

Entwicklung von und mit Augmented Reality im Automotiven Umfeld

Essay über die Doktorarbeit

Den Volltext der Doktorarbeit finden Sie unter

<http://www.navab.in.tum.de/Chair/PublicationDetail?pub=toennis2008phd>

Marcus Tönnis

Inhaltsverzeichnis

1	Augmented Reality im Automotivem Umfeld	2
2	Technische Grundlagen und Prinzipien der Menschlichen Wahrnehmung	4
3	Ein Generelles Konzept der Informationsdarstellung	5
3.1	Die <i>Sphere of Vision</i>	5
3.2	Interaktionsmodelle	6
3.3	Interaktion zwischen Fahrer und Assistenzsystem	6
3.4	Gestaltungsrichtlinien für AR Fahrerassistenzsysteme	7
4	Unterstützung des Entwicklungsprozesses	7
4.1	Erzeugung von Verkehrsszenarien	8
4.2	Erleben von Augmented Reality Darstellungen	9
5	Konzepte und Untersuchungen für Fahrerassistenzsysteme	10
5.1	Ambiente Darstellung des Fahrzeugverhaltens	10
5.2	Warnrichtungshinweise	11
6	Zusammenfassung und Ausblick	13

1 Augmented Reality im Automotivem Umfeld

Die Technologie der Augmented Reality (Erweiterte Realität, AR) erweitert das dreidimensionale Sichtfeld des Benutzers mit computergenerierten Elementen der Virtuellen Realität. Reale Objekte oder Situationen können so mit zusätzlichen Informationen angereichert werden oder künstliche Objekte können in der Umgebung platziert werden. Zusatzinformationen müssen nicht mehr auf weiteren Displays dargestellt werden, sie integrieren sich direkt in die Umwelt.

Durch AR verändert sich das Blickverhalten des Benutzers. Informationen müssen nicht mehr von verschiedenen Quellen gesammelt, miteinander in Zusammenhang gebracht und verarbeitet werden. Stattdessen können alle Informationen, die eine Situation oder ein Objekt betreffen direkt mit diesem Objekt oder aus dessen nahen räumlichen Umfeld erfasst werden. Der Einsatz von AR bietet sich somit besonders bei Aufgaben an, die einen Bezug zu dem sie umgebenden Raum haben.

Die Fahraufgabe, das Führen des Fahrzeugs zum gewünschten Ziel, hat solch einen Bezug zu räumlichen Zusammenhängen. Durch die Bewegung aller Verkehrsteilnehmer ändert sich das räumliche Gefüge kontinuierlich mit hoher Geschwindigkeit. Diese Veränderungen im räumlichen Gefüge fordern ständige Überwachung des Fahrers um Unfälle zu vermeiden. AR kann hier in besonderer Weise zum Einsatz kommen.

Das Paradigma der AR angewendet auf das Aufgabenumfeld des Kraftfahrzeugführers ermöglicht die Umsetzung neuartiger Anzeigekonzepte der Fahrerassistenz. Mit der fortschreitenden technischen Entwicklung werden immer neue Sensorsysteme im Fahrzeug verbaut. So werden ebenso neuartige Fahrerassistenzsysteme, wie z.B. Spurhalteassistenz oder Abstandskontrollassistenz zusammen mit automatischer Fahrgeländeerkennung, ermöglicht. Dabei liegt der Aktivitätsbereich vieler Systeme im Bereich der letzten Warnung. Droht der Fahrer z.B. die Fahrbahnmarkierung zu überfahren, warnt das System mit einem akustischen Signal oder lässt das Lenkrad vibrieren. AR Technologie bietet hier z.B. die Möglichkeit, die räumlichen Zusammenhänge mittels grafisch aufbereiteter AR Darstellungen im Sichtfeld des Fahrers anzuzeigen. Mit dem Ziel, die Fahrperformanz und die Sicherheit zu erhöhen können die Daten die von Sensoren gewonnen werden für AR Darstellungen verwendet werden um das Situationsbewusstsein des Fahrers zu erhöhen.

Das Blickverhalten des Fahrers ändert sich und damit erhöht sich die Zeit die verbleibt, um das Straßengeschehen zu überwachen. Diese Veränderung ergibt sich vor allem durch zwei Faktoren, kleinere Blickwinkel und weniger fokale Akkommodation. Erstens verkleinert sich der Blickwinkel der notwendig ist um die Informationen zu sammeln da der Sichtbereich der Frontscheibe nicht mehr verlassen werden muss. Zweitens fallen fokale Akkommodationszeiten weg, da die Informationen in der selben räumlichen Tiefe dargestellt werden in der sich das Bezugsobjekt oder die zugehörige Situation befindet.

Im Weiteren ermöglicht die neuartige Art der Darstellung dem Fahrer eine andere Art der Informationsverarbeitung. Räumlich Zusammenhänge müssen nicht mehr symbolisch, z.B. aus einer Vogelperspektive dargestellt werden, da sie durch AR direkt im eigenen räumlichen Bezugssystem angezeigt werden. Der mentale Aufwand für perspektivische und räumliche Transformationen zwischen Information und Objekt entfällt.

