

2 Der Mensch als Fahrer

Um die im Zuge der Automatisierung immer komplexer werdende und veränderte Mensch-Fahrzeug-Interaktion besser deuten zu können, werden nachfolgend die visuellen, kognitiven und motorischen Prozesse der manuellen Fahrzeugführung näher betrachtet. Hauptbestandteile sind dabei die Einflussfaktoren für ein adäquates Fahrerverhalten, die Informationsaufnahme (Abschnitt 2.1.1), die Informationsverarbeitung (Abschnitt 2.1.2) sowie die Überführung der Informationen in eine Handlung (Abschnitt 2.1.3). In dieser Darstellung wird sich auf die manuelle Fahrt konzentriert. Der Übertrag auf die veränderten Aufgaben des Fahrers bei der Interaktion mit einem teilautomatisierten System wird in Kapitel 4 vorgenommen.

2.1 Einflussfaktoren für ein adäquates Fahrverhalten

Die wichtigsten Einflüsse sind Eingangsgrößen der visuellen und kognitiven Prozesse des Menschen, ohne die eine Fahrzeugführung nicht möglich wäre. Über die Wahrnehmung der Umwelt werden dabei Informationen aufgenommen, die durch kognitive Vorgänge verarbeitet und in eine Handlung überführt werden.

2.1.1 Aufnahme von Informationen

Bei der Aufnahme von Informationen ist das visuelle System des Menschen essentiell, da über diesen Wahrnehmungskanal die meisten Informationen innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs aufgenommen werden (Vollrath & Krems, 2011). Da jedoch aufgrund von Grenzen des Erfassungsvermögens nicht alle Informationen gleichzeitig verarbeitet werden können, muss die Informationsaufnahme reguliert werden. Nach Wickens, Helleberg, Goh, Xu und Horrey (2001) sind daran vier Prozesse beteiligt, welche in dem **Salience-Effort-Expectancy-Value-Model (SEEV-Modell)** zusammengefasst sind. Diese lassen sich ebenfalls nach unterschiedlichen Arten der Aufmerksamkeitsausrichtung unterteilen. Als bottom-up Prozesse werden dabei die Erwartung an einen Reiz und dessen Relevanz sowie als top-down Prozesse die Auffälligkeit eines Reizes sowie die Anstrengung diesen wahrzunehmen betrachtet (vgl. auch Wickens, Goh, Helleberg, Horrey & Talleur, 2003; Wickens & Horrey, 2009; Vollrath & Krems, 2011):

1. **Salience (Auffälligkeit)** - Je mehr sich der Reiz von der Umgebung abhebt, desto stärker wird die Aufmerksamkeit unbewusst auf diesen Reiz gelenkt. Beispiel: eine rote Warnung im FPK.

2. **Effort (Anstrengung)** - Je näher der Reiz zu einem aktuellen Fixationspunkt gelegen ist oder je geringer die verursachten physiologischen Kosten sind, desto höher ist die Beachtung. Beispiel: ein Fahrzeug auf der Straße sowie die Beachtung von Verkehrszeichen am Fahrbahnrand.
3. **Expectancy (Erwartung)** - Je größer die Erwartung an die Position eines Reizes ist, desto mehr wird die Aufmerksamkeit auf diese Position ausgerichtet. Beispiel: fahrzeugrelevante Informationen im FPK.
4. **Value (Relevanz)** - Je relevanter Informationen für die Fahraufgabe sind, desto mehr werden sie beachtet und die Aufmerksamkeit bewusst auf diese gelenkt. Beispiel: spielende Kinder in unmittelbarer Nähe zum Fahrbahnrand.

Für die Informationsaufnahme sind nach Wickens und Horrey (2009) sowohl bottom-up als auch top-down Aufmerksamkeitsprozesse wichtig. Zum einen steuern die Erwartungen an einen Reiz sowie dessen Relevanz bewusst und wissensgeleitet die Aufmerksamkeit und können mit erlernten Beobachtungsstrategien verglichen (Endsley, 2000) sowie als Bestandteile des mentalen Modells des Fahrers angesehen werden. Zum anderen können die Auffälligkeit und Anstrengung einen potentiell negativen Effekt auf die Aufmerksamkeit haben, wenn keine unbewusste Aufmerksamkeitsausrichtung stattfindet, wie z.B. bei unauffälligen Reizen, die nicht wahrgenommen werden. Wie die Informationen im Fahrzeug dargeboten werden können und welche potentiellen Vorteile multimodale Komponenten bieten, sind zusammenfassend in Unterkapitel 4.3 dargestellt.

