

# Einleitung

## Motivation

Die Summe an Funktionen in modernen Fahrzeugen nimmt deutlich zu. Diese Zunahme bringt eine Vielzahl an Meldungen mit sich, die Informationen für den Fahrer bereithalten und in Form von optischen Ausgaben ausgeben. Je nach Ausstattung sind über 100 Meldungen oder Warnhinweise möglich und mit jedem neuen System nimmt diese Zahl überproportional zu.

Bevor auf die Auswirkungen dieser Informationsvielfalt eingegangen wird, sollen die folgenden Zeilen die gesellschaftlichen und technischen Einflüsse der Automobilentwicklung darstellen und die wachsende Anzahl an Systemmeldungen im Fahrzeug erklären.

Im Wesentlichen haben drei gesellschaftliche Entwicklungen der letzten Jahrzehnte den Fortschritt der Automobilindustrie vorangetrieben.

Zum Einen hat sich das Grundbedürfnis der *Mobilität* mit Zunahme der Technisierung immer stärker ausgeprägt. Die Möglichkeiten, an ferne Orte zu reisen, neue Kulturen zu entdecken oder seinen Lebensmittelpunkt zu verlegen, sind mit heutigen Mitteln sehr leicht zu realisieren. Frank formuliert prägnant, dass immer mehr Menschen immer mehr reisen [FRANK 1997]. Er hält ebenso fest, dass diese Fortbewegung nach Möglichkeit komfortabel und kräfteschonend stattfinden soll.

Damit verweist er auf die gestiegenen *Komfortansprüche* der Gesellschaft. Von technischen Neuentwicklungen wird eine Steigerung der Performanz und Effektivität erwartet. Das Automobil ist hierfür eines der besten und umfangreichsten Beispiele. Kaum ein anderes Produkt spannt seine Anwendungsgebiete dermaßen weit, von reinem Gebrauchsgegenstand bis hin zum Luxus- und Prestigeobjekt. Die Abgrenzung der unterschiedlichen Klassen erfolgt, abgesehen von Motorleistungsdaten, in erster Linie über eine Zunahme an Komfort in allen Ausprägungen. Beginnend mit den Fahrzeugmaßen, die ein größeres Platzangebot bedeuten, eine aufwendigere Achskonstruktion, die sowohl den Schwingungskomfort als auch fahrdynamische Eigenschaften grundlegend beeinflusst, über die Ausgestaltung des Interieurs, beispielsweise Sitzschäumung oder die verwendeten Materialien, bis hin zu Bediensystemen - die Abgrenzung von höherwertigen Fahrzeugen erfolgt über Komfortaspekte.

Das letzte angesprochene Beispiel zielt auf die dritte, soziokulturelle Randbedingung ab. Seit dem Ende des letzten Jahrhunderts befinden wir uns je nach Autor im bzw. im Über-

gang zum sogenannten *Informationszeitalter*. Diese Gesellschaftsform ist dadurch charakterisiert, dass nicht mehr das Materielle der essenzielle Bestandteil der Wertschöpfung ist, sondern Software mit ihrer integrierten Logik und Intelligenz diese Rolle übernimmt. Des Weiteren ist die Möglichkeit, an nahezu jede gewünschte Information via unterschiedlicher Kommunikationsformen zu gelangen, ein Merkmal des aktuellen Gesellschaftssystems.

Unter diesen Einflüssen haben sich moderne Autos dahin entwickelt, dass ihre Funktionalität nur mehr mit komplexen Steuergeräten realisierbar ist. Als Beispiele seien hier die Motor- oder ESP-Steuergeräte angeführt.