Der Ansatz, AR für die Fahrerassistenz zu verwenden basiert somit auf den folgenden beiden Hypothesen: AR in Fahrerassistenzsystemen hat das Potential

- Antwortzeiten auf räumliche zeitkritische Informationen zu verkürzen
- die Fahrperformanz zu verbessern

Um derartige Fahrerassistenzsysteme zu Entwickeln sind einige Vorarbeiten notwendig. Vor einigen Jahren wurde die Head-Up Display Technologie (HUD) im automotiven Umfeld eingeführt die die Grundlage für die Anwendung der AR in Fahrzeugen darstellt. Allerdings eignen sich die bisher erhältlichen HUDs nur für symbolische Darstellungen. Das abgedeckte Sichtfeld ist klein und befindet sich in Entfernung der vorderen Stoßstange. Diese Displays müssen grösser werden und auch eine größere fokale Entfernung bieten. Im Weiteren gilt es zu erforschen, welche Informationen sinnvoll für den Fahrer durch AR dargestellt werden können und auf welche Art und Weise diese darzustellen sind. Derartige Versuche werden im Allgemeinen in Fahrsimulatoren durchgeführt. Im Gegensatz zu Untersuchungen an Bedienelementen ist bei Systemen, die stark auf dem Geschehen im Umfeld des Fahrzeugs basieren eine andere Komplexität des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer notwendig. Der Fremdverkehr in Simulatoren darf nicht länger nur eine erweiterte Fahraufgabe darstellen, er muss die feinen Nuancen eines realen Verkehrsgeschehens widerspiegeln. Um automotiv AR zu erforschen müssen Fahrsimulatoren erweitert werden. Um sie schließlich in den realen Einsatz zu bringen müssen neuartige HUDs entwickelt werden.

Grundlegend für die effektive Verwendung von AR im automotiven Umfeld ist noch eine weitere Vorarbeit notwendig, die ein generelles Konzept für den Einsatz von AR entwickelt. Dieses Konzept muss ein kooperatives Zusammenspiel aller Verkehrsteilnehmer ermöglichen. Dabei muss durch den Einsatz von AR gewährleistet werden, dass der Fahrer über Qualität und Reichweite der verwendeten Sensoren informiert ist. So kann er selbstständig abschätzen, inwieweit dargestellte Informationen wirklich die Gesamtsituation im Fahrzeugumfeld darstellen.

Es ergeben sich vier Schwerpunkte, für die Ansätze und Lösungen gefunden werden müssen. Im Rahmen dieser Arbeit werden diese vier Punkte behandelt. Die folgenden Kapitel gehen auf diese Punkte ein und illustrieren die dafür entwickelten Lösungen. Zunächst werden technische Grundlagen und Prinzipien der menschlichen Wahrnehmung gesammelt. Auf diesen Grundlagen aufbauend wird ein generelles Konzept der Informationsdarstellung von AR Inhalten für Fahrzeugführer entwickelt. Bevor nun direkt mit der Umsetzung von Anzeigekonzepten begonnen werden kann muss im Vorfeld der Entwicklungsprozess von AR Assistenzsystemen unterstützt werden. Hierzu wird einerseits ein neu entwickeltes Werkzeug vorgestellt, das es Entwicklern von Verkehrsszenarien ermöglicht mit Hilfe eines Modellautos auf einem Rückprojektionstisch Verkehrsszenarien zu entwickeln. Weiterhin wird ein portables System vorgestellt, das es ermöglicht Sensordaten als auch AR Anzeigekonzepte im realen Umfeld zu erleben. Dieses System vertieft die Kommunikation zwischen Entwicklern von Sensoren und denen der Mensch-Maschine-Schnittstelle und ermöglicht die Diskussion über verschiedene Varianten der AR Darstellung. Im Anschluss daran werden zwei Konzepte der visuellen AR-basierten Fahrerassistenz vorgestellt. Ein System visualisiert das Fahrverhalten des eigenen Fahrzeuges, das andere ermöglicht eine effiziente

Richtungsfindung von Gefahrensituationen. Nutzerstudien die mit beiden Konzepten durchgeführt wurden belegen das Potential der AR. Die Ergebnisse zeigen verbesserte Spurhaltegüte bei gleichbleibender Arbeitslast und signifikant kürzere Antwortzeiten. Eine Zusammenfassung mit einem kurzen Ausblick beschließt die Arbeit.

2 Technische Grundlagen und Prinzipien der Menschlichen Wahrnehmung

Die Fahraufgabe, das Kontrollieren und Führen des Fahrzeuges, untergliedert sich in drei miteinander zusammenhängende Teilgebiete: Navigation, Manövrieren und Stabilisieren. Um ein bestimmtes Ziel zu erreichen muss der Fahrer die Route zum Ziel kennen. Diese Navigationsaufgabe ist an sich statisch und kann im Vorfeld der Fahrt geplant werden. Im Falle von Baustellen oder Sperrungen muss allerdings dynamisch eine neue Route geplant werden. Im Zuge des aktuellen Verkehrsgeschehens muss der Fahrer sicher manövrieren um Unfälle zu vermeiden und die Vorschriften einzuhalten. Schließlich muss der Fahrer das Fahrzeug mit Hilfe der Pedale und des Lenkrads stabilisieren um den richtigen Abstand zum Vordermann und der Spurbegrenzung zu halten.

Diese Aktivitäten sind im Regelkreis der Fahraufgabe zusammengefasst. Der Fahrer nimmt die aktuelle Situation mit seinen Wahrnehmungssinnen auf, verarbeitet die Informationen mental und plant die auszuführenden Aktionen die er dann durch die Stellteile im Fahrzeug ausführt. Der beschriebene Ablauf ist ein kontinuierlicher Prozess da jede Veränderung an den Stellteilen eine unmittelbare Auswirkung auf die räumlichen Bezüge zwischen den Verkehrsteilnehmern darstellt.

