden Austausch von drei speziellen Datenpaketen ohne Nutzinhalt sicherstellt, dass Quell- und Zielhost für die Verbindung bereit sind. Erst danach erfolgt der Transfer der eigentlichen Nutzdaten.

Diese werden von TCP in Segmente mit einer Größe von bis zu 64 kByte aufgeteilt und einzeln versendet. Jedes Segment wird mit einem 20 Byte großen Protokollkopf (TCP-Header) versehen, welcher u. a. Informationen über die laufende Nummer der Sequenz im gesamten Datenstrom, Quell- und Zielport sowie eine Checksumme enthält. Anhand der Sequenznummer ist der Zielhost in der Lage, den vollständigen Datenstrom auch dann aus den einzelnen Segmenten zu rekonstruieren, wenn diese durch Verzögerungen bei der Übertragung durch das Netzwerk nicht in der ursprünglich richtigen Reihenfolge bei ihm eintreffen.

TCP ist im Gegensatz zu IP ein sicheres Protokoll. Um diese Zuverlässigkeit sicherstellen zu können, wird ein entsprechender Mechanismus namens „positive acknowledgement with retransmission" (PAR) verwendet. Durch die Auswertung der im Header befindlichen Checksumme kann außerdem die Richtigkeit der empfangenen Daten durch den Zielhost sichergestellt werden und die Sendung einer entsprechenden Quittierung veranlasst werden. Dabei wird die Sendung jedes Datensegmentes durch den Quellhost solange wiederholt, bis ihm die Quittierung für den fehlerfreien Empfang der Daten durch den Zielhost innerhalb einer festgelegten Zeitspanne (dem Timeout) vorliegt.

Da das Internet Protocol keinerlei Sicherungsmechanismen vorsieht, sind diese durch die Protokolle der höheren Schichten zu realisieren. TCP erfüllt diese Anforderung bereits auf der nächst höheren Schicht, also der Transportschicht, sodass Anwendungen auf der Applikationsschicht von dieser Aufgabe befreit sind.

UDP ist ein zweites wichtiges Protokoll der Transportschicht, welches wie TCP auf IP aufsetzt. Im Gegensatz zu TCP arbeitet es jedoch verbindungslos, sodass für das Senden von Daten keine Prozedur zum Aufbau einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung durchlaufen werden muss. Somit verfügt UDP über keinen Mechanismus, der den ordnungsgemäßen Empfang der Daten sicherstellen kann. Tritt der Fall ein, dass ein Datenpaket während des Transportes verloren geht oder beschädigt wird, so wird dies vom Quellhost nicht erkannt und er setzt die Sendung weiterer Datenpakete ungehindert fort. Ist eine Datensicherheit bei Verwendung von UDP erforderlich, so ist diese in jedem Fall durch entsprechende Mechanismen auf der Anwendungsschicht zu gewährleisten.

Bedingt durch die verbindungslose und unsichere Arbeitsweise ist auch der Protokollkopf (UDP-Header) im Vergleich zu TCP kleiner. Er umfasst 8 Bytes und enthält neben Quell- und Zielport nur noch Informationen über die Länge des Datenpaketes und optional eine Checksumme. Letztere ermöglicht zwar die Erkennung fehlerhaft übertragener Daten, allerdings verfügt UDP über keinerlei Mechanismus zur Korrektur oder erneuten Anforderung.

Aufgrund des geringeren administrativen Aufwandes durch den Wegfall von Verbindungsaufbau und den kürzeren UDP-Header ergibt sich der Vorteil einer größeren Effektivität und Übertragungsgeschwindigkeit von UDP.

Neben TCP und UDP existieren auf der Transportschicht noch weitere überwiegend proprietäre Protokolle wie z.B. Appletalk, IPX/SPX oder NetBEUI. Diese wurden vor allem in den 1980-er Jahren von

führenden Herstellern für die homogene Vernetzung ihrer Systeme untereinander entwickelt. Heutige Netzwerke sind hingegen in der Regel inhomogen, sodass diese Protokolle heute kaum noch von Bedeutung sind und lediglich in Subnetzen zu speziellen Zwecken verwendet werden können. Im weltweiten Internet werden sie nicht mehr unterstützt, sodass hier die Übertragung von Daten zum größten Teil mit TCP/IP bzw. UPD/IP realistisch ist. THIEL und THEIS definieren als Auswahlkriterien für UPD bzw. TCP die folgenden Aussagen:

> „Für kontinuierliche Datenströme oder große Datenmengen sowie in Situationen, in denen ein hohes Maß an Datensicherheit gefordert ist, wird in aller Regel TCP eingesetzt.
>
> Bei häufig wechselnden Übertragungspartnern sowie einer Gewährleistung der Datensicherheit durch übergeordnete Protokolle macht der Einsatz von UPD Sinn."
>
> (THIEL, THEIS 2003, S. 22)

Für die Übertragung von CAN-Bus-Nachrichten über das Intra- oder Internet sind folgende Rahmenbedingungen anzunehmen:

- Aufgrund der zyklischen Übertragungsweise der Steuergeräte im Fahrzeug ist mit einem hohen Datenaufkommen zu rechnen.
- Da die Daten in kurzen zeitlichen Intervallen anfallen, liegt eine Übertragung als kontinuierlicher Datenstrom nahe.
- Insbesondere für die Interpretation einzelner Nachrichten, die nicht zyklisch anfallen und für die gezielte Sendung einzelner CAN-Nachrichten durch den Client ist eine Datensicherheit bei der Übertragung zweckmäßiger Weise durch ein standardisiertes Protokoll zu gewährleisten.
- Da damit zu rechnen ist, dass einzelne Clients für längere Zeiträume (mehrere Sekunden bis Minuten) einen Zugriff auf das Fahrzeug benötigen, ist mit häufig wechselnden Kommunikationspartnern nicht zu rechnen.

Für die Umsetzung des skizzierten Prototyps empfiehlt sich somit eine Datenübertragung auf Grundlage des TCP/IP-Protokollstapels.

Damit ein Host mehrere Dienste über einen Netzwerkzugang und eine IP-Adresse anbieten oder in Anspruch nehmen kann, sieht der TCP/IP-Protokollstapel eine Unterteilung des Hosts in diverse logische Anschlüsse (Ports) vor. Diese Ports sorgen dafür, dass über das Netzwerk empfangene Daten an die richtige Anwendung weitergeleitet werden. Dazu verfügt jeder Port über eine Nummer, welche im TCP- bzw. UPD-Header mit 16 Bit angegeben wird. Somit ergeben sich theoretisch $2^{16}$ (also 65536) verschiedene Portnummern, über die die Standard-Dienste und zusätzliche Applikationen angesprochen werden können. Eine IP-Adresse spezifiziert sowohl senderseitig als auch empfängerseitig zusammen mit der Portnummer jeweils einen 48-Bit-breiten Kommunikationsendpunkt (Socket); dieses Paar aus zwei kommunikationsfähigen Sockets bildet eine Verbindung.
Da die Portnummer auf der Transportschicht durch UDP bzw. TCP festgelegt wird, spezifizieren beide Protokolle eigene Ports. Somit können UPD und TCP mit der gleichen Portnummer unterschiedliche Dienste ansprechen, obwohl dies in der Praxis nur selten der Fall ist.

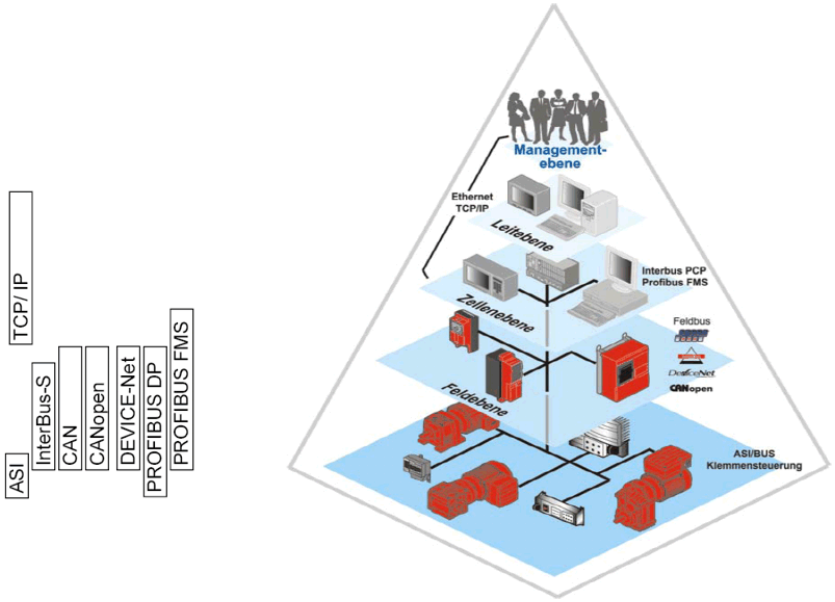
Die weltweit einheitliche Verwaltung von Portnummern obliegt der INTERNET ASSIGNED NUMBER AUTHORITY (IANA), welche die Portnummern in drei Bereiche aufgeteilt hat.

| Portnummer | Bereich |
|---|---|
| 0 bis 1023 | Die „well-known-ports“ stehen exklusiv den Standard-Netzwerk- und Internet-Diensten wie FTP, HTTP, Telnet usw. zur Verfügung. Für die Zuordnung von Ports pflegt die IANA Listen (vgl. IANA 2005). |
| 1024 bis 49151 | Die „registered ports“ dienen Diensten, die zwar üblicherweise auf bestimmten Ports laufen, aber für dessen Zuordnung kein Standard festgelegt wurde (z.B. Port 8080 als Alternative für HTTP). |
| 49152 bis 65535 | Die „dynamic and/or private ports“ werden nicht direkt von Diensten in Anspruch genommen sondern dienen der Erstellung von individuellen Verbindungen zwischen zwei Hosts. |

Da jedem Standard-Dienst nur eine Portnummer zugewiesen ist, kann jeder Host nur eine Applikation zurzeit bedienen, welche auf diesen Dienst zugreifen möchte. Diese Einschränkung wirkt sich in der Praxis allerdings kaum aus, da nach erfolgter Verbindung über den Standard-Port zwischen den beteiligten Hosts eine Portnummer aus dem Bereich der „dynamic and/or private ports“ ausgehandelt wird und die weitere Kommunikation über diese private Verbindung erfolgt. Damit steht der Standard-Port unmittelbar nach erfolgtem Verbindungsaufbau wieder für weitere Applikationen zur Verfügung.

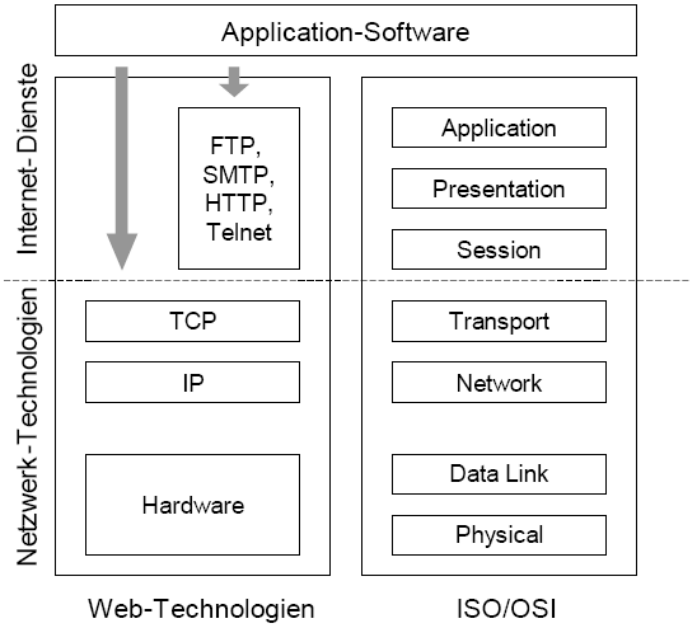
#### 6.4.2.2 Kommunikation über Computernetzwerke aus Sicht des OSI-Referenzmodells

Um die Kommunikation auf Grundlage von TCP/IP mit der Kommunikation von Feldbussen vergleichen zu können, ist das TCP/IP-Modell indes unbrauchbar, da es lediglich vier Schichten beschreibt, die sich wie bereits beschrieben nicht problemlos auf die sieben Schichten des OSI-Referenzmodells übertragen lassen. Im industriellen Umfeld ist die durchgängige Kommunikation von der Feldebene bis in die Leitebene inzwischen Voraussetzung für zahlreiche Anwendungen. Zu diesem Zweck erfolgt die Integration von verschiedenen Feldbusprotokollen in die in der PC-Welt dominante TCP/IP-basierte Kommunikation.




Hierarchieebenen in der Automatisierungstechnik (*DRIVE ACADEMY* 2002)

Dies erfordert wiederum die Einordnung des TCP/IP-Protokollstapels in das OSI-Referenzmodell, wie sie beispielsweise von JAZDI, KONNERTZ und TRAUMÜLLER vorgeschlagen wird. Sie betrachten dabei nicht nur die grundlegende TCP/IP-Kommunikation, sondern beziehen sämtliche auf TCP/IP aufsetzenden Anwendungen in ihre Betrachtung mit ein.



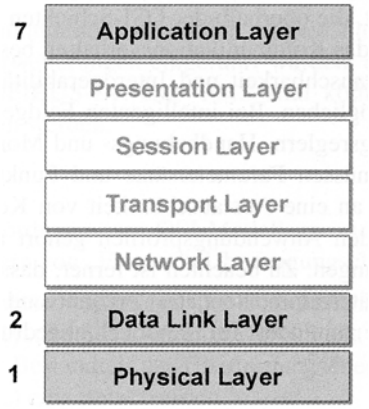

Einordnung der Web-Technologien in das OSI-Referenzmodell (*JAZDI, KONNERTZ, TRAUMÜLLER* 2000, S. 2)

Dabei verstehen sie unter dem Begriff „Web-Technologien" alle Techniken, „die mit der Entwicklung des Internets in Verbindung stehen" (JAZDI, KONNERTZ, TRAUMÜLLER 2000, S. 2) und teilen ihn in die Bereiche „Netzwerk-Technologien" (transportorientiert) und „Internet-Dienste" (anwendungsorientiert) ein.

Zu den Netzwerktechnologien gehören die unterschiedlichen physikalischen Übertragungsmedien. Ein Inter- bzw. Intranet-Verbindung kann über (abgeschirmte) Kupferleitungen, Lichtwellenleiter oder Funkstrecken mit den unterschiedlichsten Busstrukturen erfolgen. Für den Zugriff auf das Übertragungsmedium ist stets eine PC-seitige Hardware (z.B. eine Netzwerkkarte) erforderlich, welche für die Einhaltung der spezifischen Protokolle auf der Bitübertragungsschicht (Physical Layer) und der Sicherungsschicht (Data Link Layer) sorgt. Auf dieser Grundlage findet eine Kommunikation unter Verwendung des TCP/IP-Protokollstapels statt. Dabei kann IP und TCP recht problemlos der Vermittlungsschicht (Network Layer) bzw. der Transportschicht (Transport Layer) zugeordnet werden.
Die darüber liegenden Schichten werden durch die Applikationen in Anspruch genommen, welche auf die Netzwerktechnologien zugreifen können. Dies können einerseits standardisierte Internet-Dienste wie HTTP, FTP oder Telnet sein, andererseits besteht jedoch für nicht-standardisierte Software ebenso die Möglichkeit des Zugriffs auf den TCP/IP-Protokollstapel.
Für einen solchen Zugriff ist eine Schnittstelle erforderlich, über welche Programme auf die Dienstleistungen von TCP/IP zugreifen können. Dieses Application Programming Interface (API) kann zwar abhängig von der verwendeten Plattform und dessen Betriebsystem variieren, jedoch besitzen derartige Interfaces eine einheitliche Schnittmenge, die dementsprechend einen de facto-Standard darstellt und somit eine relativ problemlose Portierung auf andere Systeme gewährleistet. Auf Systemen, die auf Microsoft Windows basieren, steht mit „WinSock" eine entsprechende Schnittstelle zur Verfügung; in UNIX-basierten Systemen ist ein der Regel das BSD-Socketinterface implementiert. Auf Mikrocontrollern, welche sich aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit und Robustheit hervorragend für die Integration von Aktoren, Sensoren und Feldbussen auf der Feldebene unter industriellen Umgebungsbedingungen eignen, kommen auch andere Betriebssysteme wie RTOS zum Einsatz. Je nach Leistungsfähigkeit des Systems ist die Implementierung eines vollständigen Interfaces nicht möglich, sodass für den Zugriff auf TCP/IP Programmbibliotheken (Treiber) zur Verfügung gestellt werden, die eine direkte Nutzung durch Applikationen ermöglichen. Diese Schnittstelle stellt die Verbindung zwischen den transportorientierten Netzwerktechnologien und den anwendungsorientierten Diensten und den darüber liegenden Applikationen dar.

### 6.4.3 Kommunikation über Feldbusse

Im Gegensatz zur der recht aufwendigen Kommunikation über Intra- und Internet gestaltet sich die Kommunikation über Feldbusse oft deutlich einfacher. „Für die Kommunikation in der Automatisierungstechnik im Allgemeinen nicht relevant sind z.B. die Aufgaben der Wegesuche (Routing) durch ein Netz oder der Aufbau vom Verbindungen über mehrere Netze hinweg [, also der Vermittlungsschicht]" (ETSCHBERGER 2002, S. 3). Da das OSI-Referenzmodell alle Kommunikationsformen beschreiben können muss, sind auch Schichten enthalten, die von einfacheren Kommunikationssystemen nicht genutzt werden. „Aus diesem Grunde sind für die Datenkommunikation [...] im Feldbereich im Allgemeinen lediglich drei Schichten (Physikalische Schicht, Datensicherungsschicht, Anwendungsschicht) relevant" (ebd., S. 4).




Feldbustypische Anwendung des OSI-Referenzmodells (*WELLENREUTHER, ZASTROW* 2002, S. 655)

### 6.4.3.1 Kommunikation über den CAN-Bus aus Sicht des OSI-Referenzmodells

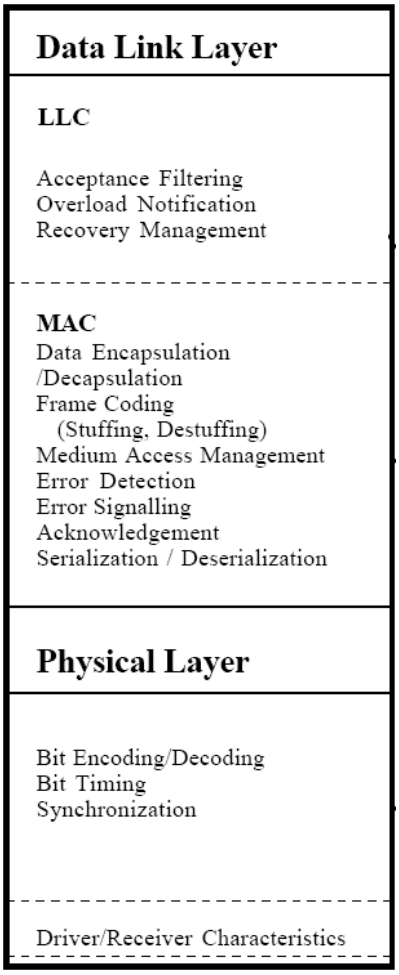
Da im Rahmen des entwickelten Prototyps ein CAN-Bus zur Integration in Lernsysteme herangezogen wird, sollen dessen Spezifikationen nun kurz erläutert werden. Dabei wird ausschließlich auf die in Verbindung mit dem Zugang über Computernetze relevanten Aspekte eingegangen. Ausführliche Darstellungen des CAN-Busses finden sich in ETSCHBERGER 2002, LAWRENZ 2000 oder ENGELS 2002.

Die CAN in automation (CIA) spezifiziert den CAN-Bus (im Gegensatz zur ISO) in zwei Teilen, die sich ausschließlich durch die Anzahl der verwendeten Bits für die Adressierung (Identifier) unterscheiden. Beide Teile legen jeweils ein eigenes Modell vor, das die Aufgaben des CAN-Protokolls in Schichten einteilt und diese in das OSI-Referenzmodell einordnet. Da Teil B aktueller und bei Beschränkung auf 11-bit-breite Identifier mit Teil A kompatibel ist, soll dessen Modell für den Bezug auf das OSI-Referenzmodell herangezogen werden. Dazu sieht es die folgenden Schichten und Unterschichten vor:

- Sicherungsschicht (Data Link Layer)
    - Verbindungs-Unterschicht (Logical Link Control, LLC)
      "The scope of the LLC sublayer is to provide services for data transfer and for remote data request, to decide which messages received by the LLC sublayer are actually to be accepted, to provide means for recovery management and overload notifications" (CIA 2002b, S. 3).
    - Medium-Zugriffs-Unterschicht (Media Access Control, MAC)
      "The scope of the MAC sublayer mainly is the transfer protocol, i.e. controlling the Framing, performing Arbitration, Error, Checking, Error Signalling and Fault Confinement. Within the MAC sublayer it is decided whether the bus is free for starting a new transmission or whether a reception is just starting. Also some general features of the bit timing are regarded as part of the MAC sublayer. It is in the nature of the MAC sublayer that there is no freedom for modifications" (ebd., S. 3).

- Bitübertragungsschicht (Physical Layer)
  "The scope of the physical layer is the actual transfer of the bits between the different nodes with respect to all electrical properties. Within one network the physical layer, of course, has to be the same for all nodes. There may be, however, much freedom in selecting a physical layer" (ebd., S. 4).

Die Aufgabenverteilung der Schichten geht aus der CAN-Spezifikation hervor:




Zuordnung der feldbustypischen Anwendung des OSI-Referenzmodells zu Komponenten des CAN-Busses (nach *CIA* 2002a, S. 6)

Die CIA legt lediglich Spezifikationen für die Bitübertragungsschicht und die Sicherungsschicht vor und lässt zwei Definitionslücken unberücksichtigt.

- „Within this specification the Driver/Receiver Characteristics of the Physical Layer are not defined so as to allow trans-mission medium and signal level implementations to be optimized for their application" (CIA 2002b, S. 5).
- Die für Feldbusse typische Implementierung auf der Applikationsschicht bleibt in der Spezifikation offen, sodass mit dem CAN-Protokoll zwar die Art und Weise der Kommunikation festge-

legt wird, nicht jedoch die Semantik der übertragenden Daten. Die Gestaltung der höheren Schichten auf der Basis von CAN obliegt somit vollständig der Applikation.

Für den Einsatz in der industriellen Produktionstechnik wurden in der Vergangenheit höherschichtige Protokolle entwickelt, die Definitionen auf der Applikationsschicht vornehmen und somit eine einheitliche Schnittstelle für aufsetzende Applikationen bereitstellen. Beispielhaft können CAN Application Layer (CAL), das auf einer Teilmenge von CAL aufsetzende CANopen oder DeviceNet genannt werden. Für den Nutzfahrzeugbereich wurde durch die Society of Automotive Engineers (SAE) die Spezifikation J1939 entwickelt, welche definierte Dienste für die Übertragung von Messwerten und Steuerdaten sowie für die Konfiguration von Komponenten zur Verfügung stellt. Sie wurde zwar durch die ISO übernommen und standardisiert (ISO 11992), in Personenkraftwagen kommt sie bislang jedoch nicht zum Einsatz.

Die CIA begründet diese Lücken, indem sie die Aufgaben der Spezifikation klar abgrenzt:

> „The scope of this specification is to define the MAC sublayer and a small part of the LLC sublayer of the Data Link Layer and to describe the consequences of the CAN protocol on the surrounding layers."
>
> (ebd., S. 4)

Die ISO hat die CAN-Spezifikationen der CIA aufgegriffen und eine verbindliche Norm für den CAN-Bus verabschiedet. ISO 11898 definiert in mehreren Teilen verbindliche Protokolle auf der Bitübertragungsschicht und der Sicherungsschicht. Dabei geht sie über die Spezifikationen der CIA hinaus und implementiert zwei Varianten der Busankopplung, welche bis auf die Übertragungsgeschwindigkeiten keiner zusätzlichen Parametrierung bedarf. Diese Varianten des CAN-Busses sind der High-Speed-CAN-Bus nach ISO 11898-2 und der fehlertolerante Low-Speed-CAN-Bus nach ISO 11898-3. Darüber hinaus existieren weitere Normen, die insbesondere auf der Bitübertragungsschicht Protokolle aufführen, die den CAN-Bus für den Einsatz unter bestimmten Bedingungen optimieren sollen. So definiert beispielsweise ISO 11992 einen CAN-Bus, der für den Betrieb in Lkw sowie land- und forstwirtschaftlichen Maschinen optimiert ist („Truck-to-trailer"-Norm) oder SAE J2411 beschreibt die Datenübertragung über eine eindrahtige Busleitung („single-wire-CAN").

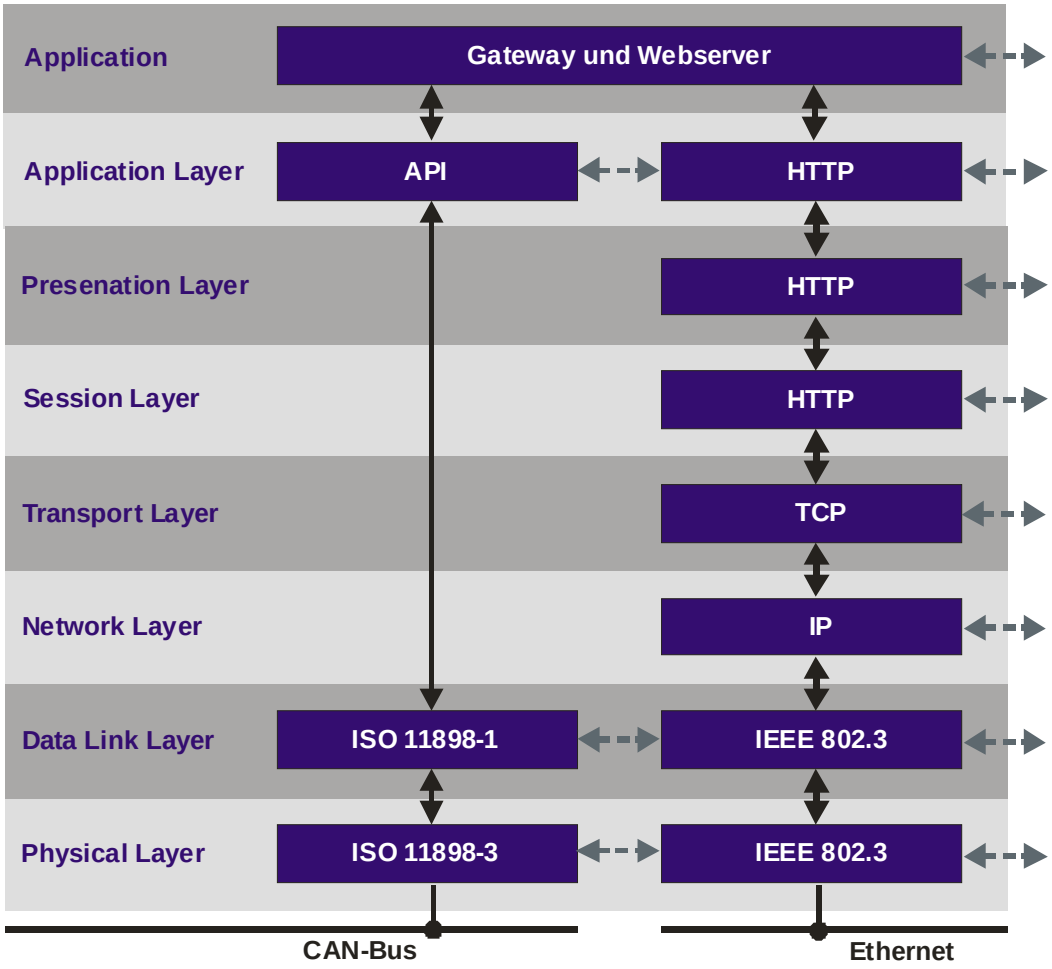
Auf der Sicherungsschicht hingegen wird das CAN-Datenformat definiert, welches für alle CAN-Varianten einheitlich ist und in ISO 11898-1 beschrieben wird.

