Gebrauchstauglichkeit und Benutzerakzeptanz von Mensch-Maschine-Systemen
Sommersemester 2010
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Hausarbeit

Fahrer-Fahrzeug-Interaktion: Assistenzsysteme

Stefan Schumacher*

31. Juli 2010

Diese Hausarbeit entstand im Arbeits- und Organisationspsychologie-Semniar »Gebrauchstauglichkeit und Benutzerakzeptanz von Mensch-Maschine-Systemen« im Rahmen des Referats »Fahrer-Fahrzeug-Interaktion: Assistenzsysteme, Ausgewählte Sicherheits- und Komfortsysteme, Vorhersage der Fahrerbefindlichkeit« von Gloria Pöhler, Jördis Linke, Stefan Schumacher und Simon König.

Einige Teile der Hausarbeit wurden bereits in Schumacher (2010) veröffentlicht.

Verschiedene Untersuchungen der Verkehrssicherheit haben in den letzten Jahren gezeigt, das die Müdigkeit des Fahrers die Unfallschwere und -häufigkeit beeinflusst. So gesehen ca. 20% aller LKW-Unfälle durch übermüdete Fahrer. Als besonders gefährlich gelten die Zeiträume von 0 Uhr bis 6 Uhr sowie 14 Uhr bis 17 Uhr. In beiden Zeiten lassen die Körperfunktionen und Aufmerksamkeit nach und die Müdigkeit steigt.

Besonders problematisch zeigt sich der Sekundenschlaf, bei dem der Fahrer für einige wenige Sekunden einschläft und nicht reagieren kann. Oftmals bemerkt der Fahrer nicht einmal seinen Sekundenschlaf, obwohl er z. B. bei 120Km/h Geschwindigkeit innerhalb von 5 Sekunden 165 Meter »im Blindflug« zurücklegt (vgl. Bley 2008; Bundesanstalt für Straßenwesen 2005).

Daher gibt es seit einiger Zeit die Idee, Fahrerassistenzsysteme einzurichten, die die Ermüdung des Fahrers erkennen und darauf bspw. mit einem Alarm reagieren.

Im Rahmen dieser Hausarbeite möchte ich zeigen, wie ein solcher Assistent entwickelt werden kann und welche Schritte dazu nötig sind.

kybernetik, systemtheorie und turing-berechenbarkeit

Während des zweiten Weltkrieges befassten sich einige Wissenschaftler und Ingenieure mit der Steuerungs- und Regelungstechnik auf dem Gebiet des Maschinenbaus und der Elektrotechnik. Vorrangiges Ziel war es damals, neue Waffensysteme zu entwickeln, die immer komplexer wurden, wie beispielsweise Marschflugkörper. 1948 prägte der Mathematiker Norbert Wiener für diese Wissenschaft den Begriff Kybernetik, von altgr. κυβερνήτης: Steuermann.

Ende der 1940er, Anfang der 1950er befassten sich diese Wissenschaftler auf den interdisziplinären Macy-Konferenzen unter anderem damit, kybernetische Mechanismen wie Rückkopplung und Zirkulär-Kausalität in psychologischen und sozialen Systemen zu untersuchen.

Die Rückkopplung, oder das Feedback, ist ein Mechanismus in informationsverarbeitenden Systemen, bei dem ein Teil der Ausgangsgröße direkt oder in modifizierter Form auf den Eingang des Systems zurückgeführt wird.

Ein einfaches Beispiel dafür ist ein Heizungsthermostat. Am Thermostat wird eine Soll-Temperatur eingestellt. Mit einem Messfühler überwacht der Thermostat die Ist-Temperatur. Das Ergebnis des Vergleichs (Es ist zu warm oder zu kalt) wird an die Heizung zurückgemeldet, die daraufhin stärker oder schwächer heizt.

Ein anderes Beispiel ist der Fahrer eines Autos, der die Geschwindigkeit im Tacho des Autos mit der erlaubten Geschwindigkeit abgleicht und ggf. bremst oder beschleunigt.

Die maßgeblich von Niklas Luhmann entwickelte soziologische Systemtheorie ermöglicht es, das

* Stefan@Bildungswissenschaft.info
Studiengang: Bildungswissenschaft und Psychologie

og. Beispiel der Geschwindigkeitsregulation anhand von System/Umwelt-Beziehungen zu beschreiben. Ein System bestimmt sich selbst durch die Grenzen seiner Operationen, ist somit also abgegrenzt gegenüber der Umwelt. Alles was nicht zum System gehört, ist damit Umwelt.