Die Zunahme der Systeme in modernen Fahrzeugen hat zur Folge, dass der Fahrer neben seiner aktiven Rolle als Fahrzeugführer auch eine Systemüberwachungsaufgabe erfüllen muss. Diese Monitoringaufgabe gab es zwar schon in den ersten Automobilen, aber die Ausprägung hat sich grundlegend verändert. Moderne Systeme überwachen sich mittlerweile selbst und stellen auftretende Fehler oder undefinierte Zustände fest. Dies muss dem Fahrer eindeutig mitgeteilt werden, damit dieser die richtige Reaktion einleitet. So ist die mögliche Anzahl der Status-, Fehler- oder Hinweismeldungen mit Zunahme der Funktionen und Systeme exponentiell gestiegen. Dieser Trend setzt sich weiterhin fort, da in jeder neuen Fahrzeuggeneration neue potenzielle Meldungsquellen implementiert werden. Durch den Einzug der Kommunikationselektronik im automobilen Umfeld verstärkt sich diese Tendenz. War es zu Beginn nur ein Autotelefon mit Kabel, werden heute verschiedenste Geräte mit Bluetooth-Anbindungen, Navigationssysteme und Internetverbindungen angeboten. Die aktuelle Entwicklung stellt in Aussicht, dass in naher Zukunft die sogenannte *Car-2-X-Technologie* zum Serieneinsatz kommen wird. Hierbei handelt es sich um drahtlose Verbindungen vom eigenen Fahrzeug zu anderen Fahrzeugen, Verkehrsleiteinrichtungen oder Gebäuden, um Informationen auszutauschen. Demnach eine weitere Technologie, die dem Fahrer im Fahrzeug eine Vielzahl an Informationen darbietet.

Bei all diesen Informationen darf nicht vergessen werden, dass der Fahrer in erster Linie das Fahrzeug sicher durch den Verkehr führen soll. Wird er dabei in ungünstigen Situationen gestört, kann ihn das ablenken und so seine Fahrleistung negativ beeinflussen. Auf dieser Überlegung setzt die vorliegende Arbeit auf.

Es wird die Frage geklärt, ob sich Meldungen negativ auf den Fahrer auswirken und wie sich solche Situationen im Fahrzeug, unter Berücksichtigung der technischen und individuellen Randbedingungen, verhindern lassen. Die Optimierung der Informationszirkulation im Fahrzeug stellt eine Komfortzunahme und einen möglichen Sicherheitsgewinn in Aussicht.

## Vorgehen

An die formulierte Fragestellung wird folgendermaßen herangegangen. In Kapitel 1 werden die notwendigen Grundlagen des Prozesses der Fahrzeugführung erläutert. Anhand eines Regelkreismodells wird das Zusammenspiel von Fahrer, Fahrzeug und den vorherrschenden Umweltbedingungen erläutert. Dabei werden die für das Verständnis der Arbeit notwendigen Grundlagen zur menschlichen Wahrnehmung, der Bedienung des Fahrzeugs und die Auswirkung auf dessen Fahrdynamik sowie Umwelteinflüsse dargestellt. Im Anschluss folgt eine Einführung in die Thematik Fahrerunterstützung. Anhand von Beispielen werden Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsysteme erklärt und voneinander abgegrenzt. Der Fokus dieser Arbeit wird auf Fahrerinformationssysteme gelenkt.

Es folgt im Kapitel 2 ein Überblick über bestehende Forschungen und Systeme, die mit der Fragestellung verwandt sind beziehungsweise gewinnbringende Anregungen geben. Aktivitäten bei verschiedenen Fahrzeugherstellern, Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen werden analysiert und verglichen. Dabei wird der neue Ansatz, den diese Arbeit verfolgt, dargestellt.

Am Ende des Kapitels wird in der Zusammenfassung der bis hierhin gewonnen Erkenntnisse die Problemstellung der ungefilterten Informationsweitergabe vom Fahrzeug an den Fahrer herausgearbeitet. Es werden im Rahmen der konzeptionellen Vorgehensweise die Hypothesen gebildet, deren Untersuchung im Zentrum der weiteren Kapitel steht.

Kapitel 3 zeigt anhand einer Fahrsimulatorstudie die Notwendigkeit einer situationsabhängigen Filterung von Meldungen. Die allgemeinen Fahrerreaktionen auf Meldungen in einem Kombi-Instrument werden dargestellt und Schlussfolgerungen abgeleitet, welchen Nutzen ein zeitlich-situatives Informationsmanagement erzielen kann.