Eine einheitliche Spezifikation für höherschichtige Protokolle existiert im Bereich der Personenkraftwagen für den CAN-Bus nicht. Die Vernetzung zahlreicher Steuergeräte im Fahrzeug bedingt allerdings Funktionen, die auf höheren Schichten anzusiedeln wären. „Im Besonderen sind hierbei Dienste für die Übertragung längerer Datensätze, für einen durch die Anwendung bestätigten Nachrichtenaustausch, die Bereitstellung von Netzwerkmanagementfunktionen, Verfahren für eine transparente Zuordnung von Nachrichtenidentifiern oder die Einstellung von teilnehmerspezifischen Parametern zu nennen" (ETSCHBERGER 2002, S. 212). Die Umsetzung derartiger Funktionen muss im Fahrzeug durch die Applikationen selbst realisiert werden, was zum Einen ein erhebliches Fehlerpotenzial darstellt, zum Anderen aber zu zahlrei-

chen herstellerabhängigen Ansätzen führt. Die Variationen gehen teilweise so weit, dass innerhalb einer Baureihe eines Herstellers zahlreiche Subvarianten vorkommen, die ausstattungsabhängig sind und für eine grundsätzliche Inkompatibilität zu anderen Fahrzeugen des gleichen Modells führen.

### 6.4.4 Grundsätzliche Funktion des Prototyps aus Sicht des OSI-Referenzmodells

Bezogen auf das OSI-Referenzmodell vermischen sich die Aufgaben der höheren, anwendungsbezogenen Schichten des CAN-Busses mit der darauf aufsetzenden Applikation. Eine eindeutige Zuordnung einzelner Dienste und Funktionen auf den entsprechenden Schichten ist damit nicht möglich. Vielmehr stellt die Anwendungsschicht der Applikation ihre Dienste zur Verfügung und greift ihrerseits direkt auf die transportorientierte Sicherungsschicht zu, welche im Falle des CAN-Busses durch ISO 11898-1 verbindlich definiert ist. Die beschriebene feldbustypische Anwendung des OSI-Referenzmodells ist damit für den CAN-Bus als solches zunächst nicht anwendbar, da dieser zunächst nur die zwei untersten Schichten berücksichtigt. Sobald dessen Dienste jedoch durch eine übergeordnete Applikation in Anspruch genommen werden, existieren Dienste auf der Applikationsschicht. Dieser Fall liegt bei den Datennetzwerken in Kraftfahrzeugen zweifellos vor, sodass für diesen Anwendungsfall die feldbustypische Anwendung des OSI-Referenzmodells letztendlich doch anwendbar ist. Aufgrund der uneinheitlichen Ausführungen auf der Applikationsschicht steht für den Zugriff auf den CAN-Komfort-Bus eines Fahrzeuges als höchste einheitliche Schnittstelle das CAN-Protokoll auf der Sicherungsschicht nach ISO 11898-1 zur Verfügung. Da der Zugriff auf den CAN-Bus wie beschrieben mit standardisierten Netzwerktechnologien erfolgen soll, lässt sich die grundsätzliche Funktion des entwickelten Prototyps auf der Grundlage des OSI-Referenzmodells beschreiben.




Grundsätzliche Funktionsweise des Prototyps auf Grundlage des OSI-Referenzmodells

Auf der linken Seite ist der CAN-Bus mit seiner für Feldbusse typischen Architektur dargestellt. Bei der physikalischen Ausführung handelt es sich beim CAN-Komfort-Bus um einen fehlertoleranten Low-Speed-CAN-Bus nach ISO 11898-3. Diese Norm beschreibt das Protokoll auf der Bitübertragungsschicht. Auf der Sicherungsschicht werden die eigentlichen Datenrahmen gemäß dem CAN-Protokoll ISO 11898-1 generiert. Auf diese Schicht kann die übergeordnete Applikation mit dem API auf dem Application Layer zugreifen, sodass die dazwischen liegenden Schichten nicht benötigt werden.

Auf der rechten Seite befindet sich der Internet-typische TCP/IP-Protokollstapel. Die beiden unteren Schichten werden durch die Hardware und die entsprechenden Treiberkomponenten der Ethernetanbindung belegt. Als Übertragungsmedium wird ein kabelgebundenes Ethernet fokussiert, welches einerseits am Standort des Prototyps zur Verfügung steht und andererseits eine typische Ausformung von Intranets mit weiter Verbreitung darstellt. Der Standard IEEE 203.3 erlaubt dabei mit 8-adrigen Netzwerkkabeln eine Datenübertragung mit bis zu 100 MBit/s.

Die zwei anderen transportorientierten Schichten werden durch IP und TCP realisiert.

Auf den drei anwendungsorientierten Schichten ist HTTP anzusiedeln, welches mit seinen Diensten u. a. Internet-Browser bedienen kann.

Die übergeordnete Applikation muss so ausgeführt sein, dass sie die Gateway-Funktion zwischen CAN-Bus und Ethernet realisieren kann. Dazu muss sie einerseits die Daten auf dem CAN-Bus lesen und diese

andererseits über den Webserver unter Berücksichtigung der dargestellten Protokolle Web-Browsern zur Verfügung stellen können. Den Anforderungen entsprechend muss die Kommunikation für das Absetzten von CAN-Nachrichten auf den CAN-Bus durch den Lerner grundsätzlich bidirektional möglich sein. Die lernergerechte Darstellung der Informationen unter der ausschließlichen Nutzung von gängigen Web-Technologien obliegt ebenfalls dieser Applikation.
Auf der Bitübertragungsschicht, der Sicherungsschicht und der Applikationsschicht ergeben sich somit virtuelle Verbindungen, obwohl diese Schichten zwischen CAN-Bus und Ethernet völlig inkompatibel sind. Die Kompatibilität wird erst durch die Applikation selbst hergestellt, sodass die Protokolle aller Schichten für die Kommunikation auf beiden Seiten durchlaufen werden müssen.

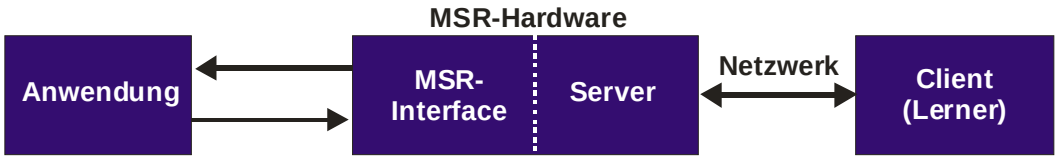
### 6.4.5 Prozessanbindungen aus der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

Anwendungen innerhalb des Messens, Steuerns und Regelns (MSR) erfordern nicht selten eine Datenübertragung über ein oder mehrere Computernetzwerke hinweg. Ähnlich wie beim entwickelten Prototyp müssen dabei mittels einer entsprechenden Hardware sensorisch erfasste Messgrößen über das Intra- bzw. Internet an eine übergeordnete Instanz gesendet werden bzw. Stellgrößen in umgekehrter Richtung durch die Hardware umgesetzt werden. Daher sollen zunächst gängige Strategien zur Anbindung von Prozessen an Datennetzwerke erläutert werden.

Die zwischen dem Prozess und dem Intra- bzw. Internet vermittelnde Komponente besteht bei genauerer Betrachtung aus den Teilsystemen Interface und Server. Das Interface fungiert dabei als hardwareseitiger Vermittler zwischen dem Fahrzeug und dem Netzwerk. Zu diesem Zweck muss es über geeignete Schnittstellen verfügen. Der softwareseitige Server stellt über das Netzwerk Dienste zur Verfügung, mit deren Hilfe einem oder mehreren Clients gleichzeitig ein Zugriff auf das Interface ermöglicht wird und eine effiziente Distribution der Prozessdaten realisiert werden kann.

In diesem Sinne unterscheidet WALTER drei prinzipielle Möglichkeiten für die Anbindung von MSR-Hardware an das Netz (vgl. WALTER 2003, S. 24 ff):

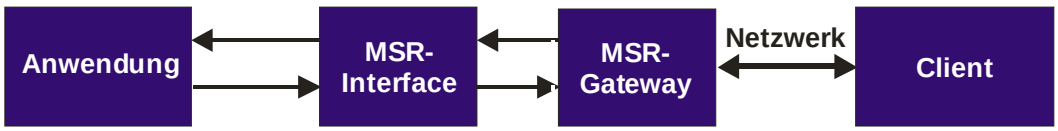
- Implementierte MSR-Internet-Integration
  Wenn die MSR-Schaltung bereits über eine implementierte Netzwerk-Schnittstelle verfügt, muss lediglich der für die Kommunikation über das Netzwerk mittels geeigneten Protokollen erforderliche TCP/IP-Stack integriert sein. Prinzipiell kann so über das Netzwerk auf die MSR-Einrichtung zugegriffen werden.




Implementierte MSR-Internet-Integration

Moderne Rechner verfügen in der Regel über Netzwerkschnittstellen, und aktuelle Betriebssysteme integrieren einen TCP/IP-Stack. Zudem sind beide kostengünstig und gut verfügbar, sodass mit einem Standard-PC eine gleichermaßen leistungsfähige und preiswerte Plattform für MSR-Anwendungen mit Netzwerkzugriff vorliegt. Standard-PCs verfügen über verschiedene Schnittstellen zur Anbindung entsprechender MSR-Hardware, welche vielfach angeboten wird.
Die Kombination von Standard-PC und MSR-Hardware stellt im Grunde eine implementierte MSR-Internet-Integration dar.

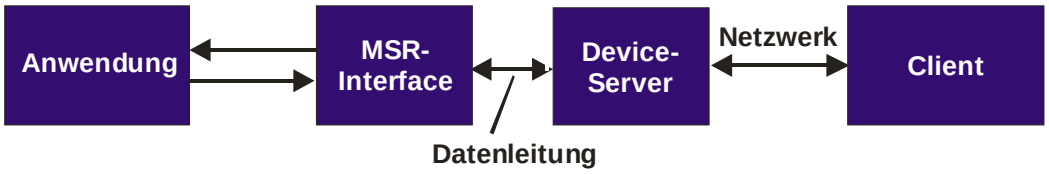
- MSR-Internet-Integration per Gateway
  Viele MSR-Schaltungen wurden für spezielle Aufgabenbereiche in lokalen Anwendungsszenarien ausgerichtet und sind daher nur selten mit einer Netzwerk-Schnittstelle ausgestattet. In den meisten Fällen lässt sich diese nicht nachrüsten, sodass der Einsatz eines Gateways erforderlich wird. Dieses Gateway verfügt einerseits über die erforderliche Netzwerkschnittstelle und andererseits über für die Kommunikation mit dem MSR-Interface erforderlichen analogen oder digitalen Schnittstellen. Da Letztere je nach Anwendung sehr verschieden ausfallen können, muss ein universales Gateway über flexibel parametrierbare Schnittstellen verfügen. Kennzeichnend für die Kommunikation zwischen MSR-Interface und MSR-Gateway ist, dass kein vollwertiges Kommunikationsprotokoll erforderlich ist und somit kein Datenbus verwendet wird.




MSR-Internet-Integration per Gateway

- MSR-Internet-Integration per Device-Server
  Viele MSR-Interfaces beinhalten für die Auswertung der erfassten Messwerte oder die Ansteuerung von Aktoren bereits eine Intelligenz. Da diese in vielen Fällen auf anwendungsspezifisch zu bestimmende Parameter angewiesen ist, verfügen solche Interfaces häufig über eine serielle Schnittstelle mit entsprechendem UART, jedoch nicht über eine Netzwerkschnittstelle. Diese Schnittstellenfunktion kann ein Device-Server übernehmen, welcher prinzipiell wie ein Gateway funktioniert. Er verzichtet jedoch auf die flexiblen Schnittstellen zum MSR-Interface und nutzt stattdessen einheitliche serielle Schnittstellen wie RS232, RS422 oder RS485. Die Vereinheitli-

chung gilt allerdings nicht für das serielle Übertragungsprotokoll, sodass die vielen proprietären Protokolle den Device-Server relativ unflexibel und diverse Varianten erforderlich machen.




MSR-Internet-Integration per Device-Server

Im industriellen Umfeld fallen Prozessgrößen oft an Orten an, deren Umgebung aufgrund der vorliegenden Bedingungen das Aufstellen einer hochempfindlichen Servermaschine verbietet, sodass Prozess und Server räumlich voneinander getrennt betrieben werden müssen. Um die Verbindung zwischen Prozess und Server herzustellen, müssen entweder die einzelnen Leitungen zwischen Prozess und Interface oder die Leitungen zwischen Interface und Server verlängert werden. Je nach Art, Anzahl und Eigenschaften der betroffenen Leitungen ist eine Leitungsverlängerung an der einen oder der anderen Stelle vorteilhaft.
Sollte der entwickelte Prototyp anhand einer implementierten MSR-Internet-Integration realisiert werden, so wäre ein Rechner mit einer CAN-Bus-Schnittstelle und mindestens zwei schaltbaren Ausgängen für die Fehleraufschaltung auszustatten und in relativer Nähe zum angebundenen Fahrzeug zu betreiben. Obwohl dieser nach erfolgter Einrichtung ohne Peripherie wie Tastatur, Maus und Bildschirm betrieben werden kann und mittlerweile sehr kompakte Bauformen für PC-Gehäuse existieren, so bedeutet die erforderliche Nähe zum Fahrzeug für den Rechner eine potenziell ungeeignete Umgebung. Aufgrund seiner Empfindlichkeit gegenüber Erschütterungen, Flüssigkeiten und statischen Belastungen stellt die Werkstatt eine prinzipiell nicht geeignete Umgebung für Standard-PCs dar. Da das MSR-Interface nicht unabhängig vom PC betrieben werden kann, müssen für eine Auslagerung des Servers an einen geeigneten Standort die Verbindungsleitungen zwischen Fahrzeug und Interface verlängert werden.
Die maximal zulässige Leitungslänge eines CAN-Busses hängt unter anderem von dessen Übertragungsgeschwindigkeit ab (vgl. ETSCHBERGER 2002, S. 112).

| Baudrate (kBit/s) | Max. Leitungslänge (m) |
|---|---|
| 500 | 110 |
| 250 | 280 |
| 125 | 620 |
| 100 | 790 |
| 50 | 1640 |

Bei dem CAN-Komfort-Bus des verwendeten Fahrzeuges (100 kBit/s) stellt die Länge der Busleitung somit erst dann einen limitierenden Faktor dar, wenn der Server mehrere hundert Meter vom Fahrzeug entfernt aufgestellt werden würde, was ohnehin nur wenig praktikabel wäre. Zudem bezieht sich die Tabelle auf den High-Speed-CAN-Bus, welcher aufgrund kleinerer Spannungspegel auf den Busleitungen auf die physikalischen Effekte, welche den Hauptgrund für die Beschränkung der Busleitung darstellen,

sensibler reagiert als der im Komfort-Bus verwendete CAN-Low-Speed. Da aber (wie in den folgenden Abschnitten dargestellt) die Busanbindung nach dem High-Speed-Standard erfolgt, sind die in der Tabelle angegebenen Leitungslängen dennoch einzuhalten.
Die Anbindung des Fahrzeuges erfordert indes weitere vier Leitungen für die Fehleraufschaltung, welche ebenfalls über die gesamte Distanz verlängert werden müssten. Im Zuge einer möglichen Funktionserweiterung kämen unter Umständen weitere Leitungen hinzu, was die Verwendung einer implementierten MSR-Internet-Integration nur dann sinnvoll erscheinen lässt, wenn sehr kurze Distanzen zwischen Server und Fahrzeug liegen.

Eine MSR-Internet-Integration per Gateway bietet sich besonders dann an, wenn das MSR-Interface über Schnittstellen verfügt, zu denen ein passender MSR-Gateway existiert. Da im Rahmen des Prototyps keine Dekodierung auf physikalischer Ebene vorgesehen ist, sind die Spannungspegel auf den Busleitungen aus Lernersicht irrelevant. Es wäre ein MSR-Interface erforderlich, welches das CAN-Signal in ein anderes, auf das MSR-Gateway abgestimmtes analoges oder digitales Signal überführt, welches kein Kommunikationsprotokoll benötigt und somit keinen Datenbus darstellt. Ein solches Interface würde keine technisch sinnvolle Funktion erfüllen.
Somit disqualifiziert sich die MSR-Internet-Integration per Gateway für die Verwendung im Prototyp.

Beim Einsatz eines MSR-Device-Servers zur Internet-Integration liegen MSR-Interface und Device-Server als separate Geräte vor. Daher ergibt sich mit der Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten eine weitere Option zur Überbrückung von Distanzen. Grundsätzlich ist diese Variante der Leitungsverlängerung vorteilhaft, da unabhängig von der für die Verbindung zwischen Prozess und MSR-Interface erforderlichen Leitungen lediglich eine Datenleitung zu verlängern ist. Über diese Datenleitung werden beliebige Informationen mit Hilfe eines verbindlichen Übertragungsprotokolls bei Bedarf sogar bidirektional kommuniziert.
Allerdings handelt es sich bei diesen Datenleitungen klassischer Weise um serielle Schnittstellen wie RS232, USB oder IEEE1394 (Firewire), welche hinsichtlich der maximalen Länge der Datenleitung auf wenige Meter beschränkt sind und sich nur mit zusätzlichen technischen Maßnahmen (z.B. Einsatz von Repeatern) verlängern lassen. Zur Überbrückung größerer Entfernungen sind sie somit ungeeignet, sodass eine alternative Datenleitung für die Kommunikation zwischen MSR-Interface und Device-Server gefunden werden muss. Eine solche Datenleitung, die zudem seit langem etabliert ist, steht mit dem Ethernet bereits zur Verfügung. In Verbindung mit Intra- und Internet steht eine Infrastruktur zur Verfügung, welche beliebige Distanzen zwischen MSR-Interface und Device-Server zu überbrücken vermag.
Seitens des Device-Servers wäre somit hardwaretechnisch lediglich eine Netzwerkschnittstelle Voraussetzung für eine Prozessanbindung. Da diese auf modernen Rechnern standardmäßig installiert ist, kann jeder Standard-PC als Plattform für den Device-Server dienen.
Als Anforderung an den Prototypen wurde zudem die Möglichkeit der Integration des Zugriffs auf das Fahrzeug in bestehende webbasierte Lernsysteme definiert. Solche Lernsysteme setzen einen Webserver

mit Netzwerkschnittstelle voraus, welcher gleichzeitig als Device-Server dienen könnte und somit gute Voraussetzungen für die Integration von Prototyp und webbasiertem Lernsystem bietet.
Da eine solche Prozessanbindung serverseitig bedeutende Vorteile aufweist, legitimiert sie die Internet-Integration per Device-Server für den Prototyp.

Bezogen auf das anzubindende Fahrzeug wird nun ein MSR-Interface benötigt, welches fahrzeugseitig über eine CAN-Bus-Schnittstelle und mindestens zwei schaltbare Ausgänge sowie serverseitig über eine Netzwerkschnittstelle verfügt. Dieses Interface muss über einen TCP/IP-Stack sowie die Möglichkeit zur softwaremäßigen Gestaltung bezüglich der Kommunikation mit dem Server verfügen.
Ein solches Interface wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

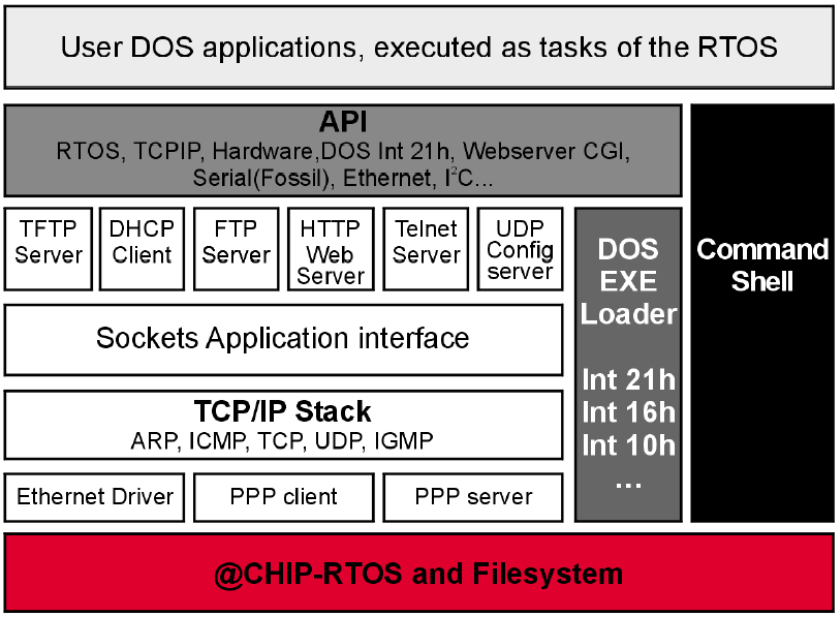
### 6.4.6 DeviLAN

Mit dem DeviLAN-24 der Firma „Synertronixx" liegt ein Interface vor, welches die beschriebenen Kriterien erfüllt.

Es verfügt über folgende Leistungsmerkmale:

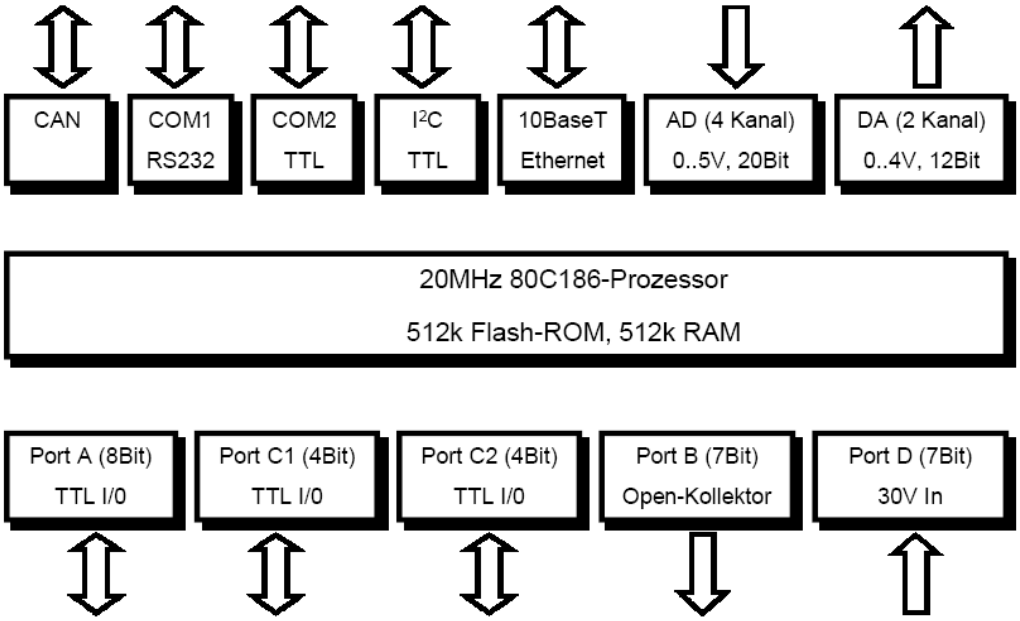
- 20MHz 80C186-Prozessor
- 10BaseT Ethernet-Interface
- Embedded Web-Server, FTP, Telnet,
- CGI und WAP
- 512k Flash-ROM, 512k RAM
- 1 MBit CAN-Bus mit FIFO
- 2 COM-Ports
- 30 I/O-Ports
- (TTL, 24V und Open-Kollektor)
- 4-Kanal 20 Bit ADC, 2-Kanal 12 Bit DAC

Im Kern besteht das DeviLAN aus einem embedded Controller des Herstellers Beck IPC GmbH. Der IPC@Chip SC12 stellt dem DeviLAN u. a. den Prozessor, den flüchtigen Arbeitsspeicher (RAM), den nichtflüchtigen Flash-Speicher (ROM), die Ethernet-Schnittstelle, weitere Ein- und Ausgabeeinheiten und ein Betriebssystem zur Verfügung. Das Real Time Operating System (RTOS) integriert vor allem einen vollwertigen TCP/IP-Stack und bietet außerdem die darauf basierenden Web-Dienste HTTP, FTP und Telnet. Für diese Web-Dienste sowie für den direkten Zugriff auf TCP- und UDP-Sockets steht eine API zur Verfügung, welche eine Schnittstelle zu übergeordneten Applikationen realisiert.




Architektur des RTOS auf dem SC12 (*BECK IPC GMBH* 2005, S.1)

Das DeviLAN erweitert den SC12 und stellt dem Anwender folgende Schnittstellen zur Verfügung.

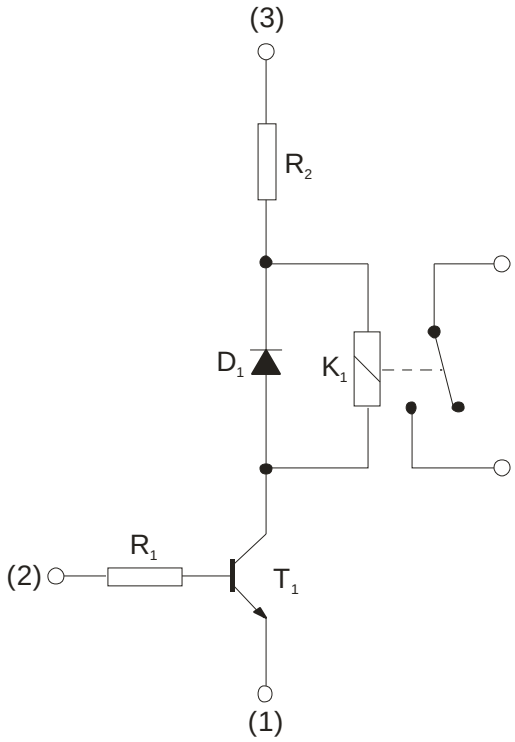



Schnittstellen des DeviLAN (*BECK IPC GMBH* 2005, S. 25)

Für den Prototyp sind dabei vor allem die folgenden Schnittstellen von Interesse:

- Die CAN-Bus-Schnittstelle nach ISO 11898-2 lässt sich auf die für die Anbindung des fahrzeug-internen CAN-Komfort-Busses erforderliche Übertragungsrate von 100 kBit/s einstellen. Obwohl es sich bei dem CAN-Komfort-Bus um einen fehlertoleranten CAN-Bus nach ISO 11898-3 handelt, sind beide hinsichtlich der Spannungspegel kompatibel, sodass eine fehlerfreie Kommunikation zwischen DeviLAN und CAN-Komfort-Bus möglich ist.
- Mit Port A stellt das DeviLAN acht bitweise ansteuerbare I/Os bereit, wovon zwei entsprechend konfiguriert als Schaltausgänge für die Fehleraufschaltung fungieren können. Der Port ar-

beitet mit TTL-Pegeln (0 Volt bzw. 5 Volt) und erfordert aufgrund seiner geringen Belastbarkeit eine Verstärkerschaltung zur Ansteuerung der für die Fehleraufschaltung erforderlichen Relais. Die folgende Schaltung realisiert eine solche Ansteuerung mit Hilfe eines Darlington-Transistors.




*$R_1$ = 3,3 kΩ, $R_2$ = 150 Ω*

*$D_1$: IN 4007 CD*

*$T_1$: TIP122*

Verstärkerschaltung zur Ansteuerung eines Relais[1]

Klemme (2) wird an den digitalen Ausgang (Port A) angeschlossen, sodass dem logischen Zustand des Bits entsprechend an dem Vorwiderstand $R_1$ und der Basis des Darlington-Transistors $T_1$ eine Spannung von 0 Volt oder 5 Volt bezüglich der an Klemme (1) angeschlossenen elektrischen Fahrzeugmasse anliegt. Bei einem logischen Zustand „1" schaltet $T_1$ durch, sodass über $K_1$, $T_1$ und den Widerstand $R_2$ die an Klemme (3) anliegende Spannung der Fahrzeugbatterie von 12 Volt abfällt, welche das Relais anziehen lässt. Die Diode $D_1$ ist in diesem Fall in Sperrrichtung geschaltet und dient der im Relais enthaltenen Induktivität als Freilaufdiode.