In bestimmten Situationen kann der Fahrer diesen Regelkreis verlassen. Dies kann z.B. durch Bedienung eines anderen Gerätes (z.B. Radio), durch Geistesabwesenheit oder Ablenkung eintreten. Fahrerassistenzsysteme, die Teile der Fahraufgabe teilautomatisch übernehmen können den Fahrer ebenso aus dem Regelkreis nehmen. Ein Beispiel hierfür ist das Active Cruise Control (ACC) das die Geschwindigkeit in Abhängigkeit zu einem vorausfahrenden Fahrzeug regelt. Hier übernimmt der Fahrer dann eine Überwachungsaufgabe und muss die korrekte Ausführung des Fahrerassistenzsystems kontrollieren. Der Fahrer verlässt in diesem Falle den Regelkreis. Es besteht die Gefahr, dass der Fahrer dem System zu stark vertraut und nicht die volle Aufmerksamkeit auf die Überwachungsaufgabe legt.

Hierdurch ergeben sich zwei Punkte die weitere Beachtung erfordern. Erstens erscheint es sinnvoll, den Fahrer im Regelkreis der Fahrzeugführung zu halten, anstatt ihn vollständig heraus zu nehmen. Zweitens muss eine Rückkehr in den Regelkreis nach eventuellem Verlassen möglichst schnell stattfinden und den Fahrer direkt zu der Quelle der notwendigen Rückkehr leiten.

AR kann hier in Fahrerassistenzsystemen Verwendung finden um dem Fahrer Aktionshinweise anzuzeigen oder um ihm Position oder Richtung der Quelle einer potentiellen Gefahr aufzuzeigen. Bei der Anwendung von AR muss allerdings auf eine geeignete Displaytechnologie geachtet werden. Nur wenn die dargestellten virtuellen Objekte sich vom optischen Eindruck her in die reale Welt integrieren, kann diese Art

der Informationsdarstellung eine schnellere Informationsaufnahme ermöglichen. Das virtuelle Bild muss in der gleichen fokalen Entfernung liegen wie die Umgebung in die das Objekt integriert werden soll. Der optische Weg vom Display bis zum Auge des Nutzers muss, gestreckt durch Linsen, die notwendige Entfernung erreichen. Allerdings darf der mechanische Aufbau nur ein geringes Volumen haben damit die Hardware des HUD im Auto verbaut werden kann. Da die Position der Augen des Betrachters stark variieren kann können keine stereoskopischen AR Displays umgesetzt werden. Ohne weitere Hilfsmittel kann somit nur ein zweidimensionales Display verwendet werden.

Um solche HUDs zu entwickeln kann allerdings der Aufbau des menschlichen Auges zu Gute kommen. Durch den im Vergleich zu den im Verkehr üblichen Blickentfernungen von mehr als 10 m kann die Eigenschaft des Verlustes des stereoskopischen Sehen in großen Entfernungen genutzt werden um 3D Objekte auf einem 2D Display darzustellen. Durch die monoskopischen Eigenschaften die das Objekt in seiner Darstellung verwendet und die ausreichende Entfernung fügt das Gehirn des Betrachters alles zu einem 3D Bild zusammen.

3 Ein Generelles Konzept der Informationsdarstellung

Um ein Konzept zur Darstellung von AR im automotiven Umfeld zu erstellen wird im ersten Schritt der mögliche Raum für Darstellungen definiert. Die weitere Integration eines Interaktionsmodells schränkt diesen Raum weiter ein, bzw. definiert unterschiedliche Perzeptionsradien menschlicher Sinne und technischer Sensoren. Unter weiterer Integration des menschlichen Blickverhaltens ergeben sich drei generelle Anwendungsbereiche für AR und Gestaltungsrichtlinien. Die folgenden Abschnitte vertiefen die einzelnen Schritte.

3.1 Die *Sphere of Vision*

Eine grundlegendes Problem bei der Realisierung von AR Anwendungen ist die Abhängigkeit zwischen der verwendeten Darstellung und des dafür zur Verfügung stehenden Raumes. Hierfür wurde die sog. *Sphere of Vision* definiert, ein Klassifikations- und Explorationsmodell für aufgabenabhängige AR Darstellungen und deren Darstellung. Initial basiert das Konzept darauf, dass der gesamte, einen Benutzer umgebende Raum für AR Darstellungen verwendet werden kann und dass die Darstellung nicht durch z.B. die Größe oder Ort verfügbarer AR Displays eingeschränkt ist. Eine erste Einschränkung dieses Raumes ergibt sich durch die grundlegende Restriktion von HUDs auf 2D Darstellungsebenen. Durch die feste fokale Entfernung wird also eine Kugeloberfläche beschrieben in deren Mittelpunkt sich der Nutzer befindet. Die Fläche der Kugel wird weiter durch Bauteile des Fahrzeuges eingeschränkt, die Teile der Kugeloberfläche verdecken. Dieser Ansatz ist bis hierher rein theoretischer Natur, findet aber in Abschnitt 4.2 auch eine praktische Umsetzung. Dort wird ein portables TFT verwendet, um Ausschnitte der Kugeloberfläche darzustellen. Dieses TFT dient als Platzhalter für mögliche spätere HUDs.