Die Wahrnehmung von Informationen stellt zudem den ersten Schritt zur Informationsverarbeitung dar, das am Beispiel des Situationsbewusstseins im nachfolgenden Abschnitt erläutert wird.

2.1.2 Verarbeitung von Informationen

Um Informationen korrekt zu verarbeiten sowie eine sichere und effiziente Fahrzeugführung zu gewährleisten, spielen neben der Wahrnehmung auch das Verstehen und die Antizipation der Informationen entscheidende Rollen. Dieses Konstrukt ist seit Jahrzehnten in dem Bereich der Luftfahrt unter dem Begriff Situation Awareness, zu Deutsch **Situationsbewusstsein**, bekannt (Endsley, 1995a, 1995b, 2000). Hierzu sind in den vergangenen Jahren verschiedene Modelle entstanden (als Übersicht in Rauch, 2009). Eines der bekanntesten Modelle des Situationsbewusstseins stammt von Endsley (1988) und wird definiert als „the perception of the elements in the environment within a span of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future“ (Endsley, 1988, S. 97). Die daraus deutlich werdenden drei hierarchischen Stufen des Situationsbewusstseins werden dabei von der Aufgabe, dem System und dem Individuum an sich beeinflusst. Sie münden in einer dynamischen Entscheidungssituation mit anschließender Handlung, von denen das Situationsbewusstsein nach Endsley (1995a) jedoch losgelöst ist (siehe Abbildung 2.1).

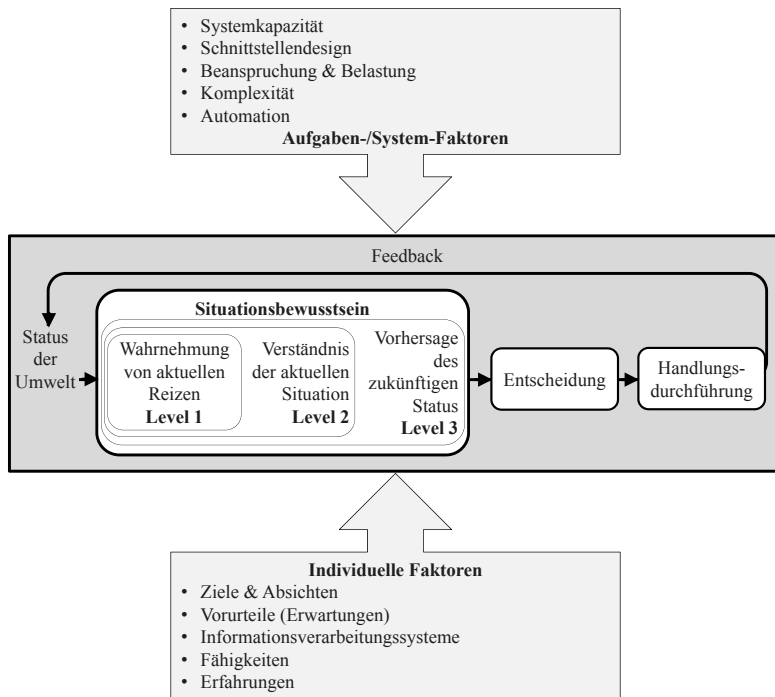


Abbildung 2.1: Modell des Situationsbewusstseins (eigene Darstellung, nach Endsley, 1995b, S. 35)