- Mit einer 10BaseT-Netzwerkschnittstelle stellt das DeviLAN eine Anschlussmöglichkeit an ein bestehendes Intranet. Moderne Intranets arbeiten zwar mittlerweile nach dem „Fast-Ethernet"-Standard IEEE 802.3u mit 100 MBit/s oder sogar mit 1 GBit/s, sind jedoch abwärtskompatibel zu den 10MBit/s des DeviLANs, sodass keine Inkompatibilitäten zu erwarten sind.

[1] Im Schaltplan ist der Darlington-Transistor TIP122 als einfacher NPN-Transistor dargestellt. Das Ersatzschaltbild ist im Anhang dargestellt.

Das DeviLAN ist standardmäßig mit einer Software versehen, welche einen Datenstrom über das Netzwerkinterface liefert, der Informationen über die Zustände aller Schnittstellen enthält. Die bidirektionale Funktionsweise dieses Datenstroms erlaubt neben dem lesenden Zugriff auf Eingangszustände auch den schreibenden Zugriff auf Ausgangsschnittstellen. Eine clientseitige Anwendung kann diesen Datenstrom leicht empfangen, auswerten und Kommandos an das DeviLAN senden, sodass eine Internet-Integration allein mit dem DeviLAN erreicht werden konnte. Diese Funktion entspricht einer integrierten MSR-Internet-Integration, sodass das DeviLAN nicht als bloßes MSR-Interface, sondern vielmehr als vollständiges Gateway bezeichnet werden muss. Der Datenstrom enthält ebenfalls alle über die integrierte CAN-Bus-Schnittstelle empfangenen CAN-Nachrichten und erlaubt analog das Absetzten von beliebigen CAN-Nachrichten durch entsprechende Kommandos. Für den Einsatz im Prototyp ist lediglich die Übertragung der von der CAN-Bus-Schnittstelle empfangenen CAN-Nachrichten an die Server-Applikation erforderlich. Daher wurde das DeviLAN so konfiguriert, dass der Datenstrom nur Informationen über die empfangenen CAN-Nachrichten enthält. Auf diese Weise konnte das zu übertragende Datenvolumen reduziert werden. In umgekehrter Kommunikationsrichtung müssen sowohl die durch das DeviLAN auf dem CAN-Komfort-Bus abzusetzenden CAN-Nachrichten sowie die Kommandos für die Fehleraufschaltung mit Port A des DeviLANs übertragen werden.
Dabei verwendet das DeviLAN für die Kodierung der Informationen im Datenstrom die folgende Syntax[1]:

- Durch die CAN-Busschnittstelle empfangene CAN-Nachrichten weisen das folgende Datenformat auf:
  `[Zeit:]<SP><can_message><id><SP><rtr><SP><len>[<SP><b0>][<SP><b1>][<SP><b2>][<SP><b3>][<SP><b4>][<SP><b5>][<SP><b6>][<SP><b7>]<LF><CR>`
  Die Angabe eines Zeitstempels erfolgt optional durch entsprechende Konfiguration des DeviLANs.
- An das DeviLAN gesendete Kommandos für das Absetzen einer Nachricht auf den angeschlossenen CAN-Komfort-Bus unterscheiden sich durch den vorangestellten String:
  <can_msg><id><SP><rtr><SP><len>[<SP><b0>][<SP><b1>][<SP><b2>][<SP><b3>][<SP><b4>][<SP><b5>][<SP><b6>][<SP><b7>]
- Die Ausgänge von Port A des DeviLANs lassen sich mit den folgenden Kommandos bitweise schalten:

[1] Die Syntax verwendet folgende Abkürzungen:

`<SP>` Space (Leerzeichen)

`<LF>` Line Feed (Zeilenvorschub)

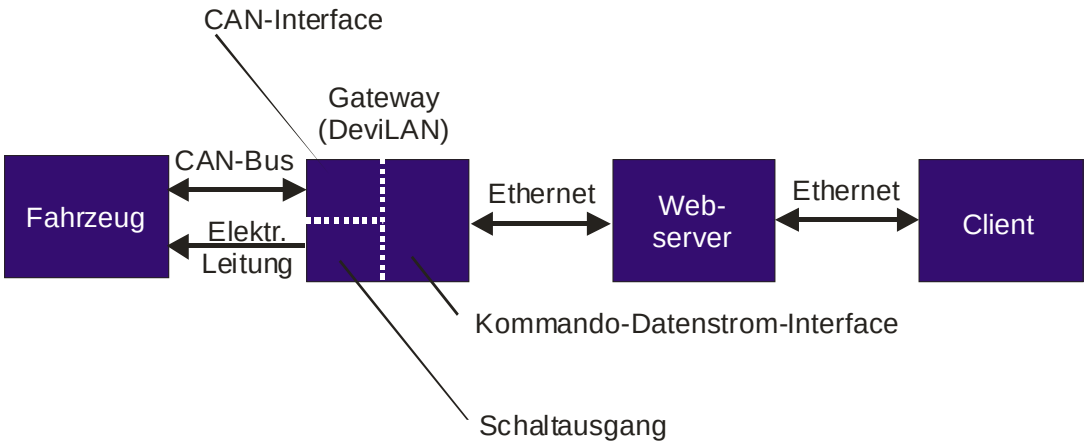
`<CR>` Carriage Return (Zurück zum Zeilenanfang)

Die Abkürzungen `<id>`, `<rtr>` und `<len>` entsprechen den hexadezimal kodierten CAN-Datenfeldern ID (Identifier), RTR und DLC; `<b0>` bis `<b7>` repräsentieren die Datenbytes einer CAN-Nachricht.

`<wert>` beschreibt den logischen Zustand des jeweiligen Bits, also „0“ bzw. „1“.

```
a0<SP><wert><SP><CR>        (schaltet Port A, Bit 0)
...
a7<SP><wert><SP><CR>        (schaltet Port A, Bit 7)
```

Mit diesem Kommando-Datenstrom-Interface und dem integrierten Webserver ist das DeviLAN prinzipiell in der Lage, gemäß den an den Prototyp gestellten Anforderungen eine direkte Verbindung mit beliebigen clientseitigen Webbrowsern aufzubauen und diese zu bedienen. Allerdings ist das DeviLAN als embedded System hinsichtlich seiner Rechengeschwindigkeit ($f_{CPU}$ = 20 MHz) im Vergleich zu einem Standard-PC ($f_{CPU}$ > 1 GHz) stark eingeschränkt. Aus diesem Grunde kann das Gerät nicht mehr als drei Socket-Verbindungen gleichzeitig unterhalten, sodass eine gleichzeitige Nutzung auf drei Clients beschränkt wäre.
Dennoch erfüllt das DeviLAN alle Voraussetzungen für eine Integration in ein Lernsystem, indem eine Kommunikation lediglich über eine Socketverbindung mit einer Applikation stattfindet. Diese Server-Applikation realisiert neben den dargestellten Funktionen die Kommunikation mit den clientseitigen Webbrowsern.




An der Fahrzeuganbindung beteiligte Komponenten

Das DeviLAN vereinigt alle erforderlichen prozessseitigen Schnittstellen und eine Netzwerkschnittstelle, sodass das Konzept der „implementierten MSR-Internet-Integration" zum Tragen kommt. Aus den genannten Gründen ist der Einsatz eines weiteren Servers zwingend erforderlich, sodass aus Sicht des gesamten Systems das DeviLAN lediglich als Interface fungiert, welches über eine Datenleitung (Ethernet) mit einem Device-Server kommuniziert, sodass das Prinzip der „MSR-Internet-Integration per Device-Server" Anwendung findet. Zweckmäßigerweise erfordert dieser Device-Server lediglich eine Ethernet-Schnittstelle, sodass er in Form einer Server-Applikation auf der gleichen Maschine laufen kann, die die Clients bedient.

## 6.5 Der Server

Die Servermaschine stellt dem Prototyp den eigentlichen Webserver sowie die beiden Server-Applikationen zur Verfügung. Da die serverseitigen Komponenten des Prototyps grundsätzlich nicht an spezielle Voraussetzungen wie Betriebssystem, Webserver oder Hardware gebunden sind, kann auf eine verbindliche Spezifikation der Servermaschine und des Webservers verzichtet werden. Die an den Server gestellten Anforderungen sind durch jeden Standard-PC und unabhängig vom Betriebsystem mit vielen Webservern diverser Hersteller und aus dem Open-Source-Bereich zu erfüllen:

- Die Servermaschine muss zur Kommunikation mit dem DeviLAN und den Clients mit einer entsprechenden Netzwerkschnittstelle ausgerüstet sein.
- Da die Server-Applikationen in Java realisiert sind, muss das Betriebssystem der Servermaschine über eine installierte Java-Laufzeitumgebung (Java Runtime Environment) verfügen.
- Der Webserver muss aus noch darzustellenden Gründen PHP- und CGI-fähig sein.

### 6.5.1 Die Servermaschine und der Webserver

Als Servermaschine diente während der gesamten Entwicklungsphase und für den Beta-Test das Laptop „Dell Inspiron 800“ ($f_{CPU}$ = 1 GHz, 512 MB Hauptspeicher) mit installiertem Windows 2000 professional. Auf diesem Rechner wurde mit „XAMPP“ ein entsprechender Apache Webserver mit PHP installiert.

### 6.5.2 Die Server-Applikationen

Im Rahmen des Prototyps wurden zwei Applikationen eingesetzt, welche dem DeviLAN als Device-Server und den Clients als Webserver dienen. Aus Sicht des DeviLANs wäre eine solche Applikation als Client-Applikation zu bezeichnen; im Kontext des gesamten Systems ist diese Applikation auf dem Server lokalisiert, der auch als Webserver für die Clients fungiert und somit als Server-Applikation zu bezeichnen. Nur aus dieser Sicht können die Funktionszusammenhänge dargestellt werden, sodass in diesem Kapitel die Bezeichnung „Server-Applikation“ verwendet werden soll.
Für die Erstellung der Server-Applikationen bot sich Java aus den folgenden Gründen an:

- Java ist eine leistungsfähige und vollwertige Programmiersprache. Sie bietet zahlreiche Funktionen zur netzwerkgestützten Kommunikation, insbesondere die für den Prototyp erforderlichen Socket-Verbindungen.
- Der Hersteller Sun stellt den für die Kompilierung erstellten Quellcodes erforderlichen Compiler kostenlos zur Verfügung. Im Rahmen des Prototyps wurden alle Java-Quelltexte mit dem im Java 2 Software Development Kit in der Version 1.4.2_04 (J2SDK-1.4.2_04) enthaltenen Compiler auf einem Windows-System (Windows 2000 professional) kompiliert.
- Die für das Ausführen von kompilierten Java-Anwendungen erforderliche Laufzeitumgebung wird von Sun ebenfalls kostenlos angeboten. Das Java 2 Runtime Environment ist für alle gängigen Betriebsysteme erhältlich und stellt auf diese Weise sicher, dass entsprechende Anwendungen betriebssystemübergreifend auf den unterschiedlichsten Systemen laufen. Für den Prototyp

wurde im Rahmen der Entwicklung und der anschließenden Studie ein Windows-System (Windows 2000 professional) mit der zum entsprechenden Zeitpunkt aktuellen Laufzeitumgebung (J2RE-1.4.0_03) verwendet.

- Grundsätzlich ist für das Schreiben von Java-Quellcode lediglich ein einfacher Text-Editor erforderlich. Für die Erstellung umfangreicher Projekte in Java empfiehlt sich jedoch die Verwendung einer Java-Entwicklungsumgebung. Im Rahmen der Entwicklung der Server-Applikationen wurde die von der Firma Sun frei verfügbare Entwicklungsumgebung NetBeans 3.6 auf dem bereits beschriebenen Windows-System verwendet.

Auf dieser Basis wurden in Zusammenarbeit mit der Firma LEARNABILITY zwei Applikationen erstellt:
Applikation1 realisiert die Kommunikation vom DeviLAN zum Client. Wie bereits beschrieben stellt das DeviLAN auf TCP-Port 3333 ein Kommando-Datenstrom-Interface mit einer eigenen Syntax zur Verfügung. Dieser Datenstrom wird durch die Applikation entgegengenommen, wozu bei Start der Applikation eine TCP-Socketverbindung als Client zum DeviLAN aufzubauen ist. Die vom DeviLAN gesendeten Daten enthalten alle über den CAN-Komfort-Bus des Fahrzeuges laufenden CAN-Nachrichten und sind von der Applikation zunächst entgegenzunehmen.
Auf Port 8001 stellt die Applikation einen Dienst zur Verfügung, der durch beliebig viele Clients gleichzeitg in Anspruch genommen werden kann und prinzipiell den Clients die vom DeviLAN empfangenen CAN-Nachrichten zur Verfügung stellt, in dem die entsprechenden CAN-Nachrichten an die clientseitig eingebetteten Flash-Komponenten in Form eines Datenstroms weitergeleitet werden. Auf diese Art manifestiert sich die für eine Server-Applikation typische Funktion.
In Kapitel 6.3 wurde dargestellt, dass das große Datenvolumen auf dem CAN-Komfort-Bus des Fahrzeugs eine Reduzierung auf fünf CAN-Nachrichten erforderlich macht. Diese Reduzierung wird in Form eines Nachrichtenfilters durch die Applikation realisiert. Da vier dieser fünf ausgewählten CAN-Nachrichten bei lediglich eingeschalteter Zündung zeitgesteuert in Zyklen von 20 bis 200 ms durch die entsprechenden Steuergeräte auf dem Bus abgesetzt werden, würde trotz des Nachrichten-Filters die Übertragung eines beträchtlichen Datenstroms an die Clients erforderlich. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Zykluszeit von 100 ms der vier zeitgesteuert übertragenen CAN-Nachrichten ergäbe sich ein Aufkommen von 40 CAN-Nachrichten pro Sekunde, welches aus zwei Gründen als kritisch zu betrachten ist:

- Da die kalkulierten 40 Nachrichten nicht als kontinuierlicher Datenstrom vorliegen, sondern jede Nachricht separat über die Socket-Verbindung übertragen werden muss, startet die beteiligte clientseitige Flash-Komponente für jede Nachricht einen separaten Prozess. Im Zuge der Entwicklung konnte wiederholt beobachtet werden, dass selbst ein clientseitiger Rechner mit zeitgemäßer Ausstattung ($f_{CPU}$ = 3GHz, 1024 MB Hauptspeicher) nicht in der Lage war, jede CAN-Nachricht einzeln aus dem Datenstrom aufzulösen und darzustellen.
- Wenn die Darstellung von 40 CAN-Nachrichten in Echtzeit mit der clientseitigen Flash-Komponente gelänge, so wäre der Mensch mit seinem Wahrnehmungsapparat nicht in der Lage,

die anfallenden Daten in der entsprechenden Geschwindigkeit wahrzunehmen und zu verarbeiten. Obwohl die Flash-Komponenten so gestaltet wurden, dass CAN-Nachrichten aufgezeichnet werden können und dem Lerner eine zeitunkritische Analyse dieser Aufzeichnung ohne erforderliche Verbindung zum Fahrzeug ermöglicht wird, würde die Menge der innerhalb kürzester Zeit aufgezeichneten CAN-Nachrichten die Analyse zu Lernzwecken maßgeblich erschweren.

Für die Nutzung zu Lernzwecken ist die Verarbeitung aller im Fahrzeug kommunizierten Daten nicht erforderlich, allein die Menge der Informationen würde die menschlichen Fähigkeiten zur Wahrnehmung und kognitiven Verarbeitung bei weitem überschreiten.
Aus diesen Gründen musste der Filter um eine Funktion erweitert werden, die den Übertragungszyklus wesentlich verlängert. Der Filter wurde so gestaltet, dass nur jede 20. empfangene CAN-Nachricht an die clientseitigen Flash-Komponenten weitergeleitet wird. Auf diese Weise konnte die Zykluszeit auf durchschnittlich zwei Sekunden verlängert werden, was einerseits problemlos durch die Flash-Komponente bewältigt wird und andererseits dem Lerner zuzumuten ist.
Werden durch den Lerner Aktionen auf dem Fahrzeug ausgelöst, so verändern sich einige CAN-Nachrichten mit jedem fahrzeugseitigen Übertragungszyklus. Diese Veränderung ist ein wesentliches Merkmal und typisch für die Funktionsweise der busgestützten Datenübertragung im Kraftfahrzeug und darf somit durch die Server-Applikation keinesfalls verfälscht werden. Eine solche Verfälschung ergäbe sich zwangsläufig, wenn pauschal nur jede 20. CAN-Nachricht an die clientseitige Flash-Komponente übertragen würde. Daher wurde der Filter mit einer Ausnahmeregel versehen, welche den Übertragungszyklus einer CAN-Nachricht nur dann um das 20-fache verlängert, wenn sich diese in der Zwischenzeit nicht verändert hat. Sich verändernde CAN-Nachrichten werden hingegen mit jedem fahrzeugseitigen Übertragungszyklus in Echtzeit an die Flash-Komponenten übertragen.
Flash-Komponenten übernehmen eine über eine Socket-Verbindung empfangene Sequenz zunächst solange in einen Zwischenspeicher, bis das Ende der Übertragungssequenz durch ein von der Gegenstelle künstlich einzufügendes Null-Byte (0x00) signalisiert wird. Erst dann stehen die empfangenen Daten zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Diese Ende-Kennung ist demnach durch die Applikation bei der Übertragung einer jeden CAN-Nachricht zu den Flash-Komponenten zu realisieren.

Applikation 2 hat die Aufgabe, die clientseitig durch den Lerner initiierten Aktionen auf dem Fahrzeug (abzusetzende CAN-Nachrichten und Kommandos für die Fehleraufschaltung) entgegenzunehmen und an das DeviLAN weiterzuleiten.
Zu diesem Zweck stellt die Server-Applikation auf Port 8002 einen Dienst im Netz zur Verfügung, welcher typischer Weise durch die clientseitigen Flash-Komponenten in Anspruch genommen werden kann. Dabei musste wiederum berücksichtigt werden, dass Flash-Komponenten das Ende einer jeden über eine Socket-Verbindung übertragenen Sequenz durch das Einfügen eines Null-Bytes kennzeichnet. Für jedes an das DeviLAN zu übertragende Kommando wird durch eine Flash-Komponente eine separate Sequenz generiert. Der Inhalt dieser Sequenz wird durch die Server-Applikation auf die für das DeviLAN

erforderliche Syntax übertragen und über eine zweite Socket-Verbindung zum DeviLAN auf dem TCP-Port 3333 übertragen.

Der schreibende Zugriff auf das Fahrzeug unterliegt dabei einer generellen Einschränkung. Wenn das System durch mehrere Lerner gleichzeitig genutzt wird, besteht die Möglichkeit, dass mehrere Clients Kommandos zur Einwirkung auf das Fahrzeug generieren, welche unter Umständen im Fahrzeug kollidieren. Eine solche Kollision würde beispielsweise vorliegen, wenn zwei Lerner innerhalb eines engen Zeitraumes verschiedene Kommandos bezüglich eines Aktors (z.B. elektrische Fensterheber) auf das Fahrzeug absetzten. Das Fahrzeug würde sich in diesem Fall seiner Programmierung gemäß verhalten und den Aktor dem jeweils zuletzt abgesetzten Kommando entsprechend ansteuern. Da sich die Lerner entsprechend den gestellten Anforderungen an den Prototyp an verteilten Orten aufhalten können, ist davon auszugehen, dass sie keine Kenntnis über die Kommandos anderer Lerner besitzen und somit der Eindruck eines verfälschten Verhaltens entstehen muss. Dieses Verhalten dürfte in aller Regel recht widersinnig ausfallen und kann aus Sicht des betroffenen Lerners keinesfalls dem Verhalten eines originalen Fahrzeugs entsprechen. Da es zudem eines sehr unwahrscheinlichen Zufalls bedarf, genau dieses durch den gleichzeitigen Zugriff auf das Fahrzeug ausgelöste Verhalten zu reproduzieren, besteht die große Gefahr, dass sich ein solches System aus Sicht eines Lerners inkonsistent verhält und dem beschriebenen Anspruch somit nicht entsprechen könnte.
Aus diesem Grund wurde der Prototyp mit einer Funktion versehen, die den gleichzeitigen schreibenden Zugriff auf das Fahrzeug unterbindet. Zu diesem Zweck wurde das Senden von Kommandos durch die Lerner nur innerhalb von Zeitfenstern zu je 30 Sekunden Dauer ermöglicht. Sobald sich ein Lerner mit der Server-Applikation verbindet, wird eine Sendeerlaubnis angefordert. Verfügt zum Zeitpunkt der Anforderung kein weiterer Client über die Sendeerlaubnis, so wird diese dem anfragenden Client für 30 Sekunden gewährt. Innerhalb dieses Zeitfensters kann der Lerner jedes vorgesehene Kommando auf das Fahrzeug absetzen und das resultierende Verhalten des Fahrzeuges beobachten. Die Sendeerlaubnis wird nach 30 Sekunden oder bei erfolgter Trennung der Verbindung zwischen Client und Server-Applikation automatisch entzogen und steht ab sofort wieder allen Clients zur Anforderung zur Verfügung. Die entsprechenden Aktivitäten auf dem CAN-Komfort-Bus werden dabei aufgezeichnet, sodass der Lerner auch nach Ablauf des Zeitfensters die Möglichkeit zur Analyse der Auswirkungen auf das Fahrzeug hat.
Die Verwaltung der Sendeerlaubnis wurde mittels eines PHP-Skriptes auf dem Webserver realisiert, welches nach dem CGI-Prinzip durch die clientseitige Flash-Komponente gestartet werden kann. Bei jeder gültigen Vergabe einer Sendeerlaubnis wird auf dem Webserver ein Zeitstempel hinterlegt. Liegt dieser bei einer Anforderung länger als 30 Sekunden zurück, so erfolgt die Vergabe der Sendeerlaubnis an den anfragenden Client, und ein neuer Zeitstempel wird gesetzt. Als Rückgabe an die anfragende Flash-Komponente wird die Restdauer eines bereits vergebenen Zeitfensters in Sekunden in Form einer Variablen ausgeliefert. Beträgt dieser Wert gleich Null, so erhält der anfragende Client die Senderlaubnis für den definierten Zeitraum. Beendet ein Client die Verbindung vor Ablauf der Sendeerlaubnis, so wird ein zweites CGI-Skript gestartet, welches den Zeitstempel auf dem Server zurücksetzt, sodass die Sendeerlaubnis sofort wieder erneut vergeben kann und keine unnötigen Wartezeiten entstehen.

## 6.6 Die Clients

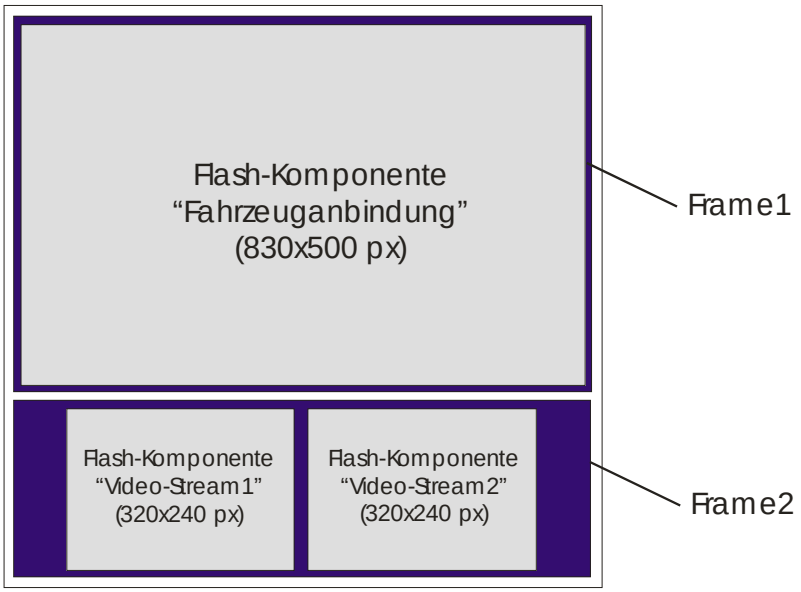
Mit dem Client liegt die Schnittstelle zwischen Lernsystem und Lerner vor. Daher hat ihre Gestaltung einen maßgeblichen Einfluss auf Benutzbarkeit, Ergonomie und letztlich Eignung des Systems zu Lernzwecken.

Den gestellten Anforderungen werden Flash-Komponenten am besten gerecht. Derartige Flash-Komponenten können direkt im Webbrowser abgespielt werden, sollen jedoch mehrere Flash-Komponenten auf einer Website untergebracht werden, bedürfen diese einer Einbettung in die entsprechende Website, damit sie über das Internet mit einem normalen Webbrowser abspielbar sind.

Im Falle des Prototyps sind drei Flash-Komponenten auf einer Website einzubetten:

- Eine Komponente realisiert die Anbindung an das Fahrzeug, die Aufzeichnung der über den CAN-Komfort-Bus des Fahrzeugs übertragenden CAN-Nachrichten, das Absetzen von Kommandos auf dem Fahrzeug und die Visualisierung der aufgezeichneten Daten.
- Zur Beobachtung des Fahrzeuges dienen zwei WebCams, deren Video-Streams ebenfalls mittels je einer Flash-Komponente in die Website eingebettet werden.

Die Einbettung erfolgte durch eine mit HTML gestaltete Website. Die Site wurde in zwei Frames aufgeteilt, wobei je ein Frame die Komponente für die Fahrzeuganbindung und die zwei Video-Bilder einbettet.




*Einbettung der Komponenten mit Frames*

### 6.6.1 Anbindung der WebCams

Die Einbindung von Video-Streams kann auf verschiedene Weise erfolgen und ist abhängig von der Art der verwendeten Kamera.

- Für netzwerkgestützte Überwachungsaufgaben werden häufig IP-Kameras eingesetzt. Diese verfügen über ein Kamera-Modul mit Auflösungen von 640x480 und mehr Pixel. Sie weisen außerdem eine drahtgebundene oder drahtlose Netzwerkanbindung auf, auf welcher ein Webserver die aufgenommenen Bilder u. a. in Form eines Video-Streams über das Netzwerk zur Verfügung stellt. In Abhängigkeit der vorliegenden Netzwerk-Infrastruktur lassen sich so weitestgehend ruckelfreie Bildsequenzen übertragen, sodass clientseitig der Eindruck eines flüssigen Videos entsteht. Ein solcher Video-Stream kann bei Bedarf in eigene Websites integriert werden oder von clientseitigen Anwendungen weiterverarbeitet werden. Je nach Ausführung der Kamera ist das Objektiv mittels integrierter Elektromotoren schwenk- und/oder zoombar. Diese Einstellungen lassen sich in der Regel clientseitig über ein entsprechendes Web-Interface, welches auf dem integrierten Webserver vorliegt, mit einem Webbrowser vornehmen.
- Für die Anbindung von Kameras, welche nicht über eine eigene Netzwerkschnittstelle verfügen, existieren spezielle Video-Server. Solche Geräte verfügen über die im Video-Bereich etablierten digitalen oder analogen Schnittstellen und ermöglichen auf diese Weise die Anbindung verschiedener Kameras und Camcorder zur Bild- und Tonaufzeichnung. Die Video-Signale werden bei Bedarf durch den Video-Server in Echtzeit digitalisiert und für die Übertragung über Netzwerke komprimiert. Über eine integrierte Netzwerkschnittstelle stellt das Gerät die Video-Streams der angeschlossenen Kameras mittels eines Webservers über das Intra- bzw. Internet zur Verfügung.
- Mit handelsüblichen WebCams, welche mittels Universal Serial Bus (USB) an jeden modernen Standard-PC angeschlossen werden können, liegen preiswerte und für viele Anwendungen ausreichend leistungsfähige Kameras vor. Sie produzieren typischerweise Farbbilder mit Auflösungen von bis zu 1280x960 Bildpunkten. Da sie das Bildmaterial über den USB an den angeschlossenen Rechner übertragen müssen und dessen Datenübertragungsrate begrenzt ist, ist in der Praxis nur mit Bildgrößen von 640x480 Bildpunkten oder weniger ein ruckelfreier Bildfluss realisierbar. Der Rechner wiederum verfügt in der Regel über einen Netzwerkanschluss, sodass er in Verbindung mit einer entsprechenden Software als Video-Server agieren und die durch die angeschlossenen WebCams aufgenommenen Videosequenzen über ein Intra- bzw. Internet Clients zugänglich machen kann.