Der Fahrer des Autos ist als Mensch ein biologisches System mit klaren Grenzen. Menschen sind bspw. nicht in der Lage Licht im Infrarotspektrum zu sehen oder ohne technische Hilfe zu fliegen. Für den Fahrer stellen sowohl das Auto als die nähere Umgebung die Umwelt dar. Damit verschiedene Systeme aufeinander einwirken können, müssen sie strukturell gekoppelt sein. Der Fahrer ist mit dem Fahrzeug über Ein-/Ausgabe-Routinen gekoppelt, bspw. über das Tacho (Ausgabe der Geschwindigkeit des Fahrzeugs) und das Gaspedal (Eingabe der Geschwindigkeit des Fahrzeugs). Die Umwelt des Fahrers und des Fahrzeugs ist durch Verkehrszeichen wie Ampeln oder Geschwindigkeitsbegrenzungen mit dem Fahrer und über diesen auch mit dem Fahrzeug strukturell gekoppelt. (vgl. Baraldi, Corsi und Esposito 2006; Kneer und Nassehi 2000; Maturana und Varela 2009; Maturana 1998; Maturana und Varela 1980)

Damit die Systeme miteinander interagieren können, benötigen sie sogenannte Erwartungsstrukturen. Das heißt, das beispielsweise der Fahrer wissen muss was es bedeutet, wenn auf der Straße eine große weiße »30« aufgemalt ist. Wie die Erwartungsstrukturen in psychischen Systemen – also »im Kopf des Fahrers« – beschrieben werden können, hat Jean Piaget mit seiner genetischen Epistemologie gezeigt (vgl. Scharlau 2007).

Die Abbildungen 1, 2 und 3 illustrieren das kybernetische Prinzip anhand einer Skizze. Das System (beispielsweise ein Fahrerassistenzsystem) nimmt über einen Messfühler einen Reiz wahr, den es verarbeitet und somit seinen internen Zustand verändert.

Problematischer wird es, wenn das Fahrzeug bzw. ein Assistenzsystem die Umwelt des Fahrzeugs wahrnehmen und interpretieren soll. Vergleichsweise einfach geht dies mit Verkehsrzeichen, da diese standardisiert und damit berechenbar sind. Es ist also vergleichsweise einfach möglich einen automatischen Geschwindigkeitsassistenten zu entwerfen, da dieser lediglich Geschwindigkeitszeichen am Straßenrand »lesen« können muss um dann die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs anzupassen.

Problematischer wird es aber mit der Wahrnehmung der Müdigkeit des Fahrers. Denn jedes Assistenzsystem basiert auf einem Computer und Computer können nur Algorithmen ausführen.

Der englische Mathematiker Alan Turing formalisierte während des Zweiten Weltkrieges mathematische Berechnungsvorschriften mit dem Modell der Turingmaschine.

Ein Algorithmus muss daher folgenden Kriterien genügen:

FINITHEIT der Algorithmus muss in einer endlichen Vorschrift eindeutig beschreibbar sein

AUSFÜHRBARKEIT jeder Schritt des Algorithmus muss ausführbar sein

PLATZKOMPLEXITÄT der Algorithmus darf nur endlich viel Speicherplatz erfordern

ZEITKOMPLEXITÄT der Algorithmus darf nur endlich viele Schritte erfordern

DETERMINIERTHEIT der Algorithmus muss bei den gleichen Eingaben die selben Ausgaben liefern

DETERMINISMUS die nächste anzuwendende Berechnungsvorschrift ist jederzeit eindeutig definiert

Genügt eine Berechnungsvorschrift diesen Kriterien nicht, ist sie kein Algorithmus und kann daher auch nicht mit einem Computer (sinnvoll) ausgeführt werden (vgl. Saake und Sattler 2002, Kap. 2 »Algorithmische Grundkonzepte«).

Vom Zeichen über das Wissen zur Handlung

Besonders komplex ist ein Assistenzsystem, wenn es zu selbständiger Erkenntnis und darauf aufbauenden Entscheidungen fähig sein soll.