Insgesamt geht Endsley (1988, 1995a) von einem dynamischen Prozess der Wahrnehmung und des Verstehens mit einer einhergehenden Kontrolle und Korrektur des Situationsbewusstseins aus. Ebenfalls nimmt Endsley (2000) an, dass Fehler dabei jedoch auf jeder der drei Stufen passieren können, wobei diese meist auf eine mangelhafte Informationsaufnahme (Level 1) zurückzuführen sind (vgl. auch Hackenberg, Bendewald, Othersen & Bongartz, 2013b). Als Beispiel wäre hier das Übersehen von Verkehrsteilnehmern oder auch Verkehrsschildern zu nennen. Bei einem mangelhaften Verständnis (Level 2) bleibt die Beurteilung der Informationsrelevanz aus, wie beispielsweise das Ignorieren von Wetterbedingungen, welche die sichere Fahrzeugführung erschweren. Falsche oder ausbleibende Vorhersagen über zukünftige Geschehnisse sind typische Fehler in Level 3. Als Beispiele wäre hier die fehlende Anpassung der Geschwindigkeit vor einer Kurve oder in Bereichen mit spielenden Kindern am Straßenrand aufzuzählen, da die Fahrzeugführung nicht an die zukünftige Situation angepasst wird. Fehler der zweiten oder dritten Ebene können ferner auch auf die Limitationen des Langzeitgedächtnisses zurückzuführen sein. Durch die von

der Handlungsplanung und -durchführung getrennte Betrachtung des Situationsbewusstseins können jedoch trotz eines guten Situationsbewusstseins auch falsche oder fehlerhafte Handlungen ausgeführt werden, wenn beispielsweise die Expertise fehlt.

Am Modell von Endsley (1995b) wird jedoch kritisiert, dass die notwendigen kognitiven Prozesse nur unzureichend beschrieben werden. Dabei ist vor allem der Übergang von der Wahrnehmungsstufe auf die Ebene des Verstehens und des Antizipierens unklar (Krems & Baumann, 2009). Als Erweiterung und Eingliederung in den Fahrkontext schlagen die Autoren eine Ergänzung mit Anteilen aus den Theorien zum Sprachverständnis (Construction-Integration-Theory von Kintsch, 1998) und zur Aufmerksamkeit (Theorie der Handlungsauswahl nach Norman & Shallice, 1986) vor. Nach Krems und Baumann (2009) ergibt sich das Situationsbewusstsein aus einem Verständnisprozess, der die mentalen Repräsentationen der spezifischen Elemente aus der Umwelt und der Situation an sich subsumiert. Dabei ist von wesentlicher Bedeutung welches Wissen vorhanden ist und aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden kann, um eine Situation adäquat zu interpretieren. In Experimenten fanden sie heraus, dass Experten mehr Informationen zur Verfügung haben und auch auf relevantere Informationen zurückgreifen konnten als Novizen. Das Arbeitsgedächtnis spielt also eine wichtige Rolle bei der Bildung und Erhaltung des Situationsbewusstseins. Dabei müssen neue Informationen integriert, bestehende bei Bedarf korrigiert und irrelevante Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis entfernt werden. Eine Veränderung von bestehenden Repräsentationen fällt Menschen jedoch schwer (Dutke, 1994).

Beide Ansätze greifen jedoch, neben dem Langzeitgedächtnis und Automatismen, auch die **mentalene Modelle** sowie aktive Ziele als kognitiven Einflussfaktor auf (siehe Abbildung 2.2). Mentale Modelle sind als Abbild von zuvor erworbenem Wissen über Situationen oder generelle Informationen zu verstehen (Johnson-Laird, 1983; Endsley, 1995a; Sarter & Woods, 1995; Endsley, 2000). Das Wissen kann vom Menschen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden und umgeht die Limitationen des Arbeitsgedächtnisses (Endsley, 2000). Die mentalen Modelle sowie Schemata (kognitives Konzept aus bereits gemachten Erfahrungen und Wissen, Wilson & Keil, 2001) und Skripte (Unterklasse aus Schemata mit Handlungswissen, Wilson & Keil, 2001) werden dabei von generierten Zielen aktiviert, die einen Musterabgleich der Modelle mit den Reizen aus der Umwelt vornehmen (Endsley, 2000). So unterstützen diese die Interpretation der Informationen und helfen bei der Problemlösung und Entscheidungsfindung (Norman, 2002). Neben den zuvor aufgezeigten Fehlern auf den einzelnen Ebenen zum Situationsbewusstsein können jedoch auch Fehler auf der Ebene der mentalen Modelle auftreten. Nach Jones und Endsley (1996) sind dabei Hauptfehlerursachen eine schlechte oder mangelhafte Repräsentanz (7.0 Prozent), ein fehlerhaftes mentales Modell (6.5 Prozent) oder ein Übervertrauen in die einzelnen Standardwerte des Modells (4.6 Prozent).

Mentale Modelle können somit die Fahraufgabe erleichtern, da sie den aktuellen Status der Situation und des zugrundeliegenden Modells darstellen. Endsley (2000) nennt als Beispiel für das mentale Modell die Repräsentation der Fahrzeugtechnik an sich. Das Situationsmodell bzw. Situationsbewusstsein umfasst darüber hinaus den aktuellen Status, wie z.B.

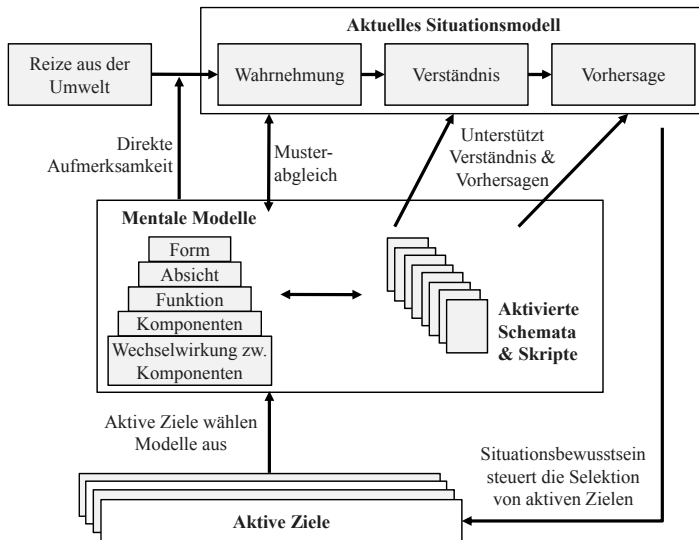


Abbildung 2.2: Bedeutung von mentalen Modellen und Zielen für das Situationsbewusstsein (eigene Darstellung, nach Endsley, 2000, S. 35)

Tankstand, Temperatur oder Ähnliches. Insgesamt besitzt der Fahrer eine Wissensstruktur über das Leistungsverhalten des eigenen Fahrzeugs und der Situation. Dieses muss für erweiterte Funktionen wie die Teilautomation ebenfalls erstellt werden und wird daher separat in Unterkapitel 4.2 betrachtet.

Ein angemessenes mentales Modell ist die Voraussetzung (Sarter & Woods, 1991) bzw. das Grundlagenwissen (Mogford, 1997) für das Situationsbewusstsein. Diese Mechanismen stellen ebenfalls eine Basis zur Handlungsauswahl dar, welche nachfolgend anhand von verschiedenen Arten der Handlungsklassifizierungen näher betrachtet werden sollen.

2.1.3 Überführung der Informationen in eine Handlung

Neben der Beschreibung der Informationsaufnahme und -verarbeitung ist auch die Betrachtung der Aufgaben des Fahrers sowie der Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug unabdingbar.

Die Handlungsauswahl und Entscheidung ist nach Abendroth (2001) abhängig von Zielen, die nach gespeicherten Regeln geplant und entschieden werden. Die Umsetzung erfolgt anschließend über sensomotorische Muster, die einen direkten Einfluss auf die motorischen Aktionen des Fuß-Bein-Systems oder des Hand-Arm-Systems haben. So wird beispielsweise

an einer roten Ampel das Ziel „Bremsen und Anhalten“ aktiviert, welches das entsprechende Muster abrufen und dem Fuß-Bein-System den Befehl des Bremsens sowie eventuell dem Hand-Arm-System unterstützende Anweisungen (z.B. die Auswahl eines richtigen Gangs) weitergibt.