Für den Prototyp ist die Übertragung von zwei Videosequenzen erforderlich, wobei die benötigte Bildauflösung wie bereits beschrieben mit 320x240 Bildpunkten relativ gering ist. Diese Anforderungen können mit jeder der drei skizzierten Strategien erfolgen, wobei eine Videoübertragung mit zwei möglichst drahtlosen IP-Kameras favorisiert wurde, da diese Lösung keinen separaten Video-Server erfordert. Da allerdings für das Entwicklungsvorhaben ökonomische Faktoren wie z.B. Anschaffungspreise berücksichtigt werden mussten, ist für den Prototyp die Kombination aus einem Standard-PC und zwei WebCams realisiert worden.

Als Software wurde „WebcamXP“ des gleichnamigen Herstellers auf einem Windows-basierten Standard-PC (Pentium IV, 2,8 GHz, 512 MByte RAM, Windows XP professional) installiert. An den Rechner

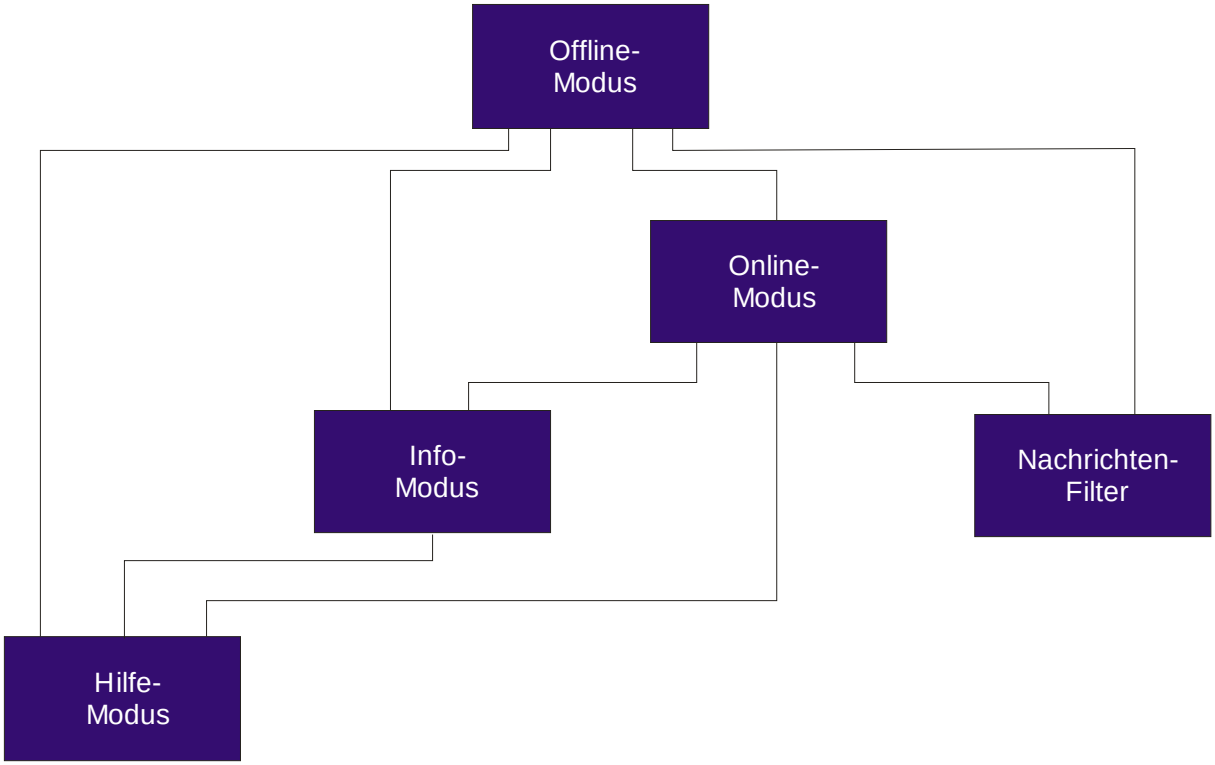
wurde eine Logitech QuickCam Zoom und eine Creative Labs WebCam NX Pro angeschlossen. Dabei wurde eine WebCam so ausgerichtet, dass sie beide Fenster des Fahrzeugs auf der Beifahrerseite aufnimmt. Die andere WebCam wurde im Fahrzeug direkt vor dem Schalttafeleinsatz installiert und ermöglichte die Übertragung von Vorgängen auf dem Schalttafeleinsatz des Fahrzeuges.

*Standorte der WebCams*

Eine Darstellung der durch die WebCams aufgenommenen Bilder erfolgt im nächsten Abschnitt.
WebcamXP installiert auf dem Rechner einen Webserver, welcher die Bilder der WebCams auf einer eigenen Website unterbringt. Dabei lässt sich die Software hinsichtlich des Dateiformates und der Bildgröße, in welcher die Videos dargestellt werden, parametrieren. Für den Prototyp wurde die Bereitstellung der Videos als 320x240 Bildpunkte große Flash-Datei eingestellt. Diese Flash-Dateien werden durch die Software auf dem integrierten Webserver angelegt, kommunizieren zu ihrer Laufzeit mit der Software und erhalten erst dann den eigentlichen Video-Stream zur Darstellung. Durch Kopieren dieser Flash-Datei auf den Webserver des Prototyps und Einbettung der Datei als Flash-Komponente in die eigene, im vorherigen Anschnitt erläuterte Website, wurde dieses Verhalten zur Darstellung der Video-Streams im clientseitigen Webbrowser genutzt.

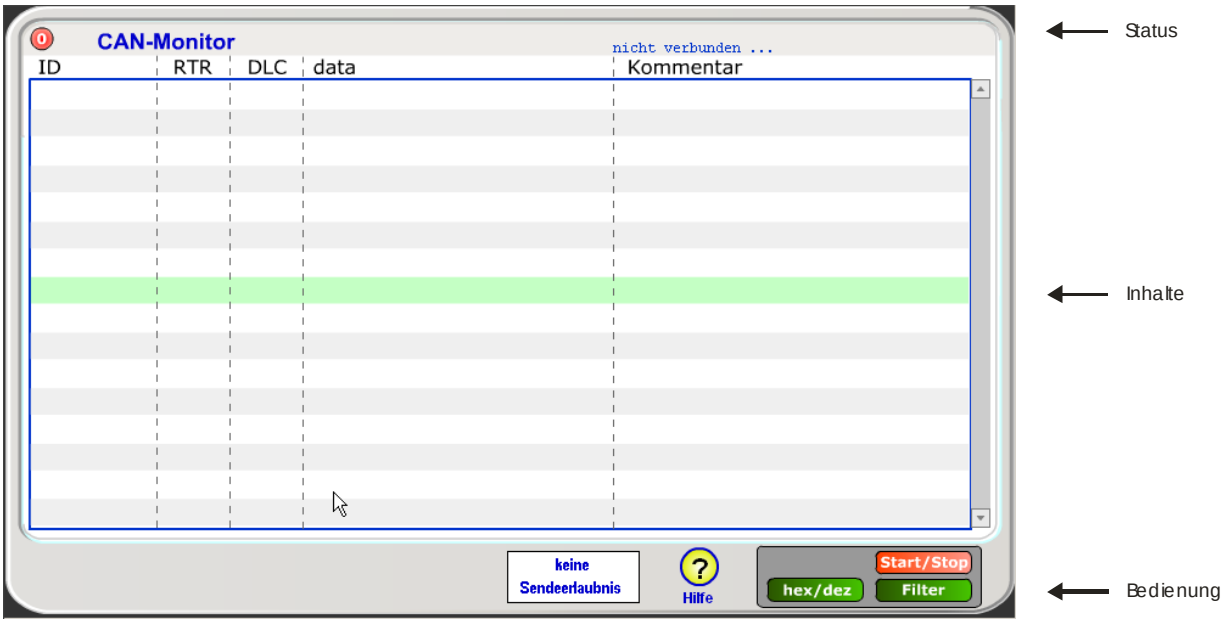
## 6.6.2 Fahrzeuganbindung

Die für die Fahrzeuganbindung verantwortliche Flash-Komponente wurde mit Flash MX erstellt und realisiert eine clientseitige Anwendungslogik, welche die Komponente in fünf Betriebsmodi unterteilt.




*Softwareseitige Architektur der Flash-Komponente für die Fahrzeuganbindung*

Die Bedienoberfläche ist in allen Betriebsmodi gleich gestaltet und kann in drei Bereiche aufgeteilt werden:




*Bereiche der Bedienoberfläche (direkt nach dem Programmstart)*

- Im Status-Bereich gibt die Bedienoberfläche Auskunft über ihren aktuellen Status. Mittels einer Anzeige und in Klartext wird angezeigt, ob eine Online-Verbindung zum Fahrzeug besteht.
- Der Inhalts-Bereich zeigt dem Lerner die aufgezeichneten CAN-Botschaften, eine entsprechende Visualisierung, Hilfetexte oder einen Bildschirmdialog zur Definition eines Nachrichten-Filters.

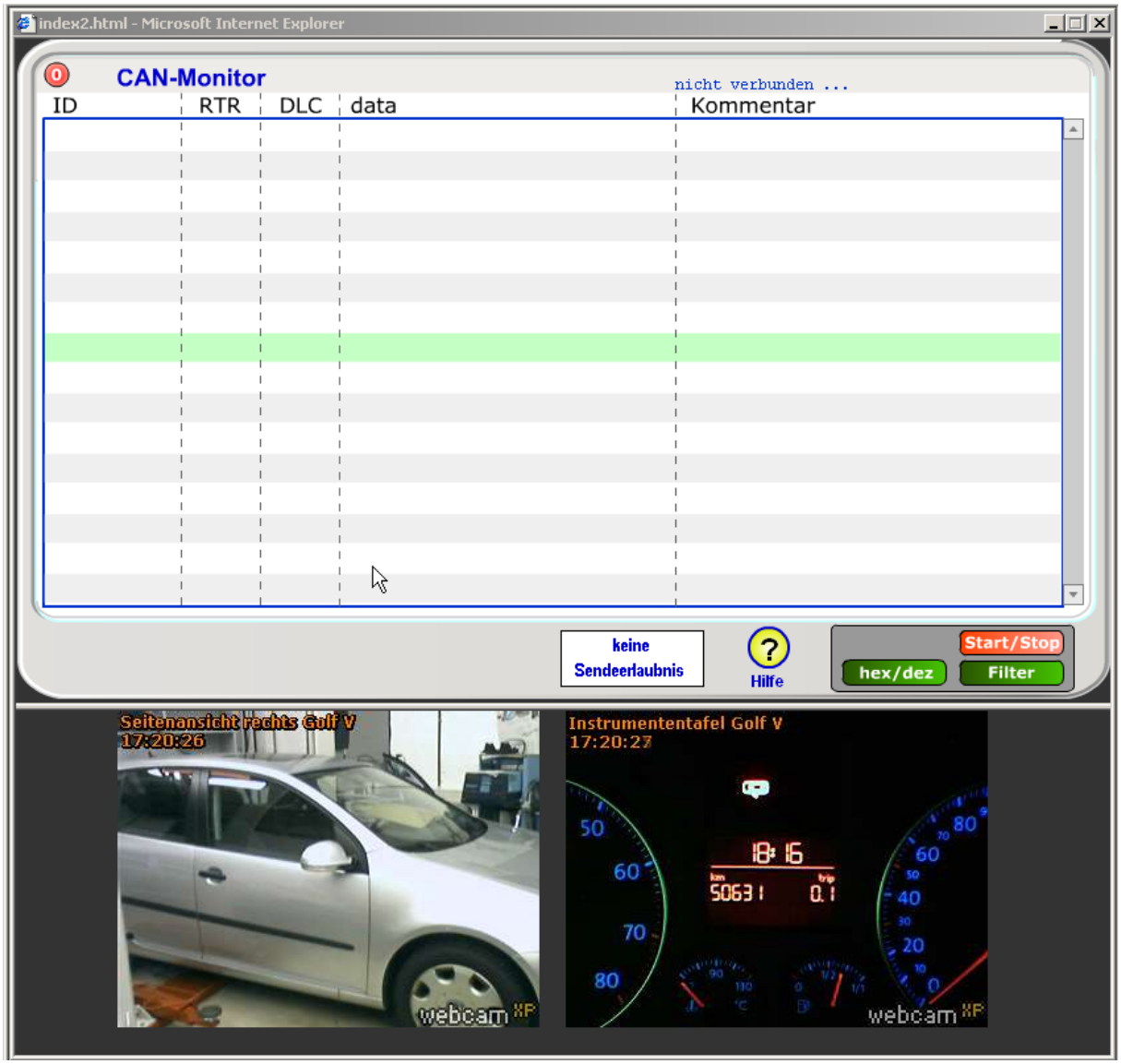
Beim Start der Benutzeroberfläche ist dieser Bereich zunächst leer, da noch keine CAN-Nachrichten aufgezeichnet wurden.

- Der eigentliche Bedien-Bereich enthält die einzelnen Schaltflächen, mit denen in andere Modi umgeschaltet bzw. die Darstellung der CAN-Nachrichten beeinflusst werden kann. Generell werden immer nur die Schaltflächen angezeigt, die im jeweiligen Modus sinnvoll betrieben werden können. Beispielsweise stehen die Schaltflächen für das Absetzen von Kommandos auf das Fahrzeug nur dann zur Verfügung, wenn eine Online-Verbindung zum Fahrzeug besteht und der Client über die Sendeerlaubnis verfügt.

In den folgenden Abschnitten wird die Gestaltung und Funktion der die Fahrzeuganbindung realisierenden Flash-Komponente in den jeweiligen Modi erläutert.
Dazu ist es teilweise zweckmäßig, den Kontext des gesamten Prototyps mit einzubeziehen, sodass bei einigen Bildschirmfotos (Screenshots) die gesamte clientseitige Benutzeroberfläche (die Website mit drei eingebetteten Flash-Komponenten) abgebildet wird. Wo dies nicht erforderlich ist, wird auf die Darstellung der Video-Streams verzichtet.

#### 6.6.2.1 Offline-Modus

Wird die Flash-Komponente geladen, so startet sie stets im Offline-Modus, der somit den Ausgangspunkt für den Fahrzeugzugriff darstellt. Eine Verbindung zum Fahrzeug ist nicht erforderlich und erfolgt erst beim Wechsel in den Online-Modus.
Dies gilt nicht für die WebCams, welche sofort beim Laden der einbettenden Website eine Verbindung zu WebcamXP aufbauen und den aktuellen Video-Stream des Fahrzeuges zeigen.




*Benutzeroberfläche im Offline-Modus*

Mit Hilfe der im Bedien-Bereich angeordneten Schaltflächen können die folgenden Funktionen ausgelöst werden:

- Hilfe

  Ein Mausklick auf diese Schalfläche aktiviert den Hilfe-Modus.

- hex/dez

  Sind bereits CAN-Nachrichten aufgezeichnet worden, so kann mit dieser Schaltfläche die Darstellung des Identifiers zwischen hexadezimalem und dezimalem Zahlensystem umgeschaltet werden.

- Filter

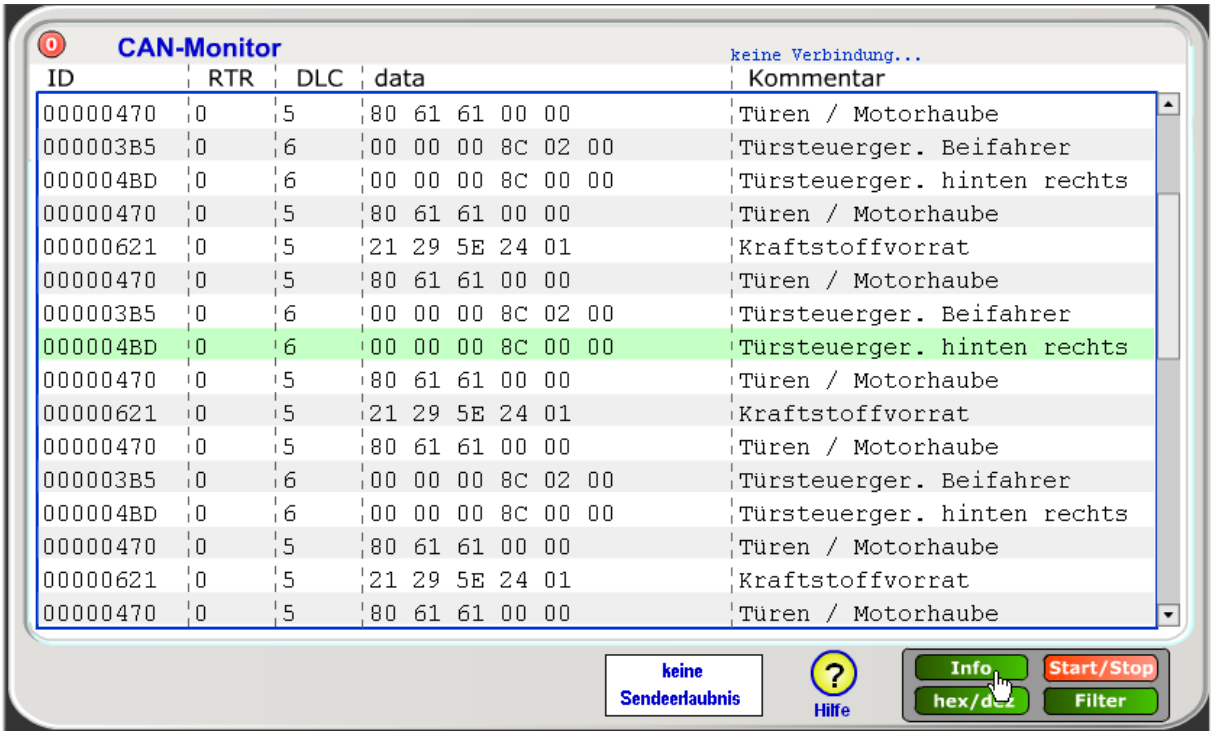
  Ein Klick auf diese Schaltfläche öffnet den Bildschirmdialog für die Definition eines für die Aufzeichnung von CAN-Nachrichten im Online-Modus gültigen Nachrichten-Filters.

- Start/Stop

  Mit dem Mausklick auf diese Schaltfläche startet der Lerner die Aufzeichnung von CAN-Nachrichten. Zu diesem Zweck wechselt die Flash-Komponente automatisch in den Online-Modus.
- Info

  Diese Schaltfläche ist nur dann verfügbar, wenn im Online-Modus bereits CAN-Nachrichten aufgezeichnet wurden.

Wurden zuvor im Online-Modus Nachrichten aufgezeichnet, so bleiben diese erhalten und können nun im Offline-Modus eingesehen werden. Zu diesem Zweck werden die CAN-Nachrichten im Inhaltsbereich in der Reihenfolge aufgelistet, in der sie auf dem Fahrzeug übertragen wurden. Jede CAN-Nachricht ist in die Datenfelder Identifier („ID"), Remote Transfer Request („RTR"), Data Length Code („DLC") und die eigentlichen Nutzdaten („data") aufgeteilt. Die Darstellung erfolgt im hexadezimalen Zahlensystem, der Identifier lässt sich dabei wie bereits beschrieben auch dezimal darstellen. Um dem Lerner eine unmittelbare Zuordnung einer jeden Nachricht zu ihrer Funktion zu ermöglichen, wurde der Auflistung eine weitere Spalte „Kommentar" hinzugefügt, die in kurzen Stichworten die Funktion der jeweiligen CAN-Nachricht benennt.




| ID | RTR | DLC | data | Kommentar |
|---|---|---|---|---|
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |
| 000003B5 | 0 | 6 | 00 00 00 8C 02 00 | Türsteuerger. Beifahrer |
| 000004BD | 0 | 6 | 00 00 00 8C 00 00 | Türsteuerger. hinten rechts |
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |
| 00000621 | 0 | 5 | 21 29 5E 24 01 | Kraftstoffvorrat |
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |
| 000003B5 | 0 | 6 | 00 00 00 8C 02 00 | Türsteuerger. Beifahrer |
| 000004BD | 0 | 6 | 00 00 00 8C 00 00 | Türsteuerger. hinten rechts |
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |
| 00000621 | 0 | 5 | 21 29 5E 24 01 | Kraftstoffvorrat |
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |
| 000003B5 | 0 | 6 | 00 00 00 8C 02 00 | Türsteuerger. Beifahrer |
| 000004BD | 0 | 6 | 00 00 00 8C 00 00 | Türsteuerger. hinten rechts |
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |
| 00000621 | 0 | 5 | 21 29 5E 24 01 | Kraftstoffvorrat |
| 00000470 | 0 | 5 | 80 61 61 00 00 | Türen / Motorhaube |

*Aufgezeichnete CAN-Nachrichten im Offline-Modus*

Im Inhaltsbereich können maximal 16 CAN-Nachrichten gleichzeitig dargestellt werden. Sollten mehr Nachrichten aufgezeichnet worden sein, können diese mit Hilfe der seitlichen Scroll-Leiste in den sichtbaren Bereich gebracht werden.

Die grün hinterlegte Zeile markiert die CAN-Nachricht, die beim Aktivieren des Info-Modus analysiert wird.

### 6.6.2.2 Hilfe-Modus

Der Hilfe-Modus ist aus jedem anderen Modus heraus durch Klicken auf die entsprechende Schaltfläche aktivierbar. In diesem Modus werden alle Schaltflächen an den entsprechenden Orten im Bedien-Bereich eingeblendet. Fährt der Lerner mit dem Mauszeiger über eine dieser Schaltflächen oder über eine der Anzeigen im Status-Bereich, so wird diese durch eine Einrahmung hervorgehoben und im Inhaltsbereich erscheint eine entsprechende Erklärung.

*Aktivierter Hilfe-Modus*

Zu den folgenden Elementen wurden Hilfe-Seiten verfasst:

- Statusanzeigen (Start-Stop-Kontrolllampe, Verbindungsanzeige, Kontrollfeld „Sendestatus“)
- Inhaltsanzeigen (CAN-Identifier, Remote Transfer Request, Data Length Code, Data, Kommentar)
- Bedienelemente (Kontrollfeld „Fehler“, Kontrollfeld „elektrische Fensterheber“, Kontrollfeld „Steuerung“)

Eine ausführliche Darstellung der Hilfe-Seiten befindet sich im Anhang dieser Arbeit im Abschnitt 8.5.

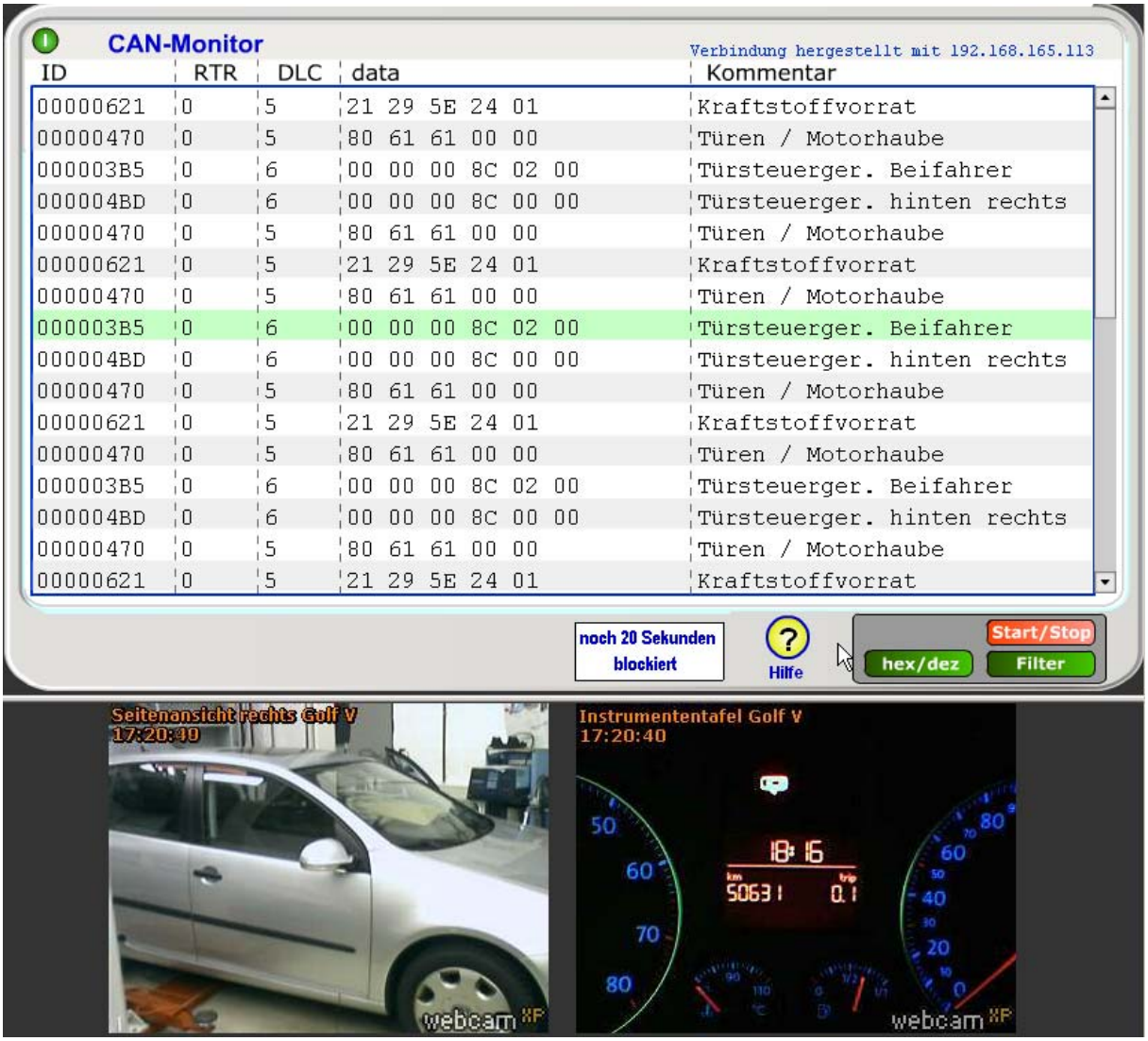
Durch erneutes Klicken auf das Hilfe-Symbol wird der Hilfe-Modus deaktiviert und die Benutzeroberfläche präsentiert sich wieder in dem Modus, aus dem heraus der Hilfe-Modus aktiviert wurde.

### 6.6.2.3 Online-Modus

Der Online-Modus dient der Aufzeichnung von CAN-Nachrichten und dem Absetzen von Kommandos auf das Fahrzeug. Zu diesem Zweck wird beim Wechsel zu diesem Modus automatisch eine Verbindung zum Fahrzeug aufgebaut und die für das Absetzen von Kommandos auf das Fahrzeug erforderliche Sendeerlaubnis angefordert.