Um erkenntnisfähig sein zu können, benötigt ein System eine kybernetische Rückkopplungsschleife. Das heißt, das System, muss über ein Wahrnehmungsorgan verfügen, das Reize aus der Umwelt aufnimmt und diese Reize im System weiterverarbeitet. Aufgrund des Ergebnisses der Verarbeitung nimmt das System eine Anpassung des eigenen Verhaltens vor (vgl. v. a. Kap. »Kybernetik einer Erkenntnistheorie« Foerster 1993).

Stark vereinfacht muss ein erkennendes bzw. lernfähiges System dazu »nur« folgende Schritte durchführen:

1. Das System muss seine Umwelt wahrnehmen.
2. Die wahrgenommene Umwelt muss verarbeitet werden (Diagnose), dazu muss Wissen bzw. Erfahrung über stattgefundene Sicherheitsvorfälle (post mortem) aufgebaut werden.
3. Mit der aktuell wahrgenommenen Umwelt kann anhand des erstellen Erfahrungsrahmen ein Sicherheitsvorfall, der erst noch stattfinden wird, prognostiziert werden.

North (2002) beschreibt in seiner Wissenstreppe (Abb. 4), wie Wissensmanagement und damit Wissen aufgebaut wird. Zeichen werden mit einer Syntax zu Daten, Daten mit einer Semantik zu Information, Information mit Vernetzung zu Wissen und Wissen mit Anwendungsbezug zu Können.

Nimmt man dieses (angepasste) Modell als Grundlage für die Entstehung von Handlungskompetenz, muss ein erkennendes System folgende Handlungen ausführen können:

