

# Anwendung von Usability-Maßen zur Nutzeneinschätzung von Fahrerassistenzsystemen

Krisztin Pataki, Dirk Schulze Kissing, Sascha Mahlke, Manfred Thüring

## Zusammenfassung

Im Rahmen von Studien zur Nutzeneinschätzung innovativer Fahrerassistenzsysteme wird vor dem Hintergrund eines fehlenden methodischen Standards auf unterschiedliche Nutzenmaße zurückgegriffen. Da für solche Systeme oft keine vergleichbaren Funktionen im Fahrzeug existieren, ist eine Überprüfung der Systemwirkung auf empirischer Ebene notwendig. Mit dem Ziel, Vorschläge zur Operationalisierung des Nutzenbegriffs zu erarbeiten, wurde das Konzept der Gebrauchstauglichkeit bzw. Usability der international geltenden Norm DIN EN ISO 9241-11 auf eine Studie zur Evaluation von Nachtsichtsystemen übertragen. Dabei wurde der Nutzen anhand der Subkonstrukte Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit operationalisiert. Diesen Nutzenkriterien wurden konkrete Performanz- und Beurteilungsmaße zugeordnet, um letztlich auf empirischer Ebene die Systemwirkung zu erfassen. Mit der Übertragung dieses software-ergonomischen Messansatzes auf die Bewertung innovativer Fahrerassistenzsysteme ist ein strukturiertes methodisches Vorgehen erarbeitet worden, bei dem mit den ermittelten Nutzenmaßen zwischen den zu evaluierenden Systemen diskriminiert werden konnte.

## 1 Einleitung

Die Entwicklung von Unterstützungssystemen gewinnt im Bereich der Mensch-Maschine-Systeme (MMS) bereits über mehrere Jahre hinweg zunehmend an Bedeutung. „Ein Unterstützungssystem ist ein informationsverarbeitendes technisches Gebilde, das die Aufgabenerfüllung eines Operateurs in einem MMS ... dadurch fördert, dass es bestimmte, für die Zielerreichung notwendige Teilaufgaben innerhalb seiner Gesamtaufgabe übernimmt und/oder ausführt“ (Timpe, 1998, S. 6). Vor allem im Bereich der Kraftfahrzeugentwicklung ist der Trend zu mehr Unterstützung besonders ausgeprägt. Fahrerassistenzsysteme zielen explizit darauf ab, die Bewältigung der Fahraufgabe zu erleichtern und die Fahrsicherheit zu erhöhen. Solche Systeme verfügen über eine vielfältige Funktionalität und werden insbesondere zur Unfallvermeidung immer wichtiger. Der Grad der Fahrerunterstützung variiert dabei vom Bereitstellen einfacher Zusatzinformationen, über Warnhinweise bis hin zu korrigierenden Eingriffen in kritischen Situationen.

Bei dieser hohen Bandbreite von Gestaltungsmöglichkeiten stellt sich die Frage, welche Optionen Designer und Entwickler umsetzen sollten, damit Fahrer einen möglichst hohen Nutzen aus dem Einsatz des Unterstützungssystems ziehen. Besonders bei innovativen Assistenzsystemen existieren oft keine vergleichbaren Funktionen im Fahrzeug, aus denen sich Aussagen über positive oder auch negative Konsequenzen des Systemeinsatzes ableiten ließen. Eine empirische Überprüfung zur Bewertung des Nutzens bietet hier einen gangbaren Ausweg. Kann der Nutzen verschiedener Systemvarianten erfasst werden, so ist auch sicherzustellen, dass die Systemvariante realisiert wird, die die optimale Unterstützung bietet.

Die Schwierigkeit einer derartigen, empirischen Vorgehensweise besteht allerdings darin, dass bislang kein bewährter methodischer Standard zur Nutzenabschätzung von Fahrerassistenzsystemen existiert. Evaluationsstudien in dieser Domäne sind folglich sehr heterogen und ziehen die unterschiedlichsten Maße heran (für einen Überblick siehe Timpe, Willumeit & Kolrep, 2000, sowie Timpe, Jürgensohn & Kolrep, 2002). Hinzu kommt, dass viele der Studien allein Fragebogendaten erheben und auf die Erfassung von Leistungs- und Performanzdaten zur Nutzenbestimmung verzichten. Dies mag unter anderem daran liegen, dass es bislang kein Einvernehmen darüber zu geben scheint, wie das

Nutzenkonzept für die Domäne der Unterstützungssysteme operationalisiert und zu Verhaltensdaten in Beziehung gesetzt werden kann.

Einen viel versprechenden Ansatzpunkt zur Lösung dieses Problems bietet ein internationaler Standard aus dem Bereich der Software-Entwicklung. Die Norm DIN EN ISO 9241-11 beschreibt die Gebrauchstauglichkeit (Usability) von Systemen und dekomponiert sie in die Subfaktoren Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung, die ihrerseits wiederum noch genauer definiert werden.

Zwischen diesem Usability-Konzept und dem entscheidungsanalytischen Nutzenbegriff besteht ein enger Zusammenhang. In der Entscheidungstheorie differenziert man zwischen dem instrumentellen und dem hedonischen Nutzen (Jungermann, Pfister & Fischer, 2005). Der instrumentelle Nutzen einer Option hängt davon ab, inwieweit sie einem Ziel - im Sinne von Genauigkeit, Vollständig und Schnelligkeit der Zielerreichung - förderlich ist. Der hedonische Nutzen ist ein mental-affektiver Zustand, der als zufrieden stellend oder gar lustvoll erlebt wird. Beide Konzepte lassen sich auf den Nutzen von Unterstützungssystemen anwenden und mit deren Gebrauchstauglichkeit in Verbindung bringen. Während der instrumentelle Nutzen davon abhängt, inwieweit das System die objektiv messbare Effektivität und Effizienz der Bewältigung der Fahraufgabe erhöht, ergibt sich der hedonische Nutzen aus der subjektiv empfundenen Zufriedenheit des Benutzers mit dem System.

Der enge Zusammenhang von Gebrauchstauglichkeit und Nutzen bildet den Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen. Hierbei wird das Gebrauchstauglichkeits-Konzept der DIN EN ISO 9241-11 auf die Domäne der Nutzenbewertung innovativer Fahrerassistenzsysteme übertragen. Der instrumentelle Nutzen im Sinne von Effektivität und Effizienz wird dabei durch objektive Verhaltens- und Performanzdaten des Fahrers erfasst, der hedonische Nutzen im Sinne der Zufriedenheit durch Befragungsinstrumente, mit denen dieser subjektiv erlebte Nutzenaspekt gemessen werden kann. Im Folgenden wird zunächst der erarbeitete Messansatz beschrieben und im Rahmen der Konzepte von Usability und Nutzen diskutiert. Im Anschluss daran wird eine Studie über ein innovatives Assistenzsystem zur Unterstützung des Fahrens bei Dunkelheit vorgestellt, in der die entwickelte Methodik angewendet und erprobt wurde.