Mit der Realisierung dieses Informationsmanagements beschäftigt sich Kapitel 4. Es werden die Ziele und Erwartungen an das System formuliert und die Randbedingungen aufgezeigt. Es folgt eine Skizzierung des Konzeptes mit der Erläuterung der Kernelemente. Hierzu gehört eine Fragebogenstudie, die klärt, welche Situationen von Autofahrern als beanspruchend empfunden werden und somit potenziell für eine Manipulation des Informationsflusses vom Fahrzeug zum Fahrer geeignet sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen den Grundstein für das *Modell der Aufmerksamkeitsbeanspruchung*. Hierbei wird mittels eines Bayes'schen Netzes eine Situationseinschätzung und darauf aufbauend die benötigten Ressourcen des Fahrers in Form von beanspruchter Aufmerksamkeit modelliert.

Es folgt in Kapitel 5 die Beschreibung eines Prototypenaufbaus in einem Fahrzeug, das die gewünschte Funktionalität aufweist. Das System wird in einer Feldstudie validiert. Dabei werden die möglichen positiven Effekte des Informationsmanagements untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen als Optimierungsmaßnahmen in das bestehende System ein und vervollständigen dieses.

Im Folgenden wird das bestehende System mit weiteren, nicht serienmäßigen Funktionen

erweitert, um so die zu erwartenden Verbesserungen zu untersuchen. Dazu gehören ein Licht- und ein Regensensor sowie Informationen aus dem Navigationssystem. Es folgt eine Diskussion über den Nutzwert der Erweiterungen.

Zum Abschluss wird die Arbeit zusammengefasst und auf die zu Beginn gestellten Fragen eingegangen. In der Diskussion wird das Potenzial und der Nutzen einer zeitlich-situativen Informationsfilterung analysiert und ein Fazit abgegeben. Des Weiteren werden die Möglichkeiten zusätzlicher Sensorik und die Nutzung von Systemfusionen in Ausblick gestellt und die mögliche Steigerung der Performanz diskutiert.

## Randbedingungen

Der Fokus der Arbeit liegt auf der Konzeption und Validierung eines Systems zur zeitlich-situativen Informationsfilterung in Serienfahrzeugen. Deshalb wurde zu Beginn festgelegt, dass die verwendeten Technologien in heutigen Serienfahrzeugen verfügbar oder verbaut sein müssen. Es wird zwar ein Technologiescreening durchgeführt und in Aussicht gestellt, was für Systeme oder Funktionalitäten in zukünftigen Fahrzeugen verfügbar sein werden, für die Umsetzung des Informationsmanagers wird auf diese jedoch verzichtet. Für weiterführende Arbeiten wird allerdings berücksichtigt, dass eine Modularität gewährleistet wird, um das Ergebnis dieser Arbeit mit neuen Erkenntnissen und Technologien erweitern zu können.

Ebenfalls wurde bei dem verwendeten Versuchsfahrzeug auf Zusatzaufbauten verzichtet. Alle Informationen sind direkt vom Fahrzeug-CAN abgegriffen und nicht manipuliert.

Das gewählte Konzept wurde gezielt einfach ausgelegt, um eine ressourcensparende Implementierung in ein Fahrzeugsteuergerät zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang werden im Zweifelsfall pragmatische Ansätze bevorzugt, wenn aus komplexen Berechnungen keine merklichen Verbesserungen der Funktionalität zu erwarten sind.

Diese seriennahe Ausrichtung ermöglicht es, das Potenzial eines solchen Systems zu erforschen und die Ergebnisse direkt auf den realen Straßenverkehr zu übertragen.

# Kapitel 1

## Das Führen eines Fahrzeugs

*Wie steuert der Fahrer das Fahrzeug durch Umwelt und Verkehr?*

Um diese Frage zu beantworten, wird in diesem Abschnitt ein Regelkreis, der Mensch, Fahrzeug und Umwelt umfasst, genauer betrachtet. Dieser stellt das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten dar und veranschaulicht in vereinfachter Form den Prozess „Autofahren“.