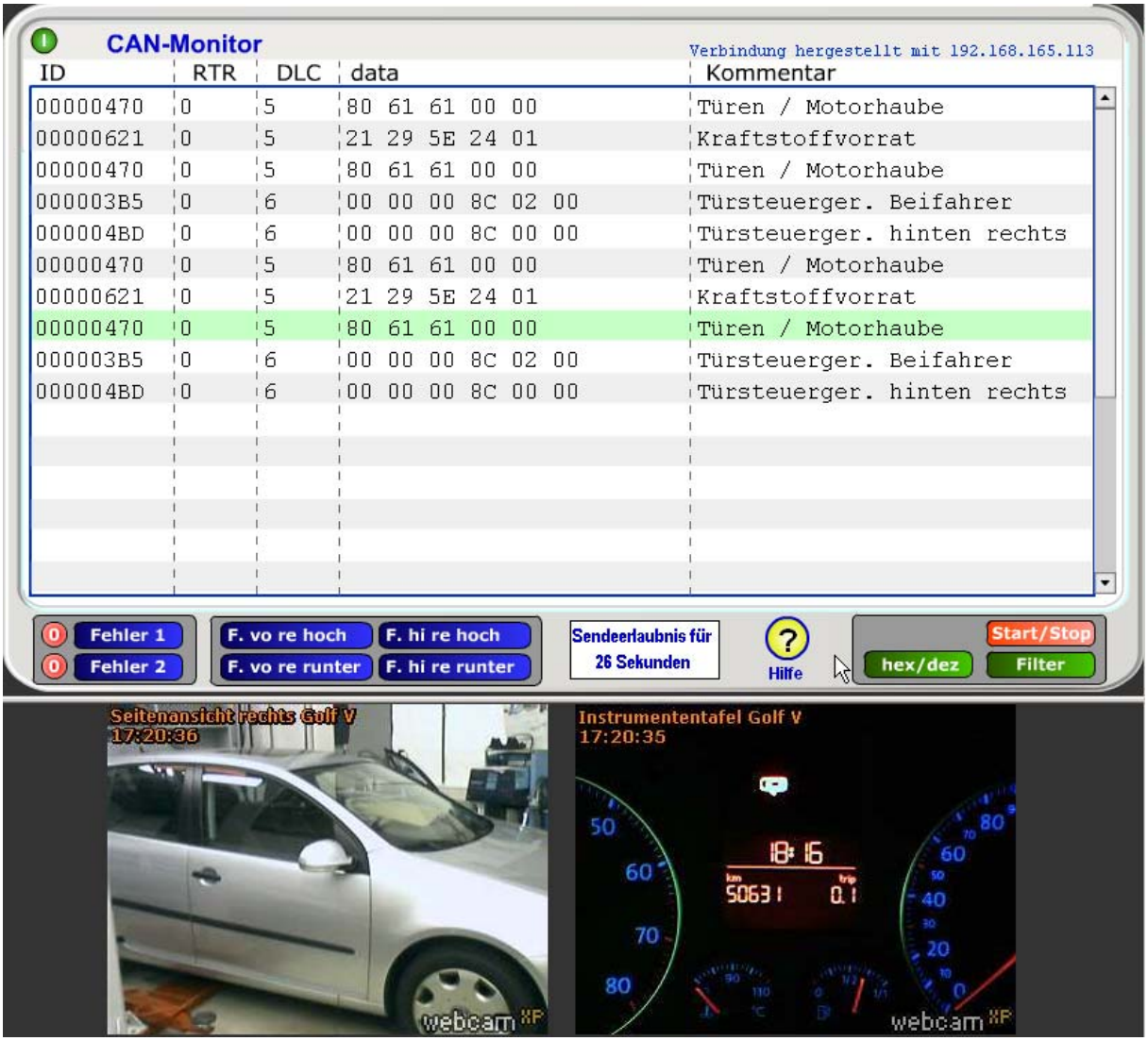
Konnte eine Verbindung zum Fahrzeug erfolgreich aufgebaut werden, so erfolgt eine entsprechende Mitteilung im Status-Bereich. Der Lerner kann nun im vollen Umfang lesend auf das Fahrzeug zugreifen. Der CAN-Monitor zeichnet alle CAN-Nachrichten auf, die zum Zeitpunkt der bestehenden Verbindung über den CAN-Komfort-Bus des Fahrzeugs kommuniziert werden. Hat der Lerner zuvor einen CAN-Nachrichtenfilter definiert, so wird dieser bei der Darstellung der CAN-Nachrichten im CAN-Monitor berücksichtigt. Zusätzlich stehen dem Lerner die zwei Video-Streams zur Verfügung, sodass er die Aktionen des Fahrzeugs und die entsprechenden CAN-Nachrichten verifizieren kann.

Konnte die Sendeerlaubnis nicht erteilt werden, so wird dem Lerner im Bedien-Bereich mitgeteilt, wie lange diese noch an einen anderen Lerner vergeben ist.




*Benutzerschnittstelle im Online-Modus (Verbindung erfolgreich hergestellt, keine Sendeerlaubnis)*

Konnte die Sendeerlaubnis zugeteilt werden, so erhält der Lerner für ein Zeitfenster von 30 Sekunden die Befugnis, schreibend auf das Fahrzeug zuzugreifen. Die restliche Dauer dieses Zeitfensters wird ihm zu seiner Disposition im Bedien-Bereich mitgeteilt. Im Rahmen dieser Befugnis können mittels der eingeblendeten Schaltflächen beide Fensterheber auf der Beifahrerseite bewegt werden und das Fahrzeug mit den zwei in Kapitel 6.3.2 definierten Fehlern versehen werden. Das Einwirken auf das Fahrzeug seitens des Lerners hat Auswirkungen, die sich in den für das CAN-Monitoring ausgewählten CAN-Nachrichten niederschlagen. Außerdem können die direkt visuell wahrnehmbaren Konsequenzen des Einwirkens mit Hilfe der beiden Video-Streams nachvollzogen werden.




*Benutzerschnittstelle im Online-Modus (Verbindung erfolgreich hergestellt, mit Sendeerlaubnis)*

Durch erneutes Klicken auf die Schaltfläche „Start/Stop“ wird die Aufzeichnung der CAN-Nachrichten beendet, die Verbindung zum Fahrzeug abgebaut und somit der Offline-Modus aktiviert. Die aufgezeichneten Nachrichten bleiben auch ohne Verbindung zum Fahrzeug erhalten und stehen weiterhin für die Analyse zur Verfügung.

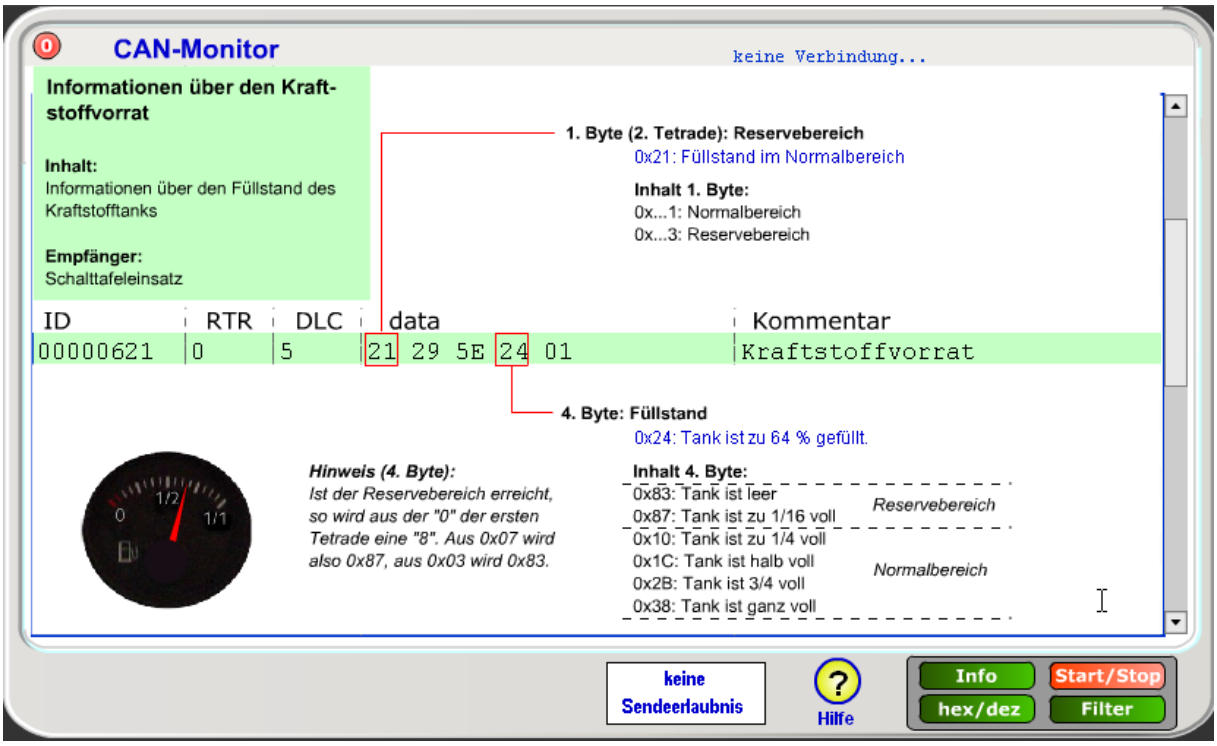
### 6.6.2.4 Info-Modus

Wurden CAN-Nachrichten aufgezeichnet, so steht dem Lerner die Schaltfläche für den Wechsel in den Info-Modus zur Verfügung.

Der Info-Modus stellt dem Lerner detaillierte Informationen über jede aufgezeichnete CAN-Nachricht zur Verfügung. Dazu werden neben dem CAN-Identifier auch die Datenbytes interpretiert, welche die eigentlichen Nutzinformationen beinhalten. Dabei beschränkt sich die Interpretation allerdings auf solche Bytes, welche die für die beschriebenen Lernzwecke relevanten Inhalte repräsentieren.

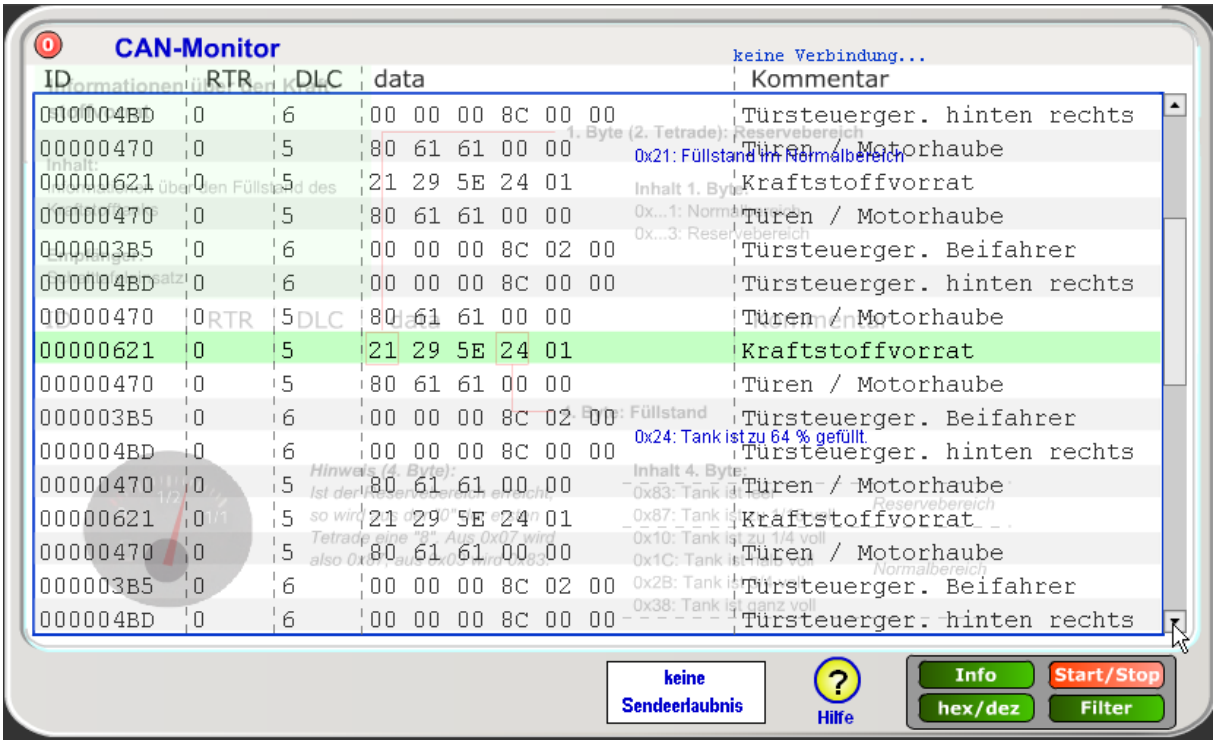
Für diese Interpretation wird jeweils die CAN-Nachricht, die sich in der grün hervorgehobenen Zeile des CAN-Monitors befindet, gelesen und analysiert. Auf Grundlage dieser Analyse wird der Inhalt der Nachricht als Klartext und in visualisierter Form dargestellt.

Beispielhaft sei hier die Interpretation der CAN-Nachricht für den Kraftstoffvorrat dargestellt; alle weiteren Darstellungen zu diesem Modus befinden sich im Anhang dieser Arbeit im Abschnitt 8.6.




*Interpretation der CAN-Nachricht für den Kraftstoffvorrat*

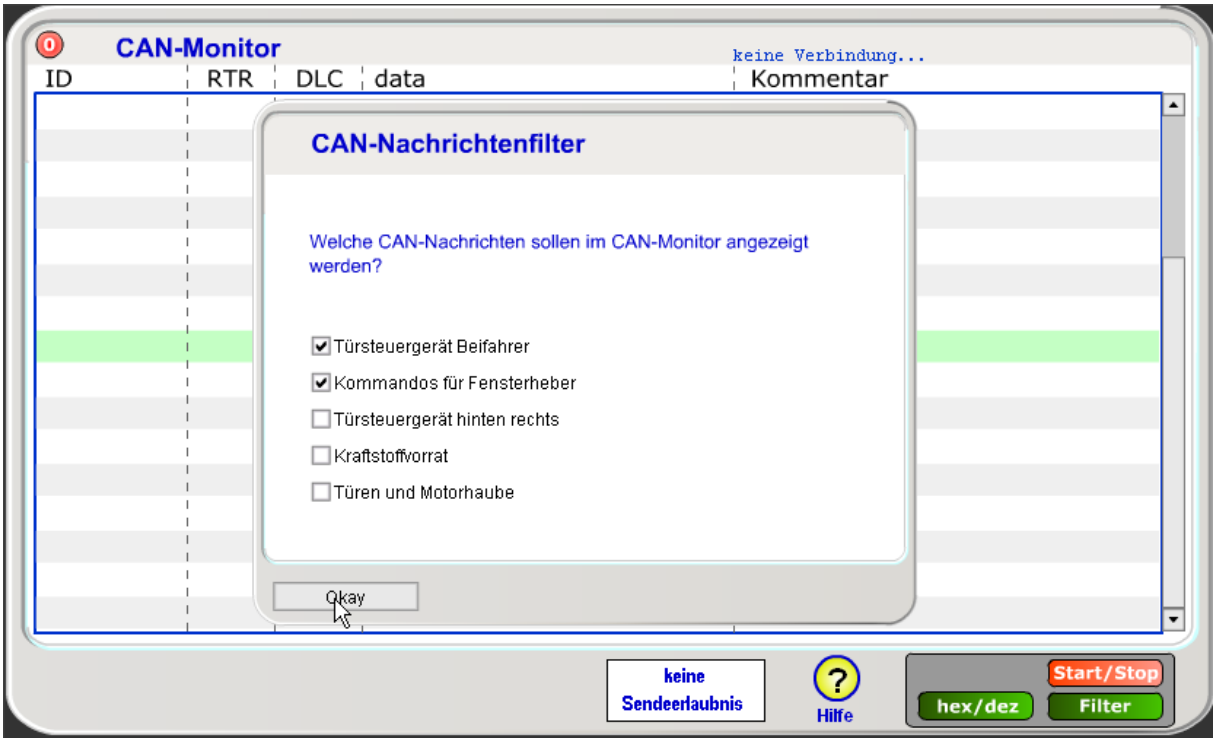
Um dem Lerner das gezielte Auffinden von bestimmten CAN-Nachrichten zu erleichtern, steht das Scrolling über alle aufgezeichneten Nachrichten im Info-Modus in leicht modifizierter Form zur Verfügung. Bewegt der Lerner den Mauszeiger über die Scroll-Leiste, so werden die Informationen im Inhaltsbereich der Benutzeroberfläche halbtransparent dargestellt, sodass die Liste der aufgezeichneten CAN-Nachrichten wie im Offline-Modus sichtbar wird. Mit der Scrolling-Funktion kann nun leicht jede gewünschte CAN-Nachricht zur Interpretation in die grüne Zeile bewegt werden.




*Halbtransparente Darstellung im Info-Modus zur Erleichterung des Auffindens einer bestimmten CAN-Nachricht*

### 6.6.2.5 Modus „Nachrichten-Filter“

Durch einen Mausklick auf die entsprechende Schaltfläche im Bedien-Bereich öffnet sich ein Dialogfenster, welches die Definition eines für die folgende Aufzeichnung von CAN-Nachrichten gültigen Nachrichten-Filters erlaubt. Durch das Setzen bzw. Entfernen von Häkchen kann der Lerner festlegen, welche CAN-Nachrichten beim Monitoring angezeigt werden sollen.




*Definition eines CAN-Nachrichten-Filters*

Auf diese Weise lässt sich die Zahl der dargestellten CAN-Nachrichten reduzieren und der Lerner kann sich auf die im jeweiligen Kontext relevanten Nachrichten konzentrieren.

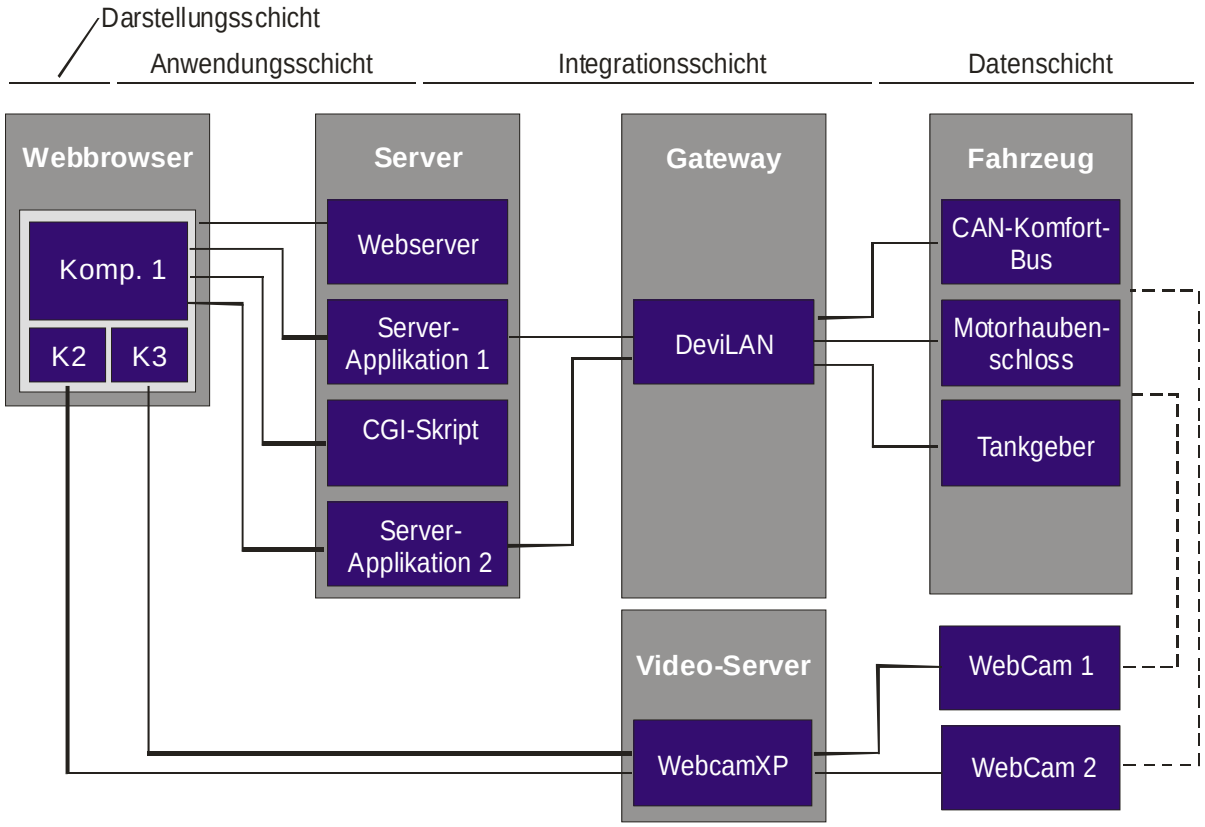
## 6.7 Funktionsweise des Prototyps

Die Funktionsweise des Prototyps wird offensichtlich, wenn die in den oberen Abschnitten erläuterten Komponenten des Systems aus webtechnologischer Sicht dargestellt werden.

Fordert ein Client die entsprechende Website beim Webserver an, so liefert dieser eine HTML-Seite an den Webbrowser zurück, welche die Flash-Komponenten mit Hilfe von Platzhaltern einbettet. Der Webbrowser fordert bei der Interpretation der Seite die einzubettenden Komponenten nachträglich an und stellt diese mit Hilfe des erforderlichen Flash-Plugins dar. Die Flash-Komponenten 2 und 3 bauen selbstständig eine Verbindung zum Video-Server auf, dessen IP-Adresse jeder Komponente als Parameter angegeben wird. Die auf dem Video-Server installierte Software WebcamXP bedient diese Verbindung, indem sie die durch die WebCams erfassten Bilder in Form eines Datenstroms für die entsprechenden Flash-Komponenten verfügbar macht. Der Datenstrom wird durch die entsprechenden Flash-Komponenten sichtbar gemacht und steht dem Lerner somit ohne weiteres Zutun zur Verfügung.

Flash-Komponente 1 startet zunächst im Offline-Modus, sodass der Aufbau von Verbindungen zunächst nicht erforderlich ist. Wechselt der Lerner in den Online-Modus, so wird eine TCP-Socket-Verbindung zur Server-Applikation 1 aufgebaut. Diese Server-Applikation unterhält einen kontinuierlichen TCP-Socket zum DeviLAN, welches die Applikation mit den CAN-Nachrichten vom CAN-Komfort-Bus des angeschlossenen Fahrzeugs versorgt. Sie überträgt schließlich die gefilterten CAN-Nachrichten an die entsprechende Flash-Komponente.

Außerdem startet die Flash-Komponente das auf dem Webserver abgelegte CGI-Skript und erteilt auf Grundlage des Rückgabewertes dem Lerner ggf. die Sendeerlaubnis. Nur in diesem Fall wird durch die Applikation eine zweite TCP-Socket-Verbindung zu Server-Applikation 2 aufgebaut, über welche vom Lerner initiierte Kommandos aufbereitet und an das DeviLAN gesendet werden. Dem Kommando entsprechend setzt das DeviLAN eine CAN-Nachricht auf dem CAN-Komfort-Bus des Fahrzeugs ab oder schaltet wie bereits beschrieben einen Fehler auf das Fahrzeug auf.
Da die beiden WebCams so ausgerichtet sind, dass sie die Auswirkungen der Fehleraufschaltung erfassen, erhält der Lerner unmittelbar nach Absetzen eines Kommandos auf das Fahrzeug eine visuell wahrnehmbare Information über die Reaktion des Fahrzeuges.




*Funktionsweise des Prototyps*[1]

Dabei kann ein vierschichtiges Servermodell zugrunde gelegt werden. Die vier Schichten Darstellungsschicht, Anwendungsschicht, Integrationsschicht und Datenschicht lassen sich nur zum Teil trennscharf auf die Komponenten des Prototyps beziehen. Während das Fahrzeug und die eingesetzten WebCams eindeutig der Datenschicht zugeordnet werden können und das Gateway sowie der Videoserver ausschließlich Funktionen auf der Integrationsschicht übernehmen, vermischen sich die Aufgaben des Servers und des Webbrowsers, sodass hier eine Differenzierung nach den Bestandteilen und ihren Funktionen und Aufgaben einer jeden Komponente erforderlich ist.

[1] *Komp. 1 = Flash-Komponete „CAN-Monitor", K2 bzw. K3 = Flash-Komponente „Video-Stream"*

In diesem Sinne erfüllt der Webserver mit der Auslieferung einer an sich statischen Website eine Funktion auf der Anwendungsschicht. Das PHP-Skript ist maßgeblich an der Vergabe der Sendeerlaubnis beteiligt und somit auf der gleichen Schicht anzusiedeln. Die beiden Server-Applikationen hingegen sind erforderlich, da der direkte Zugriff auf das DeviLAN per Webbbrowser aus den genannten Gründen nicht möglich ist, sodass eindeutig Funktionen auf der Integrationsschicht realisiert werden. Somit erfüllen die serverseitigen Komponenten Aufgaben auf zwei Schichten.
Die Website, die im clientseitigen Webbrowser dargestellt wird, vereinigt die drei Flash-Komponenten und stellt somit ein Framework zur Arbeit mit dem Prototyp bereit. Während die für die Darstellung der Video-Streams verantwortlichen Flash-Komponenten 2 und 3 ausschließlich auf der Darstellungsschicht anzusiedeln sind, beinhaltet die Flash-Komponente 1 neben der Darstellung von Informationen wesentliche Bestandteile der Anwendungslogik. Diese Logik bestimmt die Bedienung, das Verhalten und die Eigenschaften des gesamten Prototyps maßgeblich, sodass durch den Client ein Großteil der Funktionen auf der Anwendungsschicht realisiert wird.

# 7 Ergebnisse und Ausblick

## 7.1 Konzepte für die Anbindung technischer Realobjekte an webbasierte Lernsysteme

In Kapitel 4 wurden bestehende Web-Technologien sowie ihre konzeptionelle Kombination zur Realisierung verschiedener webbasierter Szenarien aufgezeigt. Diese wurden auf die Eignung für die angestrebte Integration technischer Objekte in webbasierte Lernsysteme überprüft und ein geeignetes Leitkonzept identifiziert. Dieses wurde dahingehend erweitert, dass die hardwaremäßige Anbindung des Realobjekts mit gängigen und etablierten Technologien ermöglicht wurde. Die Anforderungen, die der didaktische Anspruch dabei bedingte, wurden besonders berücksichtigt und erforderten ein neuartiges Konzept, welches in dieser Form noch nicht realisiert wurde. Zusammen mit den aufgezeigten Alternativen, welche sich für ähnliche Vorhaben als vorteilhaft erweisen können, liegt nun eine Sammlung von Strategien und Technologien vor, welche als Grundlage und Entscheidungshilfe für die Realisierung von Projekten dienen kann, die ebenfalls die Integration technischer Objekte in webbasierte Lernsysteme behandeln.
Am Beispiel des entwickelten und realisierten Prototyps wurde gezeigt, dass die Orientierung an dieser Sammlung funktionieren kann. Außerdem wurden dadurch die didaktischen Möglichkeiten, welche eine solche Integration potenziell bietet, aufgezeigt. Die Bewertung dieser Möglichkeiten erfolgt in den nächsten Abschnitten.

## 7.2 Der Beta-Test

Bei dem entwickelten Prototyp handelt es sich um ein computergestützes Lernmedium, welches mit dem ausgiebigen Einsatz von Softwaretechnologien realisiert werden konnte. Derartige Technologien weisen in der Entwicklungsphase und darüber hinaus ein hohes Potenzial für Fehler, insbesondere programmiertechnischer Art, auf.
Im Rahmen der Entwicklung und Evaluation von Software hat sich daher ein Versionssystem etabliert, welches den Entwicklungsstand einer Software in Abhängigkeit seiner Leistungsfähigkeit bezogen auf die zuvor definierten Ziele und den potentiellen Anteil von enthaltenen Fehlern dokumentiert. Innerhalb eines solchen Systems lassen sich drei Stadien von Software unterscheiden, welche mit Hilfe entsprechender Tests Fehler und Optimierungspotenzial offen legen (vgl. YASS 2000).