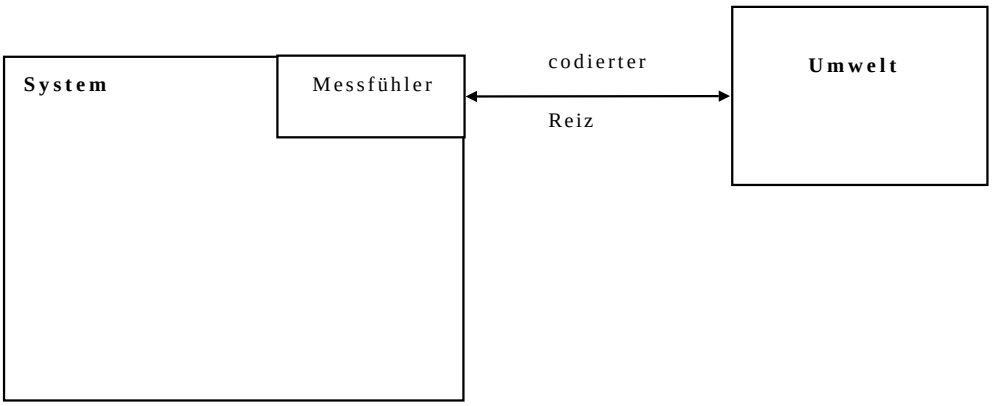


Abbildung 1: Das System nimmt über den Messfühler einen Reiz wahr

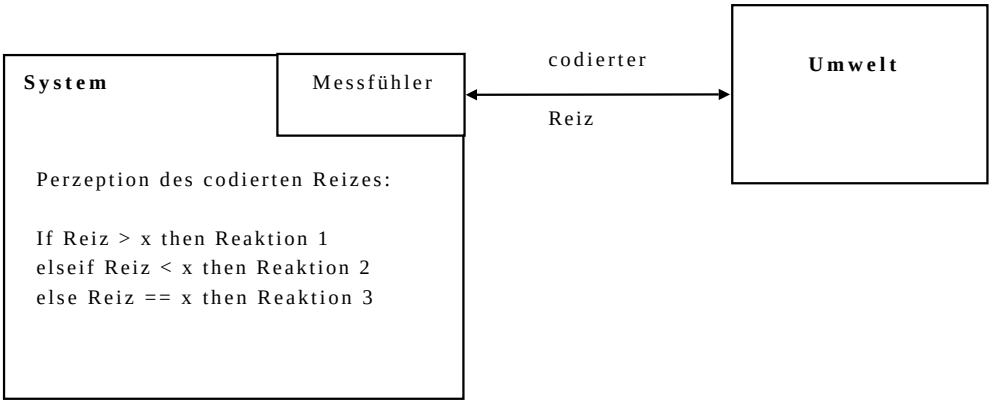


Abbildung 2: Das System reagiert auf den Reiz und verändert sich

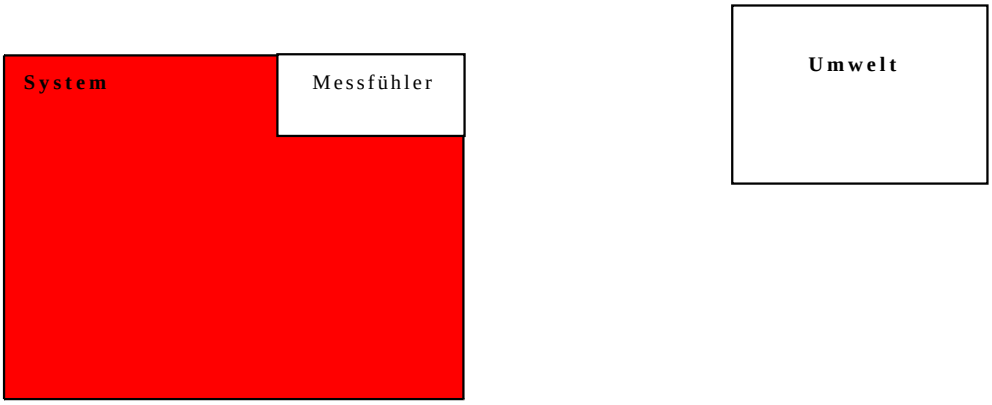


Abbildung 3: Das System entspricht nun nicht mehr dem System aus 1.

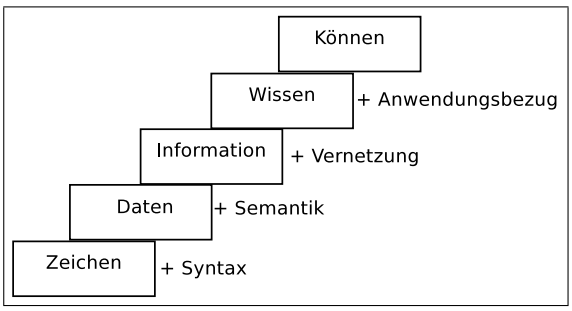


Abbildung 4: Wissenstreppe nach North (2002); angepasste, gekürzte Darstellung

1. Weltwahrnehmung: das System muss in der Lage sein, Reize aus der Umwelt aufzunehmen und zu *verarbeiten*. Die aufgenommenen Reize können als Zeichen im Sinne der o.g. Wissenstreppe betrachtet werden.

2. Ordnung: Die wahrgenommenen Zeichen müssen eingeordnet werden, es muss eine Syntax generiert werden. Diese Ordnung ist für alle Reize bzw. Zeichen notwendig. Dies ist einfach für die Zeichen formaler Sprachen (z. B. Quellcode, Maschinencode, TCP/IP-Pakete, ZIP-Archive, MP3-Dateien) aber kaum lösbar für natürliche »Sprachen«, wie dem Verhalten von Menschen.

3. Die nun gewonnen Daten müssen eine Semantik d. h. eine *Bedeutung* erhalten. Somit werden aus Daten Informationen.

4. Informationen müssen vernetzt werden. Ähnlich wie man Buchstaben zu Wörtern, Wörter zu Sätzen und Sätze zu Büchern verknüpft, muss ein semantisches Netz zwischen den einzelnen Daten aufgespannt werden. Die Daten als Atome des Wissens müssen über Relationen miteinander verknüpft werden. Somit entsteht Wissen.

5. Das nun vorhandene Wissen muss in einen Anwendungsbezug, einen Kontext gestellt werden. Ein in Schritt 1 wahrgenommenes Zeichen existiert nicht für sich allein und kann somit auch nicht isoliert betrachtet werden, vielmehr wurde es innerhalb eines Handlungsrahmens erzeugt und muss auch in diesem Handlungsrahmen interpretiert werden. Die Interpretation unterliegt dabei der Kybernetik zweiter Ordnung (vgl. Foerster 2008).