### 1.1 Der Mensch-Maschine-Umwelt-Regelkreis

Es bestehen verschiedene Ansätze, um den komplexen Vorgang des Autofahrens in einem Modell abzubilden. Vorrangig wird in einem Regelkreis der Zusammenhang zwischen Fahrerabsicht und Fahrzeugtrajektorie hergestellt. Beispielsweise bildet Huang in einem solchen Regelkreis den Fahrer als Regler und das Fahrzeug als Regelstrecke ab [HUANG 2003]. In [SCHWEIGERT 2002] wird zusätzlich der Faktor Umwelt als Störgröße berücksichtigt. In Abbildung 1.1 auf der nächsten Seite ist der für diese Arbeit adaptierte Regelkreis dargestellt.

Motiviert durch die Fahraufgabe, regelt der Fahrer das Fahrzeug. Maßgebliche Informationen über Umwelt und die Rückmeldung seines Fahrzeugs nimmt er über seine Sinneskanäle auf. Seine Aktivitäten an den jeweiligen Stellteilen, dem Lenkrad, Gas-, Brems- und Kupplungspedal als auch Schaltknäuf, rufen eine entsprechende Fahrzeugreaktion hervor. Im Abschnitt 1.1.4 auf Seite 19 wird auf das Fahrverhalten genauer eingegangen. Das Fahrzeug setzt diese Befehle in Form von Änderungen in seiner Quer- oder Längsdynamik um. Als Ergebnis stellt sich eine Fahrzeugtrajektorie ein, entlang der sich das Fahrzeug bewegt. In seiner Funktion als Regler überprüft der Fahrer diese Trajektorie, prognostiziert ein zeitnahes Szenario der Situation und entscheidet so über Korrekturmaßnahmen oder einen Strategiewechsel wie z.B. einen Abbiegevorgang oder ein Überholmanöver.<sup>1</sup> Sowohl das wahrgenommene als auch das prognostizierte Szenario setzen sich aus der Position des Egofahrzeugs, der Relativposition der weiteren Verkehrsteilnehmer sowie den Randbedingungen der Infrastruktur zusammen. Darunter fallen z.B. der Straßenverlauf, Verkehrsleitanlagen und Geschwindigkeitsbegrenzungen. Weitere entscheidende

---

<sup>1</sup>Für eine ausführliche regelungstechnische Analyse des Regelkreises, insbesondere dem Fahrer als Regler, wird auf [HUANG 2003], Seite 75ff, verwiesen.

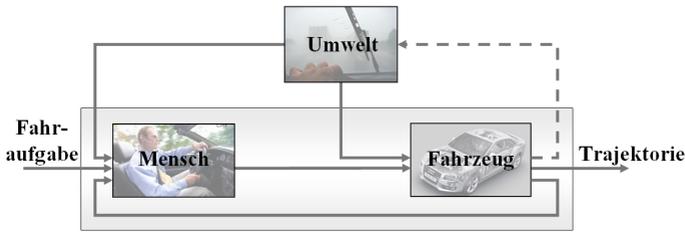


Abbildung 1.1: Regelkreis Mensch-Fahrzeug-Umwelt

Einflussparameter sind Umweltfaktoren wie Licht- und Witterungsverhältnisse. Diese beeinflussen sowohl die menschliche Wahrnehmung (Sichtweite, Streuung und Reflexionen des Lichts an Wassertropfen, etc.) als auch die Grenzen der Fahrphysik, innerhalb derer ein sicheres Fahren möglich ist. Darüber hinaus beeinflusst der Fahrer selbst mit seinen Aktionen die Umweltparameter. Allein durch seine Präsenz veranlasst er andere Verkehrsteilnehmer zu Handlungen und Fahrmanövern, die sich wiederum auf sein Fahrverhalten auswirken. Diese Rückkopplung ist in Abbildung 1.1 mit dem strichlierten Pfeil dargestellt.