- Sobald eine Software bezogen auf ihre wesentlichen Funktionen lauffähig ist, kann sie als Alpha-Version bezeichnet werden. Dabei realisiert diese Version zunächst nur die angestrebten Kernfunktionen, welche in späteren Stadien durch zusätzliche Funktionen ergänzt werden. Um die in aller Regel noch zahlreich enthaltenen nicht offensichtlichen Fehler zu identifizieren, durchlaufen Alpha-Versionen interne Tests, welche zunächst nicht unter Realbedingungen und häufig durch

die Programmierer selbst durchgeführt werden. Solche Tests werden häufig durchgeführt und sind immer dann erforderlich, wenn die Software um Funktionen ergänzt wurde.

- Besitzt die Software den angestrebten Funktionsumfang und können im Rahmen der internen Tests keine weiteren Fehler mehr aufgedeckt werden, so geht sie in die Beta-Version über. Da auch jetzt noch nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Software in diesem Stadium fehlerfrei ist, werden Beta-Versionen unter realistischeren Bedingungen getestet. Dafür werden Vertreter der angestrebten Zielgruppe mit der Software konfrontiert, indem sie die Software für den geplanten Einsatzzweck nutzen und reale Aufgaben damit lösen. Um die Beta-Tester gezielt beobachten zu können und auch Fehler dokumentieren zu können, die dem Anwender nicht direkt auffallen, finden solche Tests in der Regel beim Hersteller bzw. Programmierer einer Software statt. Neben dem Identifizieren von bisher nicht entdeckten Softwarefehlern werden im Rahmen von Beta-Tests häufig auch Daten zur Optimierung hinsichtlich der Gestaltung, des Designs und der Funktionalität einer Software erhoben. Da die Software zu diesem Zeitpunkt noch nicht veröffentlicht ist, sind diesbezügliche Korrekturen noch verhältnismäßig problemlos durchzuführen. Nicht selten werden in diesem Fall neue Beta-Tests erforderlich.
- Wenn im Rahmen der Beta-Tests keine weiteren Fehler und kein zwingender Optimierungsbedarf mehr festgestellt werden kann, so kann eine Software erstmalig als „Release Candidate (RC)“ veröffentlicht werden. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird der RC einem begrenzten Kreis von Vertretern der angestrebten Zielgruppe zugänglich gemacht, welcher die Software unter vollständig realen Bedingungen auch über längere Zeiträume einsetzt. Dabei geben die RC-Anwender regelmäßig Rückmeldungen über positive und negative Aspekte, die erst im Einsatz unter Realbedingungen zu Tage treten.
- Hat der RC seine Einsatzfähigkeit bewiesen, so kann die Software als fertige Version an die Zielgruppe distributiert werden.

Die Zielvorgabe, einen optimierten, funktions- und veröffentlichungsfähigen Prototyp für den netzwerkgestützten Zugriff auf die internen Kommunikationsprozesse eines modernen Kraftfahrzeuges unter Berücksichtigung der beschriebenen Anforderungen zu entwickeln, entspricht der Entwicklung des Prototyps bis zum Release Candidate. Damit wäre eine fehlerfreie und für die beschriebenen Lernzwecke optimierte Version bereitzustellen, welche im Rahmen des Alpha- und Beta-Stadiums entsprechende Tests absolviert haben muss.

Die einer Alpha-Version entsprechenden internen Tests sind im Rahmen der Entwicklung für die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Prototyps relevant und wurden nicht dokumentiert.

Erst mit Durchführung eines Beta-Tests wurde dokumentiert, ob der Prototyp unter realistischen Bedingungen durch Vertreter der angestrebten Zielgruppe funktionsfähig ist und welche Veränderungen für die Bereitstellung einer RC-Version erforderlich sind. Außerdem wurde dieser Test für die Identifizierung von Optimierungspotenzial genutzt und eine erste Einschätzung der Probanden hinsichtlich der Eignung für die beschriebenen Lernzwecke eingeholt.

Der Beta-Test wurde an zwei homogenen Gruppen mit in Aus- bzw. Weiterbildung befindlichen Akteuren aus dem Kfz-Gewerbe durchgeführt.

- Gruppe 1 bestand aus acht Auszubildenden zur/zum Kraftfahrzeug-MechatronikerIn / MechanikerIn im dritten Lehrjahr.
- Gruppe 2 bestand aus acht KraftfahrzeugmechanikernInnen, welche sich in Weiterbildung zur/zum Kraftfahrzeug-ServicetechnikerIn befanden und kurz vor Abschluss dieser Weiterbildungsmaßnahme standen.

Beide Gruppen kommen somit aus einem kraftfahrzeugtechnischen Umfeld, sodass unterstellt werden kann, dass alle Teilnehmer gewisse Grundkenntnisse kraftfahrzeugtechnischer Art mitbringen. Da der entwickelte Prototyp nicht in ein entsprechend zugeschnittenes vollwertiges Lernsystem eingebettet wurde, waren allgemeine Kenntnisse über den technischen Aufbau und die grundsätzliche Funktionsweise moderner Kraftfahrzeuge eine Voraussetzung für die Arbeit mit dem Prototyp.

Für die Durchführung des Tests wurden beide Gruppen an jeweils zwei eigenen Terminen von je drei Stunden Dauer in die Räumlichkeiten der Universität Flensburg eingeladen. In diesen Räumlichkeiten wurde zuvor der beschriebene Prototyp installiert und betriebsbereit eingerichtet.

- Termin 1 war für die Ermittlung des Kenntnisstandes über datenverarbeitungstechnische Prozesse im Kraftfahrzeug, hier insbesondere dem CAN-Bus, und die Vermittlung von Kenntnissen, welche für den sinnvollen Umgang mit dem Prototyp erforderlich sind, vorgesehen. Da eine quantifizierbare Erhebung dieser Kenntnisse im Rahmen des Beta-Tests nicht erforderlich war, wurden die Kenntnisse in einem Gespräch formlos ermittelt und mit Hilfe aller zur Verfügung stehenden Hilfsmittel (Tafel, Computer mit Videoprojektor) diskutiert. Teile der neu erworbenen Kenntnisse konnten dabei durch die Arbeit am Prototyp vermittelt und angewendet werden, sodass sich die Tester außerdem die Bedienung des Prototyps aneignen konnten.
- Termin 2 diente der Bearbeitung einer konkreten Arbeitsaufgabe mit Hilfe des Prototyps. Zu diesem Zweck wurden die Tester mit einer fiktiven Situation konfrontiert, in der ein an einem Fahrzeug aufgetretener Defekt über eine Internetverbindung zu diagnostizieren war[1]. Diese Situation konnte mit Hilfe der beim Prototyp realisierten Fehleraufschaltung imitiert werden. In diesem Sinne hatten die Tester die Aufgabe, die Ursache einer fehlerhaften Tankanzeige so weit wie möglich einzugrenzen und Angaben über den Lösungsweg zu machen.

Als Arbeitsplatz wurden in einem separaten Raum, welcher unmittelbar neben dem Standort des Prototyps lag, vier Rechner eingerichtet, welche über das kabelgebundene Intranet (100 MBit/s) der Universität auf den Prototyp zugreifen konnten. Die räumliche Trennung verhinderte den visuellen Kontakt zum Fahrzeug und ermöglichte trotzdem eine Beobachtung der Tester und des Prototyps durch den Autor.

[1] Die Beschreibung der fiktiven Situation und die gestellte Arbeitsaufgabe findet sich im Anhang in Abschnitt 8.7

Jede Gruppe wurde nach Abschluss der Aufgabe in einem Gruppengespräch zu eventuell aufgetretenen Fehlfunktionen und optimierungsbedürftigen Eigenschaften des Prototyps befragt. Dabei wurden den Testern im Wesentlichen die folgenden Fragen gestellt und bei Bedarf diskutiert:

Frage1*: Traten während des Tests offensichtliche Fehlfunktionen auf?*

Hinsichtlich der Funktionsfähigkeit des Prototyps konnte festgestellt werden, dass der prototypische Aufbau während des gesamten Beta-Tests zuverlässig und fehlerfrei betrieben werden konnte. Durch die gleichzeitige Nutzung durch vier Clients konnten server- und fahrzeugseitig keinerlei Probleme beobachtet werden. Die Tester berichteten indes eine Fehlfunktion, die aufgrund einer mehrfachen Vergabe der Sendeerlaubnis das Absetzen von Kommandos auf das Fahrzeug durch zwei Clients gleichzeitig ermöglichte. Die gezielte Nachfrage ergab, dass dennoch nur eine Gruppe in der Lage war, das Fahrzeug durch Kommandos zu beeinflussen, obwohl die clientseitige Benutzeroberfläche dies für beide Clients suggerierte. Da dieser Fehler trotz gezielten Versuchen seitens der Tester im Laufe des Tests nicht reproduziert werden konnte, lässt sich die Fehlerursache nicht ermitteln und der Fehler muss als sporadisch angesehen werden. Im Nachhinein waren sich die Tester schließlich nicht mehr sicher, ob wirklich zwei Gruppen im Besitz der Sendeerlaubnis waren. Insgesamt ist also davon auszugehen, dass die Beta-Version aus programmiertechnischer Sicht den Status einer RC-Version erreicht hat.

Frage 2: *Erfolgte die Bedienung der Benutzerschnittstelle intuitiv oder musste die integrierte Hilfefunktion oft bemüht werden?*

Hinsichtlich der Bedienung der Benutzerschnittstelle bestätigten die Tester übereinstimmend keine Probleme. Die Benutzerschnittstelle ist durch jeden Lerner mit grundlegenden PC-Kenntnissen ohne nennenswerte Einarbeitungszeit zu bedienen. („Jeder, der schon einmal einen Computer bedient hat, und das sind ja eigentlich alle, kann mit dem Programm umgehen. Also in meiner Klasse haben jedenfalls alle einen Computer.“ (Tester der Gruppe 1))

Frage 3: *Wie müsste der Prototyp verändert werden, damit er das Nachvollziehen von datenverarbeitungstechnischen Prozessen im Kraftfahrzeug besser unterstützt?*

Für den sinnvollen Einsatz des Prototyps zu Lernzwecken ist indes wie erwartet erheblicher Erweiterungsbedarf festgestellt worden. Keiner der Tester verfügte zu Beginn der Tests über das für den Umgang mit dem System erforderliche Wissen über die Art und Weise, wie Informationen über Datennetzwerke kommuniziert werden. Auch zur Funktionsweise des CAN-Busses lagen nur unzureichende Kenntnisse vor. Obwohl die für den Umgang mit dem System erforderlichen Grundkenntnisse über datenverarbeitungstechnische Strukturen am ersten Termin erläutert wurden, gelang es den Testern ohne

weitere Diskussionen und Erläuterungen nicht, diese Strukturen mit Hilfe des Prototyps unmittelbar auf die fahrzeuginternen Kommunikationsprozesse über den CAN-Komfort-Bus zu übertragen.
Die Tester äußerten dementsprechend den Wunsch, die nötigen Informationen zusammen mit dem Prototypen zur Verfügung zu stellen. In einer Diskussion stellte sich heraus, dass die Lerner im Zusammenhang mit dem Prototyp ein webbasiertes Training bevorzugen würden, wenn dieses die eher theoretischen Grundlagen in Verbindung mit dem Prototyp vermitteln würde. „Wenn es ein solches Lernsystem geben würde, dann fände ich es besser, wenn man sich erst mit dem Lernsystem beschäftigt und dann mit dem Programm." (Tester Gruppe 2)
Die Kombination des Prototyps mit einem webbasierten Lernsystem entspricht den in den Anforderungen an den Prototyp formulierten Rahmenbedingungen für einen möglichen Einsatz des Prototyps und bestätigt somit den zugrunde gelegten webbasierten Ansatz.
Für den Einsatz in klassischen Unterrichtsszenarien (also mit anwesender Lehrperson) hat sich der Prototyp indes bereits als unmittelbar geeignet erwiesen. Somit scheint das Leitziel bei der Entwicklung des Prototyps, welches wie erläutert in der Entwicklung eines geeigneten Lehr- bzw. Lernmediums liegt, erreicht.

Frage 4: *War die Darstellung der zunächst nicht durch den Menschen interpretierbaren CAN-Nachrichten leicht nachvollziehbar?*

Nachdem es den Testern möglich war, die datenverarbeitungstechnischen Grundlagen mit den dargestellten CAN-Nachrichten zu verbinden, gelang es den Testern problemlos, die CAN-Nachrichten auf Grundlage der textuellen und grafischen Visualisierungen zu interpretieren. Dabei identifizierte sich besonders die grafische Darstellung der aufgezeichneten CAN-Nachrichten als geeignetes Mittel und zur Förderung der Nachvollziehbarkeit. „Das Programm ist für die Veranschaulichung wunderbar." (Tester Gruppe 2)

Frage 5: *Ermöglicht der Prototyp das Erlernen von Kenntnissen über datenverarbeitungstechnische Prozesse im Fahrzeug besser als andere bekannte (Lern-) Medien?*

Die Tester äußerten übereinstimmend, dass ihnen kein anderes Medium bekannt sei, welches sich zu diesem Zweck besser eignete. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass nicht davon auszugehen ist, dass die Tester sämtliche entsprechenden auf dem Markt befindlichen Lehr- und Lernsysteme kennen. Vielfach erfolgte allerdings der Vergleich mit den computergestützten Diagnosegeräten der Fahrzeughersteller, deren beschränkte Eignung zu Lernzwecken bereits an anderer Stelle dargestellt wurde (vgl. SCHREIER 2002a, BECKER 2003).
Allerdings konnte zur Zeit der Entwicklung des Prototyps und des Beta-Tests kein Lehr- bzw. Lernsystem auf dem Markt identifiziert werden, welches die Sachverhalte auf vergleichbare Weise zu vermitteln ver-

sucht, sodass den Aussagen der Tester eine generell gute Eignung des Systems zu den beschriebenen Zwecken zu entnehmen ist.

Frage 6: *Mit welchen Medien, Materialien oder Geräten müsste der Prototyp kombiniert werden, um ein vollwertiges Lernsystem zu bilden, welches mit hoher Wahrscheinlichkeit ohne die unmittelbare Hilfe von weiteren Personen benutzt werden könnte?*

Wie bereits Frage 3 gezeigt hat, wäre der Prototyp für eine Veröffentlichung außerhalb von Lernorten, die über entsprechende Lehrpersonen verfügen, mit einem entsprechend gestalteten webbasierten Lernsystem zu kombinieren. Als Inhalte sollten neben den entsprechend aufbereiteten theoretischen Inhalten auch authentische Materialien wie z.B. Schaltpläne für die Lösung der gestellten Aufgaben bereitgestellt werden.
Des Weiteren äußerten die Tester teilweise den Bedarf einer Einführung in das System selbst. „Wenn ich nicht gewusst hätte, dass das Auto nebenan steht, dann hätte ich nicht verstanden, dass die Daten aus einem echten Auto kommen." (Tester Gruppe 2)
Eine solche Einführung müsste den grundlegenden Aufbau und die Funktionalität des Systems darstellen und sollte nach Wunsch der Tester möglichst in Form eines Video-Clips dargestellt werden.

Frage 7: *Könnten Sie sich vorstellen, dass der Prototyp im Rahmen Ihrer Aus- bzw. Weiterbildung bei bestehenden infrastrukturellen Voraussetzungen (z.B. Internetanschluss) hilfreich wäre? Wenn ein solches System zur Verfügung stehen würde, würden Sie es nutzen?*

Die Tester bestätigten übereinstimmend, dass der Prototyp sich generell für Ausbildungszwecke sehr gut eignet. „Ich bin froh, dass ich den Versuch[1] mitgemacht habe. Das hätte ich ja sonst nie gelernt." (Tester Gruppe 1).
Eine Nutzung außerhalb von Lernorten mit anwesender Lehrperson ist allerdings nur dann vorstellbar, wenn das System wie beschrieben mit einem Lernsystem kombiniert wird. In diesem Fall könnten sich laut ihrer Aussage alle Tester eine Nutzung des Systems im Rahmen ihrer Aus- bzw. Weiterbildung auch von zu Hause aus sehr gut vorstellen.
Dabei stellten die Tester allerdings fest, dass ein einzelnes per Internet zugängliches Fahrzeug für die Nutzung durch viele Lerner unter Umständen nicht ausreichen würde, da stets nur ein Client zur Zeit schreibend auf das Fahrzeug einwirken kann. Bei gleichzeitiger Nutzung durch viele Lerner entstünden in diesem Falle lange Wartezeiten für die Vergabe der Sendeerlaubnis.

Frage 8: *Was hat Ihnen bei der Nutzung des Prototyps nicht gefallen? Welche Modifikationen müssten vorgenommen werden, damit das Lernen mit dem System verbessert würde?*

[1] Mit „Versuch" ist hier der Beta-Test gemeint.

Es konnten durch die Tester einige Mängel identifiziert werden, welche die Bedienung und das Lernen mit dem Prototyp behinderten und daher Optimierungspotenzial bieten.
Die Kombination mit einem Lernsystem wurde bereits an anderer Stelle beschrieben und soll hier kein weiteres Mal erläutert werden.
Die Tester hatten Probleme, innerhalb des im Rahmen der Sendeerlaubnis zur Verfügung stehenden Zeitfensters von 30 Sekunden Dauer gezielt auf das Fahrzeug einzuwirken. Zwar reicht diese Zeitspanne aus technischer Sicht für das Absetzen eines oder mehrerer Kommandos auf das Fahrzeug aus, für Experimente, eigene Versuche und die Beobachtung der Auswirkungen auf das Fahrzeug blieb den Testern allerdings zu wenig Zeit. Daher schlugen die Tester eine Verlängerung des Zeitfensters vor. Für den Release Candidate ist dementsprechend ein Zeitfenster von 45 Sekunden Dauer vorgesehen.
Andererseits empfanden die Tester die Wartezeit auf die Sendeerlaubnis, welche sich bei Zeitfenstern von einer Minute Dauer zwangsläufig verlängern würde, bereits bei dem bestehenden Zeitfenster von 30 Sekunden Dauer als störend. Der Vorschlag, die Sendeerlaubnis-Anforderungen in einem Stapel festzuhalten und gemäß dem First-in-First-out-Prinzip (FiFo) zu vergeben wurde intensiv diskutiert und letztendlich wieder verworfen, da die entstehenden Wartezeiten mit großer Sicherheit so lang würden, dass „ein Lerner nachher gar nicht mehr weiß, was er eigentlich machen wollte“ (Tester Gruppe 1), wenn er die Sendeerlaubnis erlangt.
Die Tester stellten weiterhin fest, dass der durch den Prototyp abgebildete Bereich mit lediglich fünf CAN-Nachrichten relativ klein ist. Zwar bestätigten die Tester bei Nachfrage, dass diese Auswahl an CAN-Nachrichten ausreicht, um die datenverarbeitungstechnischen Prozesse im Fahrzeug zu veranschaulichen, dennoch wurde der Wunsch nach Aufnahme von weiteren CAN-Nachrichten in das System geäußert. Da eine solche Erweiterung die grundsätzliche Leistungsfähigkeit des Mediums nicht erhöht, sondern lediglich die Zahl der interpretierbaren CAN-Nachrichten steigen würde, ist dieser Wunsch als optional zu betrachten, zumal die Tester mehrfach anmerkten, dass die Reduktion auf maximal fünf gleichzeitig aufzuzeichnende CAN-Nachrichten maßgeblich für die leichte Bedienbarkeit und den hohen Grad an Anschaulichkeit verantwortlich ist. Dementsprechend sollte diese Reduktion auch bei einer eventuellen Erweiterung der interpretierbaren CAN-Nachrichten unbedingt erhalten bleiben.

Die Beobachtung der Tester beim Umgang mit dem Prototyp ergab außerdem, dass der direkte Wechsel vom Online-Modus in den Info-Modus unvorteilhaft ist. Da die Aufzeichnung von Nachrichten nicht automatisch gestoppt wird, erscheint laufend eine neue CAN-Nachricht in der für die Nachrichteninterpretation relevante grün hervorgehobene Zeile im Inhaltsbereich der Flash-Komponente 1. Dies hat zur Folge, dass ständig eine neue CAN-Nachricht interpretiert wird und die einzelnen Interpretationen nur für sehr kurze Zeit sichtbar sind, bevor die nächste CAN-Nachricht in die grüne Zeile aufrückt. Da diese Zeile mittig angeordnet ist, wird außerdem nicht die aktuellste, sondern die siebente CAN-Nachricht interpretiert, was in Folge der Ausblendung der CAN-Nachrichtenliste im Info-Modus nicht direkt ersichtlich ist und sich somit zusätzlich negativ auf die Benutzbarkeit des Prototyps auswirkt.

Aufgrund des vielfältig negativen Einflusses auf das Gesamtsystem wurde der Info-Modus so verändert, dass er nur aus dem Offline-Modus heraus aktivierbar ist. Durch diese Maßnahme konnten alle oben genannten Mängel beseitigt werden.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Prototyp als geeignetes Lernmedium bezeichnet werden kann. Dieses Medium ist im abschließenden Entwicklungsstand bereit für die Erprobung im Rahmen eines Release Candidate. Das angestrebte Entwicklungsziel ist somit erreicht worden.
Das entwickelte Konzept webtechnologischer Art ist in der Lage, komplexe Systeme zwecks Integration in webbasierte Lernszenarien anzubinden. Es wurde gezeigt, dass die heute standardisierten Webtechnologien in der Lage sind, einen derart hohen Interaktivitätsgrad zu realisieren, dass ein experimentelles Lernen am Realobjekt per Remote-Lab ermöglicht wird.

## 7.3 Ausblick

Der durchgeführte Beta-Test hat ergeben, dass der Einsatz des Prototyps außerhalb von optimierten Laborbedingungen zwar ohne grundlegende Veränderungen, nicht jedoch ohne die Kombination mit entsprechenden Informationsquellen möglich ist. Da der Prototyp auf der Kommunikation über Computernetzwerke basiert, ist die Verwendung eines webbasierten Lernsystems sehr nahe liegend. Weil er clientseitig außer einem installierten Flash-Plugin im Internetbrowser sowie serverseitig einer JRE keine speziellen Technologien voraussetzt, basiert er ausschließlich auf Standard-Technologien und kann entsprechend den definierten Anforderungen problemlos in jedes WBT integriert werden. Diese Integrierbarkeit ermöglicht die Kombination des Prototyps mit etablierten webbasierten (Lern-) Plattformen, sodass auf die Entwicklung einer speziellen Plattform oder die aufwändige Adaption bestehender Plattformen verzichtet werden kann. Eine solche Konfiguration ist innerhalb eines Intranets oder netzwerkübergreifend mit der Nutzung des Internets gleichermaßen möglich.
Mit einem solchen System ließen sich drei Szenarien realisieren, welche sich vor allem durch die Zahl und den Kreis der potenziellen Benutzer unterscheiden:

*Szenario 1: System ist ausschließlich über ein Intranet verfügbar*

Soll der Netzwerkübergang nicht realisiert werden, so wäre das System nicht über das Internet, sondern nur innerhalb eines Intranets verfügbar. Ein solches Szenario bietet sich an, wenn das System nur durch einen eingeschränkten Benutzerkreis verfügbar sein soll, wie es z.B. in zentral stattfindenden Schulungen der Fall wäre. So könnte das System beispielsweise innerhalb eines räumlich begrenzten Lernortes wie z.B. einer Schule zu Schulungszwecken eingesetzt werden. Der Zugriff auf das Fahrzeug ist innerhalb einer derartigen Institution tendenziell einfach zu organisieren, sodass die Zahl der gleichzeitig auf das Fahrzeug schreibend zugreifenden Clients überschaubar bleibt und sich somit akzeptable Wartezeiten für die Vergabe der Sendeerlaubnis ergeben. Da außerdem im Rahmen dieses Szenarios die Zeiten, zu denen

das System verfügbar sein muss, organisierbar sind, dürfte mit hoher Wahrscheinlichkeit keine permanente Verfügbarkeit erforderlich sein, sodass das entsprechende Fahrzeug außerhalb der geplanten Nutzungszeiten für andere Zwecke zur Verfügung stehen würde.
In diesem Szenario wäre auch das Problem bei der Vergabe und der zeitlichen Dauer der Sendeerlaubnis alternativ zu lösen: Wenn der Prototyp in klassischen Präsenzveranstaltungen eingesetzt würde, so ließe sich die Vergabe der Sendeerlaubnis zentral durch den anwesenden Lehrer regeln. Mit Hilfe eines zusätzlichen Tools wäre dieser dann in der Lage, den verschiedenen Nutzern im Rahmen seines Unterrichts eine Sendeerlaubnis für beliebig lange Zeit zu vergeben und bei Bedarf wieder zu entziehen. Die vorzunehmenden Änderungen am Prototypen wären nur gering.

*Szenario 2: System ist über das Internet für einen eingeschränkten Benutzerkreis verfügbar*

Ein anderes Szenario ergibt sich, sobald das System über das Internet weltweit zur Verfügung gestellt werden würde. Dazu müsste der entwickelte prototypische Aufbau an einem beliebigen Ort mit entsprechender netzwerktechnischer Infrastruktur so installiert werden, dass er rund um die Uhr verfügbar ist. Das entsprechende Fahrzeug stünde in diesem Fall nicht für andere Zwecke zur Verfügung, sodass die Räumlichkeit, das Fahrzeug und das Gateway ständig vorgehalten werden muss. Dies wäre nur dann realisierbar, wenn sich eine Institution finden ließe, die diesen Aufwand betreiben könnte und würde. Dafür kämen Institutionen in Frage, welche ein Interesse an einem Online-Zugriff auf ein Fahrzeug zu Schulungszwecken haben könnten, wie z.B. Fernuniversitäten oder Automobilhersteller. Auf diese Weise könnten beispielsweise Automobilhersteller ortsunabhängige Schulungen oder ein(e) FernstudentIn Versuche am Fahrzeug von zu Hause aus durchführen.
Da das DeviLAN in diesem Fall nicht direkt über das Internet, sondern nur über einen entsprechend eingerichteten Webserver erreichbar wäre, stellt der Prototyp hinsichtlich der Sicherheit im Bezug auf Angriffe über das Internet potenziell kein kritisches Sicherheitsrisiko dar. Allerdings ist seitens der Serveradministration darauf zu achten, dass die für die Übertragung der CAN-Nachrichten und der Kommandos an das Fahrzeug zwischen clientseitiger Flash-Komponente und Server-Applikation erforderlichen TCP-Ports nicht durch ggf. vorhandene Firewalls blockiert werden.

*Szenario 3: System ist öffentlich über das Internet ohne Benutzerbeschränkung verfügbar*

Ein drittes mögliches Szenario läge vor, wenn das skizzierte System ohne Benutzerbeschränkungen öffentlich über das Internet verfügbar wäre.
Während in Szenario 2 der Kreis der Benutzer quantitativ beschränkt und - wenn auch mit einem gewissen Aufwand - die Zugriffszeiten organisiert werden könnten, resultiert aus der öffentlichen Verfügbarkeit über das Internet ohne Benutzerbeschränkung eine wesentlich größere Zahl an potenziellen Nutzern. In diesem Fall müsste damit gerechtet werden, dass die Nachfrage von bestimmten Stoßzeiten geprägt ist. Zwangsläufig ergäbe sich eine große Zahl an Anforderungen der Sendeerlaubnis, sodass unzumutbare Wartezeiten entstehen würden. Diese Wartezeiten können nur dann verkürzt werden, wenn die Anfra-

gen auf mehrere Fahrzeuge verteilt werden würden. Zu diesem Zweck müsste der Prototyp um zusätzliche Gateways und Fahrzeuge erweitert werden. Aufgrund der netzwerkbasierten Kommunikation müssten die Fahrzeuge nicht zentral, sondern könnten dezentral an beliebigen Orten vorgehalten werden. Dazu müsste der Prototyp um eine entsprechende Zugriffsverwaltung erweitert werden, die die aufkommenden Anforderungen der jeweils aktuellen Verfügbarkeit entsprechend auf die einzelnen Fahrzeuge verteilt.