Eine Ebene höher kann neben den unterschiedlichen Bestandteilen der Handlungsauswahl auch die manuelle Fahrzeugführung in verschiedene, auf technischen Beschreibungen aufbauende, Aufgaben aufgeteilt werden. Dabei kann zwischen den zielgerichteten Tätigkeiten nach Rasmussen (1983) (wissens-, regel- und fertigkeitsbasierte Verhaltensweisen) sowie nach der Separierung der Fahraufgaben in die Primär-, Sekundär- und Tertiäraufgabe (Bubb, 1993) unterschieden werden. Eine weitere und sehr bekannte Klassifizierung ist die hierarchisch angeordnete Fahraufgaben nach Donges (1982, 2009), wobei zwischen den drei Ebenen Navigation, Bahnführung und Stabilisierung unterschieden wird. Diese werden getrennt vom Fahrer vorgenommen, wie z.B. die Planung der vollständigen Route gefolgt von der Umsetzung der Fahraufgabe mit Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer und -regeln sowie der Abgleich zwischen Ist- und Sollwerten. Auch hier geschehen die Stabilisierung und Bahnführung nach einer für die Situation spezifischen Handlungsplanung.

Diese vorgestellten Modelle gehen jedoch von hierarchisch angeordneten und einzeln ausführbaren Fahraufgaben aus. Im Vergleich zu den drei Fahraufgabe Navigation, Bahnführung und Stabilisierung nach Donges (1982, 2009), gehen Hollnagel und Woods (2005) in einem erweiterten Ansatz von einer Wechselwirkung zwischen den Ebenen aus. Darüber hinaus berücksichtigen sie in ihrem Ansatz eine synchrone Verfolgung von Zielen (siehe Abbildung 2.3). Das **Extended Control Model (ECOM)** beschreibt vier verschiedene Kontrollinstanzen, die simultan vom Fahrer reaktiv oder auch proaktiv durchlaufen werden. Darüber hinaus wurde das Modell für den Anwendungsfall der Automation diskutiert, was für den vorliegenden Kontext eine wichtige Determinante ist und in Unterkapitel 4.1 noch einmal aufgegriffen wird.

Die vier Ebenen lassen sich wie folgt beschreiben (vgl. auch Hollnagel & Woods, 2005; Eichinger, 2011; Vollrath & Krems, 2011):

1. **Targeting (Zielsetzung)** - vergleichbar mit der Navigation nach Donges (2009); Die Zielsetzung kann neben Navigationszielen auch das Fahrverhalten an sich betreffen. So können die unteren Ebenen von der Situationsbewertung und dem aktuellen Verständnis durch die Zielvorgaben beeinflusst werden. Als Beispiel nennen Hollnagel und Woods (2005) das risikoreichere Fahrverhalten bei einem zeitlichen Engpass. Hier werden die Ziele sowie insbesondere auch die Regulierung und Kursverfolgung angepasst. Diese vorausschauende Kontrolle bedarf einer hohen Aufmerksamkeit und Konzentration sowie allumfassenden Informationen (Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft).
2. **Monitoring (Überwachung)** - zusätzliche Ebene; Der Fahrer sammelt auf dieser Ebene Informationen, welche neben dem eigenen Fahrzeug auch die Lokalisierung in der Umwelt sowie die Verkehrssituation mit den gültigen Regeln betreffen. Daraus werden die Zielvorgaben, die aus der Ebene der Zielsetzung übernommen wurden,