Diese kurze und allgemeine gehaltene Beschreibung des Regelkreises stellt das Prinzip der Modellierung der Fahrzeugführung dar. Die folgenden Abschnitte beschreiben die einzelnen Komponenten des Regelkreises genauer und bilden die notwendigen theoretischen Grundlagen zum Verständnis dieser Arbeit.

### 1.1.1 Fahraufgabe

Die Beschreibung der Fahrzeugführung ruft mit den komplexen Zusammenhängen von Motivation, der Wahrnehmung und Interaktionsprozessen seit mehreren Jahren viele verschieden Forschungsaktivitäten hervor. Einen Überblick der Thematik und ausgewählter Literatur fassen Jürgensohn et. al. zusammen [JÜRGENSOHN 2001]. Timpe beschreibt dabei die verschiedenen Ansätze, die sich sowohl mit der Informationszirkulation im Fahrer-Fahrzeug-System als auch mit der Interaktion, der Handlung und Wahrnehmung befassen [TIMPE 2001]. Die Ausführungen in diesem Kapitel greifen einige der Ansätze auf und führen diese im Sinne des Gesamtverständnisses fort.

Zu Beginn einer jeden Autofahrt steht ein sogenanntes Missionsziel. Dieses Missionsziel beruht auf der Motivation, auf Grund der ein Fahrer ein Fahrzeug von einem Ausgangsort zu einem Zielort fährt. Bei [THEIS 2002] werden solche Fahrten in die Typen „Dienstfahrt“ (Fahrt zu einem Termin, Transportfahrt, ...) und „Freizeitfahrt“ (Einkaufsfahrt, Wochenendausflug, ...) unterteilt. Diese Missionen sind stets Randbedingungen unterworfen. Dazu gehören beispielsweise ein zeitlicher Horizont (z.B. Termindruck), ein möglichst geringer Verbrauch (Treibstoff sparen) oder auch die Bevorzugung einer ländlichen Strecke, um die Aussicht zu genießen. Zur Erfüllung der Mission lässt sich ein Handlungsplan formulie-

ren. Dieser wird im Allgemeinen „Fahraufgabe“ genannt. Hierbei wird zwischen *primärer*, *sekundärer* und *tertiärer* Fahraufgabe unterschieden [BUBB 2004].

Unter der primären Fahraufgabe versteht man alle Aufgaben, die mit dem Halten des Fahrzeugs auf der Straße zu tun haben. Hierzu gehören z.B. das Lenken und das Bremsen. Die Sekundäraufgabe umfasst alle Handlungen, die sich aus den Verkehrsregeln, den Verkehrs- und den vorherrschenden Umweltbedingungen ergeben. Darunter fallen Handlungen wie Blinken, Wischer betätigen, Einlegen des Gangs etc. Die tertiäre Fahraufgabe ist im engen Sinn keine richtige Fahraufgabe, da das Fahrzeug auch ohne diese Aktivitäten sicher ans Ziel kommt. Sie dient mehr zur Befriedigung von Komfort-, Informations- und Kommunikationsbedürfnissen. Als Beispiele sind hier das Wechseln des Radiosenders, die Aktivierung der Sitzheizung und das Telefonieren zu nennen.

Für weitere Betrachtungen lassen sich die primären und sekundären Aufgaben noch in weitere Kategorien bzw. Hierarchieebenen einteilen. Diese Hierarchieebenen erlauben eine Betrachtung der Handlungen von einer Makro- bis Mikroebene in der Reihenfolge: Navigation, Führung und Stabilisation [BUBB 2004]. Die erste Ebene, Navigation, ist unabhängig von Fahrzeug und dessen Eigenschaften, denn darin werden alle Tätigkeiten zur Planung einer Strecke zusammengefasst. Dazu gehört die Benutzung von Navigationssystemen bzw. Karten, das Erkennen und Befolgen von Wegweisern sowie die Beachtung des Verkehrsfunks. Diese Handlungen und Entscheidungen sind schon frühzeitig möglich und können langfristig wirken (Makroebene). Die Führungsebene umfasst die Handlungen, die zur Bahnführung im unmittelbaren Umfeld notwendig sind. Das sind die Auswahl der geeigneten Fahrspur, das gezielte Ansteuern eines freien Parkplatzes sowie das Reagieren auf Fahrmanöver der anderen Verkehrsteilnehmer. Die Stabilisierungsebene hingegen beinhaltet Aktivitäten zur Spurhaltung, Abstandshaltung und alles, das einen stabilen Zustand des Fahrzeugs gewährleistet (Mikroebene).