Besonders wichtig sind für Fahrerassistenzsysteme die Punkte Determiniertheit und Determinismus. Die Determiniertheit setzt voraus, das die Ermüdung eines Fahrers immer gleich gemessen werden kann, es also objektive (bzw. intersubjektive) Kriterien gibt, nach denen die Ermüdung eines Fahrers gemessen werden kann. Damit scheiden zum Beispiel Selbstauskünfte des Fahrers aus, da diese häufig nicht dem tatsächlichen Ermüdungsgrad entsprechen. Es ist daher notwendig, die Ermüdung des Fahrers *trivial* berechenbar zu machen, so wie es Heinz von Foerster fordert und Baecker (2005, S. 15f) beschreibt:

> In der kybernetischen Forschung unterscheidet man wohl-definierte und schlecht-definierte Systeme. Wohldefinierte Systeme sind dadurch gekennzeichnet, daß alle möglichen Übergänge zwischen den verschiedenen Zuständen, die sie einnehmen können, bekannt sind; daß die Wahrscheinlichkeit dieser Übergänge bekannt ist; und daß sich weder die Übergänge noch die Zustände in Abhängigkeit von der Zeit ändern. Heinz von Foerster würde von einer trivialen Maschine sprechen, die synthetisch determiniert, analytisch determinierbar und historisch unabhängig ist. Schlechtdefinierte Systeme hingegen sind dadurch definiert (!), daß die möglichen Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen unbekannt sind; daß die Wahrscheinlichkeit dieser Übergänge unbekannt ist; und daß sich sowohl die Übergänge als auch die Zustände und nicht zuletzt die Wahrscheinlichkeit der Übergänge und Zustände in Abhängigkeit von der Zeit ändern. Heinz von Foerster würde von nichttrivialen Maschinen sprechen, die synthetisch determiniert, aber analytisch undeterminierbar und historisch abhängig sind.

Menschen und deren Verhalten sind in obiger Notation schlechtdefinierte Systeme, da ihre »Zustandsübergänge« nicht bekannt und auch nicht vorhersagbar sind. Computer bzw. Turing-Maschinen sind wohldefinierte Systeme – die aber keine schlechtdefinierten Systeme als Eingabe verarbeiten können.

Daher müssen die Psychologen in der Entwicklergruppe einen entsprechenden Berechnungsrahmen für die Müdigkeit des Fahrers entwickeln, den die Ingenieure im Assistenten umsetzen können. Dazu müssen sie die manifeste Repräsentationen des latenten Konstrukts Müdigkeit finden und die entsprechenden UV operationalisieren.

spurhaltemasse und lenkmasse

Deutsches Institut für Normung e. V. (2003) beschreibt unter anderem Verfahren zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs. Darin enthalten sind die sogenannten Spurhaltemaße und Lenkmaße. Die Spurhaltemaße beschreiben die Abweichung des Fahrzeugs von einer gedachten Idealline auf der Straße, die Lenkmaße messen die Lenkaktivität des Fahrers. Beides sind weitgehend automatisierte grundlegende Fahraufgaben, die auf Ablenkungen (beispielsweise Nebenaufgaben oder Müdigkeit) reagieren. Sie sind technisch recht einfach zu erfassen und eignen sich daher hervorragend für ein Assistenzsystem. Im folgenden beschreibe ich daher die definierten Spurhalte- und Lenkmaße.

Mittlere Laterale Position

Die mittlere laterale Position beschreibt den Mittelwert aller gemessenen Abstände eines fixen Bezugspunktes des Fahrzeugs vom linken oder rechten Spurrand. Die mittlere laterale Position ist eine generelle Fahrstrategie und unterliegt einem gerin-

gen Fehlereinfluss, hängt aber auch von der Fahrgeschwindigkeit ab.

Standardabweichung von der Lateralen Position

Die Standardabweichung von der lateralen Position wird als Standardabweichung über allen mittleren lateralen Positionen gemessen. Sie ermöglicht es somit, verschiedene Messreihen, Fahrer oder Fahrzeuge miteinander zu vergleichen, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und die Kurvigkeit der Strecke in etwas vergleichbar sind. Jeder Ausschlag in der Standardabweichung repräsentiert eine Abweichung des Fahrzeugs von der Ideallinie der Strecke.

Spurüberschreitungen

Eine Spurüberschreitung liegt dann vor, wenn ein definierter Teil des Fahrzeugs die eigene Spur verlässt. Die Vergleichbarkeit hängt dabei von der Definition ab. Die Überschreitungen können verschiedene ausgewertet werden, unter anderem danach wieviele Überschreitungen es je gefahrenem Kilometer gab und wie lange bzw. wie weit der Fahrer außerhalb der Spur fuhr.