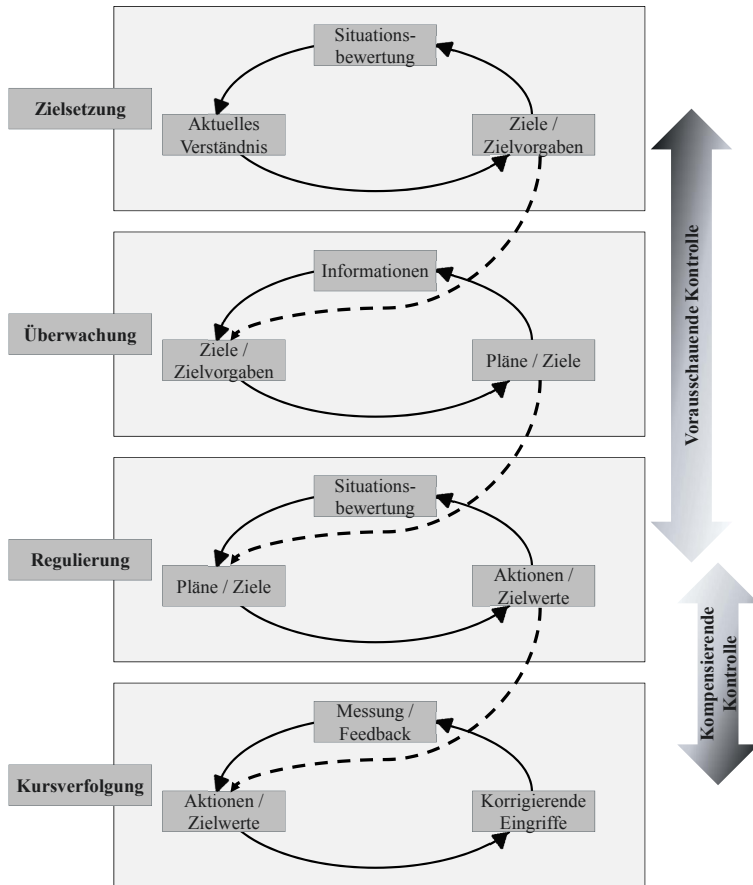


Abbildung 2.3: Das Extended Control Model (eigene Darstellung, nach Hollnagel & Woods, 2005, S. 153)

in Handlungspläne überführt, wie beispielsweise der Abgleich der Ist- und Soll-Geschwindigkeit. Die Situationsüberwachung geschieht in der manuellen Fahrt regelmäßig und benötigt daher nur für den jeweiligen Zeitabschnitt Aufmerksamkeit und Informationen aus der Vergangenheit und Gegenwart.

3. **Regulating (Regulierung)** - vergleichbar mit der Bahnführung nach Donges (2009); Handlungen und Ziele sind auf dieser Ebene bereits im Vorfeld definiert. Der Fahrer

nimmt dabei eine permanente Situationsbewertung vor, welche mit den Zielen und den dazugehörigen Parametern verglichen und die Position des Fahrzeugs ggf. angepasst wird. Beispiel: die Regulierung bei der Einhaltung des Abstands zu Hindernissen oder der Absolvierung eines Überholvorgangs. Diese Ziele hängen dabei von der Überwachungsebene ab. Die Regulierung geschieht vorausschauend, für die unbekannte Situationen im Vergleich zu bekannten viel Aufmerksamkeit benötigen. Dabei sind vor allem Informationen aus der Gegenwart und der Antizipation der zukünftigen Situation wichtig.

4. **Tracking (Kursverfolgung)** - vergleichbar mit der Stabilisierung nach Donges (2009); Der Fahrer muss für die Einhaltung der angestrebten Längs- und Querführung, z.B. Geschwindigkeit oder Einhaltung der Spurführung, sorgen. Dabei wird der Ist-Zustand permanent überprüft und mit den Zielwerten aus der Ebene der Regulierung verglichen. Bei Abweichungen werden korrigierende Eingriffe in die Kursverfolgung vorgenommen.

Insgesamt können die Handlungen, also die bestimmte Ausführung von Bewegungsabläufen des Fuß-Bein-Systems oder des Hand-Arm-Systems, u.a. von der Expertise der Nutzer und auch von der Situation an sich beeinflusst werden (Abendroth & Bruder, 2015). Es gilt dabei als bewiesen, dass mit einer Expertise eine bessere Fahrleistung und Risikoeinschätzung sowie eine höhere Effizienz im Blickverhalten und kognitiven Strukturen einhergehen (Krems & Baumann, 2009; Endsley, 2000; Abendroth & Bruder, 2015). Auch die Kritikalität der Situation sowie die Aufmerksamkeit des Fahrers beeinflussen die Fahrleistung, spezifischer die Reaktionszeit, die bei kritischen Situationen kürzer ist. Green (2000) fand dabei in einer Metaanalyse von Bremsreaktionszeiten heraus, dass sich die Reaktionszeiten bei überraschenden Situationen (z.B. plötzliches Einscheren in den eigenen Fahrstreifen) im Vergleich zu gut vorhersehbaren Situationen (z.B. Verzögerung auf eine rote Ampel) verdoppeln (von 0.75 auf 1.5 Sekunden). In dringlichen Situationen mit einer kurzen Time-to-Collision (TTC) zeigten sich jedoch schnellere Reaktionszeiten, wohingegen bei einem extremen Notfall aufgrund der verschiedenen Handlungsalternativen längere Zeiten benötigt werden. Es verlängert sich ebenfalls die Zeit der Umlage des Fußes vom Gas- auf das Bremspedal von 0.2 auf 0.3 Sekunden. Unabhängig davon konnte gezeigt werden, dass eine Bremsreaktion aufgrund der Umsetzzeit des Fußes 0.3 Sekunden länger dauert als eine Lenkreaktion. Eine mentale Belastung, wie beispielsweise durch komplexe Szenarien oder durch Nebenaufgaben hervorgerufen, verursacht ebenfalls eine längere Reaktionszeit.