3.2 Interaktionsmodelle

Ein weiterer Faktor der den möglichen Darstellungsbereich definiert wird durch Kommunikationsmodelle beschrieben. Hier soll der Begriff der Aura Verwendung finden. Eine Aura begrenzt die Präsenz eines Objektes in einem bestimmten Medium und ermöglicht somit potentiell Interaktion. Wenn sich die Auren zweier Objekte überlappen kann Interaktion stattfinden. Im automotiven Umfeld gibt es zwei verschiedene Typen von Auren, die des menschlichen Fahrers und die der Sensorik des Fahrzeuges. Unter den menschlichen Auren sind besonders verschiedene visuelle Auren und die mentale Aura zu benennen. Die visuellen Auren unterteilen sich in die foveale Aura, den Bereich von etwa 2 Winkelgrad um den geraden Sichtstrahl in dem der Mensch wirklich scharf sieht. In der parafovealen Aura die sich bis etwa 10 Grad aufspreizt nimmt das Auge kein scharfen Bild mehr auf, es nimmt vornehmlich Bewegungen wahr. In der peripheren Aura, die den restlichen Sichtbereich des Auges abdeckt nimmt das Auge nur mehr Größe und Richtung von Gegenständen wahr. Die mentale Aura definiert sich nicht direkt durch die Sinne des Menschen sondern durch das Bewusstsein das der Nutzer gegenüber seinem Umfeld hat. Es ist der Verbund aller Sinne reduziert durch einen kognitiven Filter. Ein Mensch kann z.B. in eine bestimmte Richtung blicken, aber dadurch, dass er in Gedanken versunken ist, den angeblickten Gegenstand nicht wahrnehmen. Der zweite Typ von Auren wird spezifiziert durch die im Fahrzeug installierten Sensoren. Die Sensorreichweiten und -bereiche unterscheiden sich teilweise stark von den menschlichen Auren. Bei Tageslicht ist i.a. die Sichtweite eines Menschen der Reichweite eines Radarsensors überlegen. Bei Dunkelheit verkehrt sich dies und der Sensor deckt einen größeren Bereich ab. Der Raum oder genauer die Fläche, auf der AR Informationen für den Benutzer wahrnehmbar dargestellt werden können erfährt je nach verwendeter Aura eine weitere Begrenzung.

3.3 Interaktion zwischen Fahrer und Assistenzsystem

Die Klassifizierung der verschiedenen Auren zeigt Unterschiede zwischen der menschlichen Wahrnehmung und der Sensorik. Es ist Aufgabe der Assistenzsysteme diesen Unterschied zu kompensieren, vor allem da dieses Delta erst durch die Existenz der Sensorik entsteht. Durch genaue Kenntnis der menschlichen Auren ist erkennbar, worauf der Fahrer in einer bestimmten Situation fokussiert ist. Dieses Wissen kann verwendet werden, um die passende Aura auszuwählen und diese in Verbindung mit dem zugehörigen Darstellungsort zu nutzen um dem Fahrer die notwendige Information zu präsentieren.

Man kann hier drei mögliche Arten der Verwendung von AR unterscheiden. Eine Situation oder ein Gegenstand, z.B. ein potentiell gefährliches Fahrzeug, kann *direkt markiert oder hervorgehoben* werden. Dies ist möglich, wenn die foveale oder die parafoveale Aura im Bereich des Bezugsortes ist und der Darstellungsbereich im sichtbaren Bereich der *Sphere of Vision* liegt. Unter den gleichen Bedingungen ist auch das *referenzieren verdeckter Objekte* möglich. Ein direktes markieren ist durch die Verdeckung nicht möglich, aber der Fahrer kann einen Hinweis auf den Ort und die Art des Bezugsobjektes erhalten. Unter der Bedingung, dass das Sichtfeld des Fahrers in eine andere Richtung weist, als die Richtung in der das relevante Objekt ist oder wenn der Bezugs-

punkt außerhalb des üblichen Sichtfeldes, z.B. seitlich hinten, liegt, kann ein *Bezug zur Richtung* in einer der menschlichen Auren aufgebaut werden um die Aufmerksamkeit dorthin zu lenken. Im Falle des Sehannes kann AR dann verwendet werden um dem Fahrer die Richtung, in die geblickt werden muss, anzuzeigen.

Durch die Bewegung des Fahrzeuges erscheinen im Umfeld fest platzierte AR Darstellungen als ob sie sich im HUD bewegen. Bei der Umsetzung von AR Assistenzsystemen muss diese dynamische Eigenheit der Präsentation mittels AR in die Designentscheidungen mit einbezogen werden. Derart animierte Anzeigen bergen im Besonderen die Gefahr, kognitive Effekte wie *perzeptuelle Tunnel* oder *kognitives Einfangen* zu erzeugen. Im Falle des perzeptuellen Tunnels fokussiert sich der Blick so sehr auf eine Position dass die periphere Wahrnehmung reduziert wird, was im automotiven Umfeld eine gefährliche Entwicklung ist. Kognitives Einfangen beschreibt dagegen mehr eine mentale Erscheinung. Der Nutzer ist so von einer Situation in Anspruch genommen, dass er das Situationsbewusstsein verliert. Hier entstehen ebenso kritische Situationen für den Straßenverkehr.

3.4 Gestaltungsrichtlinien für AR Fahrerassistenzsysteme

Die Faktoren der menschlichen Wahrnehmung und das Interaktionsmodell führen zu einer Sammlung von Gestaltungsrichtlinien für AR Fahrerassistenzsysteme.

Bei dem Design von Assistenzsystemen muss darauf geachtet werden, mit minimalem Inhalt und möglichst geringer Eigenanimation zu arbeiten. Kognitive Transformationen zwischen verschiedenen Koordinatensystemen sollen wenn möglich vermieden werden und die Darstellungen sollten im Bezugssystem des Fahrers angezeigt werden. Je nach Priorität der Information kann oder muss sogar auf das Blickverhalten eingegangen werden um wichtige Informationen im Sichtfeld des Fahrers darzustellen, ohne dabei allerdings wichtige Bestandteile der Umgebung zu verdecken. AR sollte verwendet werden um das Situationsbewusstsein und damit die Umfeldwahrnehmung zu verbessern. Ebenso kann AR genutzt werden um das Delta zwischen Sensorik und Umfeldwissen des Fahrers zu kompensieren. Es sollte aber nicht versucht werden, Nutzerschnittstellen vollständig durch AR darzustellen. Da HUDs computerbasierte Displays sind kann eine Darstellung z.B. in großer Entfernung sehr klein erscheinen und nur aus wenigen Bildpunkten bestehen. Das Erkennen der Darstellung kann so annähernd unmöglich sein. Hybride Konzepte, die die Vorteile von konventionellen und neuartigen Displays verbinden, sollten immer in Erwägung gezogen werden.

4 Unterstützung des Entwicklungsprozesses

Um neuartige Fahrerassistenzsysteme, die AR Technologie verwenden, zu entwickeln muss der Entwicklungsprozess mit neuen Werkzeugen bereichert werden. Zwei neu entwickelte Systeme für die Bedarf bei der Umsetzung unserer AR Konzepte festgestellt wurde sollen hier vorgestellt werden.

4.1 Erzeugung von Verkehrsszenarien

Ein kritischer Punkt bei der Evaluierung von Fahrerassistenzsystemen ist der Vergleich zwischen dem Verhalten des Assistenzsystems und dem Verhalten des Fahrers. Diese müssen gleiche oder zumindest angepasste Reaktionen haben da der Fahrer sonst überfordert oder gelangweilt ist. Beides kann schließlich zum Deaktivieren des Systems führen, was somit auch den intendierten Sicherheitsaspekt eliminiert. Verkehrsszenarien für Fahrversuche an derartigen Systemen müssen realistische Gegebenheiten möglichst getreu widerspiegeln um genau diese Auswirkungen untersuchen zu können.

Es stellt sich die Frage, wie menschliches Verhalten in die Fahrsimulation eingebracht werden kann. Hierzu wurde ein System entwickelt, das nicht auf programmatischen Algorithmen beruht. Der Entwickler des Verkehrsszenarios definiert keine Wegpunkte oder gibt Funktionen vor, wie sich ein weiteres Fahrzeug in der simulierten Welt gegenüber dem eigenen Fahrzeug oder bestimmten Situationen verhalten soll. Stattdessen bewegt der Entwickler ein kleines Modellauto auf einer Tischoberfläche. Der Tisch beinhaltet eine Rückprojektionseinheit die eine verdeckungsfreie Darstellung einer Straßenszenarie ermöglicht. Das Modellauto kann über ein Kamerasystem von einem angeschlossenen Computer verfolgt werden (im Weiteren tracking genannt - das Modellauto wird getrackt). Die manuellen Bewegungen auf dem Tisch werden digitalisiert, gespeichert und können wieder abgespielt werden. Jedem ausgeführten Bewegungsablauf des Modellautos kann ein simuliertes, durch den Computer projiziertes Fahrzeug zugeordnet werden. So entsteht iterativ ein Verkehrsszenario das anschließend in einem Fahrsimulator verwendet werden kann.

Um nicht räumlich an die Größe des Tisches gebunden zu sein kann auch die Szenerie selbst bewegt werden. Auf dem Tisch entsteht dann der Eindruck, dass sich die Landschaft, ähnlich dem Blick aus einem Flugzeug, bewegt. Wenn das Modellauto ruhig auf dem Tisch steht, sich aber die Landschaft unter dem Modellauto bewegt, berechnet der angeschlossene Computer zur Laufzeit den Versatz zwischen Modellauto auf dem Tisch und der Position in der Welt. So kann so bei erneutem Abspielen das virtuelle Fahrzeug an der richtigen Position in der simulierten Welt angezeigt werden. Ein auf dem Tisch stehendes Fahrzeug hat also eine Grundgeschwindigkeit die durch die Bewegung der fliegenden Kamera vorgegeben wird. Rückwärtsbewegungen des Modellautos lassen das simulierte Auto langsamer und Vorwärtsbewegungen schneller fahren.

Der Nutzen dieses Systems entsteht dadurch dass menschliche Verhaltensmuster, wie z.B. Reflexreaktionen direkt übernommen werden können. Wurde z.B. bereits ein Fahrzeug aufgezeichnet, das auf einer Autobahn einen spontanen Spurwechsel macht und soll nun ein weiteres Fahrzeug ein Ausweichmanöver darstellen so wird wie folgt vorgegangen: Das Szenario wird inklusive der Darstellung des ersten Fahrzeuges erneut abgespielt während mit dem Modellauto eine weitere neue Fahrzeugtrajektorie aufgenommen wird. Das Modellauto wird auf der Fahrspur platziert auf die das erste Fahrzeug wechseln wird und wird schneller vorwärts bewegt als das erste bereits aufgenommene Fahrzeug. Die Fahrzeuge nähern sich an. Zu einem bestimmten Zeitpunkt wird das erste Fahrzeug den Spurwechsel beginnen. Der Überraschungseffekt is analog dem eines echten Fahrzeugführers, wenn ein vorrausfahrendes langsames Fahrzeug einen spontanen Spurwechsel beginnt. Er prüft, sofern die Zeit verbleibt die weitere

linke Spur und weicht auf diese aus oder bremst ab.