## **2 Software-ergonomische Kriterien zur Nutzeneinschätzung**

### **2.1 Das Konzept der Gebrauchstauglichkeit der DIN EN ISO 9241-11**

Der international geltende Standard DIN EN ISO 9241 spezifiziert in 17 Teilen Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Der Teil 11 beschreibt dabei Kriterien für die Gebrauchstauglichkeit, die ihrerseits definiert wird als „das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um Ziele in einem bestimmten Arbeitssystem effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ (DIN EN ISO 9241-11, 1998, S. 4). Über die Messung der Subkonstrukte Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung werden zwar keine konkreten Angaben gemacht, doch werden Anforderungen aufgestellt, die die entsprechenden Messgrößen erfüllen sollten:

- Effektivitätsmaße sollen „den Grad der Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der der Nutzer Ziele erreicht“, erfassen (DIN EN ISO 9241-11, 1998, S. 6).
- Effizienzmaße „setzen den erreichten Grad der Effektivität ins Verhältnis zum Aufwand an Ressourcen“ (DIN EN ISO 9241-11, 1998, S. 7). Dieser Aufwand kann „psychische oder physische Beanspruchung, Zeit, Material oder monetäre Kosten enthalten“ (DIN EN ISO 9241-11, 1998, S. 7).
- Zufriedenstellungsmaße beziehen sich auf das „Ausmaß, in dem Benutzer von Beeinträchtigungen frei sind, und ihre Einstellungen zur Nutzung des Produktes“ (DIN EN ISO 9241-11, 1998, S. 7).

Bezüglich der Auswahl von Messgrößen spezifiziert die Norm weiterhin nur, dass jedem dieser Subkonstrukte mindestens ein Maß zugeordnet werden soll, stellt jedoch keine allgemeinen Regeln für die Auswahl entsprechender Messverfahren auf.

## 2.2 Messung der Gebrauchstauglichkeit

Das Gebrauchstauglichkeits-Konzept der DIN EN ISO 9241-11 wird vor allem im Rahmen der nutzerzentrierten Evaluation - den Nutzertests - eingesetzt. Hierbei wird die reale Nutzungssituation dadurch approximiert, dass die Probanden Prüfaufgaben bearbeiten, die repräsentativ für den tatsächlichen Nutzungskontext sind und idealerweise die gesamte Funktionalität des Systems abdecken (Johnson, Clegg & Ravden, 1989). Während der Aufgabebearbeitung werden Performanz- bzw. Leistungsdaten erhoben, die Aussagen über den instrumentellen Nutzen des Systems erlauben. Zur Erfassung derartiger Daten bieten sich eine Reihe von Methoden an, die sowohl im Laborexperiment als auch in Felduntersuchungen eingesetzt werden können. Eine Übersicht über diesen Methodenkanon geben Baggen und Hemmerling (2002).

Der Vorteil dieses „performance measurement“ liegt in der Gewinnung verlässlicher, quantitativer Daten, auf deren Basis die Effektivität und Effizienz der Systemnutzung so erfasst werden können, dass sich empirisch abgesicherte Designentscheidungen treffen lassen (vgl. Aschersleben, Gstalter, Kaiser, Strube & Zang-Scheucher, 1989). Zur Quantifizierung dieser beiden Attribute des instrumentellen Nutzens sind verschiedene Vorschläge gemacht worden. So führt beispielsweise Rubin (1994) die Bearbeitungszeit und die Fehlerquote als Effektivitätsmaß ein. Nielsen (1993, 2001) schlägt Erfolgsrate, Bearbeitungszeit und Fehlerrate als grundlegende Performanzmaße vor - allerdings ohne diese den Kriterien der DIN EN ISO 9241-11 zuzuordnen.

Am bislang detailliertesten werden Effektivität und Effizienz im Rahmen der sog. MUSIC-Methode (Metrics for Usability Standards in Computing) beschrieben. Hier wird zunächst die Effektivität der Systemnutzung bestimmt, indem Quantität und Qualität der Aufgabenbewältigung zueinander in Beziehung gesetzt werden (Bevan, 1995). Als Quantitätsmaß fungiert die bewältigte Aufgabenmenge, als Qualitätsmaß der Grad der Zielerreichung. Die Effektivität ermittelt man, indem man diese beiden Maße multiplikativ miteinander verknüpft. Die Effizienz der Systemnutzung ergibt sich, wenn man die so quantifizierte Effektivität zu den entstandenen Bearbeitungskosten ins Verhältnis setzt. In Hinblick auf die Kosten können verschiedene Formen, wie z.B. Aufgabebearbeitungszeit oder „mental workload“ (vgl. Hancock & Meshkati, 1988), unterschieden werden.

Für die Bestimmung des instrumentellen Nutzens bilden die in MUSIC beschriebenen Effektivitäts- und Effizienzmaße eine viel versprechende Ausgangsbasis. Allerdings müssen in jeder Untersuchung zum Systemnutzen Quantität, Qualität und Kostenart in Abhängigkeit von den verwendeten Prüfaufgaben und den daraus resultierenden Anforderungen neu definiert werden. So ist beispielsweise die Qualität der Bewältigung einer Navigationsaufgabe, die sich einem Autofahrer stellt, mit Sicherheit anderes zu quantifizieren als die einer Detektionsaufgabe, bei der es um die Erkennung von Fußgängern auf der Fahrbahn geht.

Die Erfassung des hedonischen Nutzens erfolgt über die Beurteilung der Zufriedenheit mit dem System, die in der Regel nach der Bearbeitung der Prüfaufgaben erfolgt. Hierbei werden verschiedene Aspekte der Zufriedenstellung erfasst, wie z.B. die Wertschätzung des Produktes, die Zufriedenheit mit der Nutzung oder der Grad, mit dem bestimmte Ziele als erfüllt angesehen werden (vgl. DIN EN ISO 9241-11, 1998). So erfragt beispielsweise der im Kontext der oben erwähnten MUSIC - Methode eingesetzte Fragebogen SUMI (Software Usability Measurement Inventory, Kirakowski, 1996) die Dimensionen Effizienz, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit, Güte der Hilfe und Affekt.