Eine Spurüberschreitung stellt ein vergleichsweise seltenes Ereignis dar, daher sind verschiedene Strecken nur über die gesamte Messreihe und Spurgeometrie vergleichbar. Innerhalb einer Messreihe reicht die Anzahl der Spurüberschreitungen.

Time to Line Crossing

Die Time to Line Crossing beschreibt die Zeit, bis das linke oder rechte Vorderrad bei gleichem Kurs des Fahrzeugs den Rand der Fahrbahn schneidet.

Die Zeit sinkt, je näher die Spurüberschreitung ist und liegt bei unendlich, wenn das Rad parallel zum Rand steht.

Standardabweichung des Lenkwinkels

Die Standardabweichung des Lenkwinkels wird aus den aufgezeichneten Lenkwinkeln berechnet. Es ist aber allein aus der Messreihe nicht ersichtlich, ob eine Lenkung erfolgte weil die Strecke es durch eine Kurve erforderte, oder weil der Fahrer ermüdet war und die Lenkung verrissen hat.

Nulldurchgänge des Lenkwinkels

Steht das Lenkrad senkrecht, wird der entsprechende Lenkwinkel als 0° definiert. Ein Nulldurchgang entspricht daher einer Nullstelle und damit einem Vorzeichenwechsel der Funktion bzw. einem Richtungswechsel des Fahrzeugs.

Je höher die kognitive Belastung des Fahrers ist, desto höher sind in der Regel die Werte der Ablenkungen. Allerdings ist auch der Streckenverlauf wichtig, da er die Anzahl erforderlicher Nulldurchgänge beeinflussen kann. Daher müssen die Nulldurchgänge immer im in Verhältnis zur Länge der Strecke bzw. Dauer der Fahrt angeben werden.

Steering Wheel Reversal Rate

Die Steering Wheel Reversal Rate misst alle Umkehrungen ab einer gewissen Winkeldifferenz im Lenkwinkelsignal, typisch sind dabei 1-7° Abweichung. Durch diesen Schwellwert werden kleinere Lenkkorrekturen im definierten Korridor herausgefiltert und ein Vergleich aller Minima/Maxima möglich.

Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels

Der Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels erweitert die Erfassung des Lenkwinkels um die Zeitkomponente und damit die Frequenz, also Häufigkeit. Erfasst werden hochfrequente Lenkbewegungen im Bereich von 0,35 bis 0,6 Hz.

Der Hochfrequenzanteil ist sensitiv für die kognitive Belastung durch Zweitaufgabenbearbeitung und ist vergleichsweise unabhängig von der Strecke. Allerdings ist er aufwändig zu berechnen es sind Tiefpassfilter, Hochpassfilter und das Verhältnis der Energie des Frequenzbandes zum Gesamtlenksignal notwendig.

ermüdung des fahrers

Die Ermüdung des Fahrers lässt sich ebenfalls direkt messen. Die verlässlichsten Daten liefert eine Messung mit dem EEG, die aber in einem Fahrzeug kaum praktikabel ist.

Weitere Messgrößen sind die Lidschlagdauer und -häufigkeit der Augen. Dies kann über eine Kamera erfolgen, die das Gesicht des Fahrers filmt und anschließend die Bilder von einem Computerprogramm auswerten lässt, das mittels Kantendetektion die Lidschlagdauer berechnet. Allerdings treten hierbei einige praktische Probleme auf, so funktioniert die Kamera bei Brillenträgern nur bedingt oder ungenau.

Wesentlich genauer und zuverlässiger ist ein Messverfahren, bei dem zwei Spulen an den Lidern befestigt werden, die mit 100 Hz Abtastrate die Potentialdifferenz messen. In der Potentialdifferenz werden das Augenöffnungsniveau sowie der Beginn bzw. das Ende eines Ereignisses (Lidschluss/Lidöffnung). Die Häufigkeit und Dauer des Lidschlusses repräsentieren die Müdigkeit des Fahrers. Welche Schwellwerte hier anzusetzen sind ist interindividuell verschieden, kann aber in hinreichend großen Messreihen statistisch erfasst werden. Außerdem ist es recht einfach möglich, die Schwellwerte an verschiedene Fahrer anzupassen und so entsprechende Profile zu bilden.