Dieses Szenario bietet durch die Verfügbarkeit mehrerer Fahrzeuge die Möglichkeit, die entwickelte Fahrzeuganbindung mit verschiedenen Fahrzeugen gleichzeitig zu realisieren. Diese Fahrzeuge könnten außerdem mit verschiedenartigen aufschaltbaren Fehlerquellen versehen werden, sodass sich dem Nutzer insgesamt ein vielfältiges Spektrum an Experimentiermöglichkeiten an verschiedenen Realobjekten bieten würde. Dazu müsste das System allerdings wiederum um eine Benutzerverwaltung erweitert werden, welche den Nutzern zunächst die Fahrzeuge für den schreibenden Zugriff anbietet, welche zum Zeitpunkt der Anfrage über ausreichende Kapazitäten verfügen. Da die clientseitige Flash-Komponente hinsichtlich der inhaltlichen Gestaltung auf das im Rahmen der Entwicklung verwendete Fahrzeug ausgelegt ist, müsste diese um entsprechende Inhalte erweitert werden. Da jedoch der CAN-Bus als genormtes Kommunikationssystem im Komfortbereich fest etabliert ist und quasi in allen modernen Fahrzeugen verschiedner Fahrzeugklassen eingesetzt wird, wäre eine Modifikation der grundsätzlichen Funktionsweise nicht erforderlich.

# 8 Anhang

## 8.1 Literaturverzeichnis


*Adl Amini, B. (1994)* — Medien und Methoden des Unterrichts
*Auer Verlag, Donauwörth*

*Arp, H. (1984)* — Zum Entwurf einer Allgemeinen Technologie
*in: Arp, H., Härtel, W.: Beiträge zur Allgemeinen Technologie (Arbeitsbericht des Faches Technologie und Didaktik der Technik an der Bergischen Universitäts-Gesamthochschule-Wuppertal)*

*Autoberufe.de (2003)* — Kfz-Mechatroniker
http://www.autoberufe.de/berufsbildung/ausbildung/berufsbilder/sub_2003030312364 6.html
*Stand: 14.08.2005*

*Baumgartner, P., Häfle,H., Maier-Häfle, K.. (2002)* — E-learning Praxishandbuch. Auswahl von Lernplattformen
*StudienVerlag Innsbruck, Wien, Bozen*

*Beck IPC GmbH (2005)* — Information sheet IPC@Chip Produkt Philosophie
http://www.beck-ipc.com/files/ipc/documentation/general/IS_Product_philosophy_DE_V6.pdf
*Stand: 15.06.2005*

*Becker, M. (2003)* — Diagnosearbeit im Kfz-Handwerk als Mensch-Maschine-Problem
*W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld*

*Behrendt, P., Hoffmann, C., Krömke, C., Valentini, H.-D. (2003)* — Bordnetz und Vernetzung im neuen Golf V
*in: ATZ, MTZ: Der neue Golf, Vieweg Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden*

*BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2005)* — Berufsbildungsbericht 2005
*Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin*

*Brockhaus (1983)* — Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik (Bd. 5)
*Brockhaus, Wiesbaden*

*Burgmer, M. (1985)* — Optimierung methodengerechten Einsatzes von Medien im technischen Unterricht
Universität-Gesamthochschule Wuppertal

*Burgmer, M. (1986)* — Optimierung methodengerechten Einsatzes von Medien im technischen Unterricht
*In: Henseler, K., Reich, G.: Beiträge zur Praxis des Technikunterrichts, Universität Oldenburg, Oldenburg*

*CIA (CAN in automation) (2002a)* — CAN Specification 2.0, Part A
http://www.can-cia.org/downloads/specifications/
*Stand: 12.04.2005*

*CIA (CAN in automation) (2002b)*
CAN Specification 2.0, Part B
http://www.can-cia.org/downloads/specifications/
*Stand: 12.04.2005*

*Dörner, D. (1989)*
Die Logik des Misslingens
*Rowohlt Verlag, Hamburg*

*Dörr, G., Strittmatter, P. (2002)*
Multimedia aus pädagogischer Sicht
*In: Issing, L.J., Klimsa, P.: Information und Lernen mit Multimedia und Internet, Verlagsgruppe Beltz, Weinheim*

*Drive Academy (2002)*
Einführung in das SEW-Feldbusgeräteprofil
http://www.drive-academy.de/upload/teachware/PPT_MDx_Feldbusgeraeteprofil.pdf
*Stand: 21.03.2005*

*Eberhard von Kuenheim Stiftung (2005)*
Website der Eberhard von Kuenheim Stiftung
http://www.remote-lab.de/
*Stand: 01.12.2005*

*Edelmann, W. (2000)*
Lernpsychologie
*Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz, Weinheim*

Ehlers, U.-D., Gerteis, W., Holmer, T., Jung, H. W. (Hrsg.) (2003)
E-learning-Services im Spannungsfeld von Pädagogik, Ökonomie und Technologie
*W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG, Bielefeld*

*Engels, H. (2002)*
CAN-Bus
*Franzis Verlag GmbH, Poing*

*Etschberger, K. (2002)*
Controller Area Network. Grundlagen, Protokolle, Bausteine, Anwendungen
*Hanser Verlag, München, Wien*

*Falkner, O., Picard, C. (2005)*
Quo vadis Kfz-Elektronik? Optimierungsvorschläge für die Elektronikentwicklung
http://www.vector-informatik.com/pdf/articles/VEC_Congress_ElektronikAutomotive_200412_DE.pdf
*Stand: 01.02.2006*

*Faltin, N., Böhme, A., Tuttas, J., Wagner, B. (2002)*
Distributed Team Learning in an Internet-Assisted Laboratory
http://www.l3s.de/i_labs/docs/Distr_team_learning_ICEE2002_final.pdf
*Stand: 11.10.2005*

*Goroncy, J. (2004)*
„Elektronik ist Vernetzung von Menschen und Systemen" (Interview mit W. Schleuter)
*In: Hanser automotive, Carl Hanser Verlag, München, Ausgabe 09-10/2004, S. 32 - 33*
*Quelle:* http://www.hanser-automotive.de/fileadmin/heftarchiv/2004/3023.pdf
*Stand: 10.02.2006*

*Grzemba, A., von der Wense, H.-C. (2005)*
LIN-Bus. Systeme, Protokolle, Tests von LIN-Systemen, Tools, Hardware, Applikationen
*Franzis' Verlag, Poing*

*Gudjons, H., Winkel, R. (1999)*
Didaktische Theorien
*Georg Westermann Verlag (Bergmann + Helbig), Hamburg*

*Haack (2002)* Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia
*In: Issing / Klimsa 2002*

*Hako Didactc (2006)* Lehrsystem „Lichtwellenleiter Bussystem"
http://www.hako-didactic.de/
*Stand: 20.05.2007*

*Härtel, W. (1984)* Grundformen technologischen Handelns
*in: Arp, H., Härtel, W.: Beiträge zur Allgemeinen Technologie (Arbeitsbericht des Faches Technologie und Didaktik der Technik an der Bergischen Universitäts-Gesamthochschule-Wuppertal)*

*Härtel, W. (1986)* Zur Gestaltung technischer Funktionsmodelle
*In: Henseler, K., Reich, G.: Beiträge zur Praxis des Technikunterrichts, Universität Oldenburg, Oldenburg*

*Heise (2006)* Firefox erreicht 20 Prozent Marktanteil in Europa
http://www.heise.de/newsticker/result.xhtml?url=/newsticker/meldung/68393&words=Firefox
*Stand: 03.02.2006*

*Holtkamp, H (2002)* Einführung in TCP/IP
http://www.rvs.uni-bielefeld.de/~heiko/tcpip/
*Stand: 29.03.2005*

*Honsig, M. (2005)* Mit Vollgas in die Krise
*In: Technology Review, Heise Zeitschriftenverlag,, Hannover, Ausgabe Mai 2005, S. 42 - 55*

*Huber, R. (2004)* Informationstechnik im Automobil: vom einfachen Bussystem zum anspruchsvollen Datennetz, Teil 2
http://www.hanser-automotive.de/fileadmin/heftarchiv/2004/3025.pdf
*Stand: 04.02.2006*

*Iana (2005)* Port numbers
http://www.iana.org/assignments/port-numbers
*Stand: 12.08.2005*

*Issing, L. J. (1987)* Medienpädagogik im Informationszeitalter
*Verlagsgruppe Beltz, Weinheim*

*Issing, L. J., Klimsa, P. (Hrsg.) (2002)* Information und Lernen mit Multimedia und Internet
*Verlagsgruppe Beltz, Weinheim*

*Jank, W., Meyer, H. (2002)* Didaktische Modelle
*Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co., Frankfurt am Main*

*Jaschinski, H. (2005)* Die Kfz-Elektronik ist eine Bank
*In: Auto & Elektronik, Hüthig Fachverlag, Heidelberg, Ausgabe Dezember 2005, S. 77*

*Jazdi, N., Konnertz, J., Traumüller, J. (2000)* Einsatz von Web-Technologien bei der Entwicklung moderner eingebetteter Systeme
http://www.ias.uni-stuttgart.de/forschung/ergebnisse/web.html
*Stand: 29.03.2005*

*Kerres, M. (2001)* Multimediale und telemediale Lernumgebungen
*Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, Wien*

*Kersken, S. (2003)* — Kompendium der Informationstechnik
*Galileo Press, Bonn*
*online-Ausgabe (openbook):*
http://www.galileocomputing.de/openbook/kit/itkomp13002.htm#Rxx355kap1300204000382 1F01D100
*Stand: 30.03.2005*

*Krapp, A., Weidenmann, B. (Hrsg.) (2001)* — Pädagogische Psychologie
*Verlagsgruppe Beltz, Weinheim*

*Kron, F. W. (2004)* — Grundwissen Didaktik
*Ernst Reinhardt Verlag (UTB), München*

*Kron, F. W., Sofos, A.* — Mediendidaktik
*Ernst Reinhardt Verlag (UTB), München*

*Kultusministerkonferenz (2003)* — Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Kfz-Mechatroniker/Kfz-Mechatronikerin (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003)
http://www.autoberufe.de/berufsbildung/ausbildung/berufsbilder/
*Stand: 01.08.2005*

*Kurose, J. F., Ross, K. W. (2004)* — Computernetze
*Pearson Studium, München*

*L3S (2005)* — Website des Forschungszentrums L3S
http://www.l3s.de/deutsch/projekte/i-labs.html
*Stand: 01.12.2005*

*Lawrenz, W. (Hrsg.) (2000)* — CAN Controller Area Network
*Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg*

*LearNet (2005)* — Website des Projektes „Lernen und Experimentieren an realen technischen Anlagen im Netz" (LearNet)
http://www.learnet.de/
*Stand: 26.10.2005*

*Leohold, J. (2003)* — Prüfung sicherheitsrelevanter elektronischer Systeme
*Vortrag im Rahmen des Workshops „Prüfung elektronischer Systeme im Kfz im Rahmen der europäischen Fahrzeugüberwachung" am Institut für Kraftfahrwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen*

*Louis, D., Wenz, C. (2001)* — Dynamic Web-Publishing
*Markt + Technik, München*

*Lucas-Nülle Lehr- und Messgeräte GmbH (2007)* — Kommunikation mit dem CAN-Bus
http://www.lucas-nuelle.de/index.php/fuseaction/download/lrn_file/compact_D.pdf
*Stand: 20.05.2007*

*Lubkowitz M. (2004)* — Webseiten programmieren und gestalten - HTML, CSS, JavaScript, PHP, MySQL, AJAX
*Galileo Press, Bonn*

*Macromedia (2005)* — Macromedia Flash Player Statistics
http://www.macromedia.com/software/player_census/flashplayer/
*Stand: 12.05.2005*

*Meyer, H. (1994)* — Unterrichtsmethoden I: Theorieband
*Cornelsen Verlag Scriptor, Frankfurt am Main*

*Niegemann, H.M. (2001)* — Neue Lernmedien: konzipieren, entwickeln, einsetzen
*Verlag Hans Huber, Bern*

*Niegemann, H.M. et al. (2004)* — Kompendium E-learning
*Springer Verlag, Berlin, Heidelberg*

*Peterßen, W. H. (2001)* — Lehrbuch allgemeine Didaktik
*Oldenbourg Schulbuchverlag, München*

*Raimer, S. (2002)* — Anbahnung und Optimierung konstruktionsmethodischer Lernmuster mit hypermedialen Lernsystemen in der technischen Bildung
http://e-diss.uni-kiel.de/diss_631/d631.pdf
*Stand 13.04.2005*

*Rauner, F., Schreier, N., Spöttl, G. (2002)* — Die Zukunft computergestützter Kfz-Diagnose
*W. Bertelsmann Verlag, Bielfeld*

*Reissenweber, B. (2001)* — Feldbussysteme zur industriellen Kommunikation
*Oldenbourg Industrieverlag, München*

*Ropohl, G. (1999)* — Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik
*Hanser Verlag, München, Wien*

*Roth, H., Rösch, O. J., Kuhle, J., Prusak, A., Gonzalez, A. H. (2002)* — Virtuelle Labors für Experimente in der Mechatronik
http://www.eng.monash.edu.au/uicee/gjee/vol6no3/RothRoeschetal.pdf
*Stand: 11.10.2005*

*Schäuffle, J. Zurawka, T. (2003)* — Automotive Software Engineering
*Vieweg Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden*

*Schreier, N. (2002a)* — Computergestützte Diagnosesysteme im Kfz-Service – Eine Einführung
*In: Rauner F., Schreier, N., Spöttl, G.: Die Zukunft computergestützter Kfz-Diagnose, W. Bertelsmann Verlag, Bielfeld*

*Schreier, N. (2002b)* — Ergebnisse der empirischen Untersuchung eines rechnergestützten Diagnosesystems
*In: Rauner F., Schreier, N., Spöttl, G.: Die Zukunft computergestützter Kfz-Diagnose, W. Bertelsmann Verlag, Bielfeld*

*Schüler, U. (1994)* — Aufgaben, didaktische Bedingungen einer Technischen Bildung
*Universität Dortmund, unveröffentlicht*

*Schulmeister, R. (1997)* — Grundlagen hypermedialer Lernsysteme (Theorie – Didaktik – Design)
*R. Oldenbourg Verlag, München, Wien*

*Schulmeister, R. (2003)* — Lernplattformen für das virtuelle Lernen
*Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München*

*Schreiner Didaktik (2007)* — Katalog KFZ-Technik
*Quelle:* http://www.schreiner-didaktik.de/download/Uebersicht-KFZ-Technik.zip *Stand: 20.05.2007*

*Softing (2002)* Diagnosekommunikation
*In: Auto & Elektronik, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, Ausgabe 04/2002, S. 41 - 43*
*Quelle:* http://www.all-electronics.de/au/04,2002/article/bf73e4df3ed.html
*Stand: 13.03.2005*

*Sorial, Z. A.-M. (2006)* Nutzung web-basierter hypermedialer Lernmanagementsysteme in der Freizeit
http://zhb-flensburg.de/dissert/sorial/dissertation%20sorial.pdf
*Stand: 01.05.2007*

*Spitzer, M (2000)* Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln
*Spektrum Akademischer Verlag, Berlin*

*Spitzer, M. (2002)* Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens
*Spektrum Akademischer Verlag, Berlin*

*Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2004)* Informationstechnologie in Haushalten 2003 – Ergebnisse einer Pilotstudie für das Jahr 2003
*Statistisches Bundesamt – Pressestelle, Wiesbaden*

*Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2005)* Informationstechnologie in Unternehmen und Haushalten 2004
*Statistisches Bundesamt – Pressestelle, Wiesbaden*

*Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2006a)* Bestand an Kraftfahrzeugen
http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb16_jahrtab37.asp
*Stand: 01.05.2007*

*Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2006b)* Bevölkerung im Jahr 2005 leicht gesunken
http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2006/p2920021.htm
*Stand: 01.05.2007*

*Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2006c)* Immer weniger Haushalte mit Eltern und Kindern
http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2006/p2280024.htm
*Stand: 01.05.2007*

*Stevens Institute of Technology (2005)* Website des Stevens Institute of Technology
http://dynamics.soe.stevens-tech.edu/
*Stand: 01.12.2005*

*STMicroelectronics (2000)* TIP120/121/122 TIP125/126/127 datasheet
http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/151019-da-01-en-Transistor_TIP_122.pdf
*Stand: 26.05.2005*

*Strzebkowski, R., Kleeberg, N. (2002)* Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen
In: ISSING, KLIMSA 2002

*Synertronixx GmbH (2004)* Handbuch DeviLAN & CAN2Web (Version vom 07.09.2004)
http://www.synertronixx.de/download/devilan/download.htm/
*Stand: 05.06.2005*

*Terry, W. S. (2003)* Learning and memory. Basic principles, processes and procedures.
*Allyn & Bacon, Boston*

*Thiel, F., Theis, R. (2003)* TCP/IP-Ethernet und Web-IO
*Wiesemann & Theis, Wuppertal*

http://www.wut.de
*Stand: 01.11.2005*

*Tuttas, J., Wagner, B. (2001)* Distributed Online Laboratories
http://www.ineer.org/Events/ICEE2001/Proceedings/papers/293.pdf
*Stand: 11.10.2005*

*Tulodziecki (1992)* Konzepte für das berufliche Lehren und Lernen : naturwissenschaftliche Grundlagen, technische Systeme, neue Technologien und komplexe Arbeitsaufgaben im Unterricht
*Klinkhardt Verlag, Bad Heilbronn*

*Vasek, T. (2004)* Rechner auf Rädern
*In: Technology Review, Heise Zeitschriftenverlag,, Hannover, Ausgabe Juli 2004, S. 20 - 41*

*Vester, F. (2002)* Die Kunst vernetzt zu denken
*Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München*

*Wagner, B., Tuttas, J. (2001)* Team Learning in an Online Lab
http://www.l3s.de/i_labs/docs/Team_Learning_FIE2001.pdf
*Stand: 11.10.2005*

*Walter, K.-D. (2003)* Messen, Steuern und Regeln per Internet
*Franzis' Verlag, Poing*

*Webhits (2006)* Web-Barometer
http://www.webhits.de/
*Stand: 03.02.2006*

*Wellenreuther, G., Zastrow, D. (2002)* Automatisieren mit SPS - Theorie und Praxis
*Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Wiesbaden*

*Winkel, S., Petermann, F., Petermann, U. (2006)* Lernpsychologie
*Verlag Ferdinand Schöningh GmbH & Co KG (UTB basics), Paderborn*

*Wöhr, H. (2004)* Web-Technologien. Konzepte – Programmiermodelle - Architekturen
*dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg*

*Yass, M. (2000)* Entwicklung multimedialer Anwendungen
*Dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg*

## 8.2 Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung |
|---|---|
| ABS | Anti-Blockier-System |
| ACC | Adaptive Cruise Control |
| ADC | Analog Digital Converter |
| ASP | Active Server Pages |

| | |
|---|---|
| BSD | Berkeley System Distribution |
| CAD | Computer Aided Design |
| CAL | CAN Application Layer |
| CAN | Controller Area Network |
| CBT | Computer Based Training |
| CGI | Common Gateway Interface |
| CIA | CAN In Automation |
| COM | Component Object Modell |
| CORBA | Common Object Request Broker Architecture |
| CSS | Cascading Style Sheets |
| DAC | Digital Analog Converter |
| DBMS | Database Management System |
| DCOM | Distributed Component Object Model |
| DOM | Document Object Model |
| EOBD | European Onboard Diagnostics |
| FiFo | First in – First out |
| FTP | File Transfer Protocol |
| GSM | Global System for Mobile communications |
| GUI | Graphical User Interface |
| HTML | Hypertext Markup Language |
| HTTP | Hypertext Transport Protocol |
| I/O | Input/Output |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronic Engineers |
| IP | Internet Protocol |
| ISO | Internationaler Eigenname der "International Organisation for Standardisation" (gebräuchlich ist auch "International Standardisation Organisation") |
| ITS | Intelligentes tutorielles System |
| JRE | Java Runtime Environment |
| JS | JavaScript |
| JSP | Java Server Pages |
| LAN | Local Area Network |

| | |
|---|---|
| LIN | Local Interconnect Network |
| LLC | Logical Link Control |
| LMS | Learning Management System |
| MAC | Media Access Control |
| MOST | Media Oriented Systems Transport |
| MSR | Messen, Steuern, Regeln |
| OBD | Onboard Diagnostics |
| OLE | Object Linking and Embedding |
| OPC | OLE in Process Control |
| OSI | Open Systems Interconnection |
| PAR | Positive Acknowledgement with Retransmission |
| PC | Personal Computer |
| PDF | Portable Document Format |
| PERL | Practical Extraction and Report Language (Eigenname) |
| PHP | PHP (Personal Homepage) Hypertext Preprocessor |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| RAM | Random Access Memory |
| RC | Release Candidate |
| ROM | Read Only Memory |
| RPC | Remote Procedure Call |
| RTOS | Realtime Operating System |
| SAE | Society of American Engineers |
| SOAP | Simple Objekt Access Protocol |
| SSI | Server Side Includes |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TTL | Transistor Transistor Logic |
| UART | Universal Asynchronous Receive and Transmit |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| UPD | User Datagram Protocol |
| URL | Uniform Resource Locator |
| USB | Universal Serial Bus |

| | |
|---|---|
| VBS | Visual Basic Script |
| W3C | World Wide Web Consortium |
| WBT | Webbased Training |
| WWW | World Wide Web |
| XAMPP | Eigenname für einen betriebssystemunabhängigen (X) Webserver mit den Technologien Apache-MySQL-PHP-PERL- |
| XHTML | Extensible Hypertext Markup Language |
| XML | Extensible Markup Language |
| XML | Extensible Markup Language |
| XSL | Extensible Stylesheet Language |

## 8.3 Liste der identifizierten CAN-Nachrichten auf dem CAN-Komfort-Bus

Über den CAN-Komfort-Bus werden insgesamt ca. 60 CAN-Nachrichten zum größten Teil zyklisch übertragen. Die folgende Auflistung berücksichtigt lediglich die für die beschriebenen Lernzwecke geeigneten CAN-Nachrichten.

| ID 0x381: Türsteuergerät Fahrer<br>ID 0x3B5: Türsteuergerät Beifahrer<br>ID 0x4B9: Türsteuergerät hinten links<br>ID 0x4BD: Türsteuergerät hinten rechts | |
|---|---|
| Länge: | 6 Bytes |
| Byte 1: Türschloss | 0x00: Schloss offen<br>0x02: Schloss verriegelt<br>0x20: Tür offen<br>0x40: Tür geschlossen |
| Byte 3: Position Fensterscheibe | 0x01: Fenster Pos. Ganz oben<br>0xC3: Fenster Pos. Ganz unten<br>(das Byte gibt die Pos. der Fensterscheibe stufenlos zwischen 0x01 und 0xC3 an) |
| Byte 4: Aktion | 0x00: keine Aktion<br>0x01: Fenster fährt hoch<br>0x02: Fenster fährt runter<br>0x0C: Fenster ganz geschlossen |

| ID 0x2C1: Schaltermodul Lenksäule (SMLS) | |
|---|---|
| Länge: | 5 Bytes |
| Byte 1: Blinkerhebel | 0x00: Blinker aus<br>0x01: Blinker links<br>0x02: Blinker rechts<br>0x04: Lichthupe<br>0x08: Fernlicht |
| Byte 2: Hebel f. Scheibenwischer | 0x00: Alle Wischer aus<br>0x01: Wischer Frontscheibe einmal wischen<br>0x02: Wischer Frontscheibe Intervallwischen<br>0x04: Wischer Frontscheibe Dauerwischen langsam<br>0x08: Wischer Frontscheibe Dauerwischen schnell<br>0x40: Wischer Heckscheibe Intervallwischen<br>0x80: Heckwischer waschen |
| Byte 3: Intervalldauer Frontscheibe | 0x01: kurze Intervalldauer<br>0x05: mittelkurze Intervalldauer<br>0x09: mittellange Intervalldauer<br>0x0D: lange Intervalldauer |

| ID 0x470: Zustände der Türen, Motorhaube und Heckklappe | |
|---|---|
| Länge: | 5 Bytes |
| Byte 2: offene Türen / Hauben / Klappen | 0x00: alle Türen / Hauben zu<br>0x01: Fahrertür offen<br>0x02: Beifahrertür offen<br>0x04: Tür hinten links offen<br>0x08: Tür hinten rechts offen<br>0x10: Motorhaube offen<br>0x20: Kofferraumklappe in erster Schlossraste<br>0x40: Kofferraumklappe offen |

| ID 0x5DD: Innenraumbeleuchtung | |
|---|---|
| Länge: | 5 Bytes |
| Byte 2: Dimmer Innenraumbeleuchtung | 0x00: Innenraumbelichtung aus<br>0x50: Innenraumbeleuchtung max. Helligkeit<br>(das Byte gibt die Helligkeit stufenlos zwischen 0x00 und 0x50 an) |
| Byte 3: offene Türen | 0x90: alle Türen zu<br>0x91: Fahrertür offen<br>0x92: Beifahrertür offen<br>0x94: Tür hinten links offen<br>0x98: Tür hinten rechts offen |
| Byte 4: Innenraumbeleuchtung | 0x00: Innenraumbeleuchtung inaktiv<br>0x64: Innenraumbeleuchtung aktiv |

| ID 0x531: Beleuchtung | |
|---|---|
| Länge: | 4 Bytes |
| Byte 1: Frontscheinwerfer | 0x00: Scheinwerfer aus<br>0xC1: Standlicht<br>0xC3: Abblendlicht<br>0xC5: Fernlicht |
| Byte 2: Heckleuchten | 0x00: alle Funktionen aus<br>0x11: Blinker links<br>0x12: Blinker rechts<br>0x1B: Warnblinker<br>0x20: Rückfahrscheinwerfer<br>0x40: Bremsleuchten |
| Byte 4: Innenraumbeleuchtung | 0x00: Innenraumbeleuchtung inaktiv<br>0x64: Innenraumbeleuchtung aktiv |

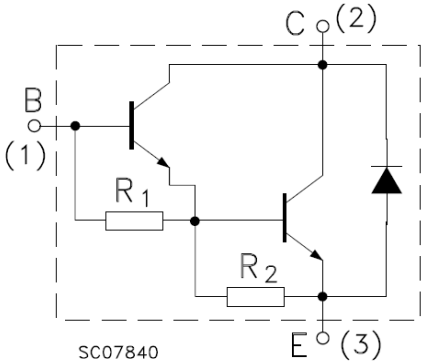
| ID 0x181: Kommandos für elektrische Fensterheber | |
|---|---|
| Länge: | 2 Bytes |
| Byte 1: Fensterheber vorne | 0x00: Fensterheber aus<br>0x01: Fenster Fahrer hoch<br>0x02: Fenster Fahrer ganz schließen<br>0x04: Fenster Fahrer runter<br>0x08: Fenster Fahrer ganz öffnen<br>0x10: Fenster Beifahrer hoch<br>0x20: Fenster Beifahrer ganz schließen<br>0x40: Fenster Beifahrer runter<br>0x80: Fenster Beifahrer ganz öffnen |
| Byte 2: Fensterheber hinten | 0x00: Fensterheber aus<br>0x01: Fenster hinten rechts hoch<br>0x02: Fenster hinten rechts ganz schließen<br>0x04: Fenster hinten rechts runter<br>0x08: Fenster hinten rechts ganz öffnen<br>0x10: Fenster hinten links hoch<br>0x20: Fenster hinten links ganz schließen<br>0x40: Fenster hinten links runter<br>0x80: Fenster hinten links ganz öffnen |

| ID 0x601: Kommandos für elektrisch verstellbare Außenspiegel | |
|---|---|
| Länge: | 1 Byte |
| Byte 1, erste Tetrade: Bewegungsrichtung | 0xX0: keine Bewegung<br>0xX1: Spiegel hoch<br>0xX2: Spiegel runter<br>0xX4: Spiegel links<br>0x08: Spiegel rechts |
| Byte 1, zweite Tetrade: Vorwahlschalter | 0x0X: Schalter nicht eingerastet, keine Vorwahl<br>0x1X: Spiegel links anwählen<br>0x2X: Spiegel rechts anwählen<br>0x4X: beide Spiegel heizen<br>0x8X: beide Spiegel einklappen |

| ID 0x621: | Kraftstoffvorrat |
|---|---|
| Länge: | 5 Bytes |
| Byte 4, Kraftstoffvorratsanzeige (Nadelinstrument mit Reservekontrollleuchte) | 0x8X: Kraftstoffvorrat im Reservebereich<br>0x00: Kraftstofftank leer<br>0x3A: Kraftstofftank voll<br>(Das Byte nimmt ja nach Kraftstoffvorrat Werte zwischen 0x00 und 0x3A an. Ist der Reservebereich erricht, so wird die zweite Tetrade mit 0x8X überschrieben.) |