Ein Vorteil derartiger Befragungsinstrumente besteht darin, dass sie auf detaillierter Ebene verschiedenste Aspekte der Zufriedenheit mit dem System abbilden und so auch konkrete Informationen für Systemverbesserungen aus Nutzerperspektive liefern. Neuere Verfahren erweitern diese Ansätze und berücksichtigen weitere Kriterien des Nutzererlebens, wie z.B. die hedonische Qualität (Hassenzahl, Platz, Burmester & Lehner, 2000) oder emotionale Aspekte der Interaktion (Norman, 2004).

## **3 Anwendung des Usability-Konzeptes bei der Evaluation von Nachtsichtsystemen**

### **3.1 Fragestellung und Evaluationsziele**

Die Führung eines Kraftfahrzeugs umfasst Tätigkeiten auf der Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsebene. Auf der Navigationsebene wird die Fahrroute festgelegt, die auf der Führungsebene umgesetzt wird. Aufgaben auf der Führungsebene schließen z.B. das Halten der Spur oder Überholen ein. Auf der Stabilisierungsebene werden Zielgrößen der Quer- und Längsführung realisiert wie z.B. Lenkbewegungen oder Bremsen. Für jede dieser Ebenen existieren bereits heute eine Vielzahl von Assistenzsystemen (vgl. Haller, 2001; Ehmanns, Wallentowitz, Gelau & Nicklisch, 2000). Das Fahren bei Dunkelheit stellt vor diesem Hintergrund eine kritische Nutzungssituation dar. Jedoch erfährt dieser Bereich bislang kaum Unterstützung, und dies, obwohl er besonders relevant für die Verhütung tödlicher Unfälle wäre. Nachts gibt es mehr Unfälle mit tödlichem Verlauf als nach der Verkehrsbelastung zu erwarten wäre. So kommen beispielsweise 88% der auf Landstraßen Getöteten bei Dunkelheit ums Leben (Hülßen, 2003). Assistenzsysteme, die sich dieser Problematik annehmen, sollen den Fahrer beim rechtzeitigen Erkennen potentieller Unfallquellen im Dunkeln, wie z.B. Fußgänger oder Radfahrer, unterstützen.

In einer umfassenden Studie sind eine Reihe von Prototypen derartiger Nachtsichtsysteme untersucht worden. Das Ziel der Studie bestand in der Bewertung des Nutzens dieser Prototypen.

Exemplarisch wird nachfolgend an drei der betrachteten Prototypen dargestellt, wie auf instrumenteller und auf hedonischer Ebene der Nutzen von Nachtsichtsystemen - als eine spezifische Form von Fahrerassistenzsystemen - bestimmt werden kann. Hierbei wird der Systemnutzen durch die Subkonstrukte Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit operationalisiert. Diesen drei Konstrukten werden Messmethoden zur Erfassung von Leistungs- und Performanzdaten sowie zur Erhebung von Zufriedenheitsurteilen zugeordnet, die in nutzerzentrierten Feldstudien angewendet werden können.

### **3.2 Evaluationsgegenstand: Nachtsichtsysteme**

Nachtsichtsysteme bestehen aus drei Komponenten: der Sensorik, die die Außeninformation über eine Kamera aufnimmt, der Bildverarbeitung, die den Kameraoutput aufbereitet sowie dem Display, das die aufbereitete Information darstellt. Durch Kombination der verschiedenen technischen Ausprägungen dieser Komponenten - insbesondere Sensorik und Art des Displays - können sehr unterschiedliche Nachtsichtsysteme realisiert werden. Drei solcher prototypischer Systemvarianten wurden getestet:

- Variante 1: Ferninfrarotsensorik und virtuelles Head-Up-Display (FIR). Der Ferninfrarotsensor stellt eine der beiden Ausprägungen der Sensorik-Komponente dar, bei der eine Kamera ein Wärmedifferenzbild der Umgebung liefert. Die von der Ferninfrarotkamera aufgenommene Information wird über ein Head-Up-Display als virtuelles Bild auf der Windschutzscheibe vor dem Fahrer dargestellt.
- Variante 2: Nahinfrarotsensorik und TFT-Display (NIR). Nahinfrarotsensoren, als zweite Ausprägung der Sensorik-Komponente, reagieren auf die Wärmestrahlung infrarot-reflektierender Oberflächen und operieren im nahen Sichtbereich. Die Kamera des Systems produziert einen monochromatischen Output, bei dem die Umrisse der dargestellten Objekte besonders deutlich wahrgenommen werden können. Das Kamerabild wird auf einem TFT-Display analog und in Echtzeit dargestellt.
- Variante 3: Objekterkennung mit ereignisgesteuertem Alarm (OEA). Dieses System basiert auf Ferninfrarotsensorik und verfügt zusätzlich über eine automatische Bildverarbeitung. Die vom Sensor aufgenommene Information wird dabei wissensbasiert vom System analysiert und einer Kategorie (z.B. Fußgänger) zugeordnet. Anstelle eines komplexen Videobildes erhält der Fahrer eine abstrakte Information zu einer Gefahrenquelle.

### **3.3 Versuchsdurchführung**

An der Feldstudie nahmen 15 Versuchspersonen teil, wobei die Versuchsgruppe Männer und Frauen im Alter von 40 bis 65 Jahren umfasste. Alle Teilnehmer fuhren mit jeder Systemvariante eine ausgewählte Teststrecke ab, die ihnen seitens des Versuchsleiters vorgegeben wurde. An der Teststrecke waren Statisten positioniert, die zusammen mit zufällig auftretenden Fußgängern oder Radfahrern die „kritischen Ereignisse“ bildeten, die entdeckt und angezeigt werden mussten. Die Teststrecke führte durch ein Waldstück sowie durch eine Reihe von Wohngebieten mit unterschiedlicher Beleuchtung. Die Testfahrten wurden bei Dunkelheit (ab ca. 21 Uhr) durchgeführt. Die Feldstudie fand im Oktober statt.

Die Datenaufzeichnung während der Fahrt erfolgte durch das Blickmessungssystem „iView“ der Firma SMI mit Kamerahelm für die Augen- und Szenenkamera sowie über einen DriveRecorder mit Videowalkman, der für die synchrone Aufzeichnung von Fahrzeugdaten sowie weiterer Daten verwendet wurde. Nach der Fahrt wurden verschiedene Urteile über Fragebögen erhoben.