Abbildung 5 zeigt eine Lidschlusspule am geschlossenen und geöffnetem Auge. Abbildung 6

zeigt ein aus (Tietze und Hargutt 2001, S. 2) entnommenes Diagramm, das die Lidschlussdaten auswertet. Die 3 Diagramme stellen 3 Abschnitte einer Versuchsfahrt dar, zuerst der Beginn der Fahrt mit einem relativ ausgeruhtem Fahrer. Es finden nur 5 Lidschlüsse von jeweils kurzer Dauer und Tiefe statt. Diagramm 2 wurde nach ca. einer Stunde aufgezeichnet und zeigt insgesamt 15 Lidschlüsse in relativ hoher Frequenz und tiefer Tiefe, darunter sogar 2 Vorgänge, bei denen das Lid komplett geschlossen ist. Diagramm 3 enstand am Ende der Fahrt und zeigt noch mehr Lidschlüsse, die tiefer und vor allem länger ausfallen. Auffällig sind auch die oberen Amplituden, die anzeigen, das der Fahrer die Augen nach einem Lidschluss extra weit aufreißt – ein Verhalten das typisch bei Ermüdung ist.

Im weiteren beschreibt der Artikel, wie im Labor weitere Versuchsfahrten unternommen wurden und diese auch mit EEG-Messungen abgeglichen wurden. Außerdem werden die Lidschlussparameter mit Spurhaltemaßen korreliert und ausgewertet.

CODA

Zusammenfassend ist zu sagen, das ein Assistenzsystem nur interdisziplinär entwickelt werden kann. Psychologen müssen messbare unabhängige Variablen finden, die die Müdigkeit und Belastung bzw. Unaufmerksamkeit des Fahrers codieren. Diese UV müssen verschiedenen Kriterien genügen, die der theoretischen Informatik geschuldet sind. Nur wenn diese Kriterien (z. B. Berechenbarkeit) beachtet werden, können Entwicklungsingenieure die Variablen operationalisieren und in praktikable Messmethoden umsetzen.

Schlussendlich hat auch der Gesetzgeber Einfluss auf die Gestaltung der Assistenzsysteme, da diese nur eingeschränkt selbst handeln dürfen, um die Autonomie des Fahrers nicht zu gefährden.

LITERATURVERZEICHNIS

Baecker, D. (2005). *Organisation als System*. 3. Auflage. Frankfurt: Suhrkamp. 377 Seiten. ISBN: 9783518290347.

Baraldi, C., G. Corsi und E. Esposito (2006). *GLU. Glossar zu Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme*. 9. Auflage. Frankfurt: Suhrkamp. 248 Seiten. ISBN: 9783518288269.

Bley, S. (2008). *Unfallursache Müdigkeit*. URL: http://www.verkehrsrundschau.de/unfallursache-muedigkeit-631372.html (besucht am 12. 05. 2010).

Bundesanstalt für Straßenwesen (2005). *Übermüdung ist eine zentrale Unfallursache bei schweren Lkw-Unfällen*. URL: http://www.bast.de/nn_42244/DE/Presse/2005/presse-1705.html (besucht am 12. 05. 2010).

Deutsches Institut für Normung e. V. (2003). „DIN EN ISO 17287:2003-10. Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen- Verfahren zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs“. Patent DIN EN ISO 17287:2003-10.

Foerster, H. von (1993). *Wissen und Gewissen*. 1. Auflage. Frankfurt: Suhrkamp. 396 Seiten. ISBN: 978-3518284766.

– (2008). „Ethik und Kybernetik zweiter Ordnung“. In: *Kurzzeittherapie und Wirklichkeit*. Herausgegeben von P. Watzlawick und G. Nardone. München: Piper, Seiten 71 – 89. ISBN: 9783492041126.

Knappe, G., A. Keinath und C. Meinecke (2006). „Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegüte im Kontext der Fahrsimulation“. In: *MMI-Interaktiv* 11, Seiten 1 – 13. ISSN: 1439-7854. URL: http://www.mmi-interaktiv.de/uploads/media/02-Knappe_et_al.pdf (besucht am 19. 05. 2010).

Kneer, G. und A. Nassehi (2000). *Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme*. 4. Auflage. München: Wilhelm Fink / UTB. 205 Seiten. ISBN: 9783825217518.

Krüger, H.-P. (2004). *Fahrerzustandserkennung mittels Lidschlussverhalten*, Seite 8.