Zusätzlich bietet dieses Entwicklungssystem noch zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten. Durch den Aufbau mittels einer Tischoberfläche können sich mehrere Personen um den Tisch verteilen und mögliche Szenarien diskutieren, Alternativen durchspielen und verschiedene mögliche Kombinationen von Verhalten einzelner Fahrzeuge zu unterschiedlichen Szenarien zusammenfügen. Diese Szenarien können einerseits verwendet werden um die Reaktionen von Versuchspersonen im Fahrsimulator zu analysieren, andererseits aber auch, um Sensorikern zu zeigen, wie und wo neu zu entwickelnde Sensoren Daten bereitstellen müssen. Unter dem Gebiet der Antizipationsanalyse ergeben sich neue Wege des Vergleiches zwischen Sensorsystemen, der Aufbereitung der Daten, deren Verwendung in Assistenzsystemen und dem Verhalten von Fahrzeugführern. Auch können Versuchspersonen eingeladen werden, unter bestimmten Vorgaben selbst Verkehrsszenarien zu entwickeln. Nach diesem Prinzip können Verhaltensmuster ohne die Einschränkung, dass die vorgegebene Stichprobe nicht alle möglichen Verhaltensfälle abdeckt, klassifiziert werden.

4.2 Erleben von Augmented Reality Darstellungen

Ein weiteres Problem bei der Entwicklung von AR Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme ergibt sich durch das Fehlen von geeigneten Displays. Verfügbare HUDs können nur einen kleinen Bereich im frontalen Sichtfeld des Fahrzeuges abdecken. Um hierfür eine Alternative zu entwickeln wird auf das Konzept der *Sphere of Vision* zurückgegriffen. Mit Hilfe eines portablen TFT-Displays wird ein frei wählbarer Ausschnitt der Kugeloberfläche dargestellt. Da das TFT-Display getrackt wird kann der angeschlossene Computer die Position des Displays und damit des Augpunktes der dargestellten Projektion dynamisch berechnen. Im Prinzip hat der Nutzer durch das TFT ein portables Fenster in eine erweiterte Welt.

Das System wurde für den Einsatz an Bord eines Fahrzeuges entwickelt und durch Verwendung des Beifahrers getestet. Somit konnte schon in erster Instanz geprüft werden, ob die Verarbeitung aller Daten auch in einem Fahrzeug möglich ist und ob die Montage der Komponenten stabil genug ist. Die Wiederverwendung der zentralen Bausteine und computerberechneten räumlichen Transformationen in zukünftigen großflächigen HUDs war somit implizit auch ermöglicht. Das Trackingsystem wurde in der Mitte der Rückbank montiert und mit dem Computer verbunden, der über das Bus-system des Fahrzeuges die Sensordaten eines Laserscanners oder eines Radarsensors empfängt.

Der direkte Verbund von Sensor- und Darstellungssystem ermöglicht auch hier neue Wege der Kommunikation zwischen Entwicklern in verschiedenen Fachgebieten. Schon die Rohdaten der Sensoren können visualisiert und mit der Realität überlagert werden. So können Sensoriker den Entwicklern der Fahrerassistenzsysteme zeigen welche Art von Daten zur Verfügung steht oder andersherum kann den Sensorikern gezeigt werden wo noch Bedarf nach Sensordaten besteht. Die Platzierung im Fahrzeug bietet die Möglichkeit, diese Diskussion auch direkt im Verkehrsgeschehen zu führen.

Werden die Sensordaten aufgezeichnet kann man die Situationen auch asynchron abspielen. Um diese Art der offline Diskussion noch weiter zu vertiefen wurde der schon erwähnte Rückprojektionstisch auch in diesem Teilprojekt verwendet um die

Daten aus einer vogelperspektivischen Darstellung abzuspielen. Ein 3D Modell eines Fahrzeuges wird hierzu an fester Position auf dem Tisch angezeigt. Die Sensordaten scheinen sich nun zu dem Fahrzeug hin zu bewegen. So können sich Teams um den Tisch versammeln und die Gegebenheiten erörtern. Analog zur Situation im Fahrzeug kann das getrackte TFT auch in dieser Laborumgebung verwendet werden. Es muss nur ein Trackingsystem, wie das im Fahrzeug verbaute, verfügbar sein und den Bewegungsraum des TFT abdecken. Analog kann die Visualisierung auch neben dem stehenden Fahrzeug erfolgen, wenn größere Teams mehr Freiraum benötigen.

Das Anzeigesystem stellt grundlegend die Möglichkeit zur Visualisierung von Daten. Neben den erwähnten Sensordaten kann auch jede Art von AR Anzeigekonzept dargestellt werden. Es kann evaluiert werden, wie ein Konzept aus verschiedenen Perspektiven erscheint oder wo etwas angezeigt werden soll. Entwickler können planen, wo im Fahrzeug neue Displays vonnöten sind und wie groß diese sein müssen.

5 Konzepte und Untersuchungen für Fahrerassistenzsysteme

Die Entwicklung und Umsetzung von Werkzeugen zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses von AR-basierten Fahrerassistenzsystemen wäre unnötig wenn solche Systeme nicht einen wirklichen Vorteil gegenüber konventionellen Systemen oder dem Fahren ohne jegliche Assistenz erbringen würden. Um das Potential von AR zu beleuchten wurden zwei unterschiedliche Assistenzkonzepte entwickelt und in Nutztstudien evaluiert. Diese Evaluationen wurden in einem Fahrsimulator durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass je nach Ausprägung des Konzeptes die geeignete Darstellung verwendet wurde um so der Darstellung in einem späteren HUD möglichst nahe zu kommen.

5.1 Ambiente Darstellung des Fahrzeugverhaltens

Das erste Konzept beruht auf dem Ansatz, den Fahrer im Regelkreis der Fahrzeugführung zu halten. Viele aktuell auf dem Markt erhältliche Assistenzsysteme basieren auf dem System der Warnung. Z.B. wird eine Warnung ausgegeben, wenn die Liniemarkierung der eigenen Spur überschritten wird oder der Abstand zum Vordermann aufgrund zu hoher Differenzialgeschwindigkeit nicht angepasst werden kann. Im Moment der Warnung muss der Fahrer den Regelkreis mental verlassen und die Warnung verarbeiten, auf das Geschehen übertragen und kann dann erst reagieren. Auch wenn der Zeitraum für diese Schritte i.a. sehr kurz ist kann doch in bestimmten Situationen wertvolle Zeit verloren gehen.

Das neue entwickelte Konzept sieht vor, dem Fahrer kontinuierlich die Bewegungsdynamik des eigenen Fahrzeuges darzustellen. Dies geschieht mit Hilfe eines sog. Bremsbalkens, der dem Fahrzeug virtuell mit Abstand des aktuellen Bremsweges vorausfährt. Fährt das Fahrzeug langsam ist der Balken nah, beschleunigt das Fahrzeug entfernt sich der Balken nach vorne. Der Balken passt sich den Lenkbewegungen an und zeigt somit immer die Haltelinie der vorderen Stoßstange des eigenen Fahrzeuges.

Die Geschwindigkeitseinschätzung wird durch das Längsverhalten des Balkens und die Spurhaltung durch das Querverhalten des Balkens angezeigt. Der Balken unterstützt die Antizipation des Fahrzeugverhaltens.

Um noch eine weitere Alternative zur Einschätzung von Kurven zu vergleichen wurde das Konzept um eine zweite Variante erweitert. Hier verbindet ein sog. Fahrschlauch Balken und Fahrzeug. Jedes seitliche Ende des Balkens ist durch einen Linienzug mit den vorderen Ecken des Fahrzeuges verbunden. So kann der Fahrer die Biegung des Fahrschlauches an die Krümmung der Kurve anpassen. Zusätzlich kann solch eine Darstellung an Engstellen helfen, einzuschätzen ob ein Durchkommen möglich ist.

Beide Varianten wurden in einer Nutzerstudie mit 27 Versuchspersonen gegen das Fahren ohne jegliche Assistenz verglichen. Das HUD wurde simuliert. Da die Darstellung der AR Konzepte in genau der Entfernung der Umgebung stattfindet konnte auf der Leinwand des Fahrsimulators auch direkt die AR Anzeige platziert werden. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt eine Verbesserung der Spurhaltegröße mit steigendem Grad an optischer Assistenz. Die subjektive Messung eines standardisierten Gesamt-Arbeitslast-Indexes hingegen zeigte keine Veränderung in der körperlichen und mentalen Belastung der Versuchspersonen. Bei der Assistenz die nur den Balken zeigt hatten die Versuchspersonen das Gefühl, die Geschwindigkeit am besten halten zu können und auch die beste Fahrqualität zu haben.

Diese Studie belegt das Potenzial einer impliziten visuellen Fahrerassistenz. Der Fahrer wird im Regelkreis gehalten, aber sein Situationsbewusstsein in Bezug auf das eigene Fahrzeug wird verbessert. Erweiterungen an diesem Konzept können u.a. den Sicherheitsabstand bei Folgefahrt darstellen. Weiterhin sollte die Verwendung verschiedener Farben, z.B. für Gefahren, in Betracht gezogen werden.

5.2 Warnrichtungshinweise

Das zweite Konzept das entwickelt und getestet wurde fokussiert auf den Fall, dass der Fahrer den Regelkreis der Fahrzeugführung verlassen hat oder dass eine potentielle Gefahr aus einer anderen Richtung als der aktuellen Blickrichtung kommt. Dem Fahrer muss eine einfach zu interpretierende Information gegeben werden, wo sich die potentielle Gefahr befindet. Das hierzu erstellte Konzept profitiert von der Möglichkeit der AR, Informationen direkt im Bezugssystem des Fahrers darzustellen, anstatt symbolische Informationen auf sekundären Displays darzustellen. Blickabwendungszeiten verkürzen sich, da die Information direkt im Sichtfeld aufgenommen werden kann. Zusätzlich entfallen Zeiten für die räumliche Interpretation der Informationen. Die symbolische Information muss nicht mehr in das eigene Bezugssystem transformiert werden da sie bereits räumlich darin registriert ist.

Da der direkte Ort der Gefahr nicht angezeigt werden kann muss dem Fahrer die Richtung gezeigt werden. Ein virtueller 3D Pfeil, ähnlich einer Kompassnadel, wurde entwickelt um im Falle einer Gefahr im Sichtfeld zu erscheinen und in die Richtung der Gefahr zu deuten. Um dieses System zu einem konventionellen System vergleichen zu können wurde eine 2D Variante entwickelt bei der die Gefahr in einer vogelperspektivischen Darstellung angezeigt wird. Das 2D System orientiert sich hier an bekannten

Einparkassistenten, die den Abstand zu den parkenden Fahrzeugen grafisch darstellen, in unserem Fall aber auf die Gefahr deuten.

Während das Design der 2D Vogelperspektive recht einfach umzusetzen ist, muss auf die 3D Darstellung ein größeres Augenmerk gelegt werden. In einer Vorstudie erschien der 3D Pfeil, bestehend aus einem Zylinder und einem Kegel, frei schwebend im Raum. Dargestellt wurde er in der Entfernung der vorderen Stoßstange. Nach dem Erscheinen erfolgte eine kurze Animation um die 3D Orientierung des Pfeiles zu verstärken. In 0,25 s drehte sich der Pfeil um 45 Grad um die Vertikale Achse. Wie sich in der Vorstudie herausstellte dachten einige Probanden, dass der Pfeil sich an der Position des eigenen Kopfes befinden sollte und verschoben den Pfeil mental um die Entfernung zwischen Stoßstange und Kopf. Daraufhin verschlechterte sich die Treffergenauigkeit in der Studie, da Zielpunkte genannt wurden, die gegenüber dem richtigen Ziel nach hinten verschoben waren.

Die Vorstudie belegte zudem, dass die Wirkung einer Darstellung im HUD stark von der Displaytechnologie selbst abhängt. In der Vorstudie wurde der 3D Pfeil zwar virtuell in der Entfernung der vorderen Stoßstange platziert, wurde aber auf die Leinwand des Fahrersimulators projiziert. Fokale und virtuelle Entfernung unterschieden sich und verschlechterten den räumlichen Eindruck. In der Hauptstudie wurde ein räumlich von der Leinwand entkoppeltes HUD aufgebaut das die fokale Entfernung an die virtuelle Entfernung anpasste.

Weiterhin wurden an dem 3D Pfeil einige Erweiterungen vorgenommen. Um den 3D Eindruck und die Erkennbarkeit der Richtung zu stärken wurden Flossen am hinteren Ende des Pfeilschaftes angebracht. Zusätzlich wurde der Pfeil mit seinem Drehpunkt an einer ebenso virtuellen Stange befestigt die am unteren Ende an der vorderen Stoßstange befestigt zu sein schien.

Die nun durchgeführte Studie zeigte als Ergebnis vor allem, dass die Antwortzeit, also das Benennen eines der um das Versuchsfahrzeug herum platzierten Ziele, mit der 3D Variante signifikant kürzer waren als bei der 2D vogelperspektivischen Darstellung.

Diese Hauptstudie untersuchte weiterhin noch die Anwendbarkeit von richtungskodiertem Ton. Vier Lautsprecher, gleichmäßig um den Kopf des Fahrers herum platziert generierten je nach Standort des zu benennenden Zieles einen Warnton aus dessen Richtung. Die Untersuchung zeigte, dass vor allem grobe Fehler in der Interpretation der Richtung dadurch vermieden werden konnten. Der Vergleich zwischen einer Variante mit und ohne Ton lieferte allerdings keine signifikanten Unterschiede in Antwortzeit oder Treffergenauigkeit.

Ebenso wie die erste Studie zur Darstellung der Fahrphysik des eigenen Fahrzeuges zeigt auch diese Studie dass AR ein hohes Potential für Fahrerassistenzsysteme hat. Unter dem Aspekt zeitkritischer Anwendungen bleibt hier zu untersuchen inwieweit AR Darstellungen auch blickfixiert Verwendung finden können. In der beschriebenen Studie sollten die Fahrzeugführer auf einer ländlichen Straße mit gelegentlichen Ortschaften fahren, hatten den Blick also meistens nach vorne gerichtet. Die AR Darstellung konnte somit an fester Position in der Frontscheibe angezeigt werden. Der normale Straßenverkehr birgt allerdings die Gefahr, dass der Fahrer in eine andere Richtung blickt und so die Anzeige nicht wahrnehmen würde. Eine Darstellung in Abhängigkeit zur Blickrichtung kann aber wiederum starke Auswirkungen auf die mentale Last der Fahrer haben, was es wiederum zu untersuchen gilt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf der Hypothese, dass AR das Situationsbewusstsein und die Fahrperformanz verbessern kann wurde durch konzeptionelle Vorarbeit ein Klassifikations- und Regelwerk geschaffen, das u.a. Gestaltungsrichtlinien für AR im automotiven Sektor enthält. Darauf aufbauend wurde die anfängliche Hypothese durch zwei Studien untermauert. Die erste Studie zur Antizipation der Bewegung des eigenen Fahrzeuges stärkt die Rolle des Regelkreises der Fahrzeugführung und zeigt eine Verbesserung der Spurhaltung ohne die Arbeitslast zu erhöhen. Die zweite Studie zeigt, dass Rückkehrzeiten in den Regelkreis der Fahrzeugführung optimierbar sind und gibt Ansätze, wie dies erreicht werden kann. Während diese Studien nur erste Untersuchungen für die Verwendung von AR darstellen können wurde der Fokus auf die Unterstützung des Entwicklungsprozesses derartiger AR Systeme gelegt. Es wurden neben grundlegender Entwicklungsarbeit an Fahrsimulatoren zwei neuartige Systeme geschaffen, die durch ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten die Entwicklung von AR Systemen unterstützen. Das erste System, die Entwicklungsumgebung für Verkehrsszenarien bietet zusätzlich der Möglichkeit der Verwendung als Diskussionsplattform auch die Möglichkeit, das Antizipationsverhalten von Fahrzeugführern zu untersuchen. Das zweite Entwicklungswerkzeug, die Umsetzung der sog. *Sphere of Vision* öffnet ein Fenster in die erweiterte Welt und ermöglicht es, diese Welt zu erforschen obwohl noch keine geeigneten Displays zur Verfügung stehen. Arbeiten an der HUD Technologie und an Anzeigekonzepten können so parallelisiert werden. Auch verkürzen sich Testzyklen da neue Varianten für Darstellungen vor Ort ebenso wie im Labor direkt evaluiert und diskutiert werden können. Gerade im Falle von Darstellungen im 3D Raum, deren Design es selbst noch zu erforschen gilt, ist solch eine Art der Darstellung ein unverzichtbares Element. Diese Systeme bieten die Grundlage für Fahrerassistenzsysteme die in Zukunft eine steigende Nachfrage haben werden um Sicherheitsaspekte zu erhöhen und um Designphilosophien von Fahrzeugherstellern gegeneinander zu differenzieren.