### **3.4 Operationalisierung der Nutzenmaße**

Zur Erhebung des Nutzens wurden verschiedene Messmethoden eingesetzt, die sowohl die Erfassung von Leistungsdaten als auch die von Nutzerurteilen beinhalteten. Die mit den Methoden gewonnenen Daten erlauben Rückschlüsse auf den Systemnutzen sowie auf die Subkonstrukte Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit. Die Zusammenhänge zwischen diesen theoretischen Konstrukten, ihren Operationalisierungen sowie den zugehörigen Maßen werden im Folgenden beschrieben und sind in Abbildung 1 zusammenfassend dargestellt.

#### **3.4.1 Effektivität**

Schließt man sich dem Konzept von Bevan (1995) an, so bestimmen Quantität und Qualität der erreichten Ziele die Effektivität der Aufgabenbewältigung. Dies gilt auch für Unterstützungssysteme. Sowohl Qualität als auch Quantität lassen sich nur in Verbindung mit den Zielen bestimmen, die ein Benutzer mit dem Systemeinsatz verfolgt. Im Verwendungskontext von Nachtsichtsystemen liegen diese Ziele klar auf der Hand. Potentielle Gefahrenquellen sollen möglichst häufig erkannt und so schnell wie möglich identifiziert werden. Nur so ist gewährleistet, dass Fahrer rechtzeitig reagieren und einen Unfall vermeiden können.

Werden Quantität und Qualität auf diese Weise operationalisiert, so stellen Entdeckungsrate und Reaktionszeit geeignete Messgrößen zu ihrer Bestimmung dar. Eine multiplikative Verknüpfung beider Maße, wie von Bevan (1995) vorgeschlagen, macht allerdings in diesem Fall wenig Sinn. Vielmehr besteht zwischen Entdeckungsrate und Reaktionszeit bereits ein impliziter Zusammenhang, der keiner weiteren Verbindung bedarf: Eine Zeitmessung ist selbstverständlich nur dann möglich, wenn eine Reaktion auf ein kritisches Ereignis tatsächlich erfolgt. Reaktionszeiten lassen sich also nur für „hits“ bestimmen und sind für „false alarms“ oder „misses“ trivialerweise nicht messbar.

Jedes der beiden Maße erfasst einen spezifischen Aspekt der Effektivität. Dabei zeichnet sich eine effektive Systemnutzung sowohl durch hohe Entdeckungsraten, als auch durch schnelle Reaktionen auf entdeckte Ereignisse aus. In der vorliegenden Studie wurden diese Überlegungen auf die Untersuchung von Nachtsichtsystemen übertragen, indem die Häufigkeit der Detektion kritischer Ereignisse (Entdeckungsraten) sowie die hierfür benötigte Zeit (Reaktionszeit) erhoben wurden.

#### **3.4.2 Effizienz**

Das Ausmaß der Effizienz einer Systemnutzung hängt zum einen von deren Effektivität und zum anderen von den Kosten ab, die aufgewendet werden müssen, um diese Effektivität zu erreichen. Je effektiver ein System ist und je weniger Ressourcen seine Benutzung erfordert, desto größer ist die resultierende Effizienz.

Beim Einsatz von Unterstützungssystemen spielen zwei Kostenfaktoren eine zentrale Rolle, die auch zur Effizienzbestimmung von Nachtsichtsystemen herangezogen werden können. Dies ist zum einen die Zeit, die auf die Nutzung des Systems verwendet werden muss, um Quantitäts- und Qualitätsziele

zu erreichen (Zeitkosten) und zum anderen die Beanspruchung, der ein Benutzer ausgesetzt ist, wenn er mit dem System interagiert.

Zur Ermittlung der Zeitkosten eignen sich besonders Blickbewegungsdaten, wobei die mittlere Fixationsdauer des Systems sowie die kumulierte Fixationsdauer die beiden zentralen Kennwerte bilden:

- Die mittlere Dauer der Fixation des Displays eines Nachtsichtsystems ist ein wesentlicher Indikator für die durchschnittlichen Zeitkosten. Längere Fixationsdauern sprechen für ein verlängertes Suchen nach relevanten Informationen, wobei die Ursachen dafür entweder in der mangelnden Darstellungsqualität des Displays oder in einem zu hohen „Rauschen“ durch irrelevante Kontextinformation liegen können. Bei der Analyse der Fixationsdauern ist zu berücksichtigen, dass während der Fixation die Aufmerksamkeit zwar noch der Primäraufgabe - dem Fahren - gilt, dass der Blick aber von der Fahrbahn selber abgewendet ist. Betrachtet man Ergebnisse von Studien zur Bewältigung von Sekundäraufgaben während des Fahrens, so sollten derartige Blickabwendungen nicht länger als zwei Sekunden dauern (Kiefer & Angell, 1993).
- Ein zweiter Kennwert der Zeitkosten ist die kumulierte Fixationsdauer, mit der Aussagen über den insgesamt betriebenen Zeitaufwand gemacht werden können. Dieser Wert gibt an, wie viel Zeit während der gesamten Fahraufgabe in die Systemnutzung investiert werden musste, um das erzielte Effektivitätsniveau zu erreichen.

Neben der Zeit, die auf das System verwendet wird, gilt als weiterer Kostenfaktor das Ausmaß der aufgewandten Ressourcen im Sinne der mentalen Beanspruchung, die mit der Systemnutzung einhergeht. Mentale Beanspruchung lässt sich über subjektive Nutzerurteile erheben, wofür sich insbesondere zwei Verfahren eignen:

- Mit Hilfe der SEA-Skala (Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung, Eilers, Nachreiner und Hänecke, 1998) wird auf einer metrischen Skala die Gesamtbeanspruchung bewertet.
- Mit Hilfe des NASA TLX (Task Load Index, Hart & Staveland, 1988) kann abgeleitet werden, wie sich die Einschätzung der Gesamtbelastung zusammensetzt, da verschiedene Beanspruchungsdimensionen erhoben werden. Dazu zählen vor allem die mentale Beanspruchung, die körperliche Beanspruchung sowie Anstrengung und Frustration.

Da die beschriebenen Maße zur Ermittlung von Zeit- und Beanspruchungskosten spezifische Hinweise auf bestehende Schwachstellen der verschiedenen Systemvarianten liefern können, wurden sie in der vorliegenden Studie in Kombination eingesetzt. Der NASA-TLX wurde dabei um Items zur Messung der visuellen Beanspruchung ergänzt.

