Lehrstuhl für Ergonomie
Technische Universität München

Sichtanalyse im Pkw

unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika

Jörg Hudelmaier

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gottfried Sachs

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing

Die Dissertation wurde am 31.10.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 03.06.2003 angenommen.

No amount of experimentation can ever prove me right; a single experiment can prove me wrong.

Albert Einstein

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mir bei der Durchführung dieser hier vorliegenden Arbeit helfend zur Seite gestanden haben.

Mein Dank gilt zunächst all meinen Kolleginnen und Kollegen, die mich während meiner Zeit am Lehrstuhl unterstützt und mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Ich danke den Leuten der Lehrstuhlwerkstatt für den Bau des Messsystems ARGUS, die immer wieder geduldig durchgeführten Änderungen sowie die Änderungen an den Änderungen.

Meinen Diplomanden, Semestranden und Hiwis für ihren, zum Teil, nicht müde werdenden Schaffensdrang.

Last but not least, möchte ich mich ganz besonders bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Heiner Bubb bedanken, der nicht nur stets eine offene Bürotüre sondern auch immer ein ebensolches Ohr für mich und meine Arbeit hatte und dadurch in nicht unerheblichem Maße zum Gelingen dieses Werkes beigetragen hat.

Jörg Hudelmaier

Im Oktober 2002

Zusammenfassung

Der Fahrer eines motorisierten Kraftfahrzeugs steht den anderen Verkehrsteilnehmern gegenüber in einer großen Verantwortung, der er zum größten Teil nur mit Hilfe seines optischen Sinneskanals gerecht werden kann. Zwar kann auch mit der besten Sicht die menschliche Reaktionszeit nie ganz auf Null gesenkt werden, doch ermöglicht eine gute Übersichtlichkeit des Fahrzeugs erst vorausschauendes Fahren, was wiederum Grundvoraussetzung dafür ist, kritische Situationen frühzeitig zu erkennen und durch gezieltes Handeln zu entschärfen.

Für eine Verbesserung der Sichtbedingungen ist es allerdings zunächst notwendig, diese realistisch erfassen zu können. Da dies mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden nur sehr unzureichend bewerkstelligt werden kann, wurde im Rahmen dieser Arbeit, in Zusammenarbeit mit der *tecmath AG*, Kaiserslautern, ein neuartiges Analysesystem entwickelt, welches die Sicht beliebiger Fahrzeugführer automatisch und realitätsnah vermessen und - bis zu einem gewissen Grad - quantifizieren kann.

Um eine möglichst breite Datengrundlage für die Sichtoptimierung zu erhalten, werden hierzu Realfahrzeuge betrachtet. Subjektive Einflüsse des Menschen werden ausgeschlossen indem der Fahrer einerseits real (durch einen Roboter), andererseits virtuell (durch ein Menschmodell) simuliert wird, wobei erstmals zwischen beiden Bereichen eine Brücke geschlagen wird.

Da die virtuelle Simulation des Menschen die Messergebnisse stark beeinflusst, beschäftigen sich weiterführende Untersuchungen mit der Optimierung des Menschmodells *RAMSIS* - vor allem bei extremen Torso- und Kopfbewegungen, wie sie beim Steuern eines Pkws immer wieder auftreten können. Hierzu werden entsprechende Versuche mit realen Probanden gemacht und die daraus gewonnenen Erkenntnisse über Verhalten und Haltungen auf das Menschmodell übertragen.

Inhalt

1 Einleitung 8

2 Vorschriften und Richtlinien 13
2.1 Allgemeines 13
2.2 Die Sicht nach vorne 14
2.2.1 Sichtfeldrelevante Bestimmungen der StVZO 14
2.2.2 Bestimmungen der EWG-Richtlinien 15
2.3 Die Sicht nach hinten 15
2.4 Problematik 17

3 Visuelle Erfassung der Umwelt durch den Menschen 20
3.1 Der Aufbau des menschlichen Auges 20
3.2 Augenbewegungen 21
3.3 Physische Grenzen der visuellen Informationserfassung 21
3.4 Binokulares Sehen 24
3.5 Umblickbewegungen und Augpunktbahnen 24
3.5.1 Versuche im Realfahrzeug 25
3.5.1.1 Das Blickerfassungssystem JANUS 27
3.5.1.2 Ergebnisse 28
3.5.2 Kopfhaltung bei extremer Verdrehung 29
3.6 Psychische Aspekte der visuellen Informationsaufnahme 30
3.7 Sichtbereichserweiterung durch Kompensationsbewegungen 31

4 Das Menschmodell RAMSIS 33
4.1 Hintergrund 33
4.2 Das Modell 33
4.3 Der Aufbau des Menschmodells RAMSIS 34
4.3.1 Das innere Modell von RAMSIS 34
4.3.2 Das äußere Modell 36
4.4 Die RAMSIS-Personentypologie 37
4.5 Die RAMSIS-Haltungsprognose 38
4.5.1 Untersuchung der kraftfahrzeugtypischen Körperhaltungen und Modellierung der Daten 39
4.6 RAMSIS-H-Punkt und RH-Vektor 40
4.7 Sitzpositionierung in RAMSIS 41

5 Verfahren und Methoden der Sichtanalyse 43
5.1 Die Augenellipse nach SAE J941 44
5.1.1 Definition 44
5.1.2 Anwendung 45
5.1.3 Nachteile der SAE-Augenellipse 46
5.2 Realverfahren zur Sichtanalyse 47

5.2.1 Beurteilungsmethode 47
5.2.2 Schattenwurfverfahren 48
5.2.3 Kameraverfahren 48
5.2.4 Lasertheodoliten-Messverfahren 49
5.2.5 Gemeinsame Problematik der eingesetzten Messverfahren 50
5.3 Methoden zur virtuellen Sichtanalyse in 3D-CAD-Systemen 53
5.3.1 Punktorientierte Methoden zur virtuellen Sichtanalyse 53
5.3.1.1 Sichtbereichsanalyse mit SAE-Augellipsoiden 53
5.3.1.2 Einfache CAD-Sichtanalyse über feste Augpunkte 54
5.3.1.3 CAD-Sichtanalyse mit festen oder teilvariablen Realaugpunktlagen 55
5.3.2 Restriktive CAD-Sichtanalysemethoden mit 3D-Haltungsmodellen 55
5.3.2.1 Blickfeldanalyse 56
5.3.2.2 Blickrichtungsanalyse 57
5.3.2.3 Virtuelle Sichtbeurteilungsmethode 58
5.3.2.4 Visualisierungsmodi in RAMSIS 60
5.3.2.5 Spiegelsichtanalyse mit RAMSIS 60
5.3.3 Gemeinsame Vor- und Nachteile der virtuellen Methoden 61
5.4 Resümee 62

6 Das Sichtanalysesystem ARGUS 63
6.1 Einführung 63
6.1.1 Grundlegendes 63
6.1.2 Die Idee 63
6.2 Das Messsystem 65
6.3 Die Hardware des Messsystems 65
6.3.1 Der Vermessungsroboter MARVIN 66
6.4 Die Steuer- und Analysesoftware des Messsystems 69
6.4.1 Das UP-AP 70
6.5 Die Steuerung des Roboters 74
6.5.1 Die Kalibrierung des Roboters 75
6.5.2 Festlegen der zu vermessenden Bereiche 76
6.5.3 Kantenerkennung mittels Bildverarbeitung 77
6.5.3.1 Genauigkeitsprüfung der Bildverarbeitung 83
6.5.4 Vermessungen nach SAE 83
6.6 Ergebnisdarstellungen des Sichtanalysesystems 84
6.7 Resümee 86

7 Die Optimierung der RAMSIS-Umblickprognose 87
7.1 Die Validierung des RAMSIS-Umblickverhaltens 87
7.1.1 Aufbau und Durchführung der ursprünglichen Umblickuntersuchungen 87
7.1.2 Realitätsbezug des modellierten Umblickverhaltens 88
7.1.3 Umblickversuche im Fahrerstand 91
7.1.3.1 Vorbemerkungen und Hypothesen 91
7.1.3.2 PCMAN - System zur Anthropometrie-, Haltungs- und Bewegungsanalyse 92

7.1.3.3 Versuchsaufbau 95
7.1.3.4 Versuchspersonenkollektiv 98
7.1.3.5 Versuchsdurchführung 99
7.1.4 Erstellen der RAMSIS-Prognosen 100
7.1.4.1 Fahrzeuggeometrien 100
7.1.4.2 Grundlagen der Restriktionsfindung 100
7.1.4.3 Prognosenerstellung auf der Grundlage von Restriktionen 103
7.1.4.4 Erläuterungen zu den Restriktionen 104
7.1.5 Validierung der RAMSIS-Prognosen 106
7.1.5.1 Grundlagen 106
7.1.5.2 Ergebnisse aus dem Vergleich von Realhaltungen und RAMSIS-Prognose 108
7.1.5.3 Interpretation der Ergebnisse 110
7.1.5.4 Abschließendes Resümee der Validierung 110
7.2 Haltungsmodell für die rückwärtige Orientierung 112
7.2.1 Die grundsätzliche Generierung von Haltungsmodellen 113
7.2.1.1 Generierung mit relativen Verteilungsfunktionen 113
7.2.1.2 Generierung durch Optimalwertverschiebung 113
7.2.2 Generierung eines Haltungsmodells für die Rückorientierung mit Hilfe von RAMSIS-Expertenfunktionen 114
7.2.3 Validierung des Rückorientierungsmodells 116
7.2.3.1 Rückorientierung mit identischem Restriktionsdatensatz 116
7.2.3.2 Rückorientierung mit vereinfachten Restriktionen 119
7.2.3.3 Rückorientierung mit eingeschränktem peripheren Sichtfeld 122
7.3 Wechsel zwischen Fahrerhaltungs- und Rückorientierungsmodell in Abhängigkeit von Sichtzielvorgaben 126
7.4 Kompensationsbewegungen prognostiziert mit RAMSIS 127
7.4.1 Kompensationshaltung mit Mitteln der RAMSIS-Standalone-Version – haltungsunabhängige Restriktionsvorgaben 128
7.4.2 Kompensationshaltung mit parametrischen Verfahren – haltungsabhängige Restriktionsvorgaben 129
7.4.3 Hinweise zum Gebrauch prognostizierter Kompensationshaltungen 130

8 Ausblick 132

9 Literatur 134

10 Glossar 136
10.1 Begriffe und Definitionen 136
10.2 Verwendete SAE-Maßangaben 139

Anhang

1 Einleitung

Betrachtet man das Automobil in seiner geschichtlichen Entwicklung, so fällt auf, dass zu Anfang das Risiko für Fahrer und Umwelt in erster Linie von den Fahrzeugen selbst ausging. Zwar war das Verkehrsgeschehen noch recht übersichtlich und die von den Fahrzeugen erreichten Geschwindigkeiten im Vergleich zu den heutigen eher gering – ein Sicherheitsbewusstsein, das zur Verbesserung der aktiven und passiven Sicherheit der Fahrzeuge geführt hätte, fehlte zunächst allerdings vollständig. Daher führten selbst aus heutiger Sicht eher unkritische Situationen zu Unfällen mit schwerwiegenden Folgen. Dies hat sich im Laufe der Zeit immer mehr ins Gegenteil verschoben. Geht man davon aus, dass der Zustand eines Fahrzeugs alleine in der Verantwortung seines Halters liegt, so ist heute so gut wie kein Unfall mehr auf ein technisches Versagen im herkömmlichen Sinne zurück zu führen. Den eigentlichen Risikofaktor stellt nun der Mensch dar, der mit seinem Fahrzeug und der ihn umgebenden Verkehrssituation immer öfter schlichtweg überfordert ist.

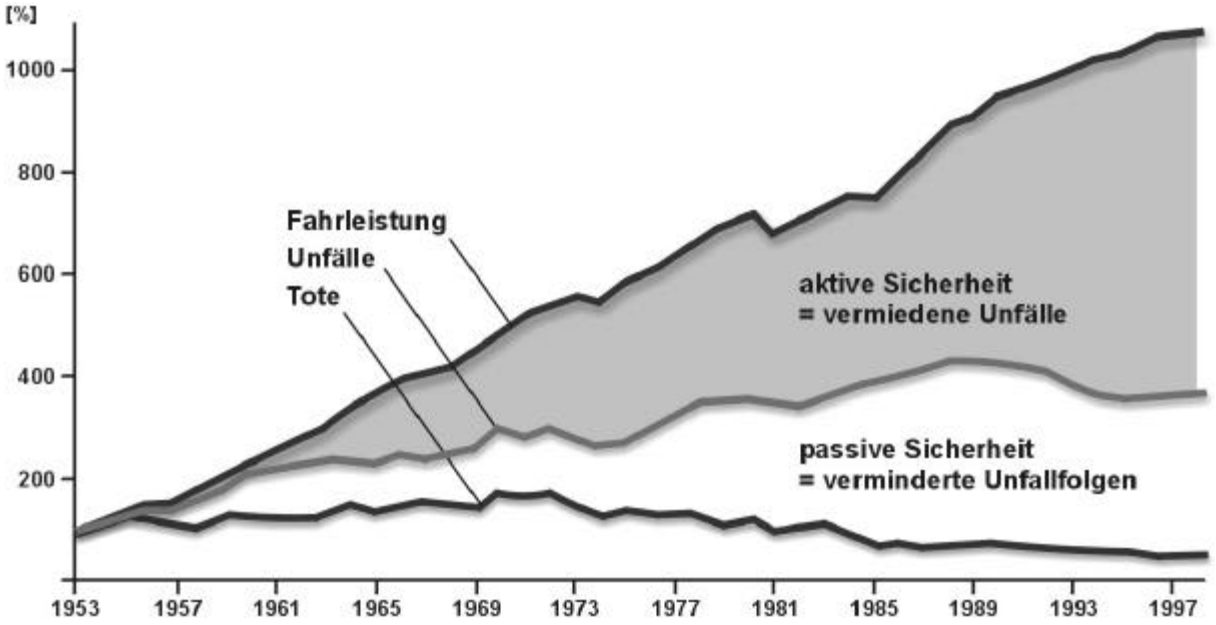


Diagramm 1.1: Auswirkung von Verkehrssicherheitsmaßnahmen (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Betrachtet man die Verkehrssituation als nicht änderbar, so sind Verbesserungen fahrzeugseitig vorzunehmen.

Die Schwächen heutiger Fahrzeuge werden anhand von Diagramm 1.1 deutlich. Maßnahmen zur passiven Sicherheit, wie Sicherheitsgurte, Airbags, Verformungseigenschaften und Steifigkeit der Karosserie, aber auch Verbesserungen im Rettungswesen und der medizinischen Versorgung - und Nachsorge - weisen nur ein geringes Verbesserungspotenzial auf. Eine wesentliche Erhöhung der Verkehrssicherheit lässt sich daher nur noch in Bereichen der aktiven Sicherheit erreichen (Reichart, 2000).

Die aktive Sicherheit ist dabei nicht nur vom Fahrzeug selbst, sondern ebenso vom Fahrer, sowie der Interaktion von Fahrer und Fahrzeug abhängig, wobei unter

Interaktion hier der für die Erfüllung der Fahraufgabe notwendige Informationsfluss zu verstehen ist. Als besonders problematisch stellt sich in diesem Zusammenhang der Fahrer selbst dar, dessen Anteil an der Durchführung der Aufgabe unter anderem durch seine

- Erfahrung / Übung
- Risikobereitschaft
- Motivation
- geistige Konstitution
- körperliche Konstitution

sowie durch seinen

- Ermüdungsgrad
- momentanen physischen Zustand
- momentanen psychischen Zustand

bestimmt wird.

Da auf den Fahrer höchstens durch Appelle an seine Vernunft, nie aber vollständig auf alle o. g. Aspekte eingewirkt werden kann, gilt es die Interaktion von Fahrer und Fahrzeug zu optimieren. Letzteres scheint der zentrale und noch immer stark ausbaufähige Aspekt der aktiven Sicherheit zu sein.

Ansätze in dieser Richtung werden z. Z. mit Fahrerassistenzsystemen, z. B. Abstandswarnsystemen, gemacht. Ebenso sind auch Systeme in Vorbereitung, die ein sich von hinten seitlich näherndes Fahrzeug melden – z. B. bei einem Überholvorgang. Neben den mehr oder weniger gravierenden funktionalen Mängeln sind all diesen Systemen allerdings weitere Nachteile zu eigen, die darin begründet liegen, dass es nicht unbedingt ausreicht, nur Informationsdefizite des Fahrers auszugleichen. Motivationsdefizite, die ebenfalls die Wahrnehmung stark beeinflussen, sind erst gar nicht fassbar und somit einem System nicht vermittelbar. Handlungsdefizite des Fahrers wiederum sind zwar relativ leicht zu registrieren, eine direkte Kompensation ist zumeist allerdings nicht erwünscht, da sie als ein „sich der Maschine ausliefern“ gewertet und somit nicht akzeptiert wird.

Assistenzsysteme sind daher nach Wilde (1982) nur dann in Betracht zu ziehen, wenn sie in der Lage sind, ein Risiko völlig auszuschließen. Bei einem System wie z. B. ABS, kann dies als gegeben angesehen werden, da hier die notwendigen Informationen relativ leicht über die Räder abgenommen werden können und im Grunde nur zwei Zustände (Rad dreht sich – Rad dreht sich nicht) berücksichtigt werden müssen. Anders stellt sich die Situation aber dar, wenn das den Fahrer umgebende Verkehrsgeschehen zu beachten ist. Zumindest zum jetzigen Zeitpunkt ist dies fast unmöglich, da die notwendigen Informationen nur sehr bedingt fassbar und die Vielfalt der Interpretationsmöglichkeiten ein kaum lösbares Problem darstellt.

Eine vollständige Automatisierung ist damit in absehbarer Zeit unmöglich. Die Erfüllung der eigentlichen Fahraufgabe muss damit im Wesentlichen dem Menschen überlassen bleiben. Fahrzeugseitig wiederum ist dafür Sorge zu tragen, dass dem Fahrer diese Aufgabe so leicht wie möglich gemacht wird. Neben einer möglichst guten anthropometrischen sowie systemergonomischen Auslegung der einzelnen Fahrzeugkomponenten ist es vor allem aber der Informationsfluss, den es zu optimieren gilt.

Es stellt sich daher die Frage, welche Informationen für einen Autofahrer für die Erfüllung der Fahraufgabe von entscheidender Bedeutung sind.

An allererster Stelle sind hier die visuellen Informationen zu nennen, denn 90% aller für die Fahraufgabe relevanten Informationen nimmt ein Kraftfahrzeugfahrer über seinen optischen Sinneskanal auf (Grandjean, 1979). Damit haben andere Sinneswahrnehmungen (kinetisch, duktil) nur untergeordneten Einfluss.

In Anbetracht dessen erscheint eine weit verbreitete Entwicklung im Automobilbau paradox: Während die Fahrzeuge immer sicherer werden und damit rein technisch kaum noch ein Risiko darstellen, werden die Sichtbedingungen ihrer Fahrer immer schlechter. Ein Ende dieser Tendenz ist dabei nicht abzusehen – im Gegenteil, es tritt immer mehr das Design eines Fahrzeugs in den Vordergrund, welches die Glasflächen in Zukunft noch kleiner zu halten sucht (Abbildung 1.1).

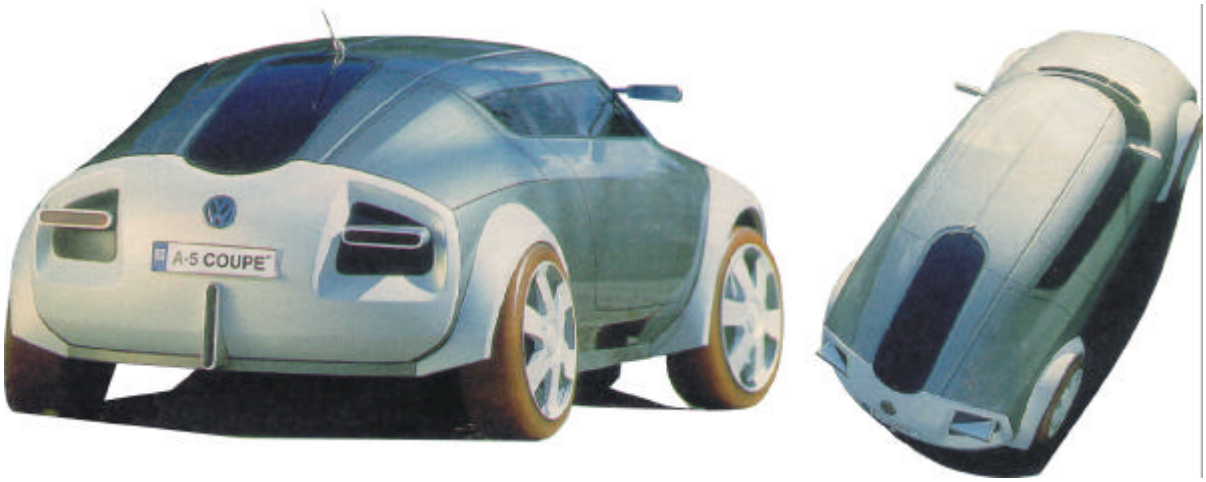


Abbildung 1.1: Designstudie des geplanten A-5 Coupés von VW

Dies ist hinsichtlich der Sicherheit als eine ausgesprochen ungünstige Entwicklung zu werten, die durch den Umstand verstärkt wird, dass in unserer heutigen Gesellschaft neben der Kommunikation vor allem der Wunsch nach Mobilität vorherrscht. Die mit dem Bedürfnis nach Mobilität stetig ansteigende Verkehrsdichte macht eine immer größer werdende Informationsaufnahmeleistung seitens des Fahrers notwendig, was die Anforderungen an die Sichtqualität von Fahrzeugen wachsen lässt. Damit kommt den Sichtverhältnissen ein integraler Bestandteil des aktiven Sicherheitskonzeptes eines Fahrzeugs zu.

Die Sicht des Fahrers aus seinem Fahrzeug wird dabei von vielen unterschiedlichen Faktoren bestimmt, die sich in drei Gruppen einteilen lassen:

- *Externe Einflüsse*, wie z. B. Wetterbedingungen, Sonnenstand aber auch landschaftliche Gegebenheiten.
- *Fahrzeugspezifische Faktoren*, wie z. B. die Fahrzeuggeometrie, die Anordnung der Stellteile, die vorhandenen Verstellmöglichkeiten von Sitzen und Spiegeln.
- *Individuelle Faktoren*, diese beschreiben
  - die Körpergröße des Fahrers,
  - seine Körperproportionen,
  - seine Körperhaltung,
  - die Wahl der Sitzposition.

Die generelle Gestaltung eines neuen Fahrzeugs wird wiederum durch viele äußere Faktoren bestimmt, die sich allesamt gegenseitig beeinflussen (Abbildung 1.2).

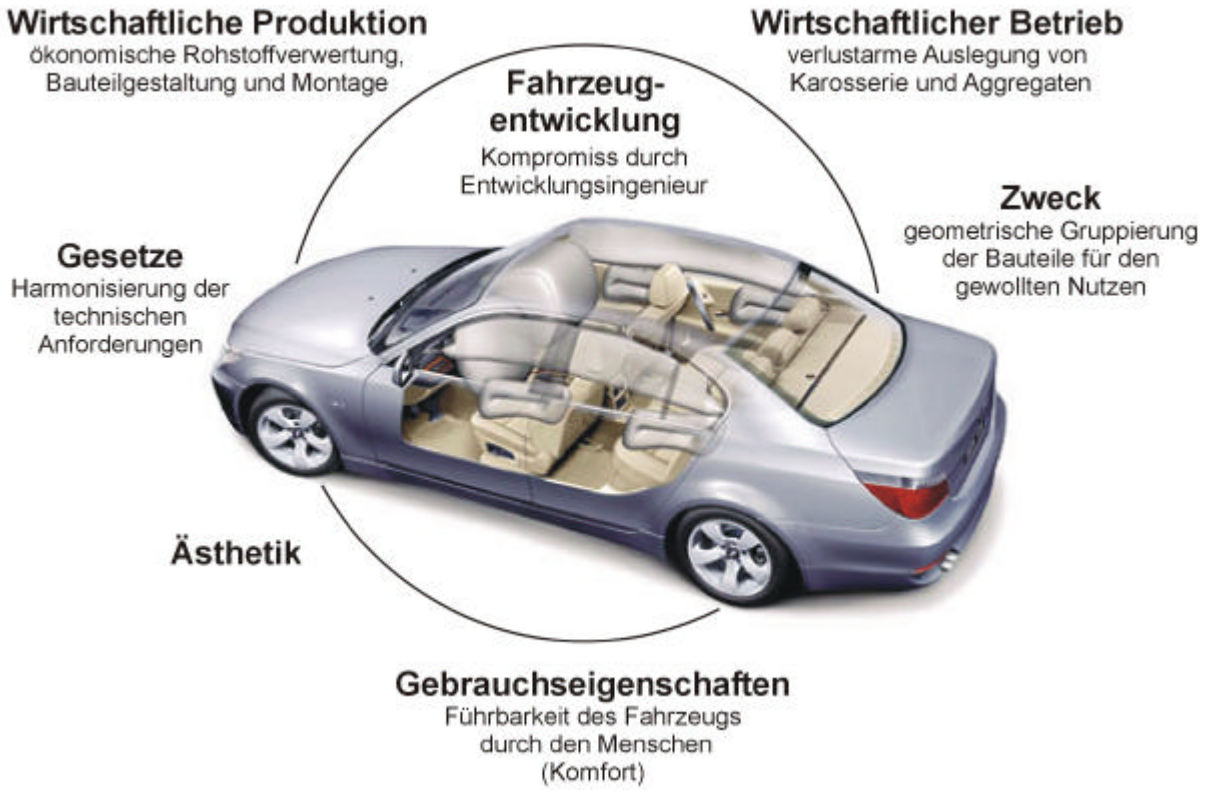


Abbildung 1.2: Äußere Faktoren im Spannungsfeld der Fahrzeugentwicklung

Aber auch die einzelnen äußeren Faktoren können ihrerseits Bereiche beinhalten, die sich wiederum durchdringen, wenn nicht sogar ausschließen. Auf die Sichtverhältnisse, als Teil der Gebrauchseigenschaften eines Fahrzeugs übertragen, bedeutet dies, dass auch diese im Spannungsfeld vieler, teilweise sogar widersprüchlicher Anforderungen stehen. Da für sie vor allem die Karosserie- und Interieurgestaltung maßgeblich sind, treffen im Besonderen die in Abbildung 1.3 dargestellten Faktoren aufeinander. So erhöhen voluminöse A-, B- und C-Säulen die Crashsicherheit, verringern aber gleichzeitig die Außensicht des Fahrers. Große Frontscheibenneigungswinkel und hoher Heckabschluss sind für eine gute Aerodynamik meist unumgänglich, der Sicht aber abträglich. Ästhetische Ansprüche an die Karosserie schränken den Spielraum bei der Festlegung der Sichtverhältnisse weiter ein, da ausgewogene Proportionen bestimmte Verhältnisse von Glas- und Blechflächen erfordern. Hohe Gürtellinien, die Sicherheit vermitteln sollen, bewirken zumindest bzgl. der Wahrnehmungssicherheit genau das Gegenteil. Selbst innerhalb der Sichtproblematik bestehen gegensätzliche Anforderungen. So gewährleisten großzügig dimensionierte Rückspiegel eine verbesserte Sicht nach hinten, erzeugen aber gleichzeitig große Verdeckungsflächen im vorderen Sichtbereich. Eine Karosseriegestaltung, die die Fahrzeugkonturen außerhalb des Fahrerblickfelds hält, vergrößert zwar objektiv die einsehbaren Bereiche um das Fahrzeug, erschwert aber erheblich dessen Handling.

Abbildung 1.3: Die Sicht im Zielkonflikt der Karosseriegestaltung

Die Packgagemaße wiederum beeinflussen durch Anordnung und Lage von Stellteilen wie Pedalerie und Lenkrad, dem Verstellbereich der Sitze und anderer Fahrzeugelemente direkt die Haltung des Fahrers. In Kombination mit seinen individuellen Faktoren sind sie damit ebenfalls von entscheidender Bedeutung für den Teil der Umwelt, den der Fahrer wahrzunehmen in der Lage ist.

Für den Entwickler von Fahrzeugen besteht daher eine große Herausforderung darin, den erhöhten Sichtanforderungen, unter gleichzeitiger Verbesserung der scheinbar gegensätzlichen Randbedingungen, gerecht zu werden. Zwar existieren diverse Vorschriften und Richtlinien hinsichtlich der Sichtgestaltung von Fahrzeugen (siehe hierzu das folgende Kapitel). Allerdings wird die Sicht hier als ein rein geometrisches Problem betrachtet - welche Kriterien für gute Sichtverhältnisse letztendlich ausschlaggebend sind, ist bis heute noch nicht bekannt, da sich die Sichtqualität nicht auf die reine Angabe von Winkelbereichen und Flächenverdeckungen reduzieren lässt.

Der erste Schritt auf dem Weg zu einem Bewertungsverfahren, welches letztendlich als Basis allgemein gültiger Richtlinien für den Konstrukteur hinsichtlich der Außensichtgestaltung dienen kann, ist eine genaue, möglichst realistische und vergleichbare Erfassung bestehender Sichtverhältnisse. Die hierfür zur Verfügung stehenden Methoden und Systeme geben die realen Sichtverhältnisse des Menschen in einem Fahrzeug allerdings nur unzureichend wieder und schaffen somit schon bei der grundlegenden Datenerhebung falsche Voraussetzungen, die letztendlich in falschen Empfehlungen münden und somit eine Optimierung der Sichtverhältnisse unmöglich machen.

Unumgänglich ist damit die Entwicklung einer neuen Methode zur Sichterfassung, welche in der Lage ist, eine realistische Datenbasis zu liefern. Eine solche Methode sowie ein auf ihr fußendes Messsystem soll in dieser Arbeit näher vorgestellt und erläutert werden.

2 Vorschriften und Richtlinien

2.1 Allgemeines

Alle Vorschriften und Richtlinien zur Sicht aus Kraftfahrzeugen sind dazu gedacht, die Mindestanforderungen an die Sichtverhältnisse fest zu legen. Dabei orientieren sie sich an ergonomischen Gesichtspunkten, d. h. sie zielen darauf ab, die Interaktionen des Fahrers mit seiner (technischen) Umwelt auf eine dem Menschen gerechte Art und Weise auszulegen. Problematisch wirkt sich dabei aus, dass die Nutzer der Fahrzeuge in ihrer Variabilität nur sehr schwer fassbar sind. Die Vorschriften und Richtlinien beinhalten daher eher Abstraktionen, die einen gewissen ergonomischen Standard erzwingen sollen. Folge davon ist, dass nicht nur widersprüchliche Forderungen auftreten können, sondern die Konsequenzen aus der jeweiligen Gesetzgebung die ergonomische Absicht zunichte macht. Als Beispiel seien die Augpunktlagen des Fahrers angeführt. Diese variieren in der Praxis sehr stark. Verantwortlich hierfür sind, wie bereits erwähnt wurde, die verschiedensten Parameter wie Alter und Geschlecht des Fahrers, Art des verwendeten Fahrzeugs, Sitzposition etc. Diese Variabilität hat sich auch in den dafür vorgesehenen Vorschriften niedergeschlagen. So weichen die Vorgaben von Augpunktlagen nach StVZO, SAE oder VDA zum Teil stark voneinander ab.

Aus der Notwendigkeit heraus, die gesetzlichen Vorschriften zu regeln und eine gewisse Konformität in die bestehenden Regelungen zu bringen, wurde 1977 zur Angleichung der nationalen Rechtsvorschriften die EWG-Richtlinie EWG 77/649 erlassen. EWG-Richtlinien, benannt nach der früheren Bezeichnung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft, sind dabei als Übereinkunft der EG-Mitgliedsstaaten aufzufassen[1].

Fahrzeuge, die für den amerikanischen Markt bestimmt sind, müssen die Vorschriften der FMVSS erfüllen - für Australien die der Australian Design Rule (ADR). Dabei stützt sich die ADR allerdings inhaltlich sehr stark auf die FMVSS - zumindest was die sichtrelevanten Umfänge angeht.

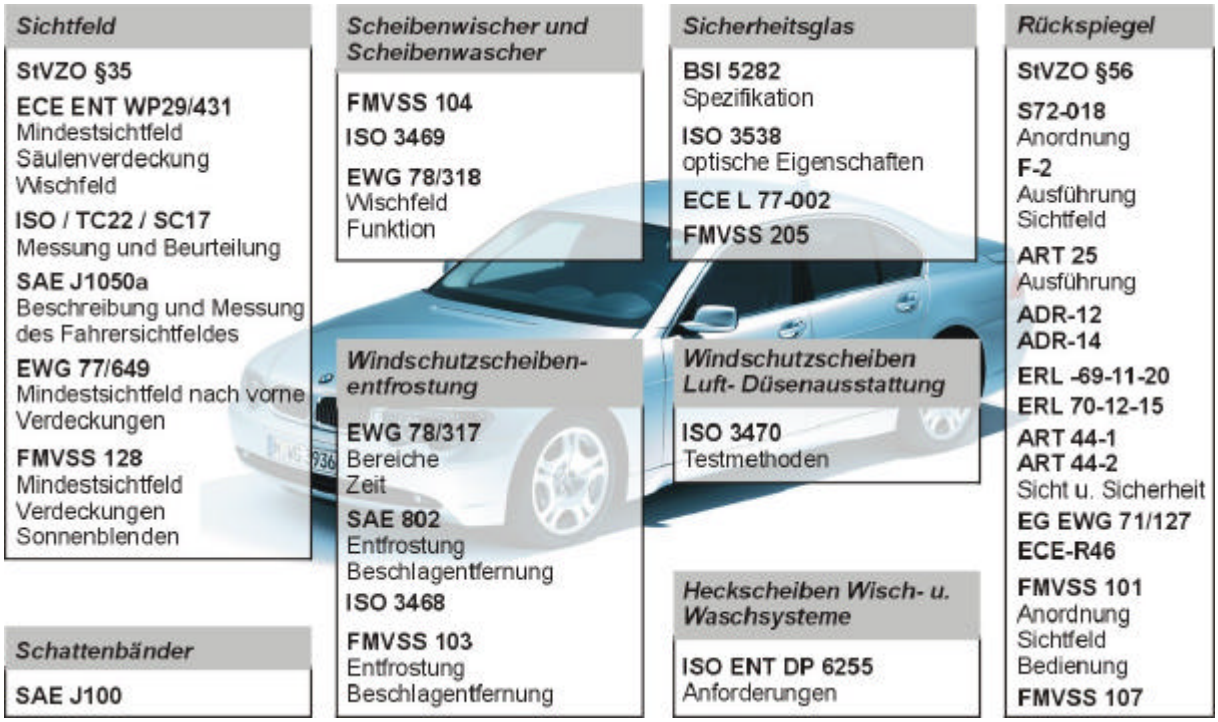
Das von der SAE (Society of Automotive Engineers, Inc.) jährlich herausgebrachte Handbuch beinhaltet dagegen keine rechtskräftigen Gesetze. Ähnlich wie die DIN-Normen handelt es sich dabei lediglich um Vorschläge und Richtlinien. Diese werden allerdings als Basis für gesetzliche Vorgaben herangezogen.

Tabelle 2.1 zeigt die wichtigsten Vorschriften, die direkt oder indirekt mit der Sicht des Fahrers in Zusammenhang stehen. Neben allen Einschränkungen, die die Fülle an Vorschriften dem Konstrukteur setzen - für den Kunden sind sie insofern von Vorteil, als dass alle Fahrzeughersteller sich danach zu richten haben. Für den Fahrzeughersteller wiederum wird ein Wettbewerbsnachteil vermieden, der sich dann ergeben würde, würde er hinsichtlich der Sicht größeren Aufwand betreiben als sein direkter Konkurrent.

---

[1] Fahrzeugen, welche die EWG-Richtlinien erfüllen, müssen die EG-Mitgliedsstaaten die EWG-Betriebserlaubnis bzw. die Betriebserlaubnis mit nationaler Geltung erteilen. Sie dürfen weder Verkauf, noch Zulassung, Inbetriebnahme oder Benutzung des Fahrzeugs verbieten (Artikel 2 u. 3 EWG 77/649)

Tabelle 2.1: Wichtige Vorschriften und Richtlinien hinsichtlich der Sicht aus einem Pkw



2.2 Die Sicht nach vorne

Die für die Sicht nach vorne relevantesten Vorschriften - im europäischen Raum - stellen die Regelungen der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) §35b, sowie die der EWG 77/649 dar.

2.2.1 Sichtfeldrelevante Bestimmungen der StVZO

Die Bestimmungen der StVZO nach §35b legen die für ein Fahrzeug notwendigen Sichtbereiche nach vorne und zur Seite fest. Dabei müssen die Schnittpunkte der Sichtlinien, die von einem festen, angenommenen Augpunkt ausgehen und tangential zu den Karosserieelementen verlaufen, mit dem Boden innerhalb eines sog. Sichthalbkreises liegen. Der Augpunkt liegt dabei auf einer 130 mm vor der Vorderkante der Rückenlehne angeordneten Vertikalen, 700 mm über dem unbelasteten Fahrersitz in Mittelstellung. Der Sichthalbkreis umspannt die auf dem Boden liegende Projektion eines halben Zylinders mit dem Radius von 12 m, dessen Achse durch den definierten Augpunkt lotrecht zum Boden verläuft. Speziell die Sicht nach vorn gilt dabei als gewährleistet, wenn die sich aus dem Schnitt mit dem Zylinder ergebende Grundlinie eines auf den Boden parallel projizierten Sichtkeils, mindestens 9,5 m beträgt (Abbildung 2.1).

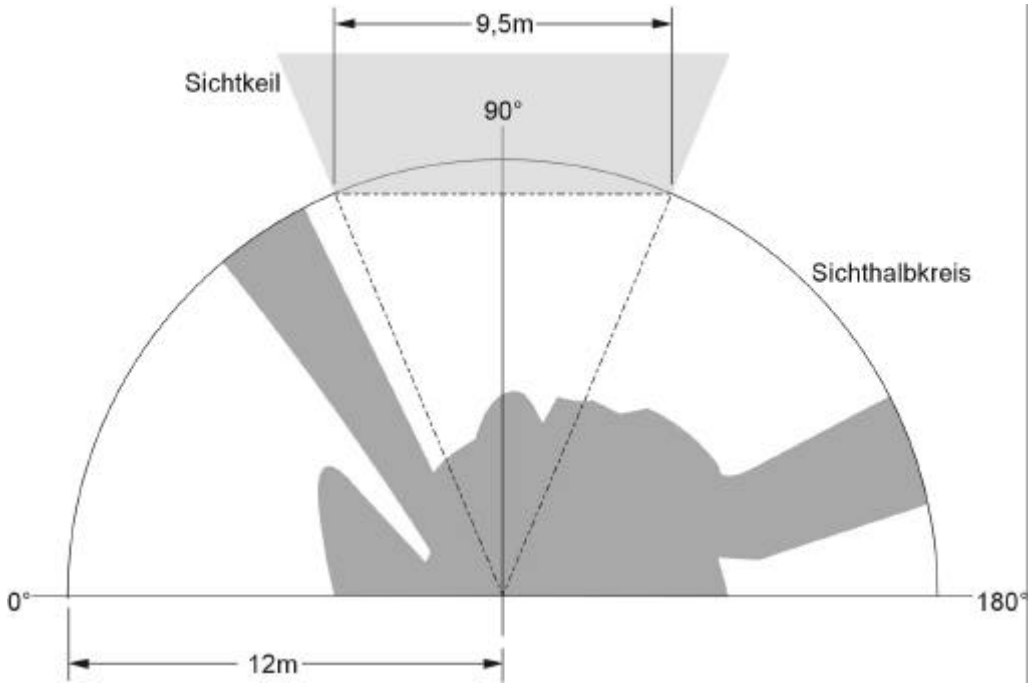


Abbildung 2.1: Sichthalbkreis und Sichtkeil nach StVZO §35b

Zudem werden Angaben über erlaubte Anzahl und Breite von Verdeckungen gemacht. So sollen nicht mehr als sechs Verdeckungen im gesamten Sichthalbkreis und innerhalb des Sichtkeils höchstens zwei auftreten.

2.2.2 Bestimmungen der EWG-Richtlinien

Die Richtlinien der EWG beziehen sich ebenso wie die Vorschriften der StVZO §35b auf Pkw mit Linkslenkung und beschreiben wie diese ein Sichtfeld von 180° nach vorne.

Abweichend von der StVZO werden hier bestimmte Verdeckungen der A-Säulen und anderer Komponenten definiert, denen ein Fahrzeug zu genügen hat. Für die Ermittlung dieser maximal zulässigen Verdeckungen werden bestimmte Bezugspunkte vorgegeben. Durch sie werden Schnittebenen gelegt, innerhalb derer die Verdeckungen auftreten. Die (graphische) Ermittlung der Verdeckungen erfolgt dabei für beide Augen. Zudem wird eine leichte Kopfdrehung um einen bestimmten Drehpunkt mit einbezogen.

2.3 Die Sicht nach hinten

Die für den Fahrer nach hinten einsehbaren Bereiche sind in der EWG-Richtlinie 71/127 bzw. ECE-R46 zusammengefasst und grafisch in Abbildung 2.2 - 2.4 dargestellt. Wie ersichtlich ist, handelt es sich dabei um Gestaltungsregeln, die allein die durch die Rückspiegel mindestens einsehbaren Fahrbahnbereiche festlegen, wobei der in Abbildung 2.2 dargestellte Sichtbereich über den Innenspiegel nur dann zu gewährleisten ist, wenn die Bauart des Fahrzeugs einen innen angebrachten Spiegel als sinnvoll erscheinen lässt. Prekärerweise haben mit dem *JANUS*-System (siehe Kapitel 3 Abschnitt 3.5.1.1) durchgeführte Vorversuche zu dieser Arbeit gezeigt, dass der rückwärtige Verkehr während der Fahrt eher über den Innen- als über die Außenspiegel beobachtet wird. Zu erklären ist dies mit der geringeren notwendigen Winkelabweichung zwischen dem Blick geradeaus und dem Blick in den Innenspiegel gegenüber den Außenspiegeln.

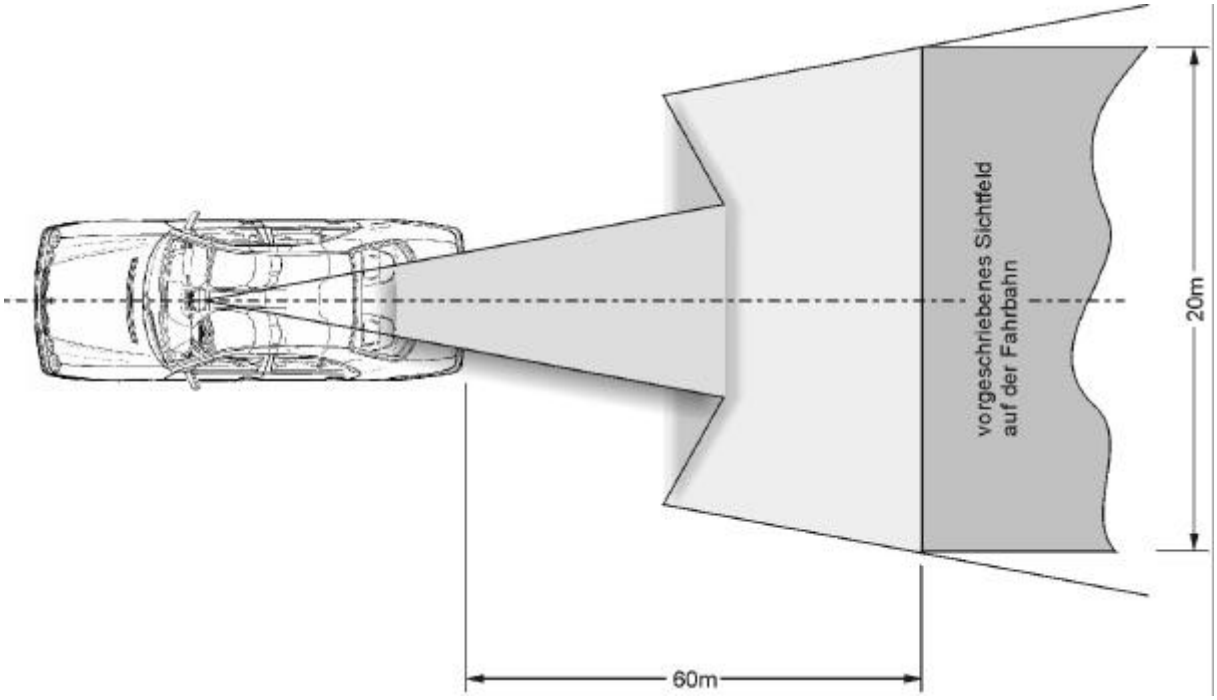


Abbildung 2.2: Vorgeschriebenes Sichtfeld für inneren Rückspiegel nach EWG 71/127 bzw. ECE-R46 (nicht maßstäblich)

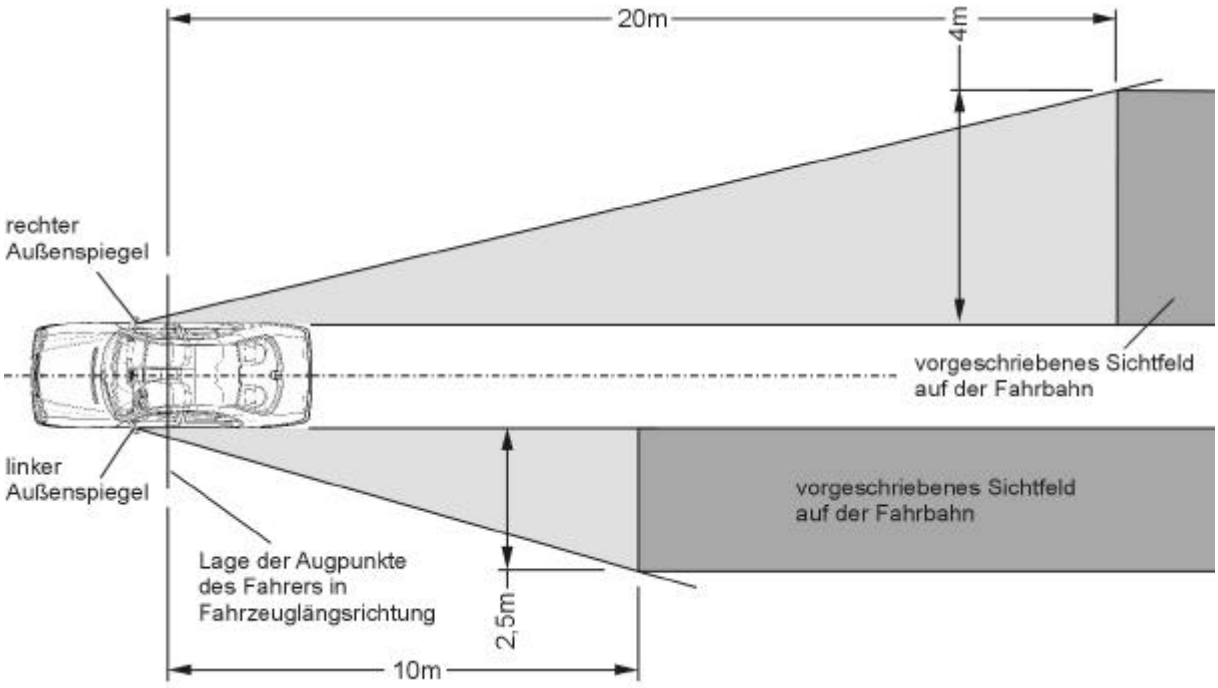


Abbildung 2.3: Vorgeschriebene Sichtfelder für linken und rechten Außenspiegel nach EWG 71/127 bzw. ECE-R46 für Fahrzeuge der Klasse M_1 und N_1 bei einer Masse bis zu 2t (nicht maßstäblich)

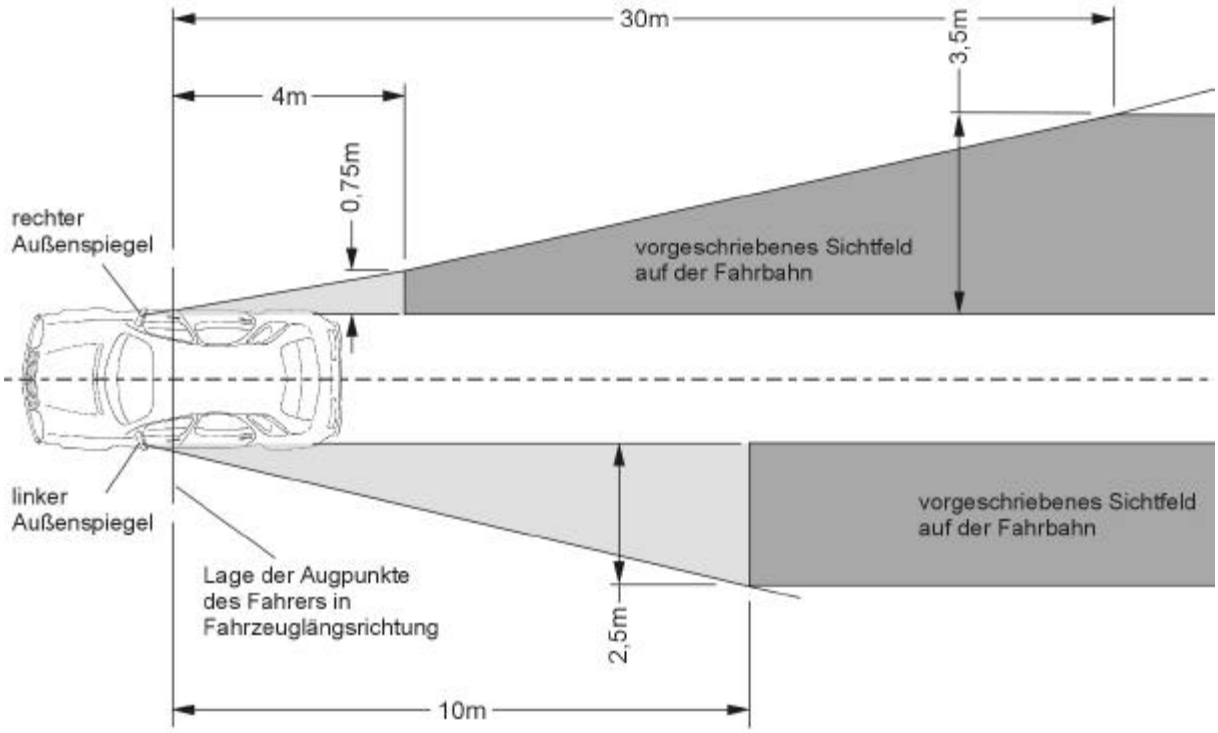


Abbildung 2.4: Vorgeschriebene Sichtfelder für linken und rechten Außenspiegel nach EWG 71/127 bzw. ECE-R46 für andere Fahrzeuge als in Abbildung 1.4 also z. B. Klasse M_1 bei einer Masse über 2t (nicht maßstäblich)

2.4 Problematik

Die durch den Gesetzgeber festgelegten einzuhaltenden Sichtbereiche für Pkws werden generell nicht als eine mindestens bereit zu stellende Rundumsicht angesehen – vielmehr wird die Sicht in zwei voneinander unabhängigen Bereichen betrachtet. Zum einen der nach vorne, welche auch die Bereiche links und rechts neben dem Fahrer einschließt, und der Sicht nach hinten, die wiederum nur indirekt durch die Rückspiegel festgelegt ist.

Gerade in zuletzt Genanntem ist auch die eigentliche Problematik hinsichtlich der Gesetzgebung und der durch die Automobilhersteller umgesetzten Sichtbereiche zu sehen.

Mit den vorhandenen Vorschriften wird dem Fahrer aus seinem Fahrzeug nach vorne und auch zur Seite eine – zumindest ausreichende – Sicht garantiert. Natürlich ist auch diese durch Fahrzeugkomponenten, wie z. B. den A-Säulen oder Spiegeln, eingeschränkt – allerdings sind diese Einschränkungen, zumindest zu einem Großteil, situationsabhängig und können durch entsprechende Kompensationsbewegungen auch meist leicht ausgeglichen werden. Die hier vorherrschenden Einschränkungen sind damit nicht unbedingt sicherheitsrelevant - sie beeinträchtigen eher den Komfort (siehe hierzu auch Kapitel 3, Abschnitt 3.7).

Anders sieht dies bei der Sicht nach hinten, z. B. beim seitlichen Einfädeln in eine vorfahrtsberechtigte Straße aus. Die hier vorliegenden Vorschriften können als unzureichend bezeichnet werden, da sie sich, wie bereits erwähnt wurde, nur auf die indirekte Sicht über die Rückspiegel des Fahrzeugs beziehen.

Die damit verbundene Problematik wird durch Abbildung. 2.5 deutlich, die die in Abbildung. 2.4 dargestellten Vorschriften maßstäblich am Pkw zeigt[2].

Wie hier zu sehen ist, treten – geht man von fließendem Verkehr und aufmerksamen anderen Verkehrsteilnehmern aus – Gefahrenmomente weniger dann auf, wenn sich andere Fahrzeuge oder Verkehrsteilnehmer in den durch die EWG-Richtlinien festgelegten mindestens durch die Rückspiegel einsehbaren Bereichen (A) befinden. Wesentlich kritischer sind die Bereiche (B) und (C), die durch keine Richtlinien erfasst werden. Gerade sie sind aber von entscheidender Bedeutung – vor allem beim Abbiegen oder Einfädeln - also immer dann, wenn man die Bahn anderer Verkehrsteilnehmer kreuzt oder in diese eintritt. Größe und Lage der B-Säulen verhindern zumeist, dass die mangelnde Sicht über die Spiegel nach hinten durch einen direkten Blick über die jeweilige Schulter ausgeglichen werden kann. Vor allem bei Sportwagen insbesondere bei Roadstern, deren Verdeck geschlossen ist, tritt dieses Problem besonders stark zu Tage. Den Fahrern dieser Fahrzeuge bleibt oft gar nichts anderes übrig, als sich auf die durch die Rückspiegel dargestellten Bereiche zu verlassen und zu versuchen, diese durch diverse Verrenkungen zu erweitern.

Problematisch wird dies vor allem dann, wenn hohe Fahrleistungen – die natürlich ausgeschöpft sein wollen – mit ungenügenden Sichtverhältnissen gepaart auftreten. Stilblüte einer solchen Entwicklung sind die Supersportwagen mit Straßenzulassung, die zwar vom Design durchaus ansprechend zu nennen sind, allerdings nicht nur aufgrund ihrer Leistungsdaten eine Gefährdung darstellen. Die Tatsache, dass auch sie den Vorschriften genügen, zeigt recht deutlich, dass den Fahrzeugherstellern ein großer Gestaltungsfreiraum bezüglich der Sichtverhältnisse eingeräumt wird. Im Gegenteil, anstelle von strengeren Richtlinien werden diese durch seitens der Fahrzeughersteller vorangetriebener Revisionen weiter gelockert. Begründet wird dieses Vorgehen u. a. mit der Notwendigkeit aerodynamischer Verbesserungen zur Kraftstoffeinsparung (Scholly, 1998).

Als ein weiteres Problem stellt sich, wie schon erwähnt wurde, vor allem die Art und Weise der Datenerfassung heraus, die mit veralteten Mitteln und Methoden keine den Fahrern bzw. Fahrzeugen adäquaten Ergebnisse liefern können.

---

[2] Umfassende Betrachtungen, Experimente und Berechnungsbeispiele zur indirekten Sicht in Kraftfahrzeugen zeigt Egger (1990)

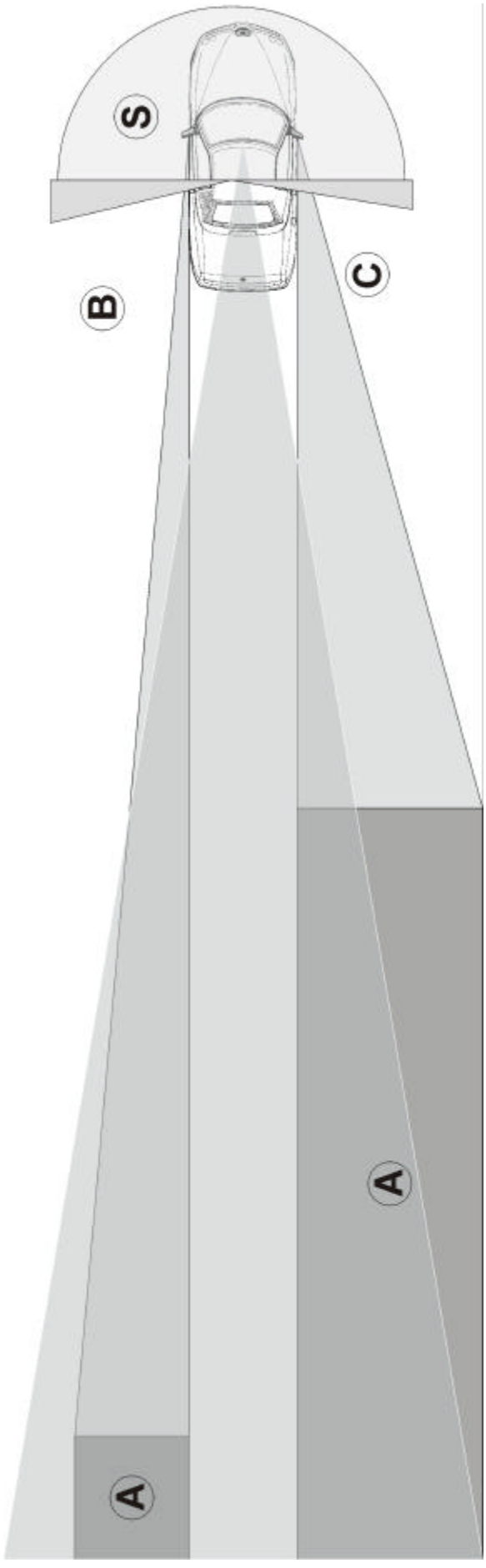


Abbildung 2.5: Maßstäbliche Darstellung der Sichtbereiche am Pkw (aktueller Alfa Romeo Spider)
Bereiche A: Durch EWG 71/127 bzw. ECE-R46 festgelegte Bereiche
Bereiche B und C: Kritische, durch keine Vorschriften abgedeckte Bereiche
Bereich S: Durch StVZO §35b festgelegter Bereich

3 Visuelle Erfassung der Umwelt durch den Menschen

Will man die Sicht eines Fahrers aus seinem KFZ sinnvoll vermessen und bewerten, so ist es zunächst notwendig zu verstehen, wie er seine Umwelt visuell wahrnimmt. Da das Auge als visuelles Sinnesorgan nur in einem sehr kleinen Bereich scharfes Sehen ermöglicht, ist, um die Umgebung vollständig wahrnehmen zu können, neben einer Schärfenregulierung eine ständige Neujustierung der Blickrichtung notwendig. In bestimmten Bereichen ist dies allein durch die Augenbewegung möglich – bei größeren Richtungsänderungen wird es dagegen notwendig auch den Kopf, den Torso und evtl. die Beine einzusetzen um ein bestimmtes Objekt erfassen zu können.

Die Sicht des Fahrers wird innerhalb der folgenden Ausführungen als ein rein räumliches Problem betrachtet. Unberücksicht bleiben daher äußere Umwelteinflüsse, die die visuelle Wahrnehmung beeinträchtigen könnten. Es wird also immer davon ausgegangen, dass keine Akkomodation oder Adaption für die Erfassung eines zu fixierenden Objektes notwendig ist. Auch wird zugrunde gelegt, dass der jeweilige Fahrer normalsichtig ist, also keine Hyperopie, Myopie, Aberration und kein Astigmatismus vorliegt.

3.1 Der Aufbau des menschlichen Auges

Da der Aufbau des menschlichen Auges für das Folgende keine wesentliche Rolle spielt, soll er hier nur in aller Kürze anhand von Abbildung 3.1 erläutert werden. Genaueres ist der einschlägigen Literatur zu entnehmen.

Die von einem betrachteten Objekt nicht absorbierten Wellenlängen des Spektrums gelangen durch die Hornhaut (Cornea) über die Linse auf die Netzhaut (Retina). Der zentrale Sehstrahl trifft die Retina dabei in der Sehgrube (Fovea Centralis). Mit steigender Winkelabweichung von der zentralen Sehachse nimmt das Auflösungsvermögen des Auges ab. D. h. es kann nur in einem bestimmten Bereich (ca. 2° Kegelöffnungswinkel bzgl. der zentralen Sehachse) um die Sehgrube scharf gesehen werden (foveales Sehen).

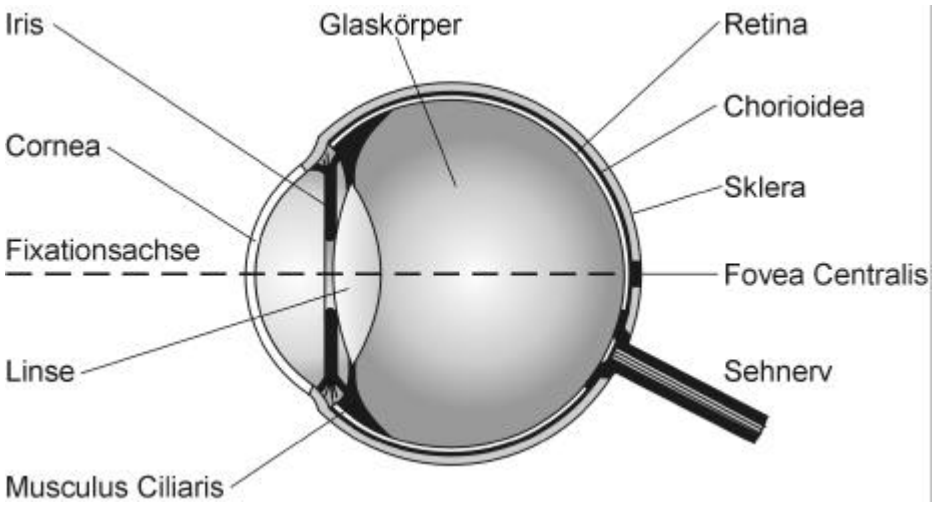


Abbildung 3.1: Anatomischer Aufbau des menschlichen Auges

Vereinfachend wird für die folgenden Betrachtungen angenommen, dass scharfes Sehen nur entlang der *Fixationsachse*, die der auf ein bestimmtes Objekt gerichteten zentralen Sehachse entspricht, möglich ist.

3.2 Augenbewegungen

Auch wenn wir glauben, ein Objekt „fest im Blick“ zu haben – die visuelle Erfassung unserer Umwelt ist alles andere als ein statischer Vorgang – vielmehr ist unser visuelles Sinnesorgan, das Auge bzw. die Augen, ständig in Bewegung. Grundsätzlich können dabei drei Klassen von Augenbewegungen unterschieden werden (Rötting, 1999):

- Bewegungen des Auges, die als Reaktion auf Bewegungen der Umwelt oder des eigenen Körpers zurückzuführen sind.
- Bewegungen des Auges zur Ausrichtung auf Objekte.
- Mikrobewegungen des Auges.

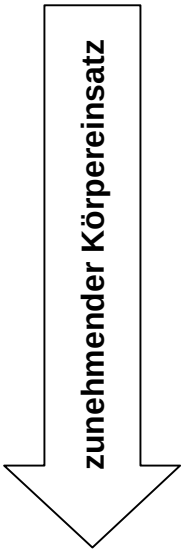
Für die visuelle Aufnahme der Umgebung sind diese Augenbewegungen von entscheidender Bedeutung. Ein Grund hierfür ist der eingeschränkte Bereich des fovealen Sehens. Zudem ermöglichen unwillkürliche Augenbewegungen aber auch z. B. den Kopf zu drehen und gleichzeitig ein Objekt „im Auge“ zu behalten.

An dieser Stelle soll allerdings nicht näher hierauf eingegangen werden. Auch wird das Zusammenspiel Auge - Vestibularorgan nicht näher betrachtet, da hinsichtlich der Sichtvermessung nicht die physiologische Aufrechterhaltung der Bildinformation im Vordergrund steht. Vielmehr interessiert, inwieweit der Bewegungsapparat des Menschen (incl. Auge) es gestattet, eine bestimmte räumlich orientierte, visuelle Information überhaupt aufzunehmen.

3.3 Physische Grenzen der visuellen Informationserfassung

Sieht man den menschlichen Körper als eine Kette gegeneinander beweglicher Elemente, so bilden die Augen – geht man von den Füßen in Richtung Kopf – das letzte Glied. Erst diese Platzierung ermöglicht es uns, unsere Umgebung umfassend visuell aufzunehmen und letztendlich zu interpretieren.

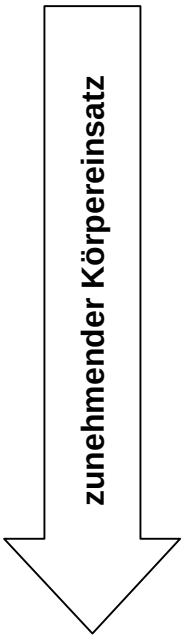
Je nachdem ob und inwieweit Augen und andere Teile des Körpers gegeneinander bewegt werden, ergeben sich räumliche Bereiche, so genannte Felder, die eingesehen werden können. Im Folgenden sollen diese kurz erläutert werden.



Gesichtsfeld: Werden weder die Augen noch der Kopf bewegt, so ist das Gesichtsfeld der Bereich, der übersehen werden kann. Da in den Randbereichen nur eine Schwarz-Weiß-Empfindung möglich ist, schränkt sich das Gesichtsfeld für Farben weiter ein und man unterscheidet:

- Das Gesichtsfeld für Hellreize und
- das Farbgesichtsfeld.

Blickfeld: Das Blickfeld umfasst den Sichtbereich, der bei fixiertem Kopf und bewegten Augen eingesehen werden kann. In der Horizontalen sind dies ca. 45°, jeweils nach links und rechts. In der Vertikalen ca. 45° nach unten und 35° nach oben (gemessen von der Horizontalsehachse).



Fixierfeld: Das Fixierfeld ist das von beiden Augen einsehbare Blickfeld. Es umfasst ca. 20-30° nach oben, 30° zu den Seiten und 60-70° nach unten (gemessen von der Horizontalsehachse).

Umblick-gesichtsfeld: Das Umblickgesichtsfeld umfasst alle Punkte, die durch Augen- und Kopfbewegungen bei starrem Torso fixiert (also scharf gesehen) werden können.

Fixationsfeld: Das Fixationsfeld ergibt sich aus dem Umblickgesichtsfeld, wenn zudem der Torso frei bewegt werden kann. Theoretisch entsteht es durch die Summation der maximalen Bewegungsbereiche von Augen, Kopf und Torso.

Erweitertes Fixationsfeld: Das erweiterte Fixationsfeld entsteht aus dem Fixationsfeld, wenn der Körper aus eigener Kraft eine Ortsverlagerung erfährt.

Des Weiteren werden folgende Definitionen getroffen:

Der Vektor entlang der Fixationsachse eines Auges, dessen Ursprung in der Fovea Centralis liegt und durch die Cornea verläuft, wird als Blickvektor oder Blickstrahl bezeichnet. Der Blickstrahl des Mittenauges ist der Sehstrahl. Die Blickrichtung ist der objektgerichtete Sehstrahl, der sich aus einem der oben genannten Felder ergibt.

Abbildung 3.2 zeigt das maximale horizontale Fixationsfeld für das rechte Auge, wie es durch die Summation der Bewegungsbereiche bei einem stehenden Menschen zustande kommt (das Fixationsfeld des linken Auges ergibt sich entsprechend an der Medianebene gespiegelt). Die maximalen Drehwinkel sind dabei *RAMSIS* entnommen. Der nicht mehr zu fixierende Bereich liegt zwischen der maximalen Fixationsrichtung von linkem und rechtem Auge.

Die hier dargestellten Bereiche entstehen durch Maximaldrehungen, die durch die in den Gelenken auftretenden Rückstellkräfte und -momente nicht lange aufrecht gehalten werden können. Zudem hängen sie natürlich auch sehr von der physischen Kondition des jeweiligen Individuums ab.

Es kann angenommen werden, dass, will man ein bestimmtes, sich um einen selbst herum bewegendes Objekt betrachten, beim „sich Drehen“ nach dem Prinzip des „geringsten Widerstandes“ vorgegangen wird. D. h. erst wenn sich das zu fixierende Objekt aus einem für das Auge komfortablen Bereich bewegt hat, wird eine Drehung des Kopfes eingeleitet. Dies ist bei einer Abweichung des Fixationsziels von ca. 10° gegenüber dem horizontalen Blick geradeaus der Fall (Schmidt, 1987). Die Kopfdrehung wird wiederum bis zu einem bestimmten Komfortwinkel durchgeführt, bevor der Torso schließlich zum Einsatz kommt, der, vorausgesetzt man steht frei, wiederum nur teilweise gedreht wird, da noch bevor die möglichen Maximalwinkel erreicht werden, der gesamte Körper mit Hilfe der Beine in eine für die Fixation günstigere Stellung gebracht wird.

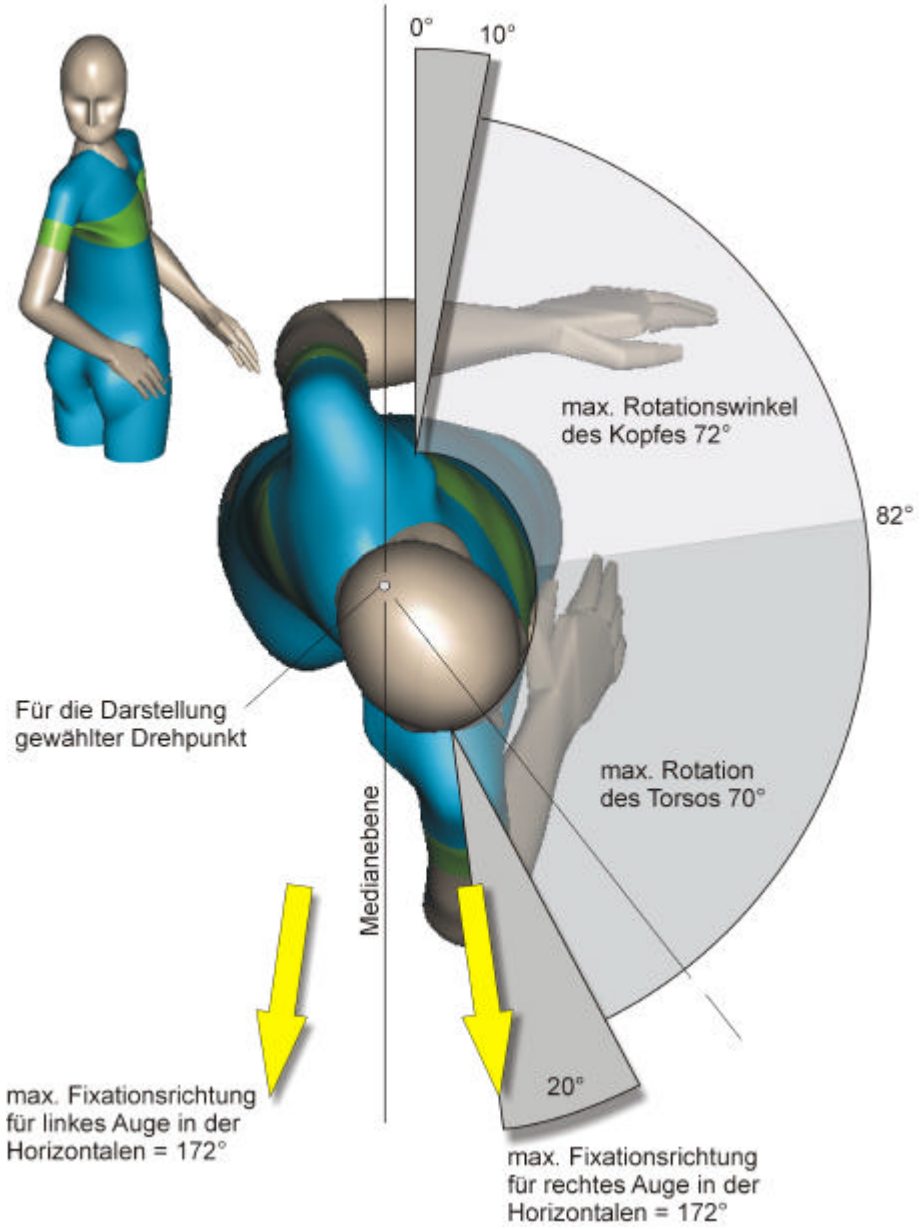


Abbildung 3.2: Entstehung des Horizontalen Fixationsfeldes aus den Maximalwinkeln von Kopf, Torso und Augen - für das rechte Auge bei maximaler Drehung nach rechts

Im Folgenden wird allerdings davon ausgegangen, dass sich der Mensch in sitzender Position, platziert in einem Fahrzeugsitz befindet. Das zuvor Gesagte gilt auch für diesen Fall – allerdings mit Einschränkungen seitens des Torsos. Da die Sitzlehne die Bewegungsfreiheit des Rückens und der Schultern stark einschränkt, kann der Torso nicht derart verdreht werden, wie dies ohne Rückenlehne möglich wäre. Dabei kann nicht genau gesagt werden, wie groß diese Einschränkung wirklich ist. Sie hängt sehr stark von der Größe und Korpulenz des Fahrers, vom Sitz selbst und der gewählten Rückenlehnenneigung, sowie der Anordnung anderer Fahrzeugkomponenten ab.

Die eingeschränkte Torsodrehung wird durch eine Lageänderung des Gesäßes im Sitz kompensiert (Kapitel 7), die mit Hilfe des Rückens, der Beine und Arme bewerkstelligt wird. Damit ist „beim Sitzen“ von einem sehr viel früheren Übergang von *Fixationsfeld* zu *erweitertem Fixationsfeld* gegenüber „dem Stehen“ auszugehen.

3.4 Binokulares Sehen

Die Fähigkeit, Dinge räumlich sehen und damit Entfernungen einschätzen zu können, wird durch beide nach vorne gerichteten Augen, die einen gewissen Abstand zueinander haben, ermöglicht. Die von einem Gegenstand auf den Netzhäuten erzeugten Bilder unterscheiden sich durch den geringfügig anderen Blickwinkel leicht voneinander und werden zentral zu einem räumlichen Gesamteindruck verarbeitet. Der Tiefeneindruck wächst daher mit zunehmendem Augenabstand – nimmt aber gleichzeitig mit zunehmender Betrachtungsentfernung ab (Schmidtke, 1993)

Ein wichtiger Gesichtspunkt der binokularen Sicht ist die Tatsache, dass auftretende Verdeckungen im binokularen Sichtbereich anders erscheinen als im rein monokularen. Abbildung 3.3 zeigt dies am Beispiel der durch die linke A-Säule eines Fahrzeugs auftretenden Verdeckung.

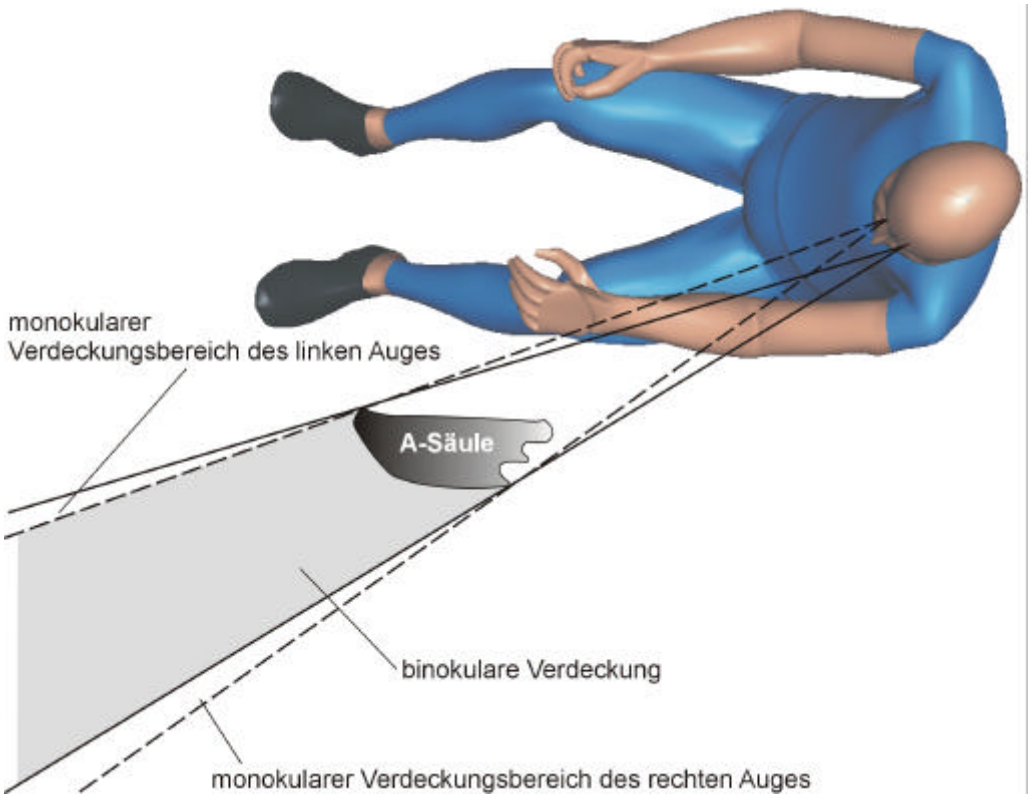


Abbildung 3.3: Gegenüberstellung der Bereiche binokularer und monokularer Verdeckung

3.5 Umblickbewegungen und Augpunktbahnen

Über das Zusammenspiel der Bewegungen von Kopf und Torso beim Sich-Umblicken ist wenig bekannt und die Problematik wird in der Literatur so gut wie nicht erwähnt. Einzig bei Damon (1966) findet sich ein Verweis auf Brues (1946), der das Thema, zumindest ansatzweise in die entsprechende Richtung gehend untersuchte. Dieser machte mit 21 männlichen Air Force Angehörigen Versuche, wobei er die verschiedenen Aug- und Ohrlagen bei Blickrichtungen zwischen $\pm 90°$ zur Horizontalen in sitzender Haltung in einer Sagittalebene betrachtete (siehe Abbildung 3.4).

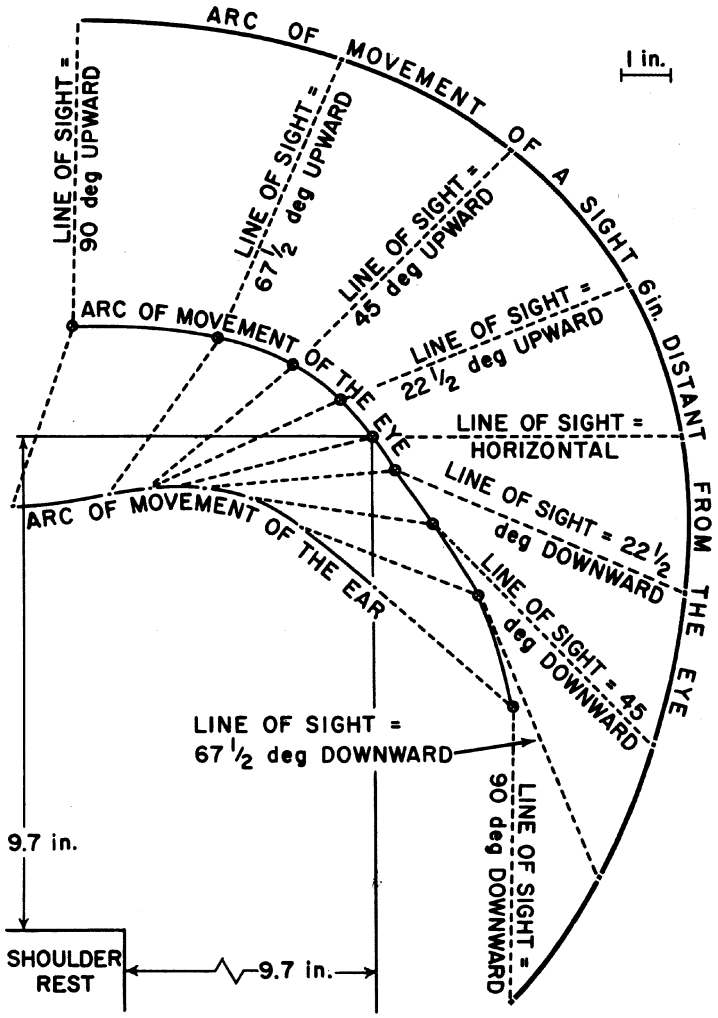


Abbildung 3.4: Die Lage von Ohr und Auge bei verschiedenen Fixationswinkeln (nach Brues, 1946; aus Damon, 1966)

Es stellte sich die Frage: Könnten derartig gewonnene Augpunktbahnen auch für eine realistische Sichtvermessung im Pkw herangezogen werden?

3.5.1 Versuche im Realfahrzeug

Aus Ermangelung aussagefähiger Daten und Hinweise in der Literatur wurde zur Klärung dieser Frage zunächst eine eigenständige Versuchsreihe mit dem Ziel durchgeführt, das Bewegungsverhalten von Fahrern zu ermitteln, wenn extreme Körperhaltungen für die Erfüllung einer Aufgabe verlangt werden. Hierzu wurden Versuche in einer Mercedes C-Klasse (W202) durchgeführt. Diese wurde mit drei Videokameras ausgerüstet, die den Fahrer bei seinen Umblickbewegungen filmten. Die Kameras waren dabei über Saugstative an Front-, Seiten- und Heckscheibe angebracht. Abbildung 3.5 zeigt exemplarisch an einer Versuchsperson die Bildausschnitte, die die im Seiten- und im hinteren Bereich des Fahrzeugs angebrachten Kameras lieferten. Die dritte Kamera beobachtete den Fahrer von vorne. 34 Versuchspersonen wurden ausgewählt, die verschiedene Fahraufgaben zu erfüllen hatten. Dabei stellten sieben Frauen das 5. Perzentil, 13 Männer das 50. Perzentil und 14 Männer das 95. Perzentil – jeweils bezogen auf die Körpergröße.

Da das Augenmerk ausschließlich auf extreme Kopf- bzw. Torsodrehungen gerichtet wurde, wurden nur solche Aufgaben ausgewählt, bei denen entsprechende Haltungen zu erwarten waren. Diese umfassten verschiedenen Einparksituationen rückwärts und andere Rückwärtsfahrten. Durchgeführt wurden sie auf einem Parcours. Somit war sicher gestellt, dass alle Versuchspersonen die gleichen Bedingungen vorfanden.

Abbildung 3.5: Versuchsperson mit JANUS-System, gefilmt durch die hinten (l.) und seitlich (r.) angebrachte Kamera bei einem Einparkvorgang

Abbildung 3.6: Auswahl aus den gestellten Fahraufgaben, die rückwärts zu bewerkstelligen waren.
a) rückwärts in eine parallele Parklücke einparken
b) rückwärts um eine Ecke in eine Gasse fahren
c) rückwärts in eine senkrecht zur Fahrspur liegende Parklücke einparken

Aus den so erstellten Videofilmen konnten mit Hilfe geeigneter Verfahren die einzelnen Augpunktlagen der Versuchspersonen bestimmt werden. Um beurteilen zu können, welche Objekte von der Versuchsperson bei einer bestimmten Haltung bzw. sich aus dieser ergebenden Augpunktlage fixiert wurden, kam das Blickerfassungssystem *JANUS* zum Einsatz, welches im Folgenden kurz vorgestellt werden soll.

3.5.1.1 Das Blickerfassungssystem JANUS

Das Blickerfassungssystem *JANUS* (Abbildung 3.7) wurde am *Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München* zur Dokumentation und Auswertung von Blickbewegungen entwickelt (Gengenbach, 1997).

Das kopffeste System besteht dabei im Wesentlichen aus einem Helm und der mobilen Signalverarbeitungseinheit.

Am Helm sind zwei CCD-Kameras angebracht, von denen eine nach vorne gerichtet ist und das Sichtfeld des Helmträgers erfasst. Die andere ist nach unten orientiert und beobachtet über einen halbdurchlässigen Spektralteiler das rechte Auge des Probanden. Dabei wird das Auge durch eine am Kamerakopf angebrachte Diode mit Infrarotlicht unbedenklicher Stärke ausgeleuchtet.

Die durch die Kameras gelieferten Bilder werden auf zwei separate, in der Signalverarbeitungseinheit befindliche Videorecorder aufgezeichnet.

Nach vorherigem zeitlichen Abgleich und nachfolgender Superposition der Videofilme desselben Blickvorgangs erhält man den so genannten Blickfilm, der das Sichtfeld mit eingeblendeter Pupille des Probanden zeigt. Da der Fixationsort immer im Zentrum der Pupille liegt, kann damit exakt bestimmt werden, wo die visuelle Aufmerksamkeit der Testperson lag. Ein auf den Videofilmen aufgeprägter Timecode macht zudem eine zeitliche Zuordnung möglich.

Photo: M. Schweigert

Abbildung 3.7: Das JANUS-Blickerfassungssystem mit Helm und angeschlossener Signalverarbeitungseinheit.

3.5.1.2 Ergebnisse

Wie die Untersuchung mit Hilfe von *JANUS* zeigt, verlaufen die Bewegungen zur Endhaltung hin flüssig ab, d. h. zwischen Grund- und Endhaltung werden keine Objekte direkt fixiert. Somit ergeben sich bei der Erfassung der Augpunktlagen aus ganzen Bewegungssequenzen prinzipiell unbrauchbare Bahnen für die Sichtanalyse, da sämtliche Haltungen - und damit auch alle jeweils zugeordneten Augpunktlagen - zwischen Ausgangs- und Endhaltung intentional sind. D. h. die Zwischenhaltungen werden nur eingenommen, um den Körper in eine bestimmte Endhaltung zu bringen, die die Fixation eines bestimmten Objektes ermöglichen soll. Zwar stellen sich die betrachteten Blicksequenzen bezogen auf die Augpunktlagen für alle Versuchspersonen ähnlich dar. Dies ließe den Schluss zu, dass mit Hilfe gewisser Anpassungsfaktoren eine für einen bestimmten Personentypus erstellte Augpunktbahn auf andere Personentypen übertragbar ist. Allerdings sind für eine Sichtanalyse nur solche Augpunktlagen von Interesse, die aufgrund einer Objektfixierung eingenommen werden. Damit beschränken sich die verwertbaren Augpunktlagen auf die Koordinaten der Endhaltung. Diese liegen aber schon für die doch recht ähnlich lautenden Fahraufgaben in der hier durchgeführten Untersuchung relativ weit auseinander (siehe Diagramm 3.1). Auch wurde bei der Untersuchung nur ein Fahrzeug betrachtet. Da die eingenommenen Körperhaltungen stark mit der Fahrzeuggeometrie variieren, sind mit anderen Fahrzeugen auch andere Endpunktlagen zu erwarten, was die Erzeugung von Augpunktbahnen zur Sichtanalyse in der Praxis als zu aufwändig erscheinen lässt.

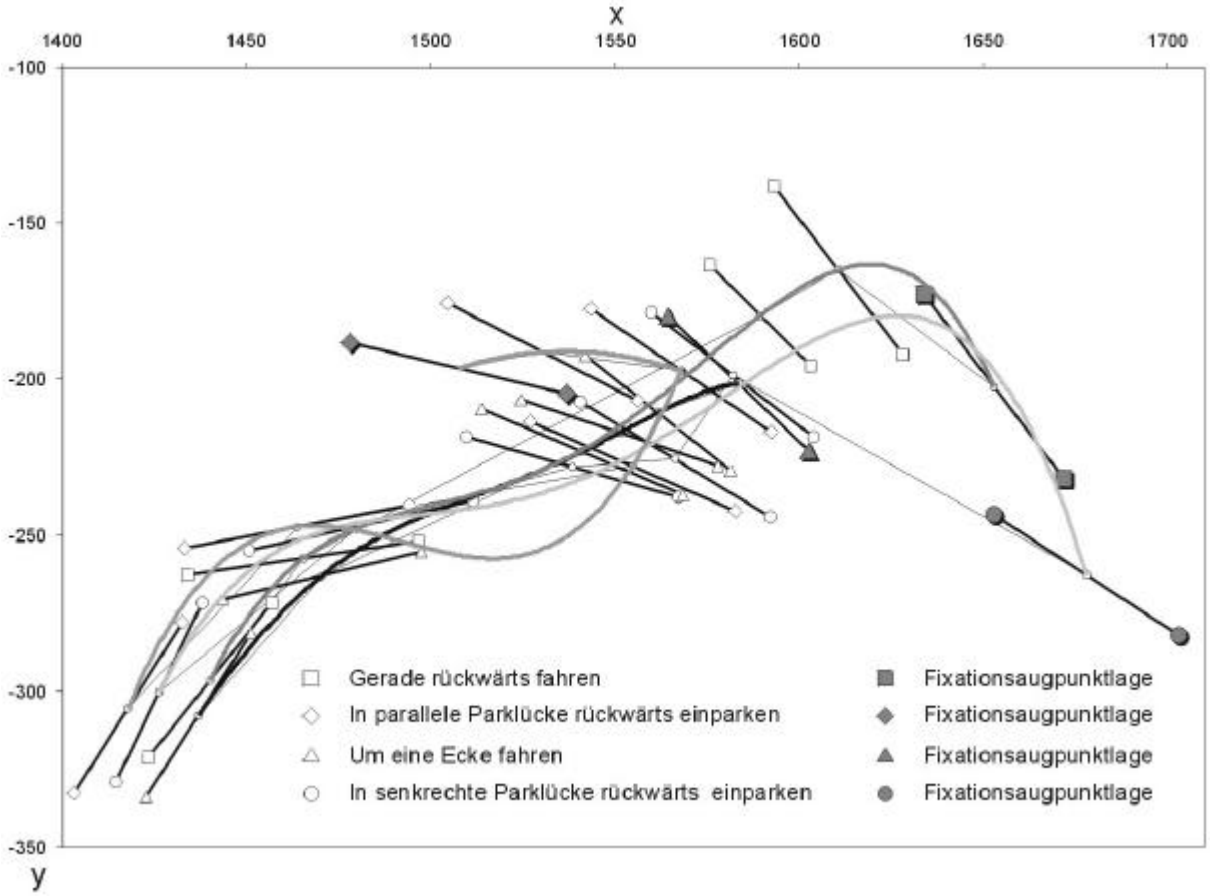


Diagramm 3.1: Durchschnittliche Übergangs- und Fixationsaugpunktlagen sowie die zugehörigen Trendlinien, die bei der Erfüllung der Fahraufgaben entstehen. Die Wertangaben beziehen sich auf das Fahrzeugkoordinatensystem (siehe Glossar) Werte in mm

3.5.2 Kopfhaltung bei extremer Verdrehung

Ein Pkw-Fahrer ist durch seine sitzende Position, seinen Sitz, die Innenraumabmaße seines Fahrzeugs sowie die Stellteile, die er zu bedienen hat, stark in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Besonders deutlich wird dies, wenn das anzuvisierende Sichtziel mehr oder weniger direkt hinter ihm liegt. Innerhalb der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Fahrversuche im Realfahrzeug zeigt sich, bezogen auf die eingenommenen Haltungen der Versuchspersonen, folgendes: Auch wenn an dieser Stelle noch keine expliziten Haltungsanalysen gemacht wurden, so ist doch offensichtlich, dass die Abweichungen in den eingenommenen Körperhaltungen bei den einzelnen Fahraufgaben von Person zu Person im Gros recht gering sind. Außerdem fällt auf, dass, unabhängig von der übrigen Körperhaltung, die Kopfhaltung einem ganz bestimmten Schema folgt – nämlich dem, den Kopf möglichst gerade zu halten. Dies gilt nicht nur für die Endhaltungen einer Bewegung, sondern auch für die Bewegung selbst. Deutlich wird dies, wenn man die z-Koordinate des linken und des rechten Auges über die gesamte Blickfrequenz betrachtet. Die Differenz der Werte kann dann als Maß für die Neigung des Kopfes herangezogen werden.

Diagramm 3.2 zeigt die Durchschnittswerte der Differenzen aller betrachteten Blicksequenzen und Personen mit der jeweils zugehörigen Standardabweichung und linearer Trendlinie.

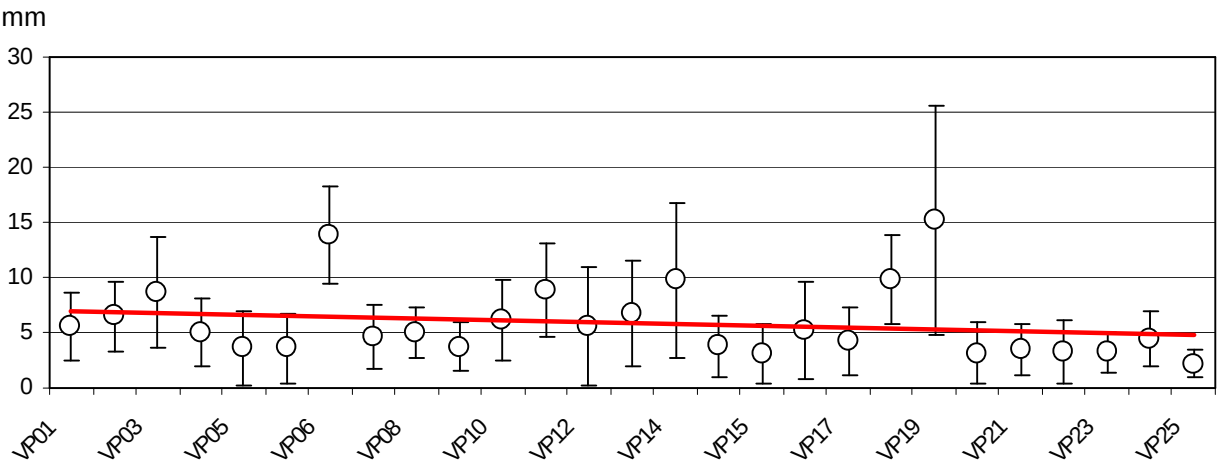


Diagramm 3.2: Durchschnittswerte der z-Lagendifferenzen von linkem und rechtem Augpunkt aller betrachteten Blicksequenzen und Personen mit jeweils zugehörigen Standard-abweichung und linearer Trendlinie.
Ablesebeispiel: VP01 hat bei der Betrachtung aller ermittelten Augpunktlagen innerhalb der betrachteten Bewegungssequenzen eine gesamte mittlere Auglagen-differenz in z-Richtung von 5,58 mm bei einer Standardabweichung von 3,04 mm

Legt man den durchschnittlichen Augenabstand der Versuchspersonen von 66 mm zugrunde, so ergibt sich ein mittlerer Gesamtneigungswinkel des Kopfes von 5° gegen die Horizontale über die Gesamtbewegung.

Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass die verwendete Methode der Augpunktlagenermittlung Ungenauigkeiten beinhaltet. Eine an späterer Stelle gemachte Vergleichsuntersuchung (siehe Kapitel 7) bestätigt allerdings die hier gefundenen Tendenz bezüglich der Kopfhaltung, so dass das Folgende als Basis für weitere Überlegungen herangezogen werden kann: Obwohl Haltung A in Abbildung

3.8 die Fixierung desselben Objektes mit geringerer Torso- und Kopfverdrehung gestattet, wird Haltung B - trotz einer stärkeren Überstreckung des Halses - bevorzugt. Gerade bei Rangieraufgaben wird unbewusst darauf geachtet, dass beide Augen möglichst auf gleicher Höhe liegen, d. h. dass die durch die Fixationsachsen aufgespannte Projektionsebene senkrecht auf die Bodenfläche möglichst groß ist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass generell die Orientierung dann am besten ist, wenn der Kopf aufrecht gehalten wird, da der Mensch es gewohnt ist, sich in den zwei Dimensionen der Horizontalen zu bewegen. Dies gilt im Besonderen für eine Fahraufgabe, die als Kompensationsaufgabe ein starkes räumliches Empfinden voraussetzt.

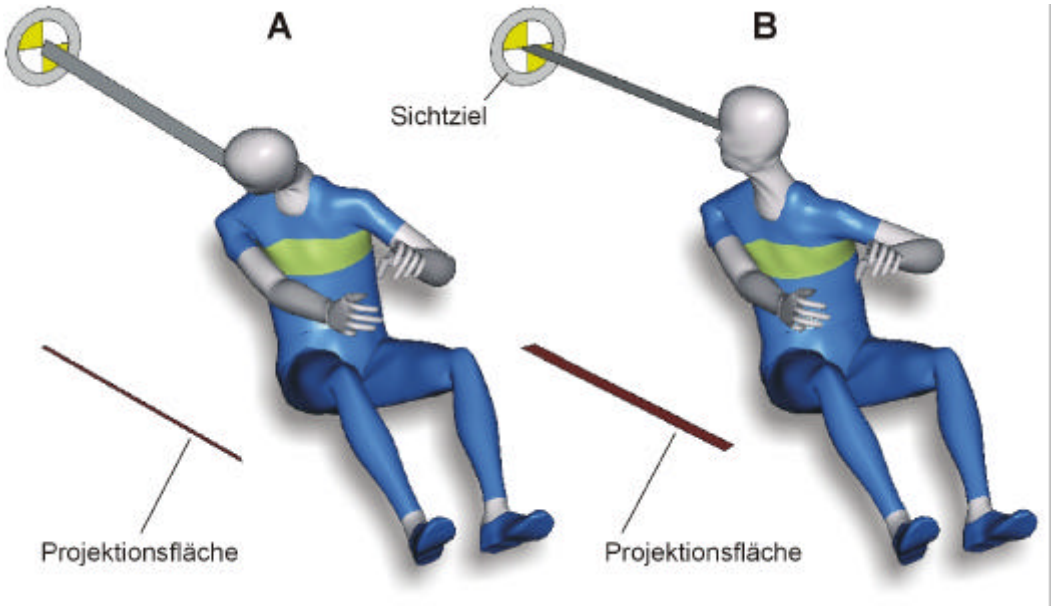


Abbildung 3.8: Kopfhaltungen bei der Fixation eines rückwärtigen Sichtzieles durch einen Pkw-Fahrer und die durch Parallelprojektion der Fixationsachsen entstehenden Projektionsflächen auf der Bodenebene. Das Sichtziel liegt dabei im Unendlichen.

3.6 Psychische Aspekte der visuellen Informationsaufnahme

Neben anderen die Sicht des Fahrers beeinflussenden Faktoren spielen gerade die auftretenden Verdeckungen im Automobilbau eine große Rolle.

Besonderer Aufmerksamkeit erfreut sich dabei die Betrachtung der A-Säulen bzw. der durch diese verursachten Verdeckungen. Anzunehmen wäre dabei wohl, dass voluminöse A-Säulen mit entsprechend großen Verdeckungsbereichen auch gleichzeitig als besonders störend anzusehen sind. Neue Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, zeigen jedoch, dass weniger der Verdeckungswinkel der A-Säulen als vielmehr der Öffnungswinkel zwischen den Säulen als sichtrelevant anzusehen ist.

Bei den Versuchen wurden zwei Versuchträger betrachtet. Zum einen ein BMW der 6er Reihe, Baujahr 1981 sowie ein Pontiac Grand Prix, Baujahr 1990.

Da bei den durchgeführten Fahrten auf einer festgelegten Versuchstrecke das Blickanalysesystem *JANUS* (siehe Abschnitt 3.5.1.1) zum Einsatz kam, konnte das Blickverhalten der Probanden in Abhängigkeit der jeweiligen Verkehrssituation ermittelt und bewertet werden.

Nach Cohen & Hirsig (1990) wird der Bereich des peripheren Sehens mit zunehmender visueller Beanspruchung des Fahrers immer unwichtiger. Untersuchungen von Schweigert (1998) beweisen wiederum einen Zusammenhang

zwischen Blickaktivität und Verkehrskomplexität. In komplexen Verkehrssituationen – erkennbar an einer Zunahme der Blickaktivität, die mittels des *JANUS*-Systems erkennbar ist – spielt damit nur noch das foveale Sehen eine Rolle. Somit sind Bereiche des Fahrzeugs, die eine direkte Fixation der Umgebung verhindern, als kritisch zu betrachten.

Obwohl der Pontiac gegenüber dem BMW eine um 42,9% größere Verdeckung der linken A-Säule aufweist (BMW: 9,8°, Pontiac: 14,0°), treten doch beim BMW größere Fixationshäufigkeiten (= Blickaktivitäten) in diesem Bereich auf. Diese liegen im Mittel um ein Viertel höher als beim Pontiac. Der Grund hierfür ist wohl im kleineren Öffnungswinkel (29,0°) beim BMW zu suchen. Dieser liegt um 13,4% unter dem des Pontiac (32,9°).

Der positive Einfluss des größeren Öffnungswinkels lässt sich dabei an dem, bei den Probanden beobachteten Blickverhalten ableiten. Bei der Annäherung an eine Kurve[3] wandert der Fixationsort des Fahrers zunächst saccadenhaft in Richtung der A-Säule. Trifft der Blick die A-Säule, so verlagert sich der Fixationsort sofort wieder zur Scheibenmitte hin bevor er wiederum die A-Säule tangiert. Dies lässt vermuten, dass die A-Säulen eine Art Sichtbarriere darstellen, die ungern überschritten werden.

Aus diesem Ergebnis kann abgeleitet werden, dass die Lage der A-Säulen, eine weitaus höhere Relevanz hat, als bisher angenommen wurde. Es reicht daher nicht aus, den Verdeckungsbereich durch die Säulen möglichst gering zu halten, ohne deren Lage zu berücksichtigen. Damit können die Aussagen von Pfleger, der die besonders verstärkten A-Säulen moderner Mittelklassefahrzeuge für die gehäuft auftretenden Kollisionen mit Verkehrsschildern verantwortlich macht (Pfleger, 1994), zumindest relativiert werden. Ein anderer wichtiger Aspekt, den die gewonnenen Erkenntnisse unterstreichen, ist aber, dass die psychologischen Eigenheiten des Menschen, bei der Fahrzeuggestaltung, Berücksichtigung finden müssen.

3.7 Sichtbereichserweiterung durch Kompensationsbewegungen

Bei allen Bemühungen die A-Säulen-Problematik zu minimieren, sollte aber nicht vergessen werden, dass der Fahrer nicht starr in seinem Fahrzeug sitzt - er sitzt dort auch nicht tagtäglich gleich. Des Weiteren stellt sich nicht jede Verkehrssituation identisch dar. Es macht daher keinen Sinn Fahrzeuge bzw. die Sicht einschränkende Komponenten, wie die A-Säulen sie darstellen, hinsichtlich bestimmter Situationen zu optimieren.

Ein aufmerksamer Fahrer wird versuchen, das durch die Sichtbeschränkung entstandene Informationsdefizit, durch geeignete Bewegungen, d. h. durch Verlagerung seines Blickwinkels auszugleichen (Abbildung 3.9). Derartige Bewegungen werden im Folgenden Kompensationsbewegungen genannt.

Wann und in welchen Umfang Kompensationsbewegungen durchgeführt werden, hängt von den unterschiedlichsten Faktoren ab. So spielt die jeweilige Verkehrs- und Umgebungssituationen eine entscheidende Rolle. Auch personenspezifische Faktoren wie Alter, Größe, Korpulenz, Vorlieben - z. B. bei der eingenommenen Sitzhaltung - und die Motivation des Fahrers haben, neben den eigentlichen Fahrzeugparametern, großen Anteil an auftretenden bzw. notwendigen Kompensationsbewegungen.

---

[3] Als Beispiel für eine Verkehrssituation, die die Aufmerksamkeit des Fahrers in den Bereich der A-Säule zwingt.

Gerade in Bezug auf Sichteinschränkungen im vorderen Fahrzeugbereich sind Kompensationsbewegungen für den Fahrer bis zu einem gewissen Grad relativ leicht möglich, da er in der normalen Fahrerhaltung noch den meisten Bewegungsfreiraum genießt. Auch dem oben genannten Sichtbarrierenproblem, durch zu geringe Öffnungswinkel, kann mit einer entsprechenden Kompensationsbewegung leicht ausgewichen werden. Die A-Säulen-Problematik stellt sich unter diesem Gesichtspunkt damit eher als Komfort- denn als reines Sicherheitsproblem dar.

Entscheidender für die Sicherheit ist daher die Gestaltung der Bereiche anzusehen, deren resultierende Verdeckungen nicht oder nur in sehr geringem Maße durch Kompensationsbewegungen reduziert werden können. Dies kann zum einen daran liegen, dass aufgrund der eingenommenen Haltung eine Kompensation nur schwer möglich ist, da evtl. die maximalen Gelenkwinkel schon erreicht sind oder Fahrzeugkomponenten die Bewegungsfreiheit einschränken, zum anderen, weil aufgrund der vorliegenden Verkehrssituationen nicht genügend Zeit für eine Kompensation zur Verfügung steht.

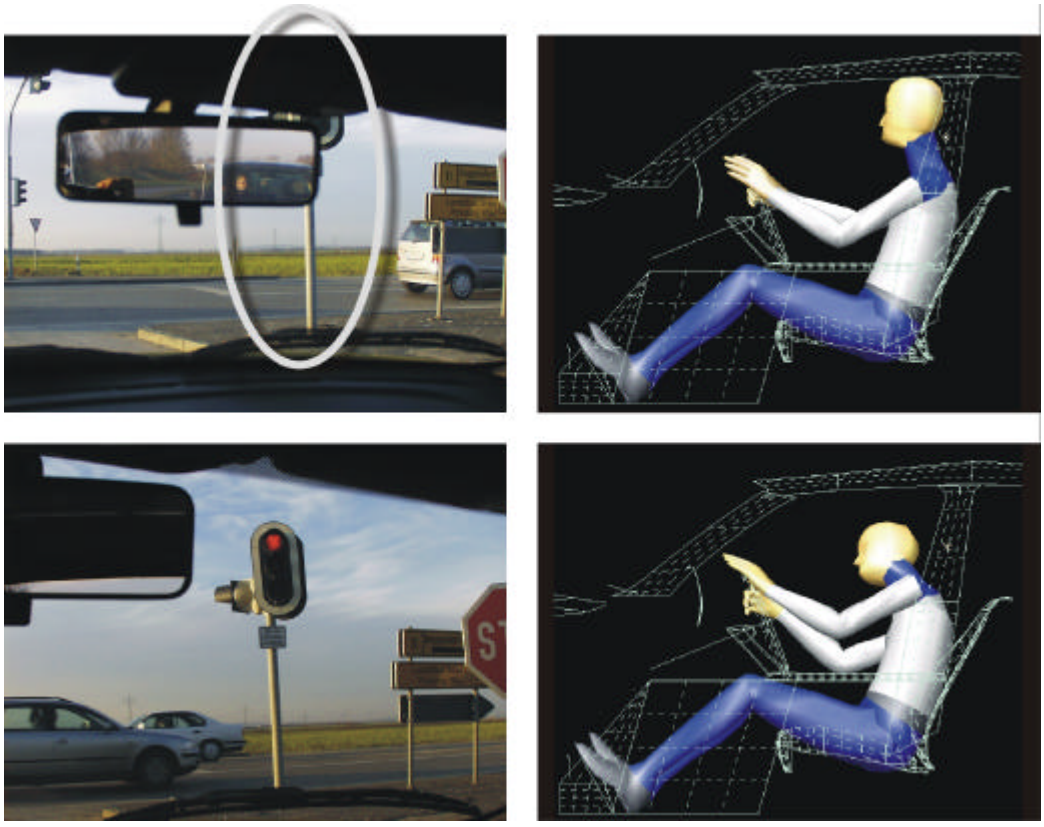


Abbildung 3.9: Sicht aus einem Pkw auf eine Verkehrsampel (Markierung) rechts vor dem Fahrzeug ohne (oben) und mit Kompensationsbewegungen (unten)

Will man die hier gewonnenen Erkenntnisse in die Analyse bzw. schon in die Gestaltung der Sichtverhältnisse einfließen lassen, wird man sich, zumindest, was die psychischen Aspekte angeht, relativ schwer tun. Anders sieht es mit den physischen Aspekten aus, die schon heute durch leistungsfähige Menschmodelle weitestgehend simuliert werden können. Gerade die im Abschnitt 3.5.1.2 dargestellten Ergebnisse legen die Verwendung eines Menschmodells nahe. Eines der leistungsfähigsten Modelle des Menschen stellt heute *RAMSIS* dar, welches auch die Basis für alle weiteren Ausführungen dieser Arbeit legen wird und daher im nächsten Kapitel zunächst ausführlich betrachtet werden soll.

4 Das Menschmodell RAMSIS

4.1 Hintergrund

Das Menschmodell *RAMSIS* (***R**echnergestütztes **A**nthropologisches **M**athematisches **S**ystem zur **I**nsassen**S**imulation*) wurde durch die FAT (**F**orschungsgruppe **A**utomobil**T**echnik) unter Einbindung von Vertretern der Automobilfirmen AUDI, BMW, Ford, Mercedes-Benz, Opel, Porsche und Volkswagen sowie der Sitzhersteller Keiper Recaro und Naue ins Leben gerufen. Die Firma tecmath in Kaiserslautern (heute tecmath AG) übernahm die Entwicklung. Das dafür notwendige ergonomische Datenmaterial wurde durch das IfE (Ingenieurbüro für Ergonomie), welches wiederum in enger Kooperation mit dem *Lehrstuhl für Ergonomie* (LfE) *der Technischen Universität München* steht, sowie der *Katholischen Universität Eichstätt* erstellt.

4.2 Das Modell

Im Gegensatz zu anderen Menschmodellen, wie z. B. Sammy, Franky, Ergoman, Jack und Anthropos (Waldhier, 1989), deren Personentypologie zumeist auf den gängigen Perzentilwerten aufbaut, wurde bei *RAMSIS* bewusst hierauf verzichtet. Vielmehr wurden mit Hilfe eines speziell entwickelten, berührungslosen Messsystems eigene anthropometrische Daten erhoben und eine neue, eigenständige Personentypologie entwickelt (siehe hierzu Abschnitt 4.4). Mit dieser Personentypologie können erstmals Personen bzw. Personenkollektive simuliert werden, die in Ihren Maßen auch tatsächlich realen Personen entsprechen.

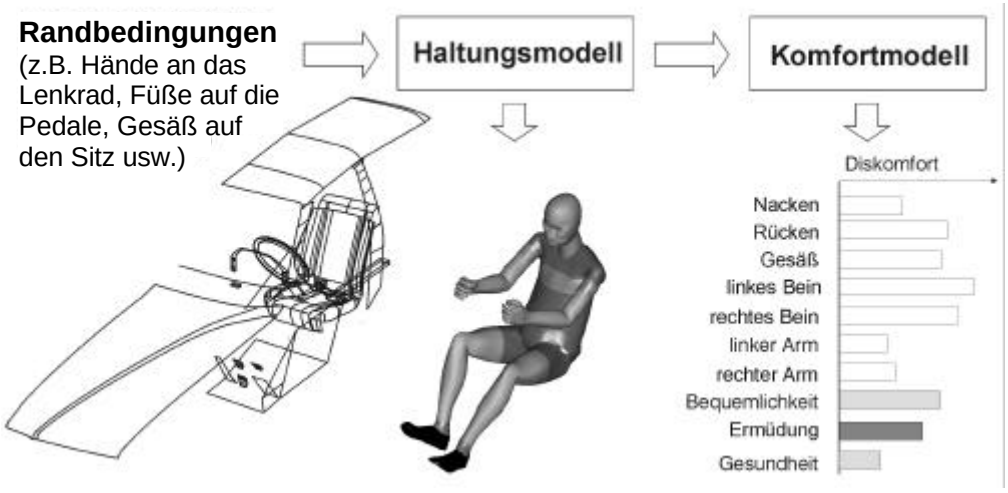


Abbildung 4.1: Die Haltungs- und Komfortprognose von RAMSIS

Ferner wurde ein weiteres Modell – das so genannte Haltungsmodell - erstellt, mit dessen Hilfe eine Prognose der zu erwartenden Haltung bei einer bestimmten Tätigkeit, wie z. B. dem Autofahren, bei gegebenen anthropometrischen Typen und Randbedingungen abgegeben werden kann (Seidl, 1994). Man ist somit nicht länger vom „künstlerischen Feingefühl“ des jeweiligen Konstrukteurs bei der Positionierung von Schablonen, wie z. B. der „Kieler Puppe“ (DIN 33408) abhängig. Zudem liefert

das sog. Komfortmodell (siehe Abbildung 4.1) eine Komfortaussage über die jeweilige Haltung (Krist, 1993).

4.3 Der Aufbau des Menschmodells RAMSIS

Dem *RAMSIS*-Standardmodell liegen durchschnittliche Proportionen zugrunde (siehe Abschnitt 4.4). Diese werden zur Generierung der Somatotypen, die innerhalb des eigentlichen CAD-Tools als Startmodell für die jeweiligen Untersuchungen zur Verfügung stehen, herangezogen. Für diese Untersuchungen muss das Modell zum einen eine realistische Kinematik, zum anderen aber auch eine möglichst naturgetreue Nachbildung der Körperoberfläche bieten. Um dies zu ermöglichen wurde das Menschmodell in ein inneres und ein äußeres Modell aufgeteilt.

4.3.1 Das innere Modell von RAMSIS

Über das innere Modell werden die jeweiligen Längenmaße der Körperelemente des gewünschten *RAMSIS*-Typs festgelegt. Des Weiteren enthält es die Lage der Gelenkpunkte, deren Rotationsachsen sowie die maximalen physiologischen Bewegungsbereiche und ist somit Träger der *RAMSIS*-Kinematik. Der modulare Aufbau des Modells erlaubt zudem die Wahl verschiedener Handmodelle (Fäustling oder 5-Finger-Hand) sowie den Einsatz unterschiedlicher Fußtypen. In Abhängigkeit des gewählten Handmodells besteht es aus bis zu 53 Einzelgelenken (Abbildung 4.2), die zwischen ein bis maximal drei Freiheitsgrade aufweisen.

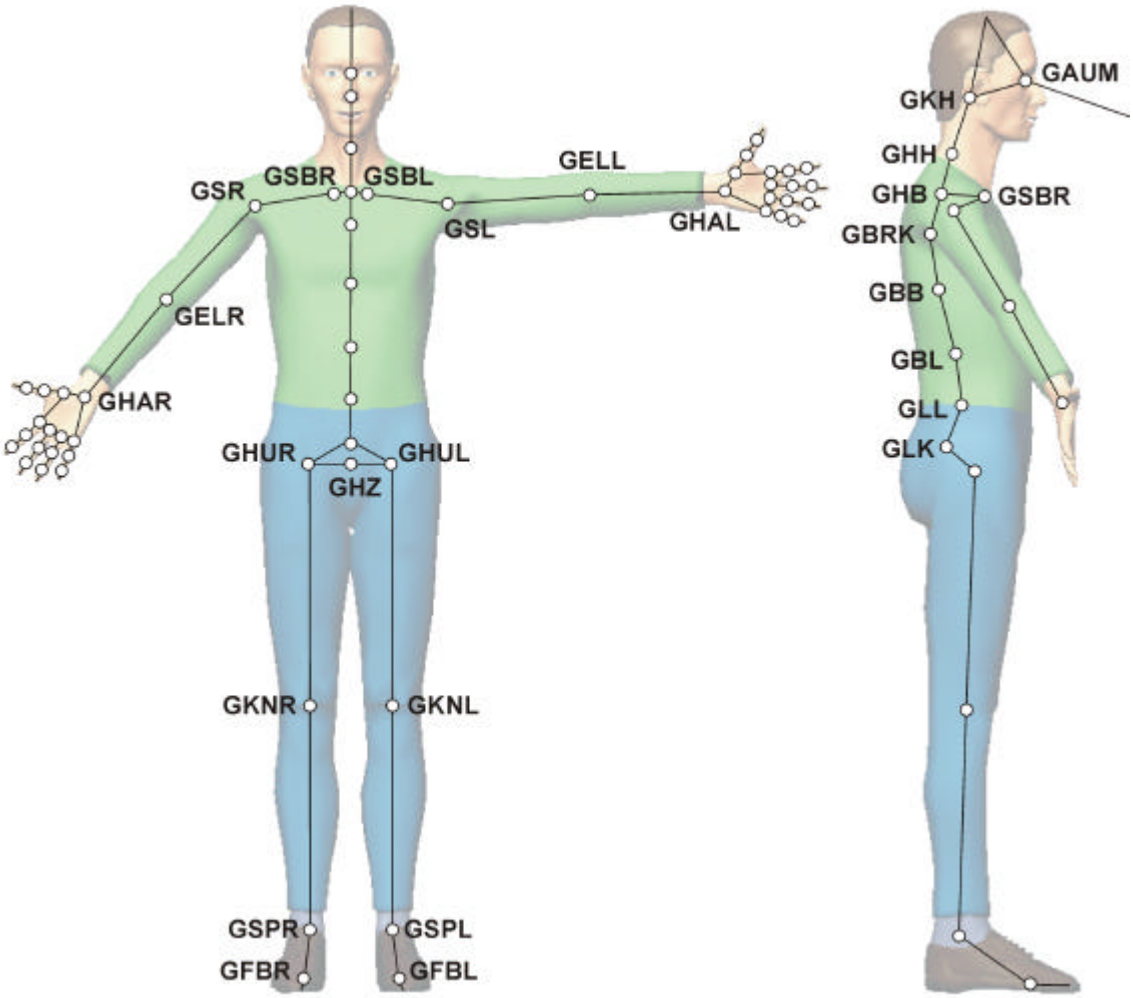


Abbildung 4.2. Die Gelenke des inneren RAMSIS-Modells (ohne Bezeichnungen der Hände)

Tabelle 4.1 enthält die Bedeutungen der in Abbildung 4.2 verwendeten Kurzbezeichnungen der Gelenke.

Tabelle 4.1: Bezeichnungen der Gelenke des Inneren RAMSIS-Modells

Kurzbezeichnung	***Gelenk***
GHZ	Hüftzentrum
GHUR	Hüftgelenk rechts
GLK	Lenden-Kreuzbeingelenk
GHUL	Hüftgelenk links
GLL	Lendengelenk
GBL	Brust-Lendengelenk
GBB	Brustgelenk
GHB	Hals-Brustgelenk
GHH	Halsgelenk
GBRK	Brustkorbgelenk
GKH	Kopfgelenk
GSBR	Schlüsselbeingelenk rechts
GSBL	Schlüsselbeingelenk links
GSR	Schultergelenk rechts
GELR	Ellenbogengelenk rechts
GHAR	Handgelenk rechts
GSL	Schultergelenk links
GELL	Ellenbogengelenk links
GHAL	Handgelenk links
GAUM	Mittenauge
GKNR	Kniegelenk rechts
GSPR	Sprunggelenk rechts
GFBR	Ballengelenk rechts
GKNL	Kniegelenk links
GSPL	Sprunggelenk links
GFBL	Ballengelenk links

Das Gesamtmodell entsteht aus der mathematischen Verknüpfung einzelner Körperelemente, die in einer bestimmten Reihenfolge hierarchisch angeordnet sind. So gibt es Start- und Endelemente, wobei erstere zumeist den physiologischen Gelenkpunkten des Körperelements entsprechen. Bei der Animierung eines dieser Körperelemente werden die nachfolgenden Elemente in entsprechender Weise mit verschoben (z. B. werden bei einer Verschiebung des Fußes, Unter- und Oberschenkel nachgeführt). Die Verknüpfung der einzelnen Elemente geschieht dabei durch zwei einander zugeordneter Koordinatensysteme: dem *(Körper-) Elementkoordinatensystem* sowie dem *Gelenkkoordinatensystem* (Abbildung 4.3). Das Gelenkkoordinatensystem stellt hierbei das (element-)lokale Bezugssystem dar, während das Elementkoordinatensystem bei der Animation des Körperelements eine Verdrehung bezüglich des Gelenkkoordinatensystems erfährt. Die Lage des Elementkoordinatensystems kann durch die Anwendung von Drehmatrizen somit eindeutig bestimmt werden.

4.3.2 Das äußere Modell

Das äußere Modell bildet an definierten Punkten Querschnitte, die das innere Modell umspannen. Diese Querschnitte setzen sich aus 8 bis 24 Stützpunkten zusammen, deren Lage durch das Körperelementkoordinatensystem genau bestimmt ist. Die untereinander verbundenen Punkte eines Querschnitts, verknüpft mit denen anderer Querschnitte, bilden die Haut des Menschmodells.

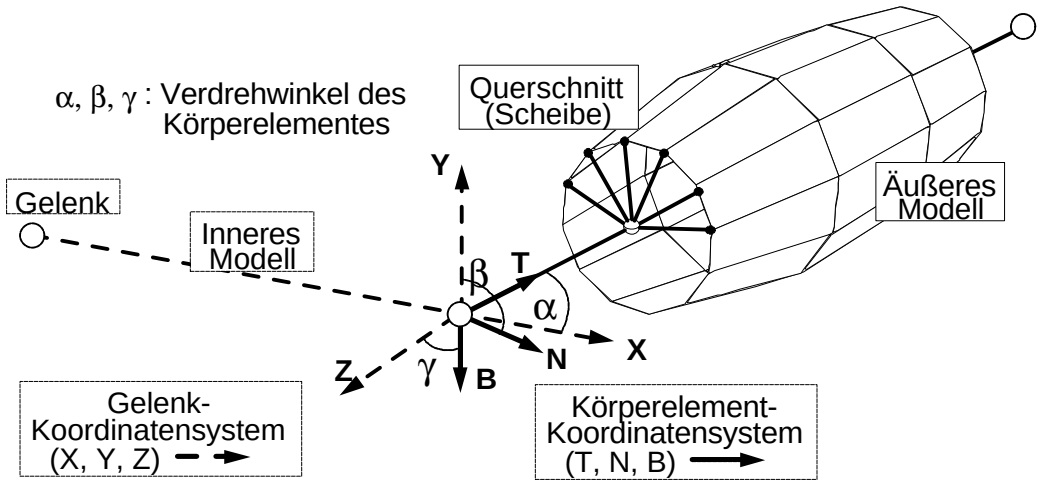


Abbildung 4.3: Aufbau und Verkettung der Körperelemente

Das äußere Modell kann zudem bei Bedarf dynamisch beschrieben werden. Dies ist dann nötig, wenn einzelne Körperelemente bewegt werden sollen. Ohne dynamische Beschreibung käme es bei einer Bewegung zu Verschneidungen von Querschnitten bzw. zum „Aufreißen“ der Haut. Um dies zu verhindern werden bei Bedarf zusätzliche so genannte *Verkippungsquerschnitte* eingeführt, die im Klaffungsbereich zusätzliche Oberflächenpunke und im Überlappungsbereich Verschmelzungen erzeugen (Abbildung 4.4).

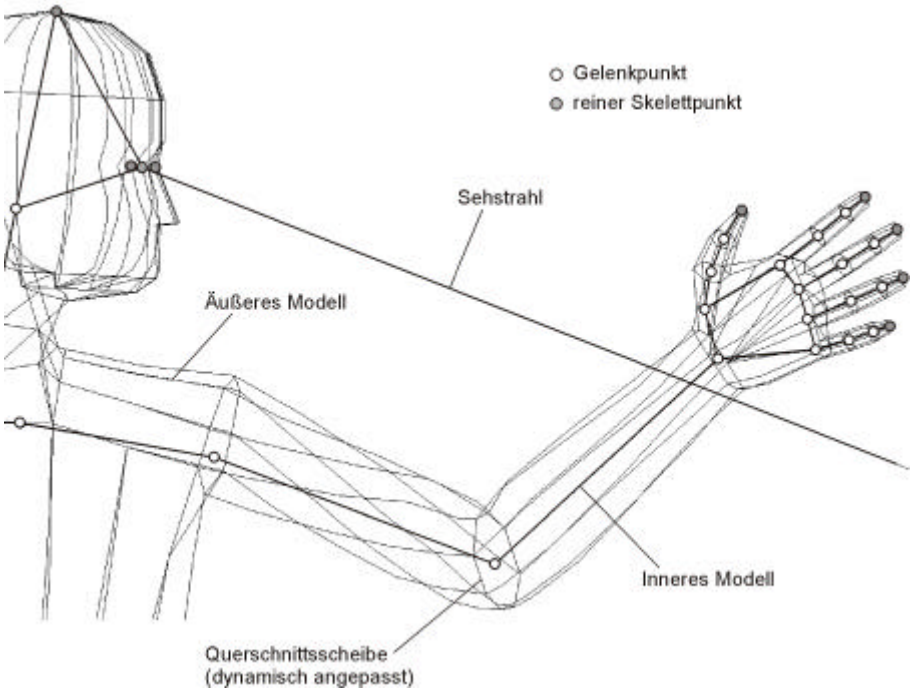


Abbildung 4.4: Inneres und äußeres RAMSIS-Modell am Beispiel des rechten Hand-Arm-Systems

Abbildung 4.5 zeigt das äußere Modell des Mannes in den vier möglichen Darstellungsformen. Das äußere Modell der Frau kann in gleicher Weise abgebildet werden.

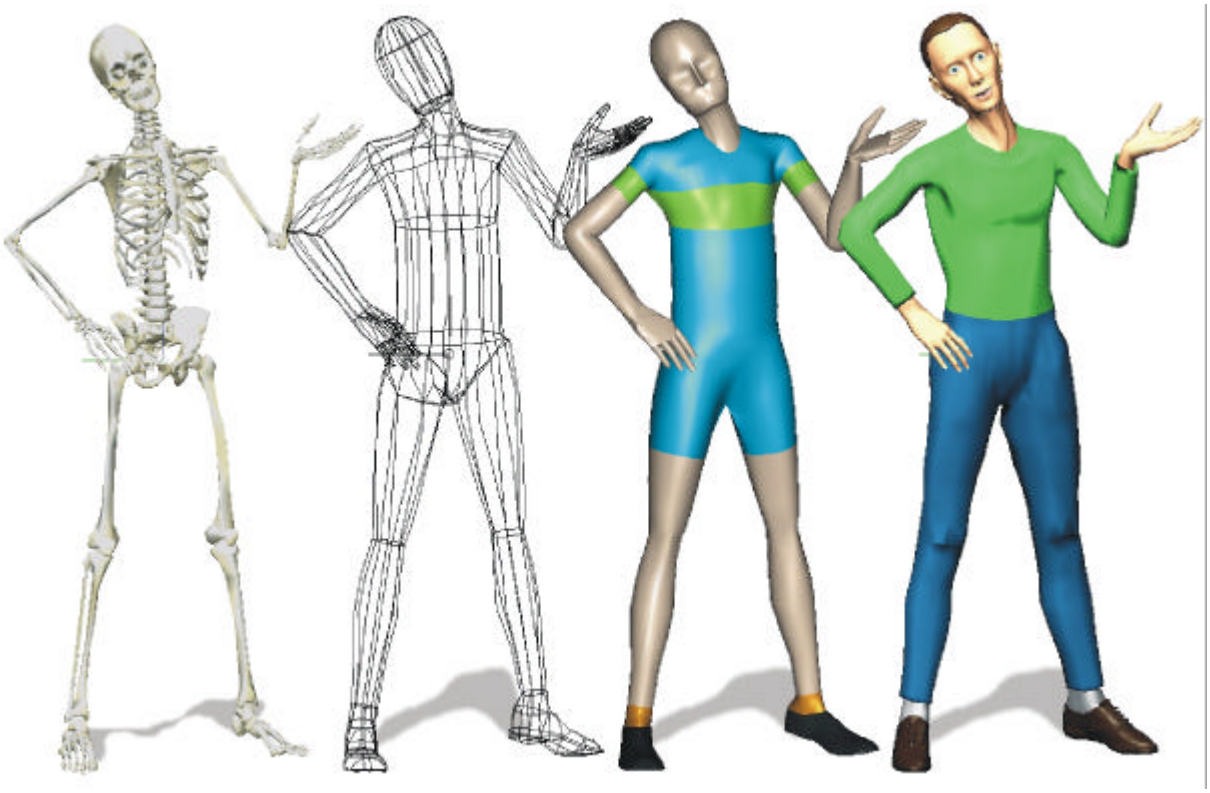


Abbildung 4.5: Das Menschmodell RAMSIS – als Knochenmodell, als Hautlinienmodell, als Volumen- und Präsentationsmodell des großen, jungen Mannes mittlerer Korpulenz und Proportionen (v. l.)

4.4 Die RAMSIS-Personentypologie

Um die Personentypologie für *RAMSIS* zu erstellen, wurde durch die Vermessung von Versuchspersonen, in Kombination mit der Neuauswertung bereits vorhandener Daten (Flügel, 1996), die Datenbasis für eine aussagekräftige Stichprobe geschaffen.

Auf Grundlage dieser Datenbasis wurde eine Generierung real existierender Körpercharakteristika nach den drei Leitmaßen *Körperhöhe*, *Proportion* und *Korpulenz* möglich. Zur Erzeugung der *RAMSIS*-Typen wurden Männer und Frauen gesondert - allerdings auf dieselbe Weise - betrachtet.

Die detaillierte Vorgehensweise der Typenfindung soll an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden - sie ist Geuß (1995) zu entnehmen. Es sei hier nur das Resultat der Modellierung aufgezeigt. Danach spannen die drei Leitmaße einen Raum auf, in dem eine reale Person als Punkt darzustellen wäre (Abbildung 4.6). Durch Teilung dieses Raumes in geeigneter Weise entstehen für jedes Geschlecht 45 vordefinierte Typen. Das Leitmaß *Körperhöhe* wurde dabei in fünf Gruppen von *sehr klein* über *klein*, *mittel*, *groß* bis *sehr groß* so aufgeteilt, dass 60%, der der Stichproben zugrunde liegenden Daten, im Typenbereich *mittel* lagen. Die Unterteilung der Leitmaße *Korpulenz* und *Proportion* erlaubt die Differenzierung nach jeweils drei Untergruppen – *dick*, *mittel* und *dünn* bzw. *Sitzwerg*, *mittel* und *Sitzriese*.

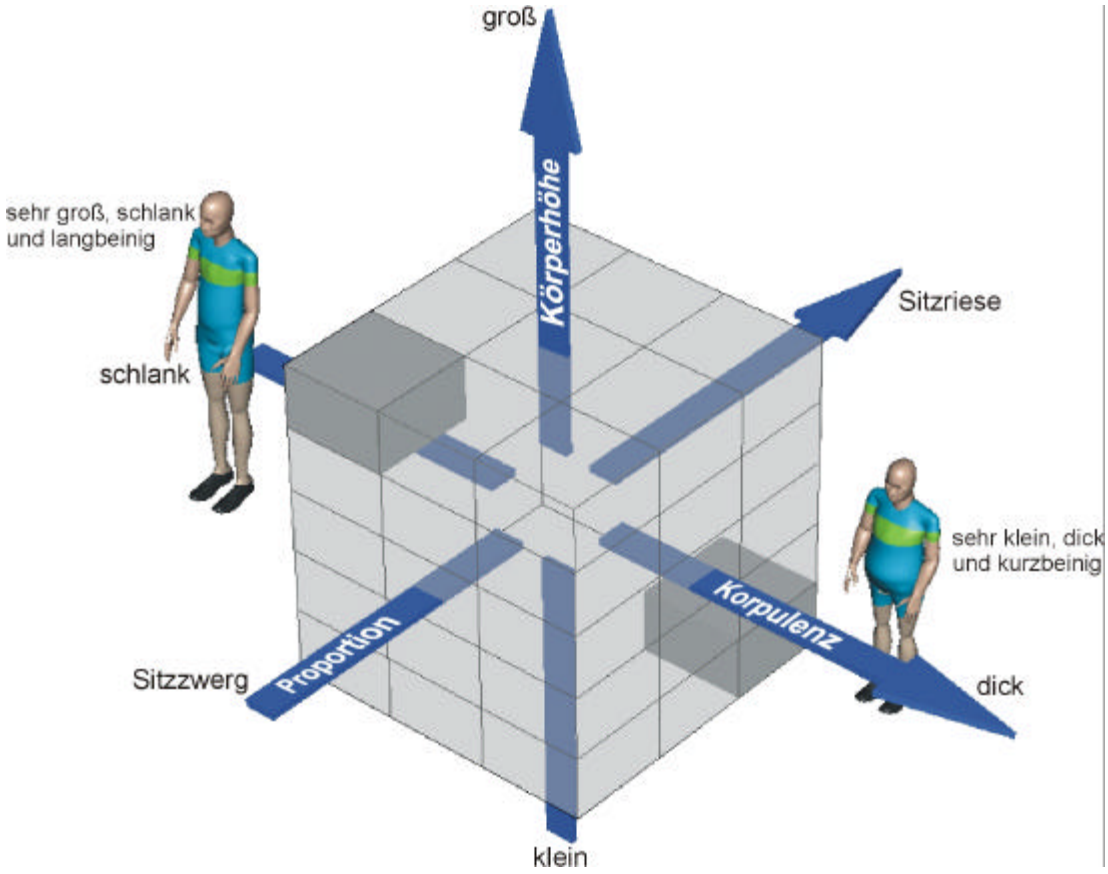


Abbildung 4.6: Merkmalsraum der RAMSIS-Typologie gebildet durch die Leitmaße „Körperhöhe", „Proportion" und „Korpulenz" (überarbeitet aus Geuß, 1995)

Die Untersuchung der Datenbasis nach Altersabhängigkeiten erweitert die Typengenerierung um eine gemittelte Typologie der Altersgruppe von 18-70 Jahren sowie um drei altersdifferenzierte Gruppen von 18-29, 30-49 und 50-70 Jahren. Des Weiteren wurde in die Typologie ein Akzelerationsmodell implementiert, welches über Extrapolation die Größenzunahme pro Dekade berücksichtigt. Beim Fraumodell sind dies 1,2 cm, beim Mannmodell 1,8 cm alle zehn Jahre.

Weiterführende Forschungen gestatten heute zudem die Erzeugung von Typen unterschiedlicher Nationalitäten. So können neben einem die deutsche Population repräsentierenden Modell zum jetzigen Zeitpunkt auch Modelle für die Bevölkerung der USA, Nord- und Südamerika, Mexiko, Frankreich sowie Japan und Korea erzeugt werden.

4.5 Die RAMSIS-Haltungsprognose

Augpunkte sind haltungs- und blickrichtungsabhängig, d. h. ihre Position liegt darin begründet, wohin der Blick gerichtet wird und welche Haltung von Kopf und Körper hierfür notwendig ist bzw. eingenommen wird.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass eine Erfassung dieser auch fahrzeugabhängigen Daten mit Hilfe von Realpersonen wegen des hohen Vermessungsaufwandes und den individuellen Einflüssen keine sinnvolle Vorgehensweise darstellt, um Sichtanalysen durchzuführen. Zweckmäßiger erscheint es, die Haltungsmodelle, besser gesagt das Pkw-Fahrermodell, von *RAMSIS* für die Haltungsprognosen heran zu ziehen. Mit Hilfe dieses Modells ist es möglich, eine der Realität entsprechende Prognose über eine unter bestimmten Randbedingungen

eingenommene Körperhaltung zu machen. Die Randbedingungen, so genannte *Restriktionen*, die diese Haltung beeinflussen, können dabei frei festgelegt werden. Sie bestehen aus Vorgaben, wie z .B. „rechte Hand ans Lenkrad“, „linker Fuß auf die Bremse“, „H-Punkt in den Sitzreferenzpunkt“, die *RAMSIS* mit dem Fahrzeug interagieren lassen (Abbildung 4.7). Das Fahrzeug bzw. dessen Packagegeometrie liegt dabei als CAD-Datensatz dem Menschmodell vor.

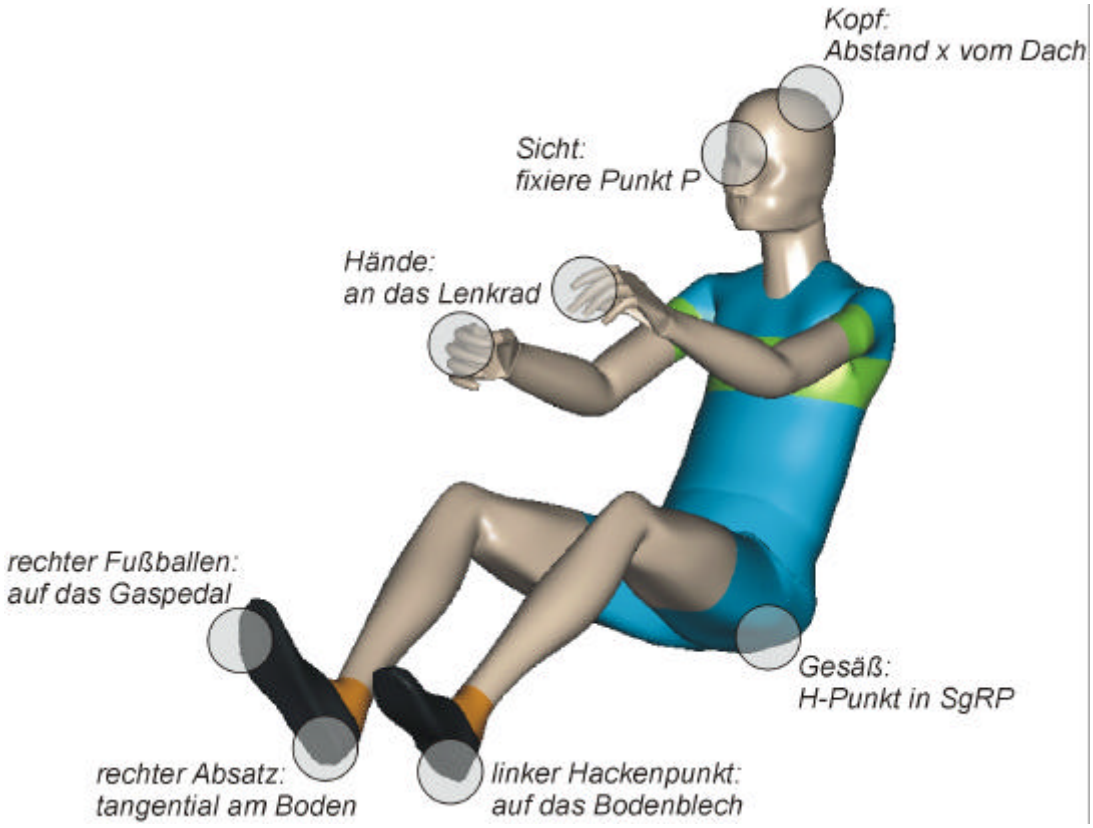


Abbildung 4.7: Mögliche Restriktionsvorgaben zur Platzierung von RAMSIS in einem Fahrzeug

Dabei steht für die *RAMSIS*-Haltungsprognose immer der Realitätsbezug im Vordergrund. Um diesen zu gewährleisten wurden Untersuchungen über kraftfahrzeugtypische Körperhaltungen gemacht, die anschließend modelliert wurden. Sie dienen als Datengrundlage der Haltungsprognose. Zum besseren Verständnis sollen hier kurz die dafür durchgeführten Versuche dargestellt werden.

4.5.1 Untersuchung der kraftfahrzeugtypischen Körperhaltungen und Modellierung der Daten

Die dem Menschmodell *RAMSIS* zugrunde liegenden Untersuchungen über die beim Fahren eingenommenen Körperhaltungen wurden am *Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München* an einem eigens aufgebauten Fahrerstand durchgeführt (Seidl, 1994). Dieser bestand im Wesentlichen aus Lenkrad, Pedalerie und Sitz, deren Positionen relativ zueinander verstellt werden konnten. Für die Versuche wurden drei Fahrzeugkonstellationen erstellt, in die jeweils 47 Versuchspersonen platziert wurden.

Die eingenommenen Haltungen der Versuchspersonen wurden über Videokameras aufgezeichnet und mittels eines eigens entwickelten Haltungsmesssystems hinsichtlich der einzeln eingenommenen Gelenkwinkel analysiert. Das Ergebnis war eine jeweils auf ein bestimmtes Gelenk bezogene räumliche Häufigkeitsverteilung.

Mit Hilfe dieser Verteilungen lässt sich eine Aussage darüber machen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Gelenk bezogen auf eine bestimmte Fahraufgabe einen bestimmten Winkelwert einnimmt. Hierzu werden die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Gelenkwinkel durch Transformationen zu so genannten Wahrscheinlichkeitstöpfen gewandelt (Abbildung 4.8). Durch ein spezielles Optimierungsverfahren findet die Software in Abhängigkeit der gestellten Aufgabe und der anderen Gelenkwinkelwahrscheinlichkeiten immer den tiefsten möglichen Punkt innerhalb des vorliegenden multidimensionalen Gebirges (Bubb, 2002).

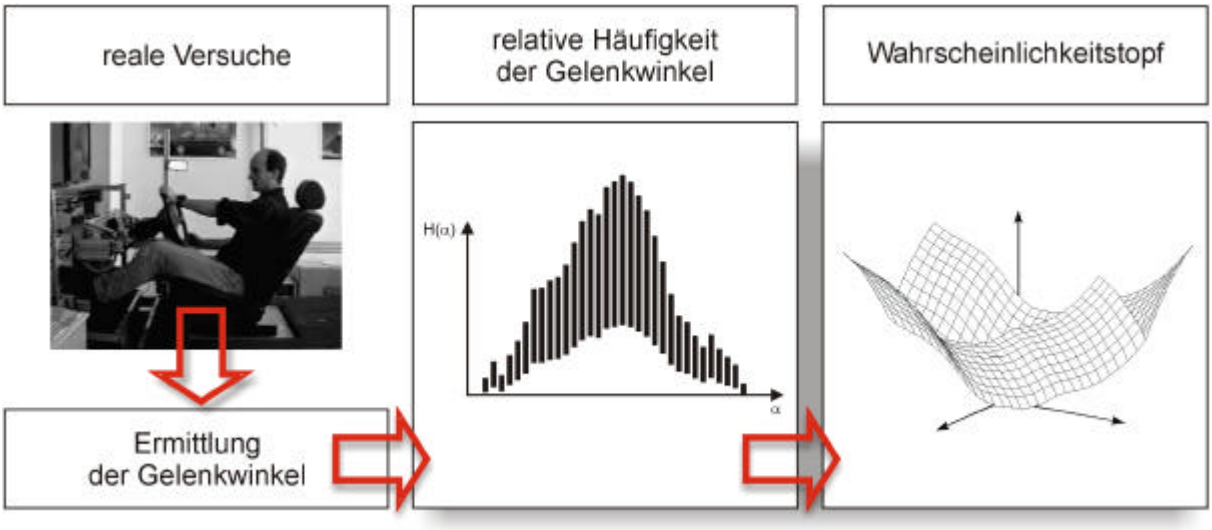


Abbildung 4.8: Versuchsablauf zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitstöpfe der Gelenkwinkel

Durch diese implementierte, mehrdimensionale Optimierungsfunktion wird *RAMSIS* in die Lage versetzt, für unterschiedliche Aufgaben innerhalb eines Pkws die wahrscheinlichste Körperhaltung unter der Vorgabe der bereits oben erwähnten Restriktionen zu prognostizieren.

Um außer den Fahraufgaben auch andere Haltungen simulieren zu können, wurden durch die im Prinzip gleiche Vorgehensweise weitere aufgabenbezogene Modelle erstellt. So stehen neben dem Pkw- auch ein Lkw-, ein Motorrad-, ein Steh- und ein Formel-1-Haltungsmodell zur Verfügung.

Mit der *RAMSIS*-Version 3.7.4 kommen weitere Modelle hinzu. Das so genannte H30-Modell gestattet es, die Grundhaltung über die Variation des SAE-H30-Maßes (siehe Abbildung 5.2) zu beeinflussen. Neben einem Pilotenmodell steht dem Benutzer ein definierbares Modell zur Verfügung, bei dem die Winkelwahrscheinlichkeiten der einzelnen Gelenke frei festgelegt werden können (z. B. zur Erzeugung eines reinen Beifahrerhaltungsmodells).

4.6 RAMSIS-H-Punkt und RH-Vektor

Laut Definition entspricht der Seating Reference Point (SgRP) dem H-Punkt der SAE-H-Punktmessmaschine, der wiederum dem Drehpunkt zwischen Oberschenkeln und Torso der zweidimensionalen SAE-Zeichenschablone entspricht und damit die Hüftgelenke bzw. das Hüftzentrum des Menschen im Dreidimensionalen wiedergeben soll. Allerdings weicht die Lage des so konstruierten Drehpunkts vom tatsächlichen Hüftzentrum des Menschen relativ stark ab. Da sich *RAMSIS* am Menschen orientiert und seine Gelenklagen denen des Menschen sehr nahe kommen, entsprechen auch seine Hüftgelenke nicht den SAE-Vorgaben. Allerdings

erfolgt die Platzierung von Menschmodellen (oder Schablonen) aufgrund fehlender Erkenntnisse über die Interaktion von Fahrer und Sitz auch heute noch über den Seating Reference Point. Dabei wird der H-Punkt des Menschmodells bzw. der Schablone mit dem SgRP zur Deckung gebracht bzw. innerhalb des H-Punktverstellfeldes positioniert. Um den Versatz zwischen *RAMSIS*-H-Punkt PHZ (entspricht in seiner Lage dem *RAMSIS*-Hüftgelenk GHZ) und SAE-H-Punkt auszugleichen, wurde ein Versatzvektor, der so genannte *RH-Vektor* eingeführt (Abbildung 4.9), durch den ein Offsetpunkt (PHPT) erzeugt wird, der zur Positionierung über den SgRP bzw. das H-Punktverstellfeld herangezogen werden kann (Seidl, 1993). Da jeder Sitz(-typ) einen eigenen Seating Reference Point aufweist, muss im Grunde auch der RH-Vektor für jeden Sitz neu bestimmt werden (siehe hierzu auch Bubb, 1995).

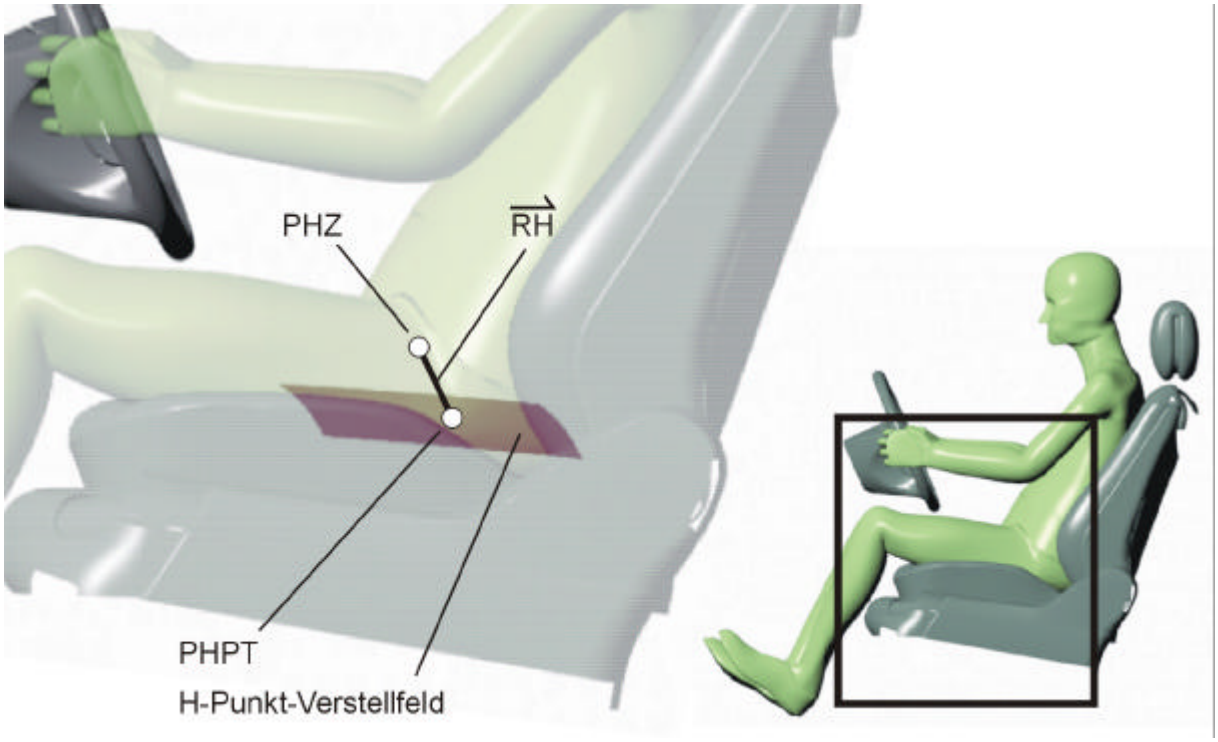


Abbildung 4.9: H-Punkt und RH-Vektor von RAMSIS

4.7 Sitzpositionierung in RAMSIS

Wie bereits verdeutlicht wurde, findet zwischen Sitz und *RAMSIS*-Manikin keinerlei Interaktion statt. Die Position von *RAMSIS* innerhalb der Packagegeometrie hängt neben dem Sitz von den gewählten Restriktionen, den umgebenden Fahrzeugkomponenten, wie z. B. Lenkrad, Pedalerie und Dach, und den sich unter den entsprechenden Vorgaben am wahrscheinlichsten einstellenden Gelenkwinkeln ab. Wie auch in der Realität wird die eingenommene Haltung dabei dadurch bestimmt, wie der Sitz in Relation zu den anderen Komponenten eingestellt wird. Diese Freiheit besteht innerhalb des *RAMSIS*-Systems nur dann, wenn sich die Lage des Offsetpunktes PHPT innerhalb des H-Punkt-Verstellfeldes des Sitzes frei einstellen kann. Will man den Sitz in die Betrachtungen mit einbeziehen, so kann dies prinzipiell nach der Haltungsprognose durch *RAMSIS* dadurch geschehen, dass PHPT und SgRP zur Deckung gebracht werden (3. Schritt in Abbildung 4.10) und die Rückenlehne entlang des *RAMSIS*-Rückens ausgerichtet wird.

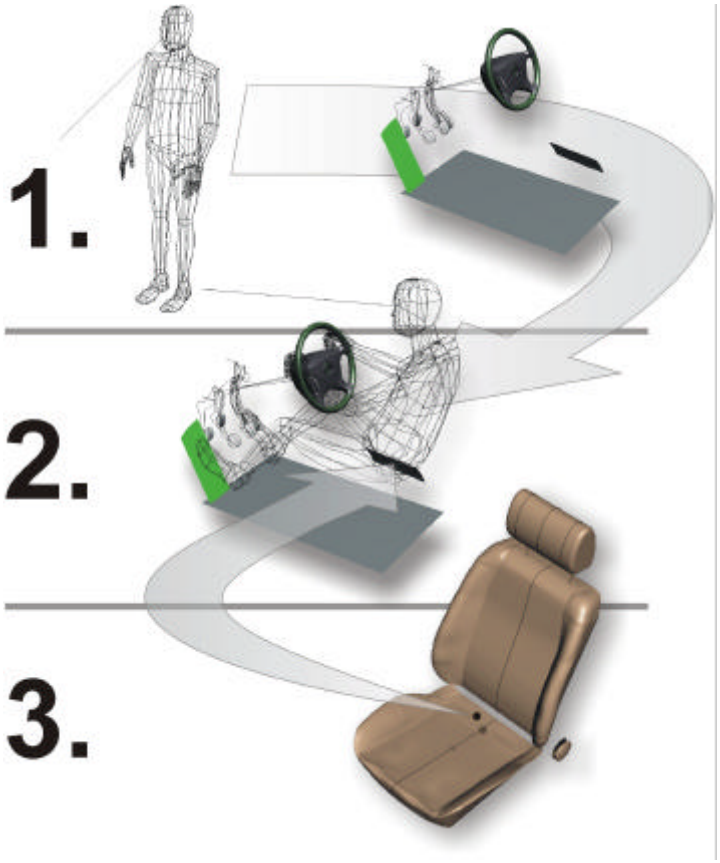


Abbildung 4.10: Prinzipiell mögliche und notwendige Vorgehensweise, um die reale Sitzgeometrie in die Haltungsprognose mit einbeziehen zu können

Erst jetzt kann der Sitz bzw. Punkte oder Teilflächen des Sitzes für weitere Haltungsprognosen als Restriktion verwendet werden. Diese Vorgehensweise setzt allerdings einen relativ vollständigen CAD-Datensatz des Sitzes voraus. Zumindest den im Folgenden gestellten Forderungen (siehe Kapitel 7, Abschnitt 7.1.4.2) widerspricht dies. Daher wird eine neue Vorgehensweise entwickelt, die die Berücksichtigung des Sitzes gestattet, ohne dass genaue Daten des Sitzes notwendig sind.

5 Verfahren und Methoden der Sichtanalyse

Der Wunsch, die Sichtverhältnisse zu optimieren und gleichzeitig andere Anforderungen an das Fahrzeug nicht hinten anstehen zu lassen, sondern im Gegenteil, auch diese möglichst zu verbessern, setzt eine Möglichkeit zur Quantifizierung und Bewertung der Optimierungsgröße voraus. Es ist daher wichtig, die Außensichtverhältnisse im Fahrzeug messen und mit denen anderer Fahrzeuge vergleichen zu können. Hierzu stehen verschiedene Analyseverfahren zur Verfügung, die sich aufgrund Ihrer grundsätzlichen Methodik in zwei Gruppen einteilen lassen. So unterscheidet man zwischen Verfahren, mit denen die Sichtverhältnisse direkt am Fahrzeug ermittelt werden, die so genannten *Realverfahren*, und Methoden, die eine virtuelle Analyse in einer CAD-Umgebung ermöglichen. Die virtuellen Methoden zur Sichtanalyse lassen sich wiederum in zwei Gruppen einteilen: All jene Methoden, die keine Haltungsmodelle nutzen, bilden die *punktorientierten Methoden zur virtuellen Sichtanalyse*. Haltungsmodellabhängige die *restriktiven CAD-Sichtanalysemethoden mit 3D-Haltungsmodellen* (siehe Abbildung 5.1).

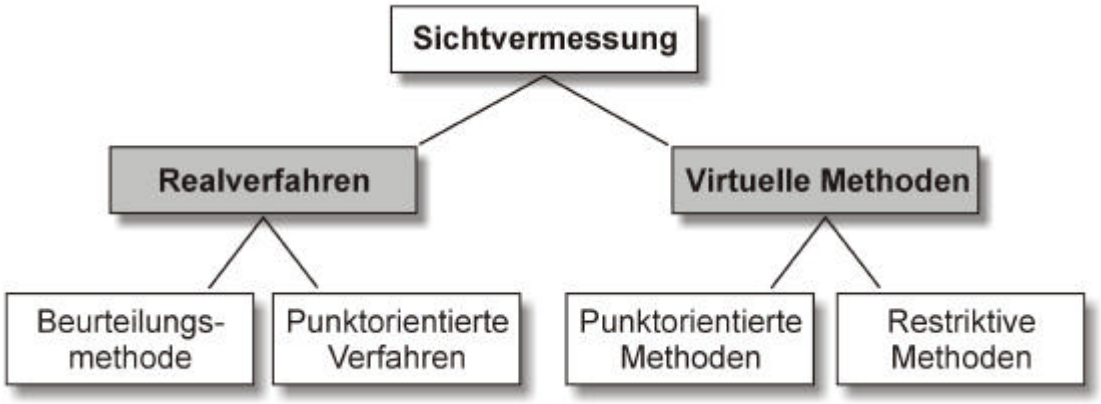


Abbildung 5.1: Verfahren und Methoden der Sichtanalyse

Sowohl Realverfahren als auch die virtuellen Methoden sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden. Dabei handelt es sich bei den hier aufgezeigten Realverfahren um solche, von denen bekannt ist, dass sie von Seiten der Fahrzeughersteller eingesetzt werden bzw. wurden. Die beschriebenen virtuellen Methoden stellen dagegen nur Möglichkeiten dar, wie die Sicht eines Fahrers in CAD-System analysiert werden könnte. Es ist nicht bekannt, ob derartige Methoden von der Industrie auch tatsächlich verwendet werden. Des Weiteren sollen an dieser Stelle auch nur die virtuellen Methoden erläutert werden, die in 3D-CAD-Systemen zum Einsatz kommen können. Prinzipiell ist natürlich auch eine Übertragung jeder Methode in eine 2D-Umgebung möglich – wenn dies auch mit erheblich höherem Aufwand verbunden ist.

Ein wichtiges Element bei der Analyse der Außensichtverhältnisse in Kraftfahrzeugen spielt die Augenellipse nach SAE. Diese stellt zwar kein Analysemittel im eigentlichen Sinne dar. Da sich die meisten Methoden aber, zumindest was die Festlegung von Referenzpunkten angeht, an dieser orientieren, erscheint es sinnvoll, zunächst ausführlicher auf die Augenellipse nach SAE einzugehen.

5.1 Die Augenellipse nach SAE J941

5.1.1 Definition

Die Augenellipse nach SAE J941 (SAE, 1997) stellt ein Hilfsmittel zur Konstruktion von Sichtlinien unter Berücksichtigung der Verteilung der Augenlagen im Fahrzeug dar. Dabei charakterisiert sie die Verteilung der Augenlagen in einer bestimmten Ebene des Fahrzeugs (zumeist einer parallel zur ZERO-Y- bzw. ZERO-Z-Ebene des Fahrzeugkoordinatensystems (FKS), siehe Glossar Abbildung 10.1). Die Lage der Ellipse ist durch Größe und Neigung Ihrer Hauptachsen sowie die Lage ihres Mittelpunktes bezüglich des Seating Reference Points (SgRP) bestimmt (Abbildung 5.2) wobei die x- und z-Koordinate in Abhängigkeit der Rückenlehnenneigung variiert.

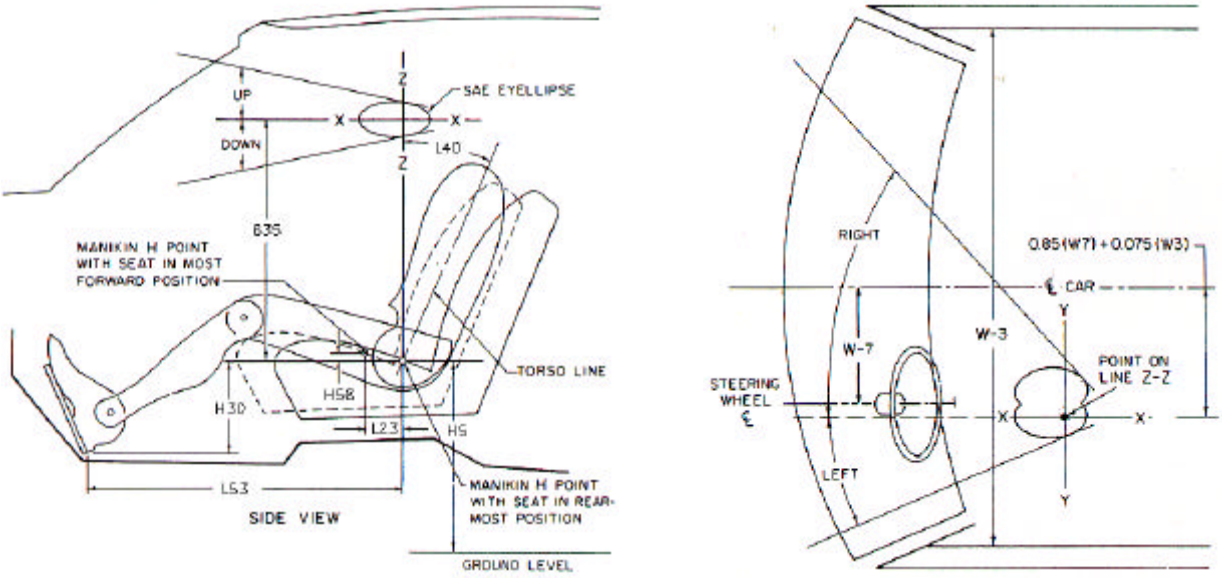


Abbildung 5.2: Lage der Augenellipse bezüglich des SgRP in der Seitenansicht (links) und der Aufsicht (aus SAE J941)

Mathematisch stellt die Augenellipse die Kontur der gleichen Häufigkeitsdichte in einer zweidimensionalen Normalverteilung dar (Schade, 1980).

$$\frac{1}{1-r^2}\left(\frac{x^2}{2s_x^2} - r\frac{x\,z}{s_x\,s_z} + \frac{z^2}{2s_z^2}\right) = \frac{r^2}{2} \qquad \text{Gl. 5.1}$$

ρ *Korrelationskoeffizient*

σ_x, σ_z *Randverteilung*

x, z *Variable*

Pragmatisch entsteht die Augenellipse in der Art, dass in eine zweidimensionale Verteilung von Augpunktlagen, die durch Versuche ermittelt wurden, Geraden in beliebiger Richtung eingezeichnet werden. Diese werden dabei so gelegt, dass die gemessenen Augenlagen immer im gleichen Verhältnis, d. h. immer der gleiche Prozentsatz der Augpunkte, z. B. 95% auf der einen, die restlichen 5% somit auf der anderen Seite der Geraden liegen. Die Einhüllende all dieser Geraden ist dann eine Ellipse (im aufgezeigten Beispiel die so genannte 95%-Augenellipse, da 95% aller Augpunktlagen auf der der Ellipse zugewanden Seite der Geraden liegen).

Der prozentuale Anteil P_A der Augpunkte, der tatsächlich innerhalb der Ellipse liegt, ist dabei:

$$P_A = 100 \left(1 - e^{-r_p^2/2} \right) \; [\%] \qquad \text{Gl. 5.2}$$

r_p *P. Perzentil der normierten Normalverteilung*

D. h. dass im vorliegenden Fall der 95%-Augenellipse ($r_{0.95}$ = 1,645) nur 74,2% aller in die y-Ebene projizierten Augpunktlagen des Fahrerquerschnitts tatsächlich durch die Ellipse berücksichtigt werden.

5.1.2 Anwendung

Mit Hilfe der Augenellipsen lassen sich im Fahrzeug extremale Sichtwinkel bestimmen, indem Tangenten an die jeweilige Ellipse angelegt werden. Mit den ab Seite 46 näher beschriebenen Einschränkungen erlaubt dies schon im Vorfeld der Konstruktion eine Grundaussage darüber zu treffen, wie hoch der Anteil der Personen sein wird, der bestimmte Bereiche außerhalb des Fahrzeugs einsehen bzw. nicht einsehen kann.

Abbildung 5.3 zeigt die schematische Darstellung der 95%-Augenellipse in der Seitenansicht (y-Ebene). Dabei wird davon ausgegangen, dass rechtes und linkes Auge auf gleicher Höhe liegen. Der Ellipsenmittelpunkt wird bezüglich des SgRP im Fahrzeug positioniert (SAE 75). Legt man Tangenten an die Ellipse bis zum Rand eines sich im Blickfeld des Fahrers befindlichen Hindernisses, so begrenzt die Tangente den Winkelbereich, der von dem zugrunde gelegten Prozentsatz (hier 95%) der Augen mindestens eingesehen werden kann.

Beim Arbeiten mit der Augenellipse sind allerdings folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Zum einen werden durch die Ellipse keine Kopfbewegungen wiedergegeben. Die verwendeten Augpunktlagen beziehen sich immer auf nur eine Kopfhaltung - im vorliegenden Fall geradeaus. Sollen andere Kopfhaltungen berücksichtigt werden, so sind eigene Augpunktlagen hierfür zu ermitteln. Hieraus resultiert auch, dass die Blickfelder durch die maximale Augbewegung beschränkt sind (in der y-Ebene etwa +45° und -65°).
- Es gilt zu beachten, dass die Augenlagen für die Sicht nach oben und die Sicht nach unten unterschiedliche Teilmengen darstellen. Je nach Lage der Tangente werden durchschnittlich mehr als 90% und weniger als 95% erfasst. Der Teil der Augenlagen, deren Blickwinkel nach oben bzw. nach unten mindestens dem durch die Tangente ① bzw. ② dargestellten Sichtwinkel entspricht, ist damit kleiner als 95%. In der Praxis ist der Tangentenschnittpunkt weit von der Ellipse entfernt, also der Winkel zwischen den Tangenten recht klein. In diesen Fällen kann von einer Abdeckung von rund 90% der Augenlagen ausgegangen werden.
- Die Werte von x_{Mean}, y_{Mean} und z_{Mean}, die den Versatz von x-, y- und z-Achsen bezüglich des Ellipsenmittelpunktes bestimmen, sowie die Längen von Haupt- und Nebenachse der Ellipse hängen vom horizontalen Sitzverstellbereich (L23) ab und sind SAE 941e zu entnehmen.
- x-, y- und z-Achse wiederum stellen die Ausrichtungsachsen der im praktischen Gebrauch verwendeten Augenellipsenschablonen dar. Die Lage der Schablonenachsen bezüglich der horizontalen (635 mm über dem SgRP) und vertikalen Hauptachse (durch SgRP) ist abhängig vom Torso- bzw. Rückenlehnenneigungswinkel L40.

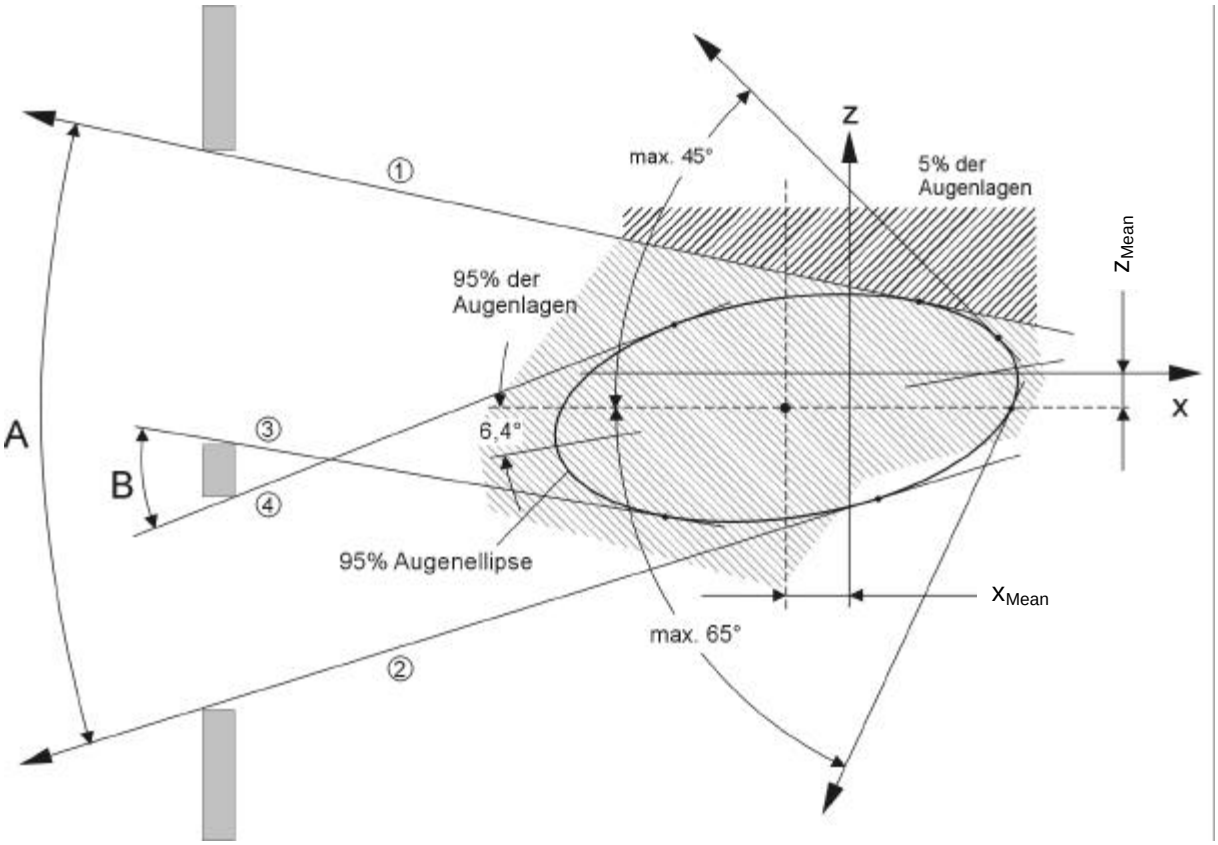


Abbildung 5.3: Schematische Darstellung einer 95%-Augenellipse mit direktem Sichtfeld durch eine Öffnung für -90% der Augenlagen (Bereich A) und auftretende Sichtverdeckungen für -90% der Augenlagen (Bereich B)

Da für die Konstruktion insgesamt drei Raumachsen, also drei Ebenen zu berücksichtigen sind, werden Augenellipsen auch für die x- und z-Ebene erstellt, wobei allerdings die Lagen der linken und der rechten Augen getrennt voneinander betrachtet werden.

5.1.3 Nachteile der SAE-Augenellipse

Die Nachteile, die die SAE-Augenellipsen heute aufweisen, entstammen vor allem der Art und Weise ihrer Entstehung.

Die Untersuchungen, die als Grundlage für die Ellipse dienen, wurden 1965 von J. F. Meldrum allesamt an amerikanischen Fahrzeugen des Baujahres ´63 gemacht (Meldrum, 1965). Anstelle der heute üblichen Einzelsitze hatten diese eine Sitzbank mit starren Lehnenwinkeln zwischen 22,5° und 26,5° sowie einen horizontalen Verstellweg zwischen 114 mm und 137 mm, was aus heutiger Sicht als relativ klein anzusehen ist. Die Neigung der Sitzverstellung gegenüber der Horizontalen betrug dabei 7° bis 15°. Des Weiteren existierten keine Sitzhöhen- und Lenkradverstellung wie sie heute weiten Teils üblich sind. Da die Sitzhaltung und damit auch die Augenlage eines Fahrers sehr stark von der Art des Sitzes, seinen Verstellmöglichkeiten und anderen Elementen des Fahrzeuginnenraums, wie z. B. der Lage des Lenkrades abhängt, wird schon hieraus klar, dass die aus diesen Untersuchungen stammenden Ergebnisse nur schwer auf heutige Fahrzeuge übertragbar sind.

Ferner kann mit dem beschriebenen Formalismus immer nur eine Nährung an die tatsächlichen Augpunktlagen erreicht werden. Da die Augenellipse von einem

Sitzreferenzpunkt aus im Fahrzeug platziert wird, der letztendlich durch den Konstrukteur festgelegt wird, hat sie auch keinen realen Bezug zur tatsächlichen Körperlage von Fahrern im Fahrzeug. Da diese aber maßgeblich für die Verteilung der Augpunktlagen sind, kann diese nur mit Fehlern auf verschiedene Fahrzeuggeometrien bzw. -konzepte übertragen werden. Wie Messungen zeigen, ändert die Augenellipse nicht nur ihre Lage bezüglich einer Änderung der Rückenlehnenneigung, sondern zudem auch ihre Neigung und ihre Größe (Roe, 1975). D. h. dass zumindest jedes Fahrzeugkonzept eine eigene Augenellipse notwendig macht, was mit einem hohen Messaufwand verbunden ist.

Ein weiterer Punkt, der die Verwendung der Augenellipse zumindest für den europäischen Raum einschränkt, ist das für die Versuche von Meldrum eingesetzte Personenkollektiv. Von den 2355 Testpersonen, die hinsichtlich ihrer Augenlagen untersucht wurden, stammten lediglich 2% aus Europa – der Rest zumeist aus dem Nordosten der USA. Des Weiteren betrug der Frauenanteil unter den Versuchspersonen lediglich 35,3%, was dem damaligen Anteil an weiblichen Führerscheininhaberinnen in den USA entsprach – dem heutigen aber weder in den USA noch in anderen Ländern gerecht wird. Nahe liegend ist auch, dass die damals gefundenen Werte, schon wegen der innerhalb der letzten bald 40 Jahre auftretenden Akzeleration, nicht mehr der heutigen Population entspricht. Nach Eid (1995) liegt der Mittelpunkt der SAE-Augenellipse heute in etwa auf der Höhe des Augpunktes einer Frau des zehnten Perzentils. Hierzu durchgeführte Untersuchungen mit dem Menschmodell *RAMSIS* zeigen dagegen, dass der Ellipsenmittelpunkt (bei einer Rückenlehnenneigung L40 von 25°) eher dem heutigen (Bezugsjahr 2002) 5-Perzentil-Mann entspricht – sofern zur Platzierung der konstruktive H-Punkt (KHP) verwendet wird.

Doch auch mit Hilfe von *RAMSIS* findet bei der Verwendung des konstruktiven H-Punkts ein realistisches Einsitzverhalten nur sehr bedingt Berücksichtigung. Dies liegt daran, dass im Realfall das Einsitzverhalten, und damit die Position des H-Punkts, zum einen von der betrachteten Person, zum anderen aber auch stark von den Packagemaßen des jeweiligen Fahrzeugs sowie des betrachteten Sitzes abhängt. Daher ist es kaum möglich, eine allgemeingültige Aussage darüber zu treffen, welcher Realaugpunktlage der Ellipsenmittelpunkt nun entspricht. Für Methoden der Sichtvermessungen, die den Ellipsenmittelpunkt als Ursprung verwenden, bedeutet dies, dass je nach Fahrzeug ein anderer Personentypus herangezogen wird, was die an verschiedenen Fahrzeugen gewonnenen Ergebnisse untereinander im Grunde nicht vergleichbar macht (Hudelmaier, 2002).

5.2 Realverfahren zur Sichtanalyse

5.2.1 Beurteilungsmethode

Bei der Beurteilungsmethode handelt es sich nicht um ein Messverfahren im eigentlichen Sinne. Die Außensicht eines Fahrzeugs wird lediglich von mehreren ausgesuchten Personen subjektiv beurteilt. Hierzu nehmen die Probanden im Fahrzeug Platz und richten sich dort ein. Die Beurteilung kann sowohl am stehenden als auch mit fahrendem Fahrzeug durchgeführt werden. Bei stehendem Fahrzeug ist dieses zumeist von bestimmten Sichtzielen umgeben, die die Versuchspersonen zu betrachten und so die Übersichtlichkeit zu beurteilen haben. Gefahren wird entweder auf einem dafür vorgesehenen Parcours oder auf öffentlichen Straßen. Anhand eines Fragenkataloges hat jeder Proband nach der Fahrt die Sichtverhältnisse des jeweiligen Fahrzeuges zu beurteilen.

Nachteilig wirkt sich bei diesen Methoden vor allem aus, dass die Aussagen der Testpersonen grundsätzlich von unterschiedlichen Vorlieben und Meinungen geprägt sind. Des Weiteren stehen evtl. nicht immer dieselben Personen für eine Testreihe zur Verfügung, so dass Vergleiche zwischen den betrachteten Fahrzeugen nur mit großen Abstrichen gemacht werden können. Das Gleiche gilt für die Reproduzierbarkeit der Daten, die bei dieser Methode so gut wie nie gegeben ist.

5.2.2 Schattenwurfverfahren

Beim Schattenwurfverfahren wird eine Lampe innerhalb des Fahrzeugs in dem angenommenen Augpunkt eines imaginären Fahrers platziert. Als Augpunkt wird dabei zumeist der Mittelpunkt der SAE-Augenellipse herangezogen. Die eingeschaltete Lampe projiziert einen Schattenriss der Fahrzeuggeometrie auf den Boden und an die das Fahrzeug umgebenden Wände (Abbildung 5.4). Für die Beurteilung binokularer Sichtverhältnisse werden zwei Lampen in Augenabstand, zu beiden Seiten des Ellipsenmittelpunktes, im Fahrzeug platziert.

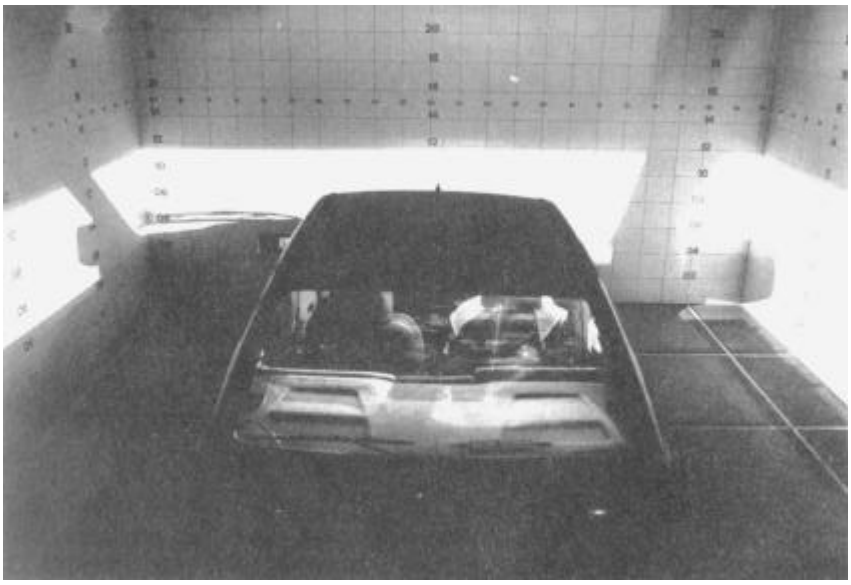


Abbildung 5.4: Vermessung der Rundumsicht mittels Schattenwurfverfahren und einer Lichtquelle (aus Peacock,1993)

Nachteil bei diesem Verfahren ist unter anderem die aufwändige Dokumentation. Daten können hier nicht direkt von einem Rechner abgenommen und aufbereitet werden. Vielmehr werden die erzeugten Schattenrisse mit Kreide o. ä. auf Wand und Boden übertragen. Dies macht den Vergleich verschiedener Fahrzeuge untereinander sehr schwierig. Ein weiterer - und weit größerer - Nachteil besteht darin, dass die auf den Wänden erzeugten Verdeckungen nur begrenzt den Verdeckungen entsprechen, die dem Fahrer tatsächlich die Sicht beim Rundumblick nehmen (siehe Abschnitt 5.2.5 Gemeinsame Problematik der eingesetzten Messverfahren).

5.2.3 Kameraverfahren

Beim Kameraverfahren wird eine Kamera wiederum in einem festen, theoretischen Augpunkt (SAE-Augenellipsenmittelpunkt) platziert und das Blickfeld eines imaginären Fahrers fotografiert. Die Bilder geben also die Sicht wieder, die der Fahrer hätte, wenn sich sein Auge im Kamerabrennpunkt befinden würde.

Nachteil an dieser Methode ist unter anderem, dass man versucht, eine dreidimensionale Umgebung zweidimensional zu beurteilen. Außerdem entspricht die Optik einer Kamera, vor allem aufgrund der anderen Brennweite, nur sehr unzureichend dem menschlichen Auge, so dass es hier zu gravierenden Fehlern in der Beurteilung kommen kann.

5.2.4 Lasertheodoliten-Messverfahren

Bei der Messung der Außensicht mit Hilfe eines Lasertheodoliten (Abbildung 5.5) wird dieser im Mittelpunkt der SAE-Augellipse platziert. Eine kardanische Aufhängung ermöglicht es, ihn um diesen Punkt in alle Richtungen zu drehen. Der Drehpunkt liegt dabei auf der Strahlachse des Lasers. Der Laser(strahl) wird manuell entlang der Scheibenkanten geführt. Durch Betätigen eines „Abzugs“ werden die aktuellen Winkelkoordinaten an einen Rechner weitergegeben. Sind alle Scheibenflächen umfahren worden, errechnet der Computer verschiedene Projektionen der Verdeckungen. Die Ergebnisse verschiedener Fahrzeuge lassen sich - auf transparente Folien gedruckt - leicht miteinander vergleichen und auswerten.

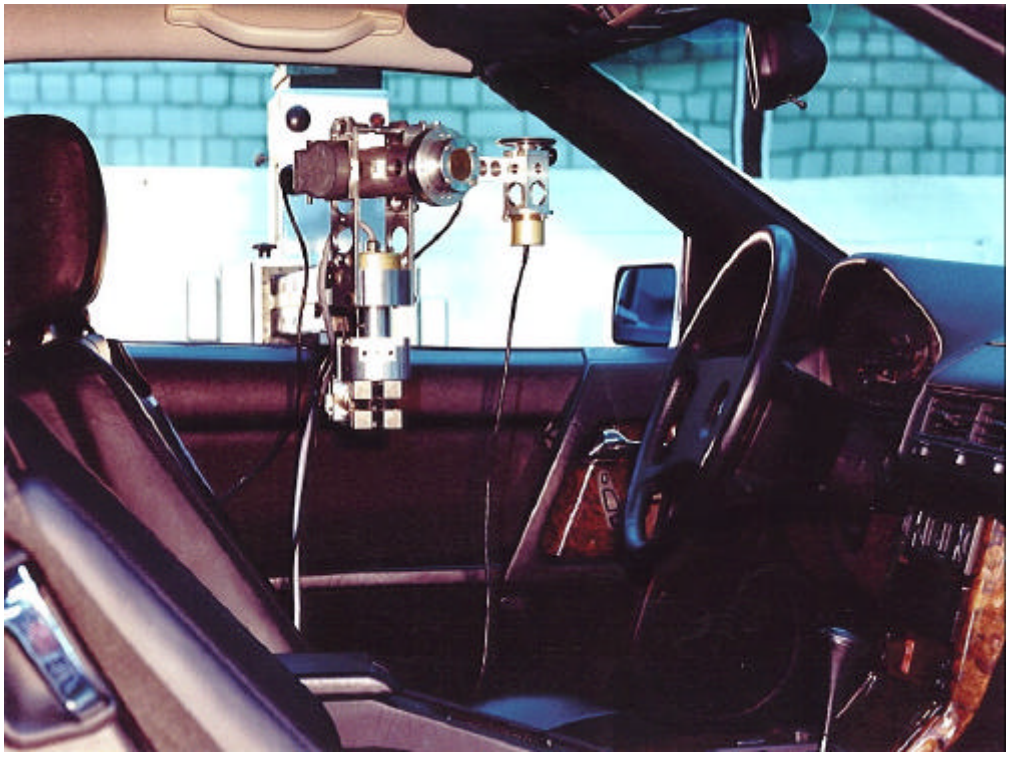


Abbildung 5.5: Durch die linke Seitenscheibe im Fahrzeug ausgerichteter Lasertheodolit

Dieses, heute recht häufig in der Automobilindustrie eingesetzte Messverfahren birgt neben anderen Nachteilen (siehe hierzu Abschnitt 5.2.5) vor allem die Schwierigkeit, dass ein hoher manueller Aufwand für die Vermessungen notwendig ist. Die manuelle Durchführung begrenzt entscheidend die Messgenauigkeit, welche zudem sehr stark von der Erfahrung des Operateurs abhängt. Dieser muss zudem hinter dem Laser im Fahrzeug Platz nehmen um die gewünschten Messpunkte anpeilen zu können. Dies ist nicht nur unbequem - auch die Lage des zu vermessenden Fahrzeugs, die eine ganz bestimmte Ausrichtung haben muss und zuvor aufwändig eingerichtet wurde, kann sich durch das zusätzliche Gewicht verändern. Da keine Vorgaben über Anzahl oder Relation der zu bestimmenden Stützpunkte existieren,

sind die Messungen nicht reproduzierbar. Die Bestimmung der Stützpunkte ist dabei relativ schwierig, da der Messpunkt visuell wahrgenommen werden muss - der durch den Laser erzeugte Lichtpunkt aber nur schlecht sichtbar ist.

5.2.5 Gemeinsame Problematik der eingesetzten Messverfahren

Neben den schon genannten Nachteilen der einzelnen Messverfahren treten aber noch weitere Probleme auf, die, sieht man einmal von der Beurteilungsmethode ab, allen Verfahren zueigen sind und die Ergebnisse für den praktischen Gebrauch nicht besonders tauglich machen.

Bei allen eingesetzten Verfahren (Schattenwurfverfahren, Kameraverfahren und Theodolitenmessverfahren) wird die gesamte Rundumsicht aus dem Fahrzeug von einem statischen Punkt aus betrachtet. D. h. es wird davon ausgegangen, dass sich der Augpunkt des Fahrers bei jeder Blickrichtung an ein und derselben Stelle befindet (Abbildung 5.6).

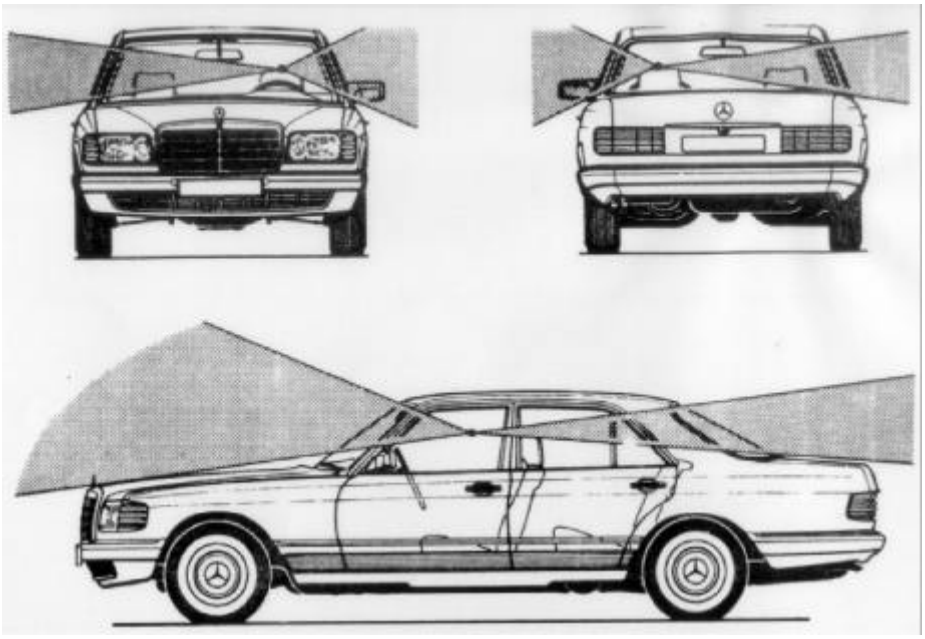


Abbildung 5.6: Sehstrahlen vom angenommenen Augpunkt des Fahrers in alle Richtungen (DaimlerChrysler)

Dies trifft aber für die Realität nicht zu. Durch die Kopf- und auch Torsobewegungen (z. B. bei extremen Blickrichtungen durch die Heckscheibe beim Rückwärtsfahren) kommt es zu großen Verschiebungen der Augpunktlagen (Abbildung 5.7 und Abbildung 3.2). Notwendig wäre daher ein dynamischer Augpunkt. Da ein solcher nicht existiert, treffen die durch die aufgezeigten Messverfahren ermittelten Außensichtverhältnisse bestenfalls für einen Blick geradeaus durch die Frontscheibe zu. Sie geben aber keine realen Verhältnisse der Rundumsicht wieder.

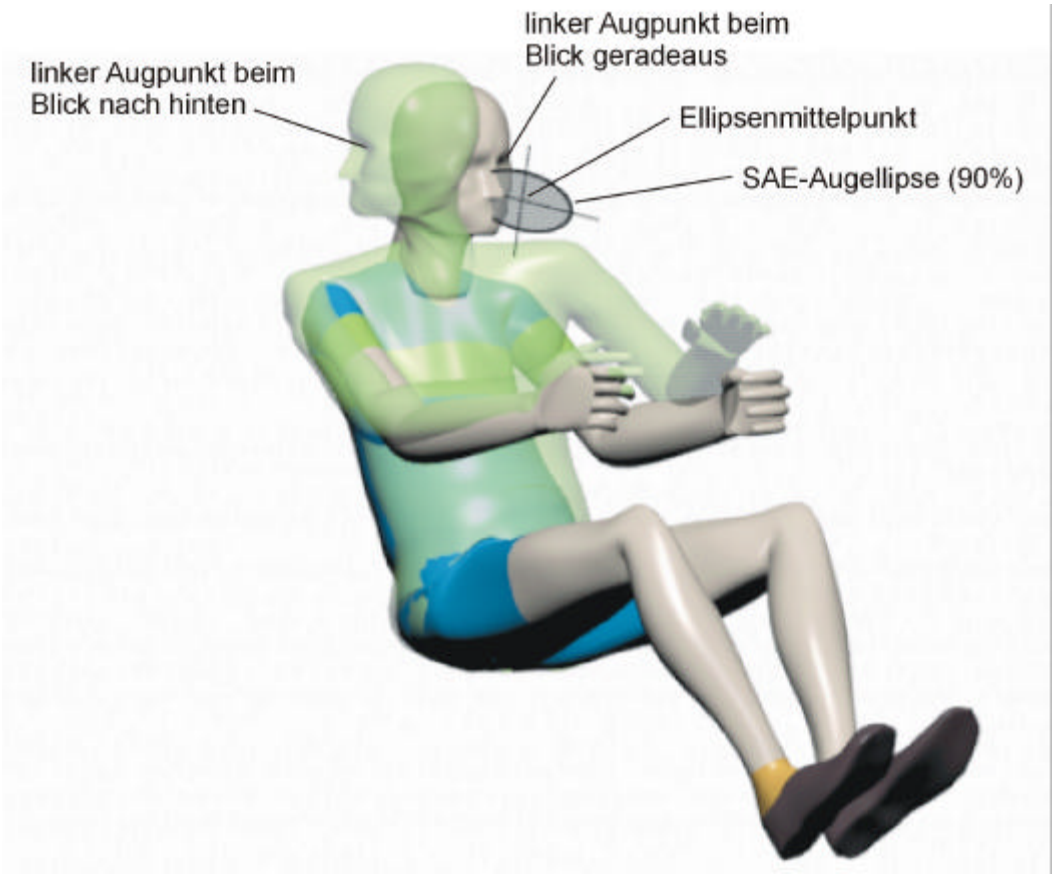


Abbildung 5.7: Lage und Verschiebung des linken Auges durch Kopf- und Torsobewegung gegenüber dem SAE-Augellipsenmittelpunkt bei der Fixation eines rechts hinter dem Fahrzeug liegenden Sichtzieles (RAMSIS-Simulation)

Ein weiterer Nachteil der eingesetzten Verfahren besteht darin, dass aufgrund des relativ hohen Einrichtungsaufwandes (Theodolit) und Auswerteaufwandes (Schattenwurfverfahren) zumeist nur ein Augpunkt betrachtet wird. Damit können zum einen keine binokularen Verdeckungen, zum anderen aber auch keine Aussagen über die Sichtverhältnisse von Personen unterschiedlicher Körpergröße gemacht werden. Dies macht es praktisch unmöglich, einen zutreffenden Gesamteindruck über Ursachen und Umfänge von Sichtbeschränkungen für unterschiedliche Mitglieder der die Fahrzeuge nutzenden Population zu erhalten, so dass Optimierungspotenzial unter Umständen unentdeckt - und damit ungenutzt - bleibt.

Um diesen Nachteilen wenigsten teilweise entgegen zu wirken, wurde das Lasertheodolitenmesssystem erweitert (Patentschrift DE 29 25 155 C2; Daimler-Benz, 1984). Es handelt sich dabei im Wesentlichen um eine Führungsplatte mit eingeschnittenen Nuten, an der eine bewegliche und mit einem Winkelmesser versehene Aufnahmevorrichtung für den Projektor, also den Laser, angebracht ist (siehe Abbildung 5.8). Die Aufnahmevorrichtung und damit auch der Laser werden beim Verfahren durch Gleitzapfen in der Aufnahme, die in den Nuten der Trägerplatte laufen, auf eine bestimmte Bahn gezwungen. Diese Bahn ist derart gestaltet, dass die optische Achse des Lasers immer tangential an einer gedachten SAE-Augenellipse zu liegen kommt.

Abbildung 5.8: Sichtwinkelmessvorrichtung gemäß Patentschrift DE 29 25 155 C2

Vorteil des Verfahrens ist, dass nicht nur ein Augpunkt und damit nur sehr eingeschränkter Teil der möglichen Fahrzeugführer betrachtet wird, sondern durch den Einsatz der SAE-Augenellipse ein statistisch repräsentativer Querschnitt Beachtung findet. Allerdings handelt es sich hierbei um einen eher theoretischen Vorteil des Verfahrens, da die auf der SAE-Augenellipse basierende Funktionsweise auch alle deren bereits aufgezeigten Nachteile mit sich bringt. Des Weiteren ist die SAE-Augenellