

Über die Ergonomie hinaus

Neue Wege zu einer menschengerechten Technikgestaltung

Alf C. Zimmer

Wenn man Ergonomie (erstmal bei Jastrzemborski 1857) so versteht, wie es die direkte Übersetzung des Begriffes impliziert, nämlich als die systematische Analyse der menschlichen Energie (wobei heute zunehmend mentale Leistungen neben den früher primären physischen stehen), dann liegt es eigentlich nahe, zunächst den Menschen biomechanisch zu modellieren, um dann für bestimmte Bewegungsabläufe zu einer Schwachstellen- und Stärkenanalyse zu kommen; analog müsste man daran eine Modellierung der mentalen Prozesse als System anschließen. Eine dezidiert am Nutzer orientierte Technikgestaltung würde dann auf diesem biomechanischen und mentalen Modell des Menschen aufbauen. und wäre damit notwendigerweise *menschengerecht*¹. Die Praxis sieht diametral entgegengesetzt aus: Üblicherweise werden zunächst einmal technische Systeme unter Berücksichtigung von physischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entwickelt, dann wird der menschliche Bediener geschult und trainiert und erst, wenn entweder das Training scheitert, grobe Bedienungsfehler auftreten oder die Bedienung zu körperlichen Störungen führt (bis hin zu Berufskrankheiten), werden die Maschinen entsprechend umgestaltet.

Die Ursache für diese technik- statt menschengetriebene Entwicklung in der Mensch-Maschine-Interaktion liegt darin, dass eine Modellierung menschlicher Bewegungsabläufe, ganz zu schweigen von Denk- oder Lernvorgängen, außerordentlich komplex ist; so ist z.B. für die Modellierung realistischer Schreitbewegungen die simultane Lösung eines Systems von 36 Differenzialgleichungen notwendig². Aufgrund dieser Komplexität des menschlichen Verhaltens haben sich in der Entwicklung der Ergonomie die Analysen entweder auf die Detailuntersuchung von

¹ Derartige Modellierungen scheitern allerdings an der Komplexität sowohl des menschlichen Körpers (ein System mit ca. 750 Freiheitsgraden und damit mit maximal 750! Zuständen) wie auch der mentalen Prozesse (hier kommt noch hinzu, dass die Anzahl und Intensität von Interaktionen unbekannt ist, selbst die eindeutige Definition und Abgrenzung von Prozessen ist nur auf basaler Ebene möglich). Aus diesen Gründen gibt es nur bereichsspezifische Modellierungen (z.B. RAMSIS für den Greifraum im Fahrzeug ohne Fingerbewegungen oder GOMS für die Bedienung von Computertastaturen); in engumschriebenen Bereichen sind solche Modellierungen allerdings sehr effizient einsetzbar.

² Dies wird besonders gut sichtbar bei den aktuellen computergestützten Animationen. Für die Verfilmung von „Lara Croft“ war es z. B. notwendig, dass eine Schauspielerin versehen mit Messpunkten die einzelnen Bewegungen zunächst durchführte, diese wurden dann nicht biomechanisch analysiert, sondern als komplette Module in die Simulationssoftware eingegeben.

Stör- und Unfällen beschränkt bzw. auf die Bestimmung kritischer Dosierungen von Belastungen. Die erste Form der Analyse findet man vor allen Dingen in dem, was im angelsächsischen Bereich als Human-Factors bezeichnet wird, während die Dosisuntersuchungen vor allen Dingen die Grundlage arbeitsmedizinischer Untersuchungen darstellen (für die US-amerikanische Dienststelle Occupational Health and Safety Administration (OSHA) ist in der Zwischenzeit Ergonomie gleichbedeutend mit skeleto-muskulären Belastungsanalysen). Im Human-Factors-Bereich haben diese Untersuchungen zu einer Fülle empirisch begründeter Checklisten und Normen zur Entwicklung und Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen geführt³. Aufgrund dieser Checklisten ist es in der Zwischenzeit möglich und teilweise sogar gesetzlich verankert, schon beim Entwicklungsprozess die Komponenten der Mensch-Maschine-Interaktion zu berücksichtigen, damit keine oder möglichst wenige Stör- und Unfälle auftreten. Andererseits haben auch die z.B. in den deutschen Sozialgesetzbüchern festgehaltenen Dosis-Belastungs-Grenzwerte für die Bestimmung von Berufskrankheiten dazu geführt, dass gesetzliche Bestimmungen für die maximale Arbeitsplatzkonzentration bei Immissionen (die sog. MAK-Listen) und Positionierungs- und Hebewege in den Gestaltungsprozess eingehen.

In jüngster Zeit ist zunehmend die generelle Gültigkeit dieser Bestimmungen in Frage gestellt worden, nicht weil die zugrunde liegenden Messungen per se fehlerhaft sind, sondern weil die Situationen, in denen diese Messungen durchgeführt worden sind, nicht repräsentativ sind. Z.B. sind Unfälle statistisch gesehen seltene Ereignisse und gehorchen in ihrer Verteilung der Poisson-Verteilung, die weder eine Schwellenbestimmung noch eine korrelative Aussage möglich machen. Auf der anderen Seite sind mit den Dosis-Belastungsbestimmungen ausschließlich solche Berufskrankheiten erfasst, die dem „wear & tear-Modell“ entsprechen, nicht aber solche, die aufgrund spezieller, möglicherweise einzigartiger situativer Bedingungen zustande kommen, aber nicht zu Unfällen führen.⁴

Zumindest für den Bereich der mentalen Belastung sind in den vergangenen 20 Jahren Modellansätze entwickelt worden, die aus dem Problem der mangelnden Repräsentativität der Situationen herausführen können und damit möglicherweise ein generalisierbareres Modell für ergonomische Analysen ermöglichen. Anderes als die klassischen Unfallanalysen, die ausgehend vom konkret aufgetretenen Unfall nur exakt so tief in die Verursachungskette bzw. in den Verursachungsbaum zurückgehen, bis sie eine Fehlbedienung bzw. eine Fehlkonstruktion identifiziert haben, die eine straf- bzw. versicherungsrechtliche Abwicklung ermöglicht, setzen diese Ansätze bei der Novellierung der Arbeits- oder Bedientätigkeit an, identifizieren mögliche Fehler und die situativen,

³ siehe z.B. Zimmer (2000) Kurzkompodium für kognitiv-ergonomische Gestaltungsrichtlinien für computergestützte Informationsgestaltung im Fahrzeug (Bericht für SANTOS)

⁴ Zur Kritik am Unfallmodell s. z.B. Dahmen-Zimmer & Zimmer (1997) und zur Kritik des Dosis-Belastungsmodells s. Zimmer (im Druck).

individuellen oder organisatorischen Bedingungen, die ihr Auftreten begünstigen bzw. verhindern.⁵

Aus Sicht der kognitiven Psychologie bzw. modernen Ingenieurpsychologie ist an dieser Vorgehensweise kritisiert worden, dass sie den Menschen primär als Bündel von Eigenschaften betrachtet bzw. die Interaktion des Menschen mit der Maschine als Matrix, durchaus analog einem Excel-Sheet. Jens Rasmussen (1986) und James Reason (1990) haben mit ihren Ansätzen zur Fehleranalyse gezeigt, dass in der Mensch-Maschine-Interaktion sehr viel mehr Systematik steckt, als sie in einer solchen Matrix wiedergegeben werden kann.

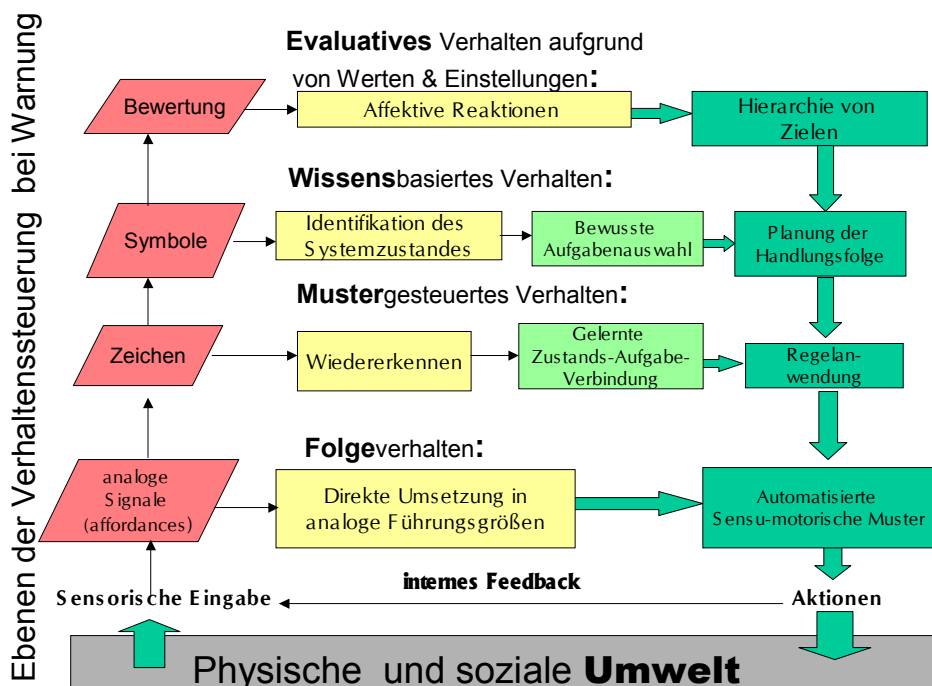


Abbildung 1: Verhaltenssteuerung auf hierarchischen Ebenen (ergänzt und erweitert nach Rasmussen 1986).

So erlaubt z.B. das generische Fehlermodell von Reason (GEM), das auf dem Leistungsmodell von Rasmussen (1986) basiert, eine hierarchische Analyse der Fehlerverursachung und macht damit eine gezielte Analyse der Prozesse in der Mensch-Maschine-Interaktion möglich, ohne wie beim impliziten Matrixmodell entweder unzulässige Vereinfachungen durch Klassifikation durchzuführen oder aber an der fehlenden Datenbasis zu scheitern.

Der augenblickliche Stand der Modellierung mentaler Prozesse beim Menschen in Regelungs-, Führungs- oder Entscheidungssituationen wird in Abb. 2 dargestellt.

⁵ Einen sehr guten Überblick über die zwischenzeitlich schon klassische statistische Herangehensweise an die menschliche Zuverlässigkeit findet sich in Bubb (1992).

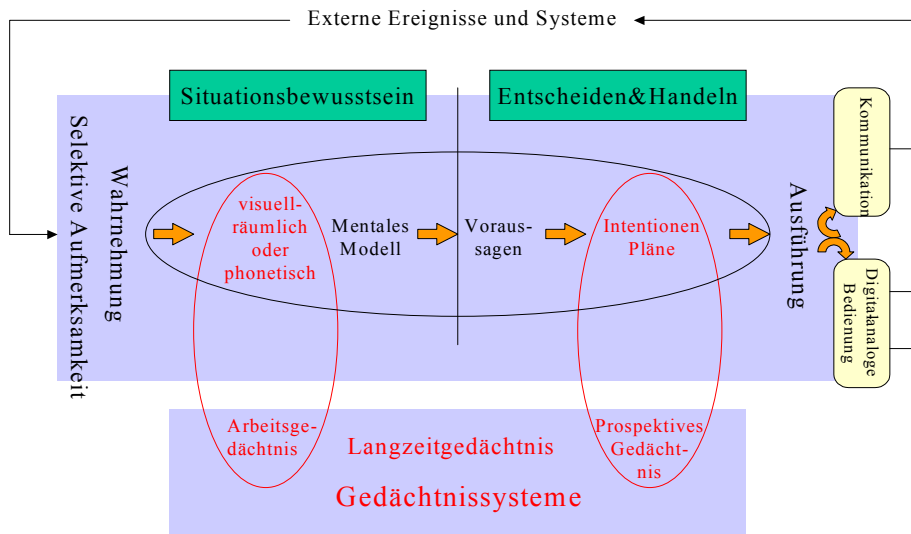


Abbildung 2: Modell der Interaktion mentaler Prozesse bei Regelungs-, Führungs- und Planungsaufgaben.