### **3.4.3 Zufriedenheit**

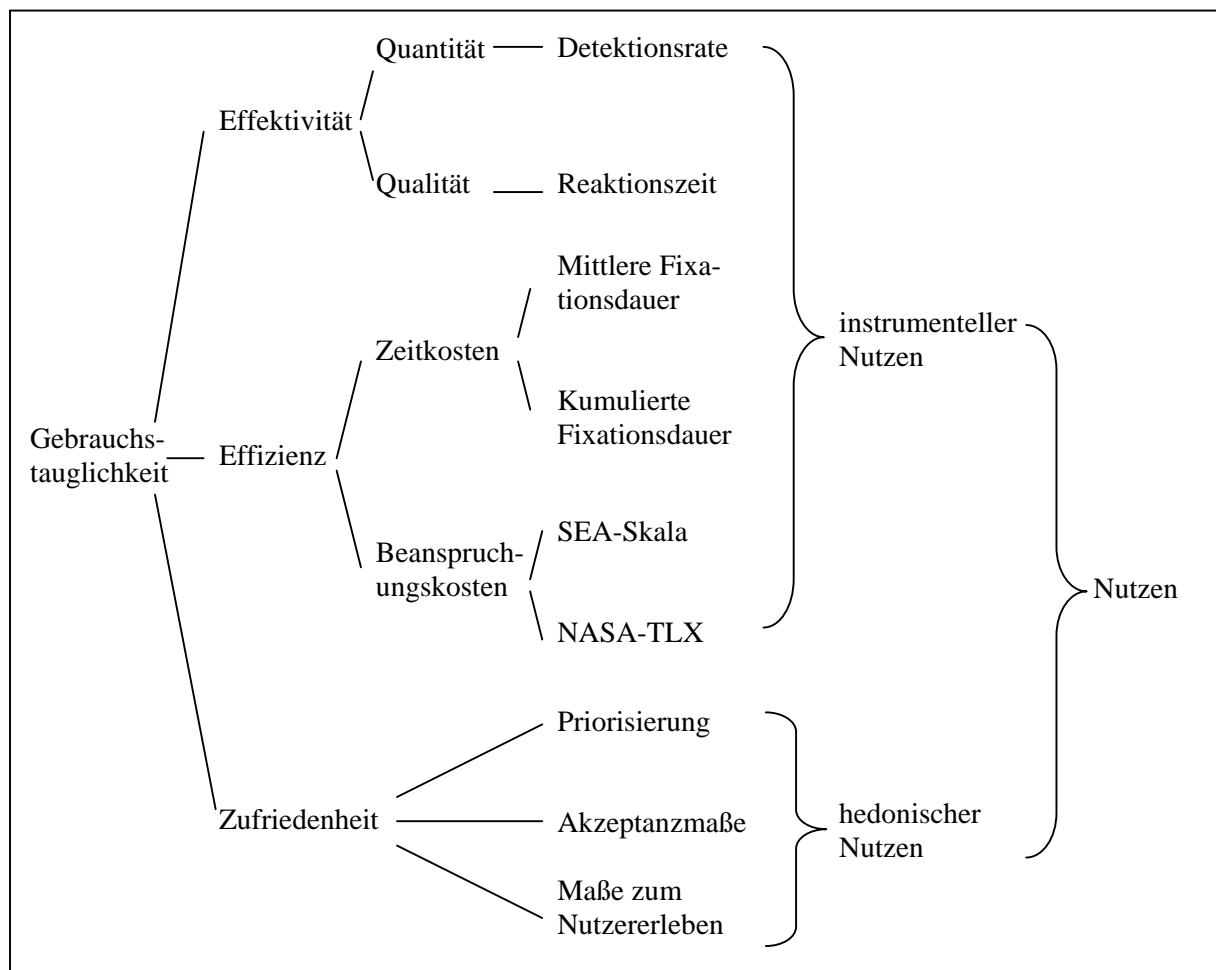
Zur Messung der Zufriedenheit kommen eine Reihe von Erhebungsmethoden in Betracht, die jeweils bestimmte Schwerpunkte setzen und mehr oder weniger aufwendig sind:

- Bei einer vergleichenden Evaluation gibt die allgemeine Priorisierung der Systeme einen ersten, schnellen Eindruck über Zufriedenheitsunterschiede. Die Nutzer werden dabei aufgefordert, die Systeme in eine Rangreihe zu bringen, beginnend mit dem System, mit dem sie am zufriedensten sind. Ist ein Benutzer mit mehreren Systemen gleichermaßen zufrieden, weist er ihnen denselben Rangplatz zu.
- Als weiteres Zufriedenheitsmaß kann die Systemakzeptanz erhoben werden. Sie gilt als die Bereitschaft eines Anwenders, in einer konkreten Situation das Nutzungspotential des Systems aufgabenbezogen einzusetzen (Reichwald, 1982). Fragebögen zur Akzeptanzmessung geben vor allem Aufschluss über Einstellungen zum System. Um auf möglichst viele Arten interaktiver Systeme anwendbar zu sein, sind sie allerdings eher allgemein gehalten und liefern kaum Hinweise zur konkreten Weiterentwicklung des Systems. In der vorliegenden Studie wurden ausgehend vom dynamischen Akzeptanzmodell (Kollmann, 1998) Informationen zur Akzeptanz erhoben. Kollmann unterscheidet drei Ebenen der Akzeptanz: Einstellungs-, Handlungs- und Nutzungsebene. Die Einstellungsebene bezieht sich auf das Abwägen von nutzungsrelevanten

Einstellungsmerkmalen, während die Handlungsebene Überlegungen zum Kaufverhalten und die Nutzungsebene die Bewertung der Nutzungsbedingungen enthält.

Aktuell werden zunehmend die theoretischen Annahmen in Frage gestellt, die den Fragebögen zur Messung der Zufriedenheit zugrunde liegen (Lindgaard & Dudek, 2003). Einer der wichtigsten Kritikpunkte ist hierbei, dass nicht alle Qualitätsaspekte abgebildet werden, die einem Nutzer relevant erscheinen. In einem der ersten Ansätze, der dieses Argument vertrat, unterschied Logan (1994) zwischen den Dimensionen der verhaltensbezogenen und der emotionalen Gebrauchstauglichkeit. Die verhaltensbezogene Dimension beinhaltet aufgabenorientierte Qualitätsaspekte, während die emotionale Dimension Kriterien berücksichtigt, die über die eigentliche Aufgabenbearbeitung hinausgehen.