2.2 Zusammenfassung - Der Mensch als Fahrer

In Kapitel 2 wurden die Einflussfaktoren für ein adäquates Fahrerverhalten näher vorgestellt. Für eine effiziente und sichere Fahrzeugführung ist ein allumfassendes Abbild der Verkehrssituation und des eigenen Fahrzeugs unumgänglich. Der erste Schritt zur Handlungsauswahl wird durch die Informationsaufnahme bestimmt. Diese geschieht im Fahrkontext hauptsächlich über den visuellen Sinneskanal und ist durch Limitationen des Erfassungsvermögens

begrenzt. Die Regulation von der Reizaufnahme aus der Umwelt erfolgt nach dem SEEV-Modell von Wickens et al. (2001) nach den vier Prozessen Auffälligkeit, Anstrengung, Erwartung und Wert. Die aufgenommenen Informationen (Stufe 1 Wahrnehmung) müssen anschließend vom Fahrer korrekt verstanden (Stufe 2 Verstehen) und auf eine mögliche zukünftige Situationsentwicklung (Stufe 3 Antizipation) übertragen werden, wodurch sich zusammengefasst das Situationsbewusstsein nach Endsley (1988) ergibt. Der dynamische Prozess aus den drei hierarchischen Stufen mündet anschließend in eine Entscheidungssituation und Handlung. Eine erweiterte Erklärung liefern Krems und Baumann (2009), die von einem Verständnisprozess mit mentalen Repräsentationen der spezifischen Elemente aus der Umwelt und der Situation an sich ausgehen. Die mentalen Modelle spielen als Voraussetzung (Sarter & Woods, 1991) und Grundlagenwissen (Mogford, 1997) für das Situationsbewusstsein eine wichtige Rolle. Die Wissensnetze können vom Menschen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden, das von aktiven Zielen und Musterabgleichen der Modelle mit den Reizen aus der Umwelt profitiert (Endsley, 2000). So unterstützen diese die Interpretation der Informationen und helfen bei der Problemlösung sowie Entscheidungsfindung (Norman, 2002). Mentale Modelle können somit die Fahraufgabe erleichtern. Diese Mechanismen stellen ebenfalls eine Basis zur Handlungsauswahl und -durchführung dar, welche übergeordnet z.B. im ECOM von Hollnagel und Woods (2005) zusammengefasst sind. Das Modell berücksichtigt die Wechselwirkung zwischen den hierarchisch angeordneten Fahraufgaben des Fahrers sowie der synchronen Verfolgung von Zielen. Die vier Kontrollinstanzen bestehen aus der Zielsetzung, Überwachung, Regulierung und Kursverfolgung und können vom Fahrer simultan und auch reaktiv oder proaktiv durchlaufen werden. Die Handlungsausführung kann u.a. von der Expertise der Nutzer und auch von der Situation an sich beeinflusst werden (Abendroth & Bruder, 2015).

Das Kapitel hat die verschiedenen Aufgaben des Fahrers auf den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung beim manuellen Fahren kurz dargestellt. Im nächsten Abschnitt werden die technischen Veränderungen bei der Teilautomation erläutert, um schließlich auf die Veränderungen der Fahraufgabe einzugehen.

Vom Fahrer zum Denker und Teilzeitlenker
Einflussfaktoren und Gestaltungsmerkmale
nutzerorientierter Interaktionskonzepte für die
Überwachungsaufgabe des Fahrers im
teilautomatisierten Modus

Othersen, I.

2016, XXIII, 331 S. 109 Abb., 25 Abb. in Farbe.,
Softcover

ISBN: 978-3-658-15086-0