Maturana, H. R. und F. J. Varela (2009). *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. 2. Auflage. Frankfurt: Fischer. 280 Seiten. ISBN: 978-3442114603.

Maturana, H. (1998). *Biologie der Realität*. 1. Auflage. Frankfurt: Suhrkamp. 390 Seiten. ISBN: 978-3518581469.

Maturana, H. und F. Varela (1980). *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*. 1. Auflage. Dordrecht (NL): D. Reidel. 141 Seiten. ISBN: 9027710165.

North, K. (2002). *Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Gabler. 290 Seiten. ISBN: 978-3409230292.

Saake, G. und K.-U. Sattler (2002). *Algorithmen und Datenstrukturen. Eine Einführung mit Java*. 1. Auflage. Heidelberg: dpunkt.Verlag. 494 Seiten. ISBN: 3898641228.

Scharlau, I. (2007). *Jean Piaget zur Einführung*. 1. Auflage. Hamburg: Junius Verlag. 171 Seiten. ISBN: 978-3-88506-646-0.

Schumacher, S. (2010). „Auf dem Weg zum Intrusion Detection System der nächsten Generation“. In: *Chemnitzer Linux-Tage 2010. Tagungsband*. Technische Universität Chemnitz. Herausgegeben von T. der Chemnitzer Linux-Tage. Band 2010. Chemnitz: Universitätsverlag, Seiten 19 – 24. ISBN: 978-3-941003-10-1.

Tietze, H. und V. Hargutt (2001). *Zweidimensionale Analyse zur Beurteilung des Verlaufs von Ermüdung*. Herausgegeben von I. Z. F. V. A. D. U. Würzburg, Seite 14.



Abbildung 5: Lidschlussaufnehmer (Tietze und Hargutt 2001)

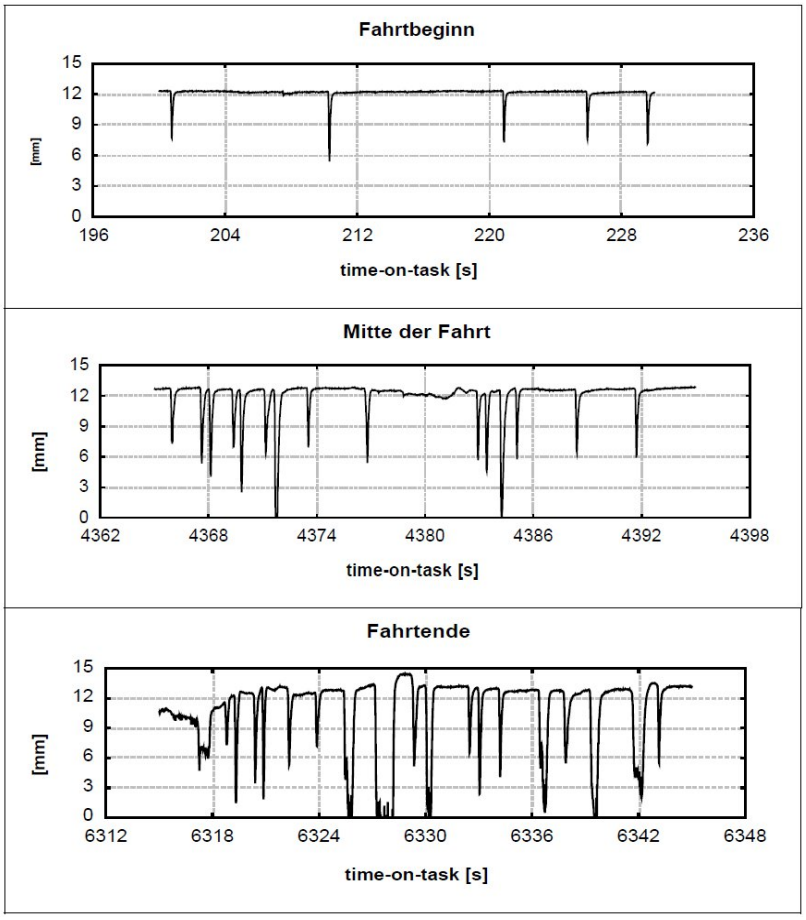


Abbildung 6: Auswertung des Lidschlussaufnehmers (Tietze und Hargutt 2001)