Logans Ansatz steht damit in enger Beziehung zu den Konzepten des instrumentellen und hedonischen Nutzens. Nur wenn sowohl verhaltensbezogene als auch emotionale Aspekte erfasst werden, lassen sich Aussagen über den Nutzen insgesamt ableiten. Neuere Forschungsansätze gehen deshalb von einem erweiterten Usability-Konzept aus, das neben dem „ease of use“ den „joy of use“ der Systemnutzung adressiert (Thüring & Urbas, 2003). Hierfür sind neben den bisher berücksichtigten Aspekten der Gebrauchstauglichkeit, die dem instrumentellen Nutzen zuzuordnen sind, vor allem Aspekte des Nutzererlebens relevant, die den hedonischen Nutzen ausmachen. So führten z.B. Hassenzahl et al. (2000) das Konzept der hedonischen Qualität als wahrgenommene Eigenschaften eines Systems ein, aufgrund derer der Nutzer das System als innovativ, interessant, beeindruckend etc. beurteilt.



**Abb. 1:** Zusammenhänge zwischen Gebrauchstauglichkeit, Nutzenkonzepten, Operationalisierungen und Maßen bei der empirischen Untersuchung von Nachtsichtsystemen.

Vor dem Hintergrund dieser neuen Entwicklungen wurde in der vorliegenden Untersuchung als drittes Instrument zur Zufriedenheitsmessung ein Fragebogen basierend auf dem Modell von Mahlke (2002) angewandt. Er integriert die Dimensionen Benutzbarkeit, Nützlichkeit, hedonische Qualität sowie visuelle Attraktivität und erfasst wichtige Aspekte des Nutzererlebens.

In Abbildung 1 werden die Messinstrumente zur Erhebung der Zufriedenheit dem hedonischen Nutzen zugeordnet. Die Konstrukte des hedonischen und instrumentellen Nutzens sind auf Messebene allerdings nicht klar trennbar, so dass Zufriedenheitsfragebögen auch Aspekte des instrumentellen Nutzens erfragen.

### 3.5 Ergebnisse und Interpretation

Die Daten zu den in Abbildung 1 dargestellten Methoden wurden varianzanalytisch ausgewertet. Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben. Eine zusammenfassende Übersicht bietet Tabelle 1, in der für jedes einzelne Messverfahren das Abschneiden der Systeme in Form von Rangplätzen angegeben ist. Maße, bei denen sich signifikante Mittelwertsunterschiede ergeben, die sich auf die unterschiedlichen Systemvarianten (Faktor „System“) zurückführen lassen, sind mit einem Stern (\*) gekennzeichnet.

#### 3.5.1 Effektivität

Um die Effektivität zu bestimmen, wurden die Entdeckungsraten und Reaktionszeiten ausgewertet, die mit den drei Systemvarianten in den Testfahrten erzielt wurden.

- Entdeckungsraten: Mit dem Prototypen OEA wurden die meisten potentiellen Gefahrenquellen erkannt (57,7%), gefolgt von NIR (49,1%) und FIR (46,6%). Inferenzstatistisch ließ sich allerdings kein signifikanter Effekt zwischen den relativen Häufigkeiten nachweisen.
- Reaktionszeiten: Die Reaktionszeit bildet das Intervall zwischen dem Zeitpunkt des Erscheinens des kritischen Ereignisses, d.h. Radfahrer oder Fußgänger im System und dem Zeitpunkt der Detektion des kritischen Ereignisses durch den Fahrer ab. Am schnellsten wurde die Detektionsaufgabe mit der Systemvariante OEA bewältigt (4398 ms), am langsamsten mit der Variante FIR (10193 ms). Das System NIR lag mit einem Mittelwert von 6711 ms auf dem zweiten Rangplatz. Prüfstatistisch zeigte sich ein signifikanter Einfluss des Faktors „System“ [ $F(2,12) = 8,51$ ;  $p < 0,01$ ], wobei die Variante FIR zu signifikant langsameren Reaktionen führte als die beiden anderen Systeme.

Deskriptiv ergab sich somit für die Effektivität auf den beiden Dimensionen Quantität (Entdeckungsraten) und Qualität (Reaktionszeit) dieselbe, eindeutige Rangfolge mit OEA auf dem ersten Platz, NIR auf dem zweiten Platz und FIR auf dem dritten Platz.

#### 3.5.2 Effizienz

Zur Effizienzabschätzung wurden sowohl Zeitkosten als auch die Kosten der mentalen Beanspruchung betrachtet. Die Zeitkosten wurden über die oben beschriebenen Blickbewegungskennwerte ermittelt, die Beanspruchungskosten über die Ergebnisse der Befragung mit SEA-Skala und NASA-TLX.

##### *Zeitkosten*

Die mittlere Fixationsdauer betrug bei der Variante OEA 238 ms, bei FIR 465 ms und bei NIR 484 ms. Der Faktor „System“ erwies sich als statistisch bedeutsam [ $F(2,148) = 6,68$ ;  $p < 0,01$ ], wobei sich die Variante OEA signifikant von den beiden anderen Prototypen unterschied.

Um einen Eindruck über die Zeitkosten insgesamt zu vermitteln, können die kumulierten Fixationsdauern zur Gesamtfahrzeit ins Verhältnis gesetzt und entsprechend anteilig angegeben werden. Dabei zeigt sich, dass für die Systeme OEA 5,45%, NIR 15,03% und FIR 16,87% der Fahrzeit aufgewendet wurden, um das System zu betrachten. Für diese Zeitunterschiede konnte allerdings kein signifikanter Einfluss der Systeme festgestellt werden.

Eine ergänzende Betrachtung der Zeitkosten wurde in einer post-hoc Analyse vorgenommen. Hierzu wurde das Zeitintervall vom Erscheinen eines Fußgängers oder Radfahrers bis zur Reaktion des



Fahrers betrachtet. Für das System FIR ergaben sich dabei mit einem Anteil von 37,97% an diesem Intervall die höchsten Zeitkosten. Die restliche Zeit verwandten die Fahrer auf das Beobachten der Fahrbahn sowie auf das Ablesen anderer Instrumente und Anzeigen im Fahrzeuginnenraum. Eine etwas geringere Nutzungszeit trat für die Variante NIR auf. Bei der erfolgreichen Detektion von kritischen Ereignissen ergaben sich prozentuale Blickzuwendungsanteile von 29,14%. Die geringsten Zeitkosten verursachte allerdings das System OEA mit 5,52%. Der Faktor „System“ erwies sich dabei als signifikant [ $F(2,148) = 8,62$ ;  $p < 0,01$ ], wobei der bedeutsame Unterschied zwischen dem System OEA und den anderen beiden Systemen bestand.

#### *Belastungskosten*

Die Beanspruchungsmessung auf Basis der SEA-Skala ergab für OEA eine deutlich geringere Beanspruchung als für die Systeme NIR und FIR, die sich voneinander kaum unterschieden. Dieser Unterschied ist statistisch relevant [ $F(2,24) = 5,17$ ;  $p < 0,05$ ].

Für die Gesamtbeanspruchung gemessen mit dem NASA-TLX zeigt sich deskriptiv der gleiche Effekt. Durch die Analyse der Unterdimensionen der erweiterten Version des NASA-TLX lässt sich dieses Ergebnis vor allem auf eine geringere visuelle Beanspruchung durch die Variante OEA im Vergleich zu den anderen beiden Systemen zurückführen [ $F(2,24) = 5,83$ ;  $p < 0,01$ ]. Das System FIR wird im Gegensatz dazu als visuell stark beanspruchend empfunden.

Betrachtet man Zeitkosten und Belastungskosten gemeinsam, so zeigt sich, dass der Prototyp OEA die effizienteste Unterstützung bietet. Die beiden anderen Systemvarianten sind deutlich kostenintensiver und unterscheiden sich in dieser Hinsicht nicht nachweislich voneinander. Das System OEA ermöglicht das Erkennen kritischer Ereignisse vergleichsweise schnell und unter Aufwendung geringer visueller Ressourcen. Anders als die Varianten FIR und NIR, die durch ihre bildliche Informationsdarstellung den Fahrern eine Analyse komplexer Reizmuster abverlangen, erfordert der Prototyp OEA weder eine Fokussierung der visuellen Aufmerksamkeit noch komplexe Wahrnehmungsleistungen.

Hinsichtlich des instrumentellen Nutzens kann zusammenfassend festgestellt werden, dass das System OEA sowohl am effektivsten als auch am effizientesten zur Erkennung kritischer Ereignisse bei Nacht beiträgt. Obwohl offensichtlich weniger Zeit und mentale Ressourcen in die Nutzung dieses Systems „investiert“ werden müssen, erzielen die Fahrer effektivere Detektionsleistungen als bei Nutzung der anderen beiden Prototypen.

### **3.5.3 Zufriedenheit**

Bei der Abschätzung des hedonischen Nutzens wurden Beurteilungsverfahren zur Systempriorisierung, zur Akzeptanz und zum Nutzererleben eingesetzt.

Bei der Systempriorisierung wurde das System NIR von den Nutzern am besten bewertet. Das System OEA schnitt am zweitbesten ab, während das System FIR am schlechtesten beurteilt wurde.

Die Bewertungen auf Basis des Akzeptanzfragebogens erbrachten die gleiche Rangfolge, zeigten aber weitere Details. Auf der Einstellungs- und der Nutzungsebene traten signifikante Unterschiede zwischen den Systemen auf [ $F(2,24) = 3,65$ ;  $p < 0,05$  und  $F(2,24) = 5,04$ ;  $p < 0,05$ ]. Das System NIR wurde auf beiden Ebenen am besten bewertet, das System OEA weniger gut und das System FIR am schlechtesten. Für die Handlungsebene zeigte sich ein Trend in der gleichen Richtung, ein signifikanter Unterschied ließ sich jedoch nicht nachweisen. Für das System OEA konnte bezüglich der Nutzungsakzeptanz im Vergleich zur Einstellungsakzeptanz ein Abfall festgestellt werden, was auf konkrete Nutzungsprobleme hindeutet. Die Bewertungen für den Prototypen FIR waren auf allen drei Ebenen weit unterhalb des theoretischen Mittels und unterschieden sich von denen der anderen Systeme. Dies weist darauf hin, dass die Nutzer dieses System als unakzeptabel bewerten. Die vergleichsweise geringere Akzeptanz aller Systeme auf der Handlungsebene lässt sich durch ihr prototypisches Stadium erklären.

Die erhobenen Aspekte des Nutzererlebens runden das Bild zur Zufriedenheit ab und zeigen weitere Unterschiede zwischen den Systemen auf. In Bezug auf die Benutzbarkeit wurden die Systemvarianten NIR und OEA ähnlich bewertet, jedoch signifikant besser als das System FIR [ $F(2,24) = 4,37$ ;  $p < 0,05$ ]. Bezüglich der Nützlichkeit schloss das System NIR besser ab als die Systeme OEA und FIR

[F(2,24) = 5,33; p < 0,05]. Daneben war auch die Bewertung bezüglich der hedonischen Qualität des Systems NIR - also wie innovativ, interessant und beeindruckend das System erschien - deskriptiv am positivsten. Bezüglich der visuellen Attraktivität schnitt aber das System OEA auf deskriptiver Ebene leicht besser ab. Das System FIR wurde auf allen Dimensionen schlechter bewertet, allerdings fiel die Bewertung seiner hedonischen Qualität nur wenig geringer aus als die des Systems OEA.

**Tab. 1:** Rangfolge der Systemvarianten in Abhängigkeit auf Grundlage der verschiedenen Maße für Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit (\* p < 0,05)

		OEA	NIR	FIR
<b>Effektivität</b>				
	Detektionsrate	I	II	III
	Reaktionszeit*	I	II	III
<b>Effizienz</b>				
	<b>Zeitkosten</b>			
	Mittlere Fixationsdauer*	I	III	II
	Kumulierte Fixationsdauer*	I	II	III
	<b>Belastungskosten</b>			
	SEA-Skala*	I	II	III
	NASA-TLX*	I	II	III
<b>Zufriedenheit</b>				
	<b>Priorisierung</b>			
	Rangreihe	II	I	III
	<b>Akzeptanzmaße</b>			
	Einstellungsebene*	II	I	III
	Handlungsebene	II	I	III
	Nutzungsebene*	II	I	III
	<b>Nutzererleben</b>			
	Nützlichkeit*	II	I	III
	Benutzbarkeit*	II	I	III
	Hedonische Qualität	II	I	III
	Visuelle Attraktivität	I	II	III

Fasst man die Ergebnisse zur Zufriedenheit zusammen, so liegt das System NIR im Vergleich zu den übrigen Systemen vorn und erzielt auf sieben von acht Dimensionen die besten Ergebnisse. Vor allem die hedonische Qualität des Systems wurde positiv bewertet, was auf die Informationsdarstellung über das TFT-Display zurückzuführen ist. Ein ebenfalls homogenes Bild - allerdings im negativen Sinne - ergibt sich für die Variante FIR, die bei allen erhobenen Zufriedenheitsmaßen am schlechtesten abschneidet. Zwischen diesen beiden Polen liegt die Zufriedenheit mit dem System OEA, das auf der Dimension der visuellen Attraktivität besonders gut abschneidet.

## 4 Diskussion und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurde das software-ergonomische Konzept der Gebrauchstauglichkeit auf die Bewertung des Nutzens von innovativen Fahrerassistenzsystemen übertragen und am Beispiel der Evaluierung dreier prototypischer Systeme zur Unterstützung des Fahrens bei Nacht erprobt. Hierzu wurden die Subkonstrukte Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit operationalisiert, indem ihnen Maße zur Erfassung von Leistungsparametern und Nutzerurteilen zugewiesen wurden.

Auf der Grundlage des vorgeschlagenen Messansatzes konnte die Variante OEA als das System mit dem höchsten instrumentellen Nutzen identifiziert werden. Hinsichtlich des hedonischen Nutzens erwies sich die Variante NIR als bestes System, gefolgt von der Variante OEA. Der Prototyp FIR schnitt durchgängig am schlechtesten ab.

Anders als in den üblichen entscheidungsanalytischen Verfahren wurde darauf verzichtet, die beiden Nutzenaspekte zu einem Gesamtnutzen zu aggregieren. Wie Tabelle 1 zeigt, wurden die drei Systemvarianten stattdessen für jede betrachtete Dimension in eine Rangordnung gebracht. Dadurch bleibt die Informationsvielfalt, die durch die Evaluation erzielt wurde, erhalten, so dass auf einem mittleren Abstraktionsniveau Stärken und Schwächen der einzelnen Varianten klar erkennbar werden.

Im Rahmen der beschriebenen Studie wurde mit der beschriebenen Vorgehensweise ein umfassender Ansatz zur strukturierten und konzeptgeleiteten Evaluation des Nutzens innovativer Fahrerassistenzsysteme aus Perspektive der Mensch-Technik-Interaktion aufgezeigt, der als Grundlage für weitere Untersuchungen in diesem Bereich dienen kann.

## Literatur

- Aschersleben, G., Gstalter, H., Kaiser, F., Strube, V., Zang-Scheucher (1989). Prototyping als Verfahren zur Software-Entwicklung, *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 34, 42-47.
- Baggen, R. & Hemmerling, S. (2002). Evaluation und Benutzbarkeit in Mensch-Maschine-Systemen. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (S.233-284). Düsseldorf: Symposion.
- Bevan, N. (1995). Measuring usability as quality of use. *Software Quality Journal*, 4, 115-130.
- Ehmanns, D., Wallentowitz, H., Gelau, Ch. & Nicklisch, F. (2000). *Zukünftige Entwicklungen von Fahrerassistenzsystemen und Methoden zu deren Bewertung*. Verfügbar unter: [http://www.pelops.de/pdf/ACKKolloquium2000\\_3.pdf](http://www.pelops.de/pdf/ACKKolloquium2000_3.pdf) [05.Mai 2005]
- Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40 (4), 215-224.
- Haller, R. (2001). Fahrerassistenz versus Fahrerbevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleibt? In T. Jürgensohn & K-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S.31 – 38). Berlin, Heidelberg: Springer
- Hancock, P.A. & Meshkati, N. (1988). *Human Mental Workload*. Amsterdam: North-Holland.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of a multi-dimensional workload rating scale: Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (S.139-183). Amsterdam: Elsevier.
- Hassenzahl, M., Platz, A., Burmester, M. & Lehner, K. (2000). Hedonic and ergonomic quality aspects determine a software's appeal. In *CHI '00 proceedings on Human factors in computing systems* (S. 201-208). New York: ACM Press.
- Hülßen, H. (2003). Unfallgeschehen mit Fußgängern bei Nacht. In Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. (Hrsg.), *Unfälle in der Dunkelheit* (S. 14-17). St. Augustin: Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V.
- ISO - International Organization for Standardization. (1998). *ISO 9241 - Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability*.

- Johnson, G.I., Clegg, C.W. & Ravden, S. J. (1989). Towards a practical method of user interface evaluation. *Applied Ergonomics*, 20, 255-260.
- Jungermann, H., Pfister, H.-R. & Fischer, K. (2005). *Die Psychologie der Entscheidung*. München: Elsevier.
- Kiefer, R.J. & Angell, L.S. (1993). A comparison of the effects of an analog versus digital speedometer on driver performance in a task environment similar to driving. In A.G. Gale, I.D. Brown, C.M. Haslegrave, H.W. Krusysse & S.P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles – IV* (S. 283-290). Amsterdam: Elsevier.
- Kirakowski, J. (1996). The software usability measurement inventory: Background and usage. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry* (pp.169-178). London: Taylor & Francis.
- Kollmann, T. (1998). *Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme*. Wiesbaden: Gabler.
- Lindgaard, G. & Dudek, C. (2003). What is the evasive beast we call user satisfaction? *Interacting with Computers*, 15 (3), 429-452.
- Logan, R. J. (1994). Behavioral and emotional usability: Thomson consumer electronics. In M. E. Wiklund (Ed.), *Usability in practice: How companies develop user friendly products* (S. 59-82). Boston: Academic Press.
- Mahlke, S. (2002). Factors influencing the experience of website usage. In *CHI '02 Extended abstracts on Human factors in computing systems* (S. 846-847). New York: ACM Press.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. San Diego: Academic Press.
- Nielsen, J. (2001). *Usability metrics*. Verfügbar unter: <http://www.useit.com/alertbox/20010121.html> [30.Januar 2005]
- Norman, D. (2004). *Emotional design: why we love (or hate) everyday things*. New York: Basic Books.
- Reichwald, R. (1982). *Neue Systeme der Bürotechnik: Beiträge zur Büroarbeitsgestaltung aus Anwendersicht*. Berlin: Schmidt.
- Rubin, J. (1994). *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. New York: John Wiley & Sons.
- Thüring, M. & Urbas, L. (2003). Entwerfen und Gestalten – Trends und Herausforderungen für die Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen. In C. Steffens, M. Thüring & L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 8.-10. Oktober 2000*, ZMMS Spektrum (Band 18, S. 55-68). Düsseldorf: VDI.
- Timpe, K.-P. (1998). Unterstützungssysteme als interdisziplinäre Herausforderung – Einführung in die Tagung „Wohin führen Unterstützungssysteme?“. In H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Wohin führen Unterstützungssysteme? Entscheidungshilfe und Assistenz in Mensch-Maschine-Systemen. 2. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 7.-9. Oktober 1997*, ZMMS Spektrum (Band 5, S. 1-20). Sinzheim: Pro Universitate.
- Timpe, K.-P., Willumeit, H.-P. & Kolrep, H. (2000). *Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen. 3. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 6.-8. Oktober 1999*, ZMMS Spektrum (Band 11). Düsseldorf: VDI.
- Timpe, K.-P., Jürgensohn, T. & Kolrep, H. (2002). *Mensch-Maschine-Systemtechnik*. Düsseldorf: Symposium.