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Einfachheit halber unter dem Begriff „Fahraufgabe“ die Summe bzw. das Zusammenspiel aller Untertypen zusammengefasst.

Die Fahraufgabe stellt die Eingangsgröße (Führungsgröße) für den Prozess der Fahrzeugführung dar. Um die Fahraufgabe so gut wie möglich erfüllen zu können, bedient der Fahrer die unterschiedlichen Stellteile seines Fahrzeugs. Mit seinen individuellen Fähigkeiten führt der Fahrer kognitive Prozesse aus, die von Rasmussen im sogenannten *Drei-Ebenen-Modell* (auch bekannt unter dem Namen *Rasmussen-Leiter*) unterteilt wurden [RASMUSSEN 1983]. Rasmussen untersuchte die Fragestellung, wie sich Menschen verhalten, um ein Ziel zu erreichen. Als Ergebnis formulierte er drei unterschiedliche Verhaltensweisen: fertigkeitbasiert, regelbasiert und wissensbasiert.

Unter fertigkeit- bzw. verhaltensbasierten Aktionen sind hoch automatisierte Handlungen zu verstehen, die auf fest vorgeprägten, sensumotorischen Koordinationen basieren. Diese können unbewusst vollführt werden und benötigen keine willentliche Steuerung. Als Auslöser dieser Handlungen reichen teilweise einzelne Reize. Diese lösen weitere Reizsi-

Verarbeitungs- niveau Aufgabe		Benötigte Zeit		
		Verhaltensbasiert <200ms	Regelbasiert Sekunden bis Minuten	Wissensbasiert Minuten bis Stunden
Zur Verfügung stehende Zeit	Planen z.B. <b>Navigation</b> (Minuten bis Stunden)	Tägliche Strecke	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Orientieren in fremder Stadt
	Programmieren und Handeln z.B. <b>Führen</b> (Sekunden bis Minuten)	Abbiegen an bekannter Kreuzung	Überholen anderer Fahrzeuge	Fahren auf eisiger, rutschiger Fahrbahn
	Beobachten und Regeln z.B. <b>Stabilisieren</b> (Sekunden)	Fahren um Kurve	Fahren mit einem unbekanntem Fahrzeug	Fahrschüler in der Fahrschule

Abbildung 1.2: Handlungsebenen

tuationen aus und setzen so den Automatismus weiter fort.

Bei regelbasiertem Verhalten muss der Akteur die relevanten Bestandteile der Situation erst erkennen und analysieren, bevor er ebenfalls mittels gelernter Automatismen die Handlungen durchführt. Hierbei besteht jedoch noch die Möglichkeit der Anpassung einzelner Teilschritte an die jeweilige Situation. Es sind also gewisse Regeln bekannt und erlernt, mit denen man in spezifischen Situationen agiert, diese müssen aber gegebenenfalls noch angepasst werden. Ein Beispiel hierfür ist das Rückwärtsfahren mit einem Leihwagen. Prinzipiell weiß man, wie ein Gang einzulegen ist, aber man muss sich vorher vergewissern, an welcher Stelle in der Schaltkulisse sich der Rückwärtsgang befindet.

Fehlen erlernte Verhaltensprogramme, kommt das wissensbasierte Verhalten zum Tragen. Dabei muss erst durch vorhandenes Wissen die Strategie und Umsetzung der Zielerreichung erarbeitet werden. Dörner beschreibt wissensbasiertes Verhalten als die Neukomposition eines Verhaltensprogramms zur Lösung neuer Probleme [DÖRNER 2001].

Der Name Rasmussen-Leiter kommt daher, dass man mit einer (Reaktions-)Handlung stets in der untersten (verhaltensbasierten) Ebene beginnt und bei Nichterreichen des Ziels eine Ebene höher steigt, analog einer Leiter. In Abbildung 1.2 sind exemplarisch Beispiele der Handlungsebenen beim Autofahren angeführt. Zudem sind diese in Zusammenhang mit der zeitlichen Komponente dargestellt (nach [BUBB 2004]).

Am Beginn eines dieser Verhaltensschemata stehen unterschiedliche Reize, die eine aktuelle Situation repräsentieren. Wie der Mensch diese Reize aufnimmt und welche für die Fahrzeugführung von besonderer Bedeutung sind, wird im folgenden Kapitel dargestellt.

## 1.1.2 Sensorische Wahrnehmung

Der Mensch ist kein passiver Empfänger sondern ein aktives, dynamisches System, das Informationen mit großer Flexibilität aufzusuchen, aufzunehmen, zu verarbeiten und umzusetzen vermag. Die Summe der aufgenommenen und verarbeiteten Reize gibt dem Menschen ein aktuelles Bild der Umgebung. Diese Informationen sind für die Orientierung und die Fortbewegung mit einem Fahrzeug zwingend notwendig.

Es bestehen mehrere Modelle zur Beschreibung der Informationsverarbeitung des Menschen. Hier wird auf das Modell von Rasmussen eingegangen. Dieses postuliert zwei Verarbeitungszentren, ein bewusstes und ein nicht-bewusstes. Das bewusste Verarbeitungssystem kontrolliert die Verarbeitung von Informationen, Improvisation und logisches Schlussfolgern. Das zweite System ist als nicht bewusstseinspflichtig und automatisiert beschrieben. Es ist ein verteiltes und parallel arbeitendes System zur Koordinierung der Wahrnehmung und zur dynamischen Darstellung dieser Informationen in einem inneren Weltmodell. Darauf aufbauend werden motorische Systeme gesteuert. Nicht die internen Vorgänge, aber das Ergebnis der Verarbeitung in diesem System kann vom ersten System bewusst überwacht und kontrolliert werden [MUTHIG 1990].

Im Folgenden werden die einzelnen Sinneskanäle besprochen. Im Anschluss an die Erläuterungen erfolgt eine Zuordnung und Gewichtung der einzelnen Sinne zur Fahrzeugführung.

### 1.1.2.1 Der visuelle Sinneskanal

Dieser Abschnitt bietet einen prinzipiellen Überblick über den visuellen Sinneskanal. Dabei werden der Aufbau des Auges, die Informationsverarbeitung und die Besonderheiten für das Autofahren beschrieben. Für einen detaillierten Einblick in diese komplexe Thematik sei an dieser Stelle auf Fachliteratur wie [SCHÖBER 1960] oder [PAPPROTTA 1999] verwiesen.

Nach Rockwell entfallen auf den optischen Kanal ca. 90% des wahrgenommenen Informationsanteils [ROCKWELL 1972]. Diese Sonderstellung ist darin bedingt, dass das Auge eine geometrische Repräsentation der Umgebung abbilden kann. Des Weiteren ist das Auge in der Lage, Objekte über eine gezielte Ausrichtung wahrzunehmen. Diese sog. selektive Aufmerksamkeit führt Informationen aus der Umwelt der bewussten Wahrnehmung zu. Eine solche Fähigkeit kommt dem Fahrer im Speziellen bei der Lokalisation und Entfernungsschätzung von Hindernissen oder potenziell kritischen Situationen zu Gute.

**Der Aufbau des Auges** Der prinzipielle Aufbau des Auges ist in Abbildung 1.3 auf der nächsten Seite dargestellt. Die Hauptbestandteile sind die Linse, der Glaskörper und die Netzhaut (Retina). Auf der Netzhaut befindet sich die Netzhautgrube (Fovea centralis). Nur hier ist ein scharfes Sehen möglich. Der restliche Bereich der Netzhaut ist das sogenannte periphere Sehsystem, mit dem die Umwelt nur unscharf wahrgenommen werden kann. Auf diesen Umstand wird weiter unten noch eingegangen.

Die Tatsache, dass das menschliche Auge nur einen kleinen Teil des Gesehenen scharf wahrnimmt, war bereits Leonardo da Vinci bekannt. Er zeigte, dass das Auge in der Pe-

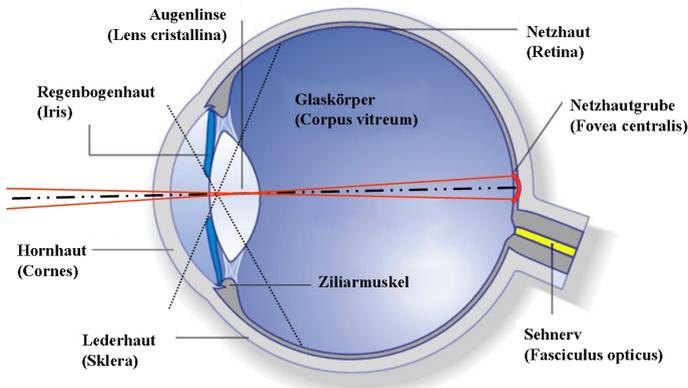


Abbildung 1.3: Aufbau des menschlichen Auge

riperie einen Sehwinkel von über  $180^\circ$  aufweist, man aber nur auf der Zentrallinie scharf sehen kann (nach [HUNZIKER 2006]). Diese Zentrallinie wird heute zentrale Sehachse genannt und ist die Verbindung zwischen der Linsenmitte und der Fovea Centralis. Die Fovea erstreckt sich in einem Bereich von  $2^\circ$  Kegelwinkel um den Schnittpunkt der zentralen Sehachse und der Netzhaut.

Das Sehen wird mit Hilfe der Sehzellen, Stäbchen und Zäpfchen, realisiert. Fällt ein visueller Reiz auf die Retina, nehmen diese die helligkeitssensitiven Stäbchen im peripheren und die farbsensitiven Zäpfchen im fovealen Bereich auf. Auf eine genauere Beschreibung der weiteren Zellen und Schichten der Netzhaut wird an dieser Stelle verzichtet. Soviel sei erwähnt, dass es Bipolarzellen, Horizontalzellen, Amakrinzellen und Ganglienzellen gibt, die zur Verbindung der Stäbchen und Zäpfchen dienen. Betrachtet man die Verteilung der Sehzellen auf der Netzhaut genauer, erkennt man den parafovealen Bereich zwischen den fovealen und peripheren Regionen. Dieser erstreckt sich in etwa bis zu einem Kegelöffnungswinkel von  $10^\circ$  und umfasst den Bereich, in dem die Anzahl der Zapfen abnimmt. Bei einem Lichteinfall jenseits dieser  $10^\circ$  sind auf Grund der geringen Zäpfchenanzahl ein scharfes Sehen und in zunehmendem Maße auch ein Farbsehen nicht mehr möglich. Wie sich diese Eigenheit des Auges auswirkt, versucht die Abbildung 5.10 auf Seite 137 in Kapitel 5 darzustellen.

Eine Besonderheit stellt der sog. „Blinde Fleck“ dar. Dieser befindet sich bei der Mündung des Sehnervs in die Retina. Da in diesem Bereich keine Stäbchen und Zäpfchen vorhanden sind, ist hier kein Sehen möglich.

**Optische Wahrnehmung** Die Weiterleitung dieser Reize erfolgt über den Sehnerv. Dabei ist zu beachten, dass das sogenannte Gesichtsfeld geteilt wird und die jeweiligen Hälften in eigenen Sehzentren verarbeitet werden. So werden für jedes Auge die wahrgenommenen