# 8.4 Schaltbilder

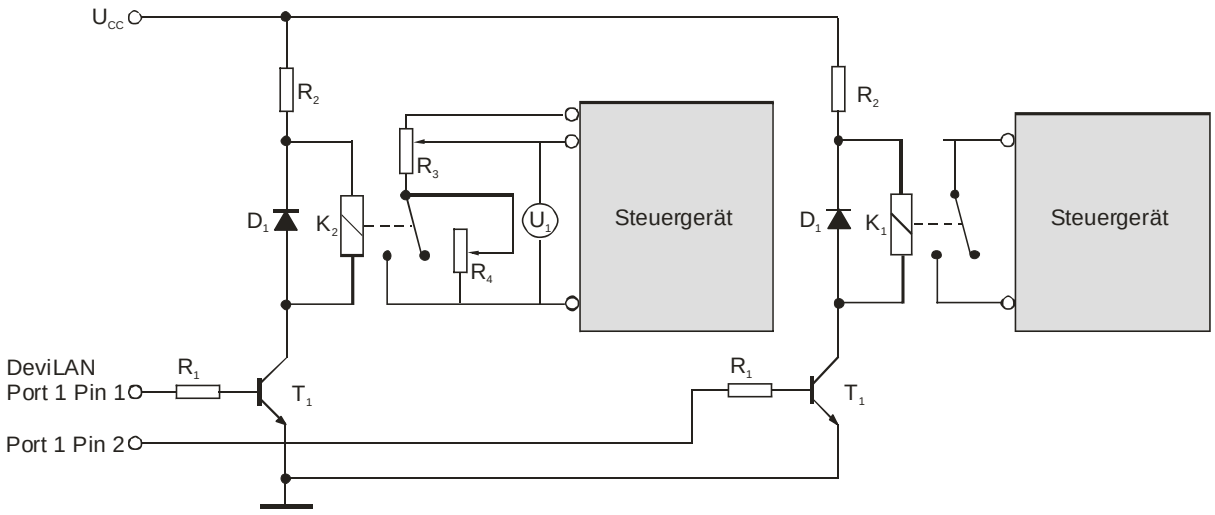
## 8.4.1 Ersatzschaltbild Darlington-Transistor TIP122




$R_1 = 5\ k\Omega$, $R_2 = 150\ \Omega$

Ersatzschaltbild TIP122 (STMICROELECTRONICS 2000, S. 1)

## 8.4.2 Fehleraufschaltung



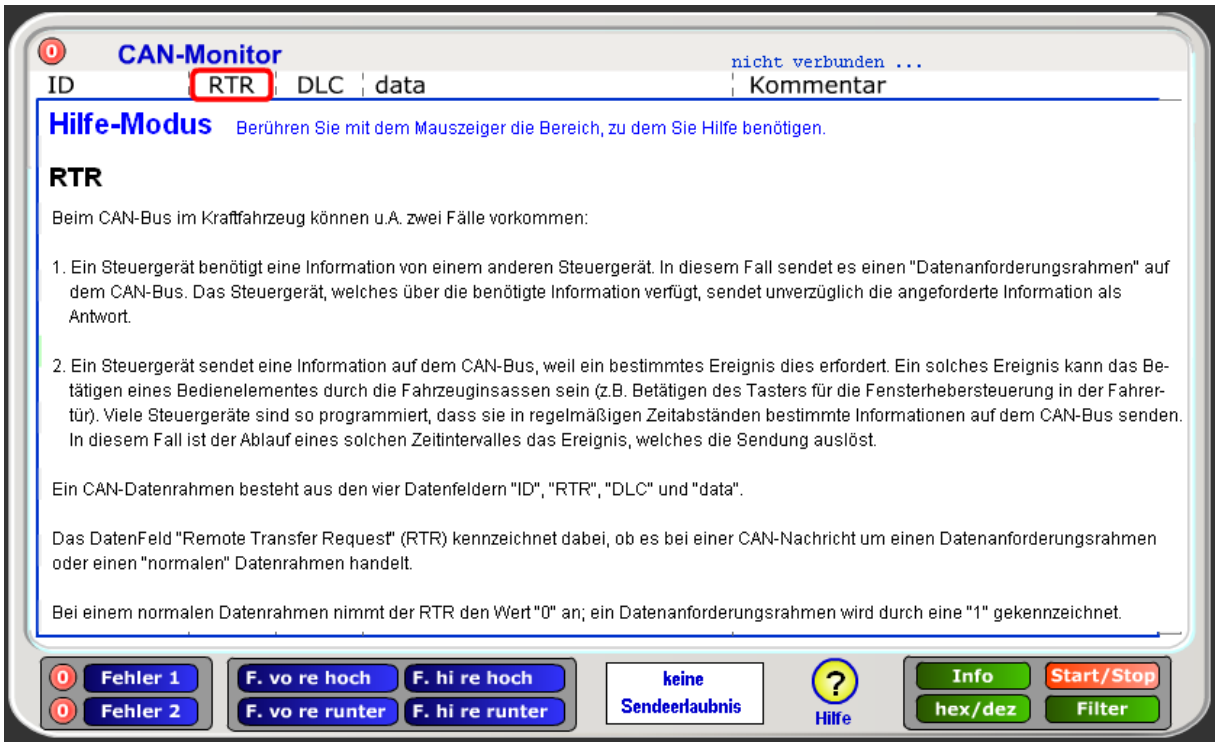

$R_1 = 5\ k\Omega$, $R_2 = 150\ \Omega$

## 8.5 Bildschirmfotos (Screenshots) des Hilfe-Modus

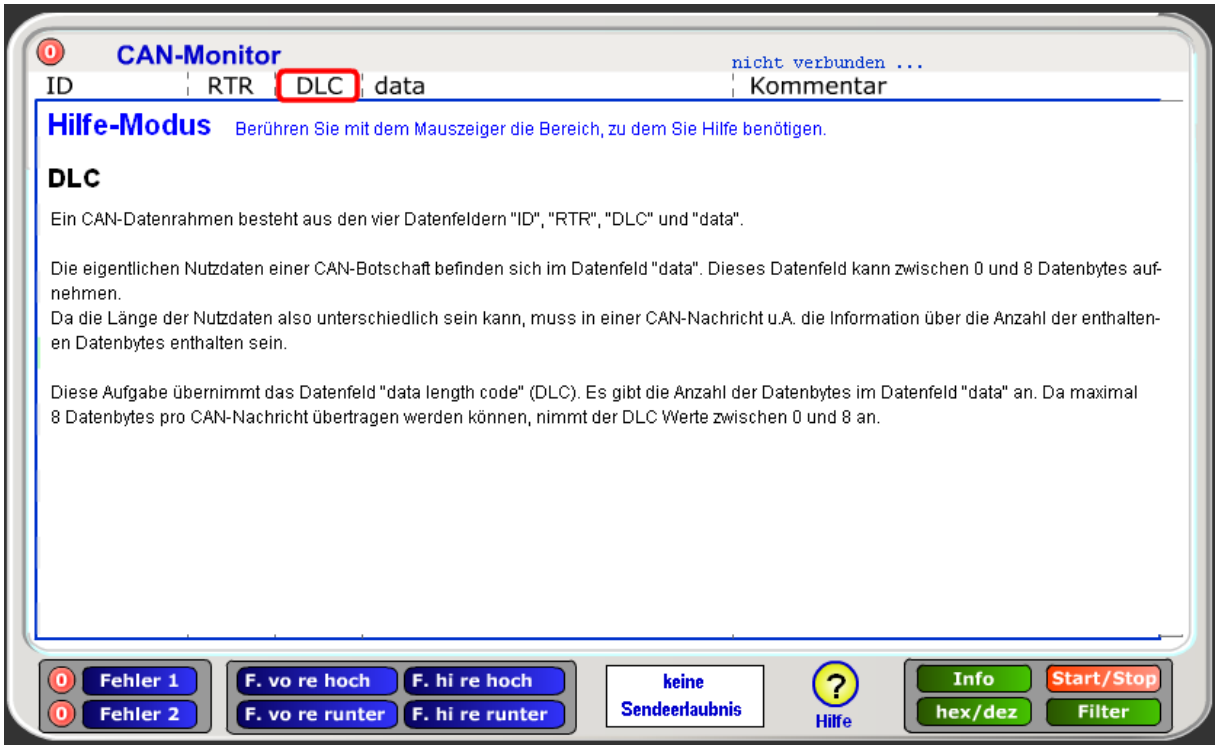
Hilfe-Text zur Start-Stop Kontrolllampe

Hilfe-Text zur Verbindungsanzeige

Hilfe-Text zum CAN-Datenfeld Identifier („ID“)



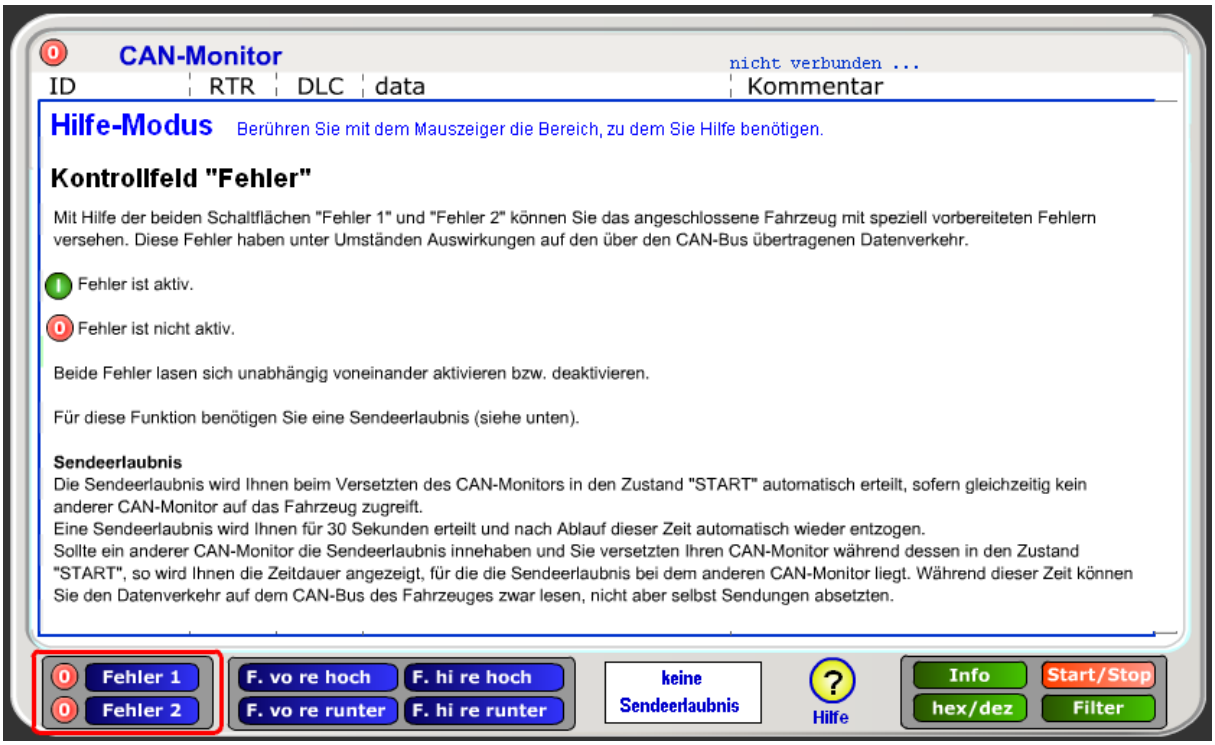

Hilfe-Text zum CAN-Datenfeld „RTR“




Hilfe-Text zum CAN-Datenfeld „DLC“

Hilfe-Text zum CAN-Datenfeld „data“

Hilfe-Text zum Kommentar



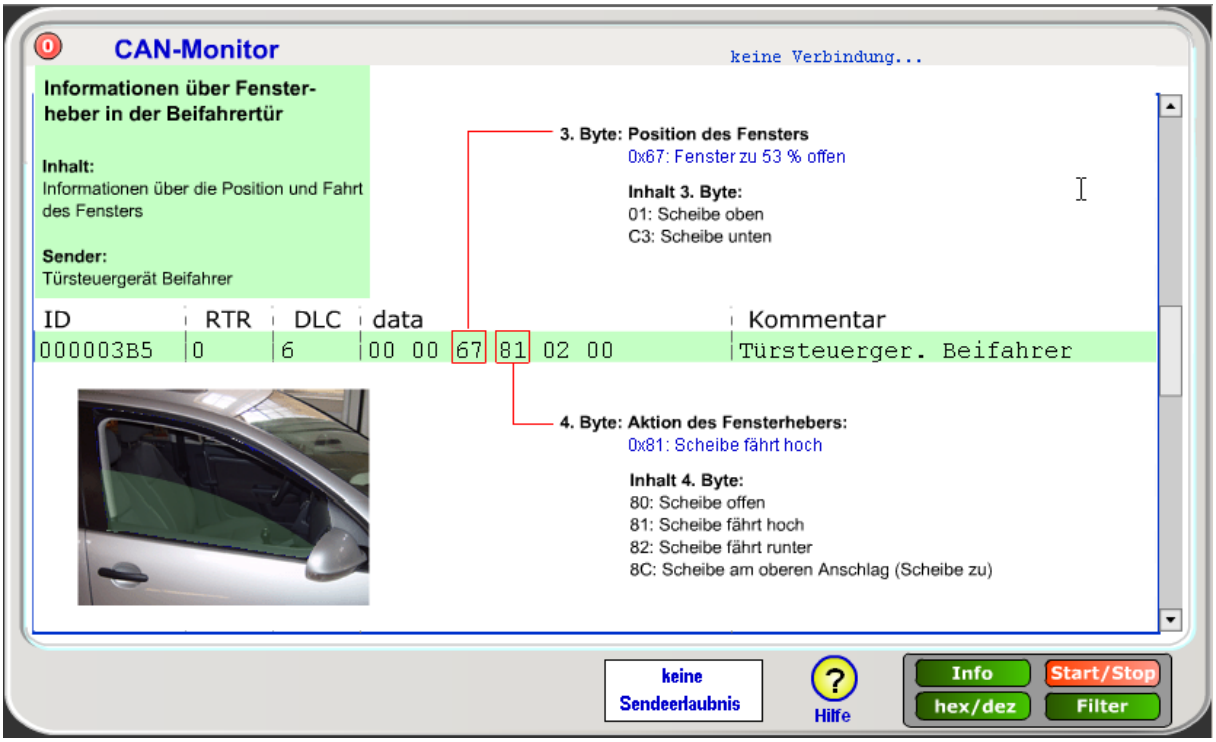

Hilfe-Text zum Kontrollfeld „Fehler“

Hilfe-Text zum Kontrollfeld „Fensterheber“

Hilfe-Text zum Kontrollfeld „Sendestatus“

Hilfe-Text zum Kontrollfeld „Steuerung“

## 8.6 Bildschirmfotos (Screenshots) des Info-Modus




Interpretation der CAN-Nachricht für den Fensterheber in der Beifahrertür

CAN-Monitor

keine Verbindung...

**Informationen über Fensterheber hinten rechts**

**Inhalt:**
Informationen über die Position und Fahrt des Fensters

**Sender:**
Türsteuergerät hinten rechts

**3. Byte: Position des Fensters**
0x00: Fenster zu 0 % offen

**Inhalt 3. Byte:**
01: Scheibe oben
C3: Scheibe unten

| ID | RTR | DLC | data | Kommentar |
|---|---|---|---|---|
| 000004BD | 0 | 6 | 00 00 00 8C 00 00 | Türsteuerger. hinten rechts |

**4. Byte: Aktion des Fensterhebers:**
0x8C: Scheibe ist geschlossen

**Inhalt 4. Byte:**
80: Scheibe offen
81: Scheibe fährt hoch
82: Scheibe fährt runter
8C: Scheibe am oberen Anschlag (Scheibe zu)

keine Sendeerlaubnis | Hilfe | Info | Start/Stop | hex/dez | Filter

Interpretation der CAN-Nachricht für den Fensterheber hinten rechts

CAN-Monitor

keine Verbindung...

**Kommandos für die Fensterheber**

**Inhalt:**
Stellung der Schalter in der Fahrertür für die Bedienung der Fensterheber

**Empfänger:**
alle Türsteuergeräte

Jedes Byte dieser CAN-Nachricht beinhaltet die Kommandos für zwei Fensterheber. Byte 1 ist relevant für die Fensterheber der Fahrer- und Beifahrertür, Byte 2 für die Fensterheber der beiden hinteren Türen.
Diese CAN-Nachricht wird von allen vier Türsteuergeräten ausgewertet. Dabei interpretiert jedes Steuergerät nur die Tetrade, die die benötigten Informationen enthält. Die anderen Tetraden werden ignoriert.

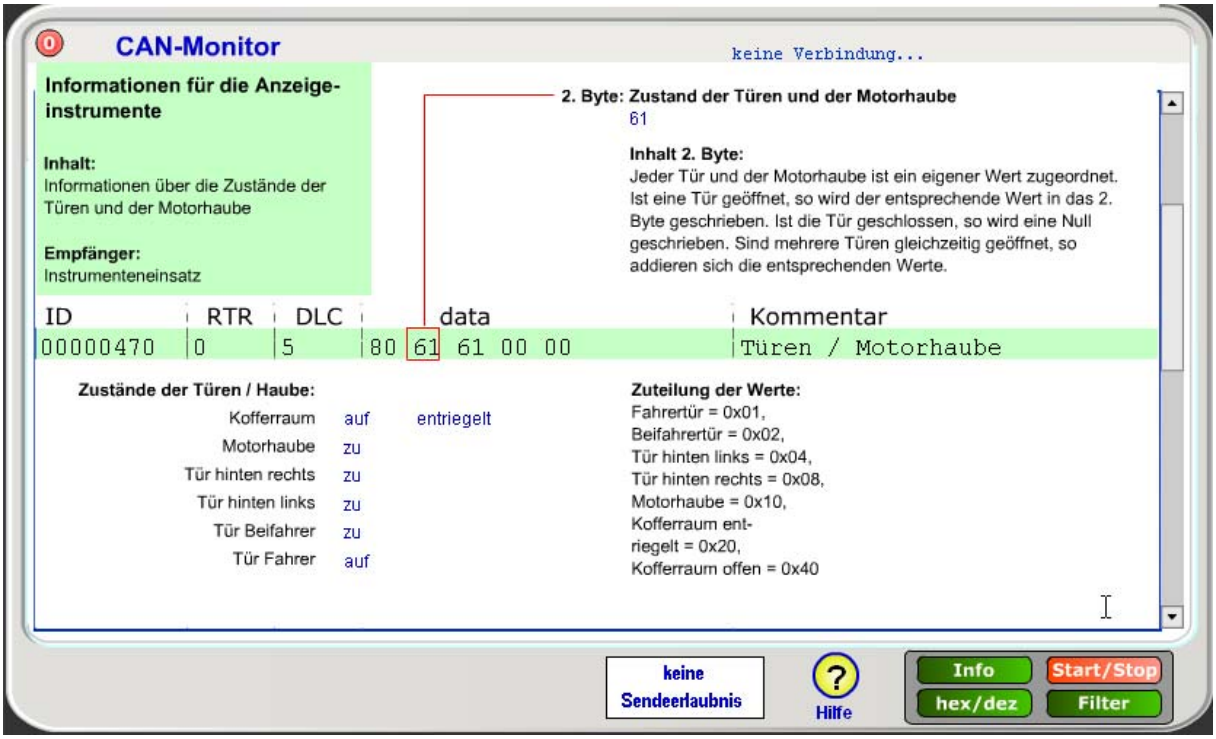
| ID | RTR | DLC | data | Kommentar |
|---|---|---|---|---|
| 00000181 | 0 | 2 | 20 00 | Kommandos Fensterheber |

| | |
|---|---|
| 2. Byte, 2. Tetrade: Fensterheber hinten links | keine Aktivität |
| 2. Byte, 1. Tetrade: Fensterheber hinten rechts | keine Aktivität |
| 1. Byte, 2. Tetrade: Fensterheber Fahrertür | keine Aktivität |
| 1. Byte, 1. Tetrade: Fensterheber Beifahrertür | ganz hoch |

**Inhalt:**
0: keine Aktivität
1: Fenster hoch
2: Fenster ganz hoch
4: Fenster runter
8: Fenster ganz runter

keine Sendeerlaubnis | Hilfe | Info | Start/Stop | hex/dez | Filter

Interpretation der CAN-Nachricht für die Kommandos für die Fensterheber




Interpretation der CAN-Nachricht für die Anzeigeinstrumente

## 8.7 Fiktive Situation / Arbeitsaufgabe

Für eine zielgerichtete Arbeit mit dem Prototyp im Rahmen des Beta-Tests wurden die Tester mit einer Situation konfrontiert, welche ihnen in Papierform wie folgt vorlag:

## 1. Beschreibung der Arbeitssituation

Herr Hansen hat bei der Fa. Autohaus Datenfeld in Flensburg einen gebrauchten VW Golf V, Baujahr 2004, mit 50.410 km gekauft. Das Fahrzeug wurde voll getankt übergeben. Einen Tag später ruft er aus dem etwa 200 km entfernten Eiderdorf bei Autohaus Datenfeld an und schildert ein Problem mit dem Fahrzeug: „Ich bin nur ca. 200 km mit dem Fahrzeug gefahren. Plötzlich zeigt die Tankanzeige einen leeren Tank an. Sogar die Reservetankanzeige leuchtet! Das Fahrzeug war doch bei der Abholung voll getankt. Der Wagen verbraucht ja viel zu viel Benzin!“ Da Herr Hansen es sehr eilig hat, schlägt Kfz-Meister Datenfeld vor, Herr Hansen solle den Golf in seinen nahe gelegenen Zweigbetrieb in Eiderdorf bringen. Dort würde man ihm sofort helfen.
Dies tut Herr Hansen. Im Zweigbetrieb untersucht KD-Meister Paul den Kraftstofftank. Er findet heraus, dass der Tank nicht leer ist, sondern zu etwa ¾ gefüllt ist. Außerdem weisen der Tank und die Kraftstoffleitungen keine Undichtigkeiten auf. Die Kraftstoffvorratsanzeige im Kombiinstrument zeigt jedoch einen Füllstand im Reservebereich an.

*Welche Ursachen kommen für den beschriebenen Fehler in Frage?*
*(bitte antworten Sie stichwortartig)*

_____
_____
_____
_____

KD-Meister Paul entscheidet, die Kraftstoffanzeige über das Internet prüfen zu lassen. Dazu schreibt er einen Auftrag mit der Bemerkung "Elektrische Anzeige für Kraftstoffvorrat über CAN-Monitor prüfen". Dann bittet er Herrn Hansen, für etwa 20 Minuten Platz zu nehmen.
Sodann ruft KD-Meister Paul Ole Petersen, Azubi im dritten Ausbildungsjahr und beauftragt ihn, die vor kurzem neu beschaffte CAN-WEB-Box an den CAN-Bus „Komfort“ in der Fahrertür in Herrn Hansens Golf und an einen Internetanschluss anzuschließen. Nachdem Ole Petersen dies erledigt hat, ruft KD-Meister Paul bei der Volkswagen-Zentrale für Ferndiagnose an. Dort wird er mit dem Servicetechniker Meier verbunden. Herr Meier leitet nun die Ferndiagnose über das Internet ein.
Nach etwa 10 Minuten ruft er bei KD-Meister Paul an und teilt ihm die Ursache für die falsche Tankanzeige mit.

*Bitte versetzten Sie sich nun in die Lage von Servicetechniker Meier und lösen Sie die folgende Arbeitsaufgabe.*

## 2. Arbeitsaufgabe

(1) Das beschriebene Fahrzeug ist mit der beschriebenen CAN-WEB-Box an das Internet-Netzwerk angeschlossen. Sie können somit mit dem vor Ihnen stehenden Rechner und dem Programm „CAN-Monitor“ jederzeit darauf zugreifen.

(2) Machen Sie sich mit dem Programm CAN-Monitor und seinen Funktionen vertraut. Nutzen Sie dazu die Funktion „Hilfe“.

**(3) Bitte beachten Sie:**

- Das Fahrzeug, das an Ihren Rechner angeschlossen ist, **unterscheidet** sich vom dem in der Arbeitssituation beschriebenen Golf V nur in folgenden Punkten:
- Das Fahrzeug, mit dem ihr Rechner verbunden ist, arbeitet **ohne** einen **Fehler**.
- Wenn Sie den in der Arbeitssituation beschriebenen Fehler der Tankanzeige **aktivieren** wollen, so müssen Sie dies **im CAN-Monitor einstellen**. Aktivieren Sie hierzu im CAN-Monitor den „**Fehler 2**“! Der Fehler wird **erst dann** im Fahrzeug zugeschaltet.
- Tun Sie dies nicht, so arbeitet das Fahrzeug **ohne Fehler**.

(4) Entwickeln Sie einen Plan, wie Sie die Prüfung durchführen und finden Sie heraus, wie das Programm „CAN-Monitor“ Sie bei der Prüfung unterstützt.

(5) Führen Sie die Prüfung durch und beantworten Sie die folgenden Fragen auf dem nächsten Blatt.

Sie können das auf Ihrem Rechner installierte Lernprogramm „Datenverarbeitung im Kraftfahrzeug“ und die zusätzlichen Informationen jederzeit nutzen, wenn Sie dies möchten.

Wenn Sie Schwierigkeiten bei der Planung der Prüfung haben, so lesen Sie sich die Seite „Anleitungen zur Fehlersuche mit dem CAN-Monitor“ aufmerksam durch. Hier finden Sie eine konkrete Anleitung.

## 3. Ergebnisse

Halten Sie bitte auf diesem Blatt Ihre Ergebnisse fest.

1. Wie viel km ist Herr Hansen tatsächlich seit dem Kauf mit dem Fahrzeug gefahren?

   _____

2. Stimmt die Vermutung von Herrn Hansen, dass der Wagen auf der gefahrenen Strecke deutlich zu viel Kraftstoff verbraucht hat?

   _____

3. Ist das Anzeigeinstrument im Cockpit in Ordnung (mit aktiviertem „Fehler 2“)?

   _____

4. Ist der Tankfüllstandsgeber (Schwimmer) in Ordnung (mit aktiviertem „Fehler 2“)?

   _____

5. Arbeitet der CAN-Bus einwandfrei (mit aktiviertem „Fehler 2“)?

   _____

6. Welches Ergebnis hat Servicetechniker Meier KD-Meister Paul mitgeteilt?

   _____
   _____
   _____

7. Wie hat er das festgestellt?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

## 8.8 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Burgmer danke ich für die Vergabe des Themas und für die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit und der damit verbundenen Entwicklung des Prototyps.

Weiterer Dank gilt Hr. Prof. Dr. Theuerkauf für die Übernahme eines Gutachtens.

Besonderer Dank gilt Hr. Lausen und Hr. Kuetemann von der Handwerkskammer Flensburg sowie allen Probanden, welche sich auf freiwilliger Basis für das Testen des Prototyps zur Verfügung gestellt haben.

Ebenso danke ich Hr. Dr. Raimer für zahlreiche Anregungen und die Unterstützung bei der Erstellung des Prototyps.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und meiner Lebenspartnerin bedanken, die mich immer unterstützt und motiviert haben.