Weswegen ein so komplexes Modell notwendig ist und die bisher üblichen einfachen Kästchen-Pfeil-Modelle nicht ausreichen, die von Flussdiagrammen beim Programmieren abgeleitet sind und sich daher leicht interpretieren lassen, zeigt die in Abb. 3 dargestellte Aufgabe der Identifikation der Fehlfunktion einer Maschine aufgrund einer Anzeige.

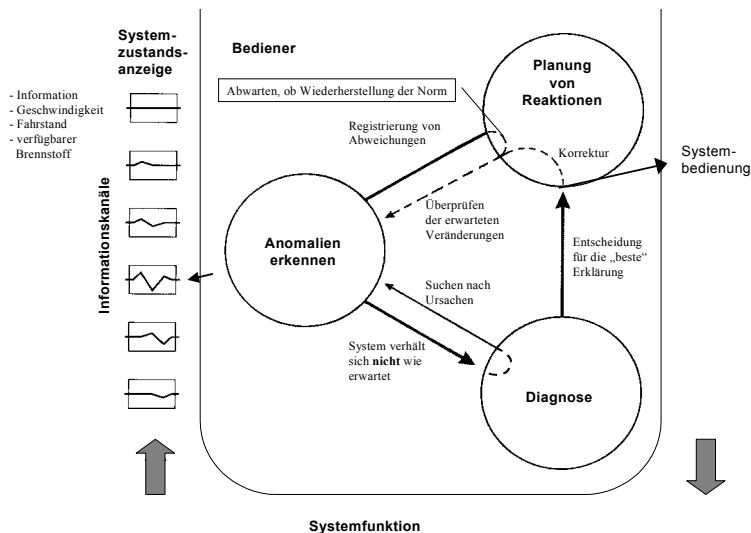


Abbildung 3: Abduktorisches Schließen⁶ auf Fehlfunktionen aufgrund eines Alarmsignals.

⁶ Unter Abduktion oder diagnostischem (von Pierce im Rahmen seiner Semiologie entwickelt) wird in der Logik der Schluss von der Hauptprämisse (z.B. Wissen über ein System) und der Konklusion (z.B. aktuelles Erscheinungsbild) auf eine Unterprämisse (z.B. Situation, die auf das

Während bei „klassischen“ mechanischen Maschinen Warnanzeigen entweder gar nicht notwendig waren, weil die Abläufe absolut transparent waren, oder aber eindeutig definierten Einzelsystemen zuzuordnen waren wie z.B. bei der Druckanzeige durch Manometer, ist dies bei komplexen Systemen, wie sie heute üblich sind, nicht mehr möglich. Dies bedeutet entweder für den Nutzer, dass er beim Auftreten eines Warnsignals sofort die Bedienung einstellt, z.B. sein Fahrzeug anhält – damit aber möglicherweise andere Gefahren heraufbeschwört, man denke nur an die Verursachung von Massenunfällen auf Autobahnen, ausgelöst durch das Abstellen havariierter Fahrzeuge – oder aber er muss aus diesen Warnanzeigen direkt effektive Handlungsanweisungen entnehmen. Dies ist nur möglich, wenn die Anzeigen so in ein Systembild eingepasst sind, dass die Ursachen der Warnanzeige und die Konsequenzen von Systemeingriffen unmittelbar transparent sind.

Bei der Berichterstattung über Stör- und Unfälle, speziell mit Personenschäden, wird in der Regel bei der Frage nach der Verursachung zunächst von *menschlichem Versagen* ausgegangen. Auch die amtlichen Unfallstatistiken zeigen bei abnehmenden oder zumindest gleichbleibenden Fallzahlen einen steigenden relativen Anteil der Stör- und Unfälle, die auf menschliches Versagen zurückgeführt werden. Dies führt zu der Annahme, dass *der menschliche Operateur in technischen Systemen als der primäre Faktor für die Verursachung von Stör- und Unfällen* anzusehen ist. Allerdings zeigt die genauere Analyse, dass diese Schlussfolgerung nicht zwingend ist, da in die Unfallstatistiken nur eingetretene, nicht aber durch menschliches Eingreifen verhinderte Unfälle eingehen.

Das Ziel einer auf individuelle und allgemeine Sicherheit ausgerichteten Strategie von Technikgestaltung muss daher neben der Erhöhung technischer Zuverlässigkeit eine Orientierung auf den menschlichen Operateur sein, die ihn/sie befähigt, *Sicherheit herzustellen*. Diese aktive Herstellung von Sicherheit setzt an bei der nutzerorientierten Planung und geht über begleitende Qualifikation von Operateuren hin zur Prävention potentieller kritischer Situationen und zur Bewältigung kritischer Systemzustände. Als Konsequenz einer solchen technischen Sicherheitspolitik (i.S. von ‚policy of technological design‘) ergibt sich die Notwendigkeit einer permanenten qualifizierten Partizipation aller an der Systemgestaltung und –nutzung Beteiligten. Generell ist im Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine der Grad der Bedienung bzw. Benutzung des Systems durch den Menschen zu klären und damit die Rolle des Operateurs.

Die im Deutschen übliche Bezeichnung „Bedienung“ für den Umgang des Menschen mit einer Maschine weist schon darauf hin, dass sich bei dieser

System aktuell eingewirkt hat) verstanden; im Gegensatz zur Deduktion liefert die Abduktion kein eindeutiges Ergebnis: Es muss jeweils die plausibelste Diagnose bestimmt werden.

Sichtweise der Operateur der Anlage anpassen muss und nicht umgekehrt⁷. Die Bezeichnung Nutzung ist dagegen eindeutig auf den Operateur zentriert: er/sie nutzt ein System entsprechend seinen/ihren Zielen (= Nutzenerwartungen, zu denen auch Sicherheit gehören kann); meist steht allerdings die Effektivität im Vordergrund.

Die Entwicklung integrierter Ansätze der Systemgestaltung ermöglicht die frühzeitige Einbeziehung des späteren Nutzers in die Systemplanung und –auslegung. Für eine derartige Vorgehensweise ergibt sich damit die Notwendigkeit einer partizipativen Systementwicklung.

Das 2000 von Eric Hollnagel vorgestellte Konzept von Mensch-Technik-Systemen als 'joint cognitive systems' geht von der Optimierung der Arbeitsverteilung zwischen Menschen und technischen Systemen aus (den MABA-MABA-Listen nach Fitts 1951: men are better at – machines are better at; die allerdings nicht mehr als fixiert, sondern als dynamisch aufgefasst werden).



Abbildung 4: Systematik der Mensch-Maschine-Arbeitsteilung.

Genauso wie technische Systeme dem Menschen bei Aufgaben assistieren, die mühselig oder überfordernd sind, sollte auch der Mensch in technische Systeme eingreifen, wenn Komplexität oder Neuigkeit von Situationen die Kompetenz des vorliegenden Systems überfordern. Diese prinzipielle Symmetrie in der Mensch-Technik-Beziehung trägt den verschiedenartigen, aber sich im Idealfall ergänzenden Leistungsprofile von Mensch und technischem System Rechnung; schematisch ist dies in Abbildung 5 dargestellt.

⁷ Hermann Haken hat in seinen ‚Erfolgsgeheimnisse der Natur‘ gezeigt, dass prinzipiell schnell adaptierende Systeme von langsam adaptierenden Systemen verklärt werden.

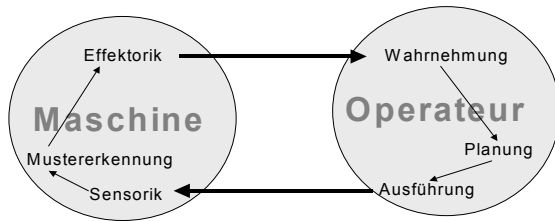


Abbildung 5: Ein verbundenes Mensch-Technik-System (Hollnagel's conjoint cognitive system).

Abbildungen 1 und 2 geben die dieser Abbildung zugrunde liegende Komplexität der menschlichen Anforderungssituation bei der Prozessüberwachung bzw. -steuerung wieder. Ähnlich ließe sich die technische Seite weiter spezifizieren, aber die Darstellung der menschlichen Anforderungssituation reicht aus um abzuschätzen, worauf die technische Assistenz abgestimmt sein muss. Sie ermöglicht darüber hinaus die Bestimmung der Bereiche, in denen die Qualifikationen des Operateurs zur aktiven Herstellung von Qualität und Sicherheit liegen.

Mit diesem Ansatz ergibt sich zum einen die Vorstellung einer konzeptionellen Symmetrie von Mensch und Technik in solchen Systemen aber vor allem die Sicht vom Menschen als aktivem Sicherheits- und Qualitätsfaktor. Eine Gestaltung von Systemen nach diesem Ansatz erfordert eine *Einbeziehung (Partizipation) der Operateure in Gestaltung, Entwicklung, Wartung und Evaluation*. Damit wird eine entsprechende Entwicklung und Aufrechterhaltung bzw. Erweiterung der Qualifikation von Operateuren unabdingbar. Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion hat zu berücksichtigen, dass diese Qualifikation zu erheblichem Teil als „training on the job“ im Sinne eines „learning by doing“ stattfindet. Der Erwerb realistischer Modelle gerade für den Ausnahmefall stellt hier eine besondere Herausforderung dar.

Wie oben gezeigt, leisten z. Zt. klassische Ergonomie und Arbeitswissenschaft nicht die Analyse und Vermittlung der für partizipative Mensch-Technik-Systemgestaltungen notwendigen Komponenten; dies liegt einerseits am zugrundeliegenden technozentrischen Effektivitätsbegriff andererseits aber auch an der Position dieser Gebiete in der Wissenschaftslandschaft als Ergänzungen zur Ingenieurwissenschaft bzw. Psychologie, Orthopädie oder Arbeitsmedizin.

Abschließend werden daher an zwei Beispielen aus der Gestaltung von Fahrer-Fahrzeug-Systemen Ansatzpunkte für einen derartigen integrativen Gestaltungsansatz dargestellt.

Angesichts der zunehmenden Zahl älterer Kraftfahrer muss den mit dem Älterwerden einhergehenden Veränderungen der psychophysischen Leistungen durch Gestaltung Rechnung getragen werden. Nach herkömmlichen Gestaltungsprinzipien würde man z.B. der Verlangsamung von Reaktionszeiten durch eine verbesserte Auffälligkeit von Signalen begegnen. Eine naheliegende technische Umsetzung dieser Vorgehensweise besteht im Einsatz blinkender Signale, speziell in der Peripherie; entgegen den auf dem klassischen Aufmerksamkeitskonzept basierenden Erwartungen stützen experimentelle Untersuchungen (z.B. am UMTRI) diesen Kompensationseffekt nicht. Das Ausbleiben einer Verbesserung der Informationsverarbeitung durch erhöhte Auffälligkeit von Signalen passt nicht in das Konzept der klassischen Ergonomie, wonach die infolge des durch Blinkens verbesserte Aufmerksamkeitslage die Verlangsamung der Informationsverarbeitung bei Älteren kompensieren sollte.

Eine Detailanalyse der Informationsverarbeitung jüngerer und älterer Kraftfahrer (Zimmer und Mitarbeiter 1998) mit dem Zweitaufgabenparadigma von Wickens (1992) weist jedoch daraufhin, dass sich ältere und jüngere bei der Signalverarbeitung primär hinsichtlich des *bevorzugten Modus der Aufmerksamkeitszuwendung* unterscheiden: Während jüngere gleichermaßen gut mit außengesteuerter (d.h. ablenkender) und selbstgesteuerter Informationsvorgabe zurechtkommen, führt der Umgang mit Ablenkung bei älteren zu starken Leistungseinbußen, während die Informationsaufnahme durch (selbstgesteuerte) Abwendung gleich gut bleibt (Zimmer u.a. siehe Abbildung 6).

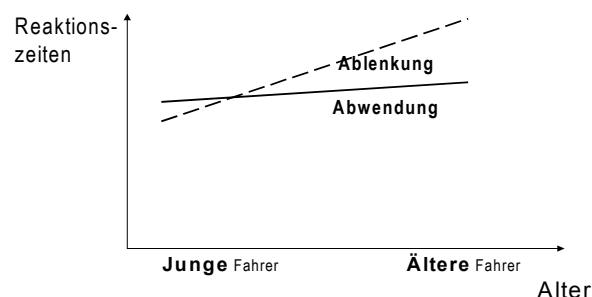


Abbildung 6: Die Reaktion älterer und jüngerer Kraftfahrer auf Ablenkung (außengesteuerte Signalgabe) und selbstgesteuerter Abwendung.

Wie Fahle (2001) zeigen konnte, scheint dieser Effekt zumindest zum Teil dadurch bedingt zu sein, dass Ältere mehr Zeit zum 'Umschalten' von einem Signal zum nächsten brauchen, aber in der Signalverarbeitung selbst nicht beeinträchtigt sind. Während bei Wechselsakkaden ohne Zwischenpause die Zeiten für Ältere dramatisch ansteigen, verliert sich dieser Effekt schon bei

extrem kurzen zeitlichen Unterbrechungen zwischen den Signalen (s. Abbildung 7).

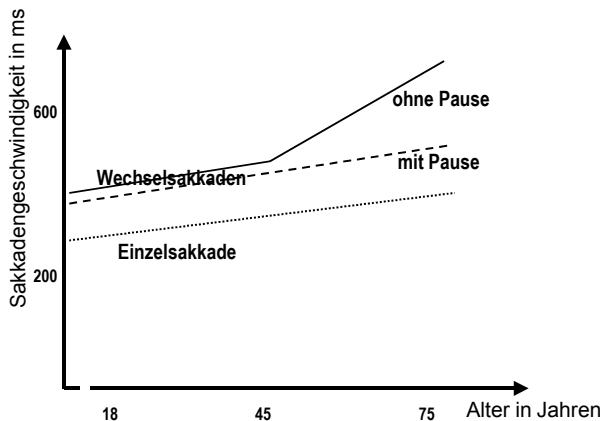
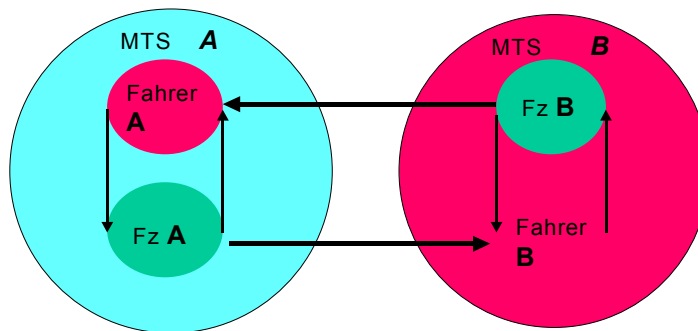


Abbildung 7: Reaktion jüngerer und älterer Menschen auf Wechselsakkaden mit und ohne Pausen.

Ein weiteres, von der klassischen Ergonomie vernachlässigtes Problem im Straßenverkehr aber auch in anderen Situationen besteht darin, dass hier mehrere Mensch-Technik-Systeme interagieren mit der Zusatzschwierigkeit, dass zwischen den Menschen keine direkte Kommunikationsmöglichkeit besteht, so dass die Intentionen des jeweils anderen Fahrers aus dem Verhalten seines Fahrzeugs erschlossen werden müssen (siehe Abbildung 8).

Mensch-Technik-Systeme (MTS) in Interaktion



Das Verhalten des Fahrzeugs **A** wird von Fahrer **B** wahrgenommen, daraus wird auf das Systemverhalten des Mensch-Technik-Systems (MTS) **A** geschlossen und umgekehrt

Abbildung 8: Die Interaktion zweier Mensch-Technik-Systeme.

Dass diese Leistung möglich ist, zeigt das Funktionieren des Verkehrs in komplexen Situation, wie z.B. mehrstreifigen Kreuzungen.

Ein Ansatz zur Verbesserung dieser Situation kann darin bestehen, die Expressivität der Fahrzeuge zu verbessern, angeregt durch die Untersuchungen von Donald Norman zur nutzerorientierten Gestaltung; 1992 hat er ein Buch mit dem Titel „Turn signs are the facial expressions of

automobiles“. In einer experimentellen Untersuchung des Nachfolge- und Abstandsverhalten im Fahrsimulator haben Fenk, Praxenthaler und Zimmer (1997) die Wirksamkeit von Bremsleuchten untersucht, die ihre Form in Abhängigkeit von der Größe der negativen Beschleunigung verändern (s. Abbildung 9).

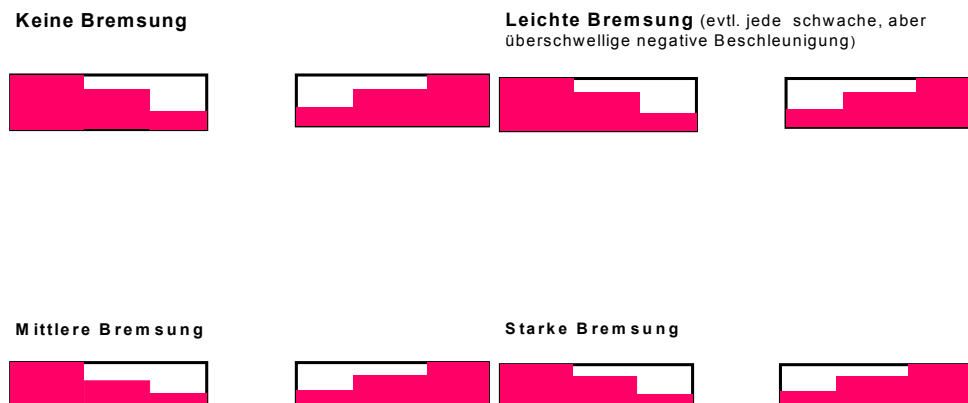


Abbildung 9: Bremskraftabhängige Anzeigen.

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die bremskraftabhängige Gestaltung der Leuchten zu einer Verbesserung der Voraussagbarkeit der Verhaltens des anderen Fahrzeugs führt und damit eine bessere Abstimmung zwischen den beteiligten Mensch-Technik-Systemen ermöglicht.

Zusammenfassend lässt sich schon jetzt feststellen, dass eine auf den Nutzer ausgerichtete Gestaltung technischer Systeme im Sinne integrierter Mensch-Technik-Systeme erwarten lässt, dass in diesen Systemen nicht nur die Wahrscheinlichkeit von Fehlbedienungen abnimmt, sondern dass diese Systeme den menschlichen Operateur zur aktiven Herstellung von Sicherheit befähigen.

Literatur:

Bubb, H. (1992) Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg: Eco-med Fachverlag.

Dahmen-Zimmer, K., Zimmer, A. (1997) Bestimmung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

- Fahle, M. (2001) Visuelle Wahrnehmung als Analyse und Synthese der Welt oder Modularität der visuellen Wahrnehmung und "aktives Sehen. Vortrag an der Universität Regensburg
- Fenk, J., Praxenthaler, M., Zimmer, A. (1997) Optimierung der Bremsanzeige. Vortrag bei der TeaP 1997 in Berlin.
- Fitts, P.M. (1951) *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system*. Washington, DC: National Research Council
- Rasmussen, J. (1986) *Information Processing and human-machine interaction*. Amsterdam: North Holland.
- Reason, J.T. (1990) *Human Error*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- Wickens, T.D. (1992) *Engineering psychology and human performance* (2nd. ed.). New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Zimmer, A. et al. (1998) Definition und Validierung von Kriterien für die Ablenkungswirkung von MMI-Lösungen. Endbericht für MOTIV
- Zimmer, A. (im Druck) Das Spannungsfeld der Mensch-Maschine Interaktion. Der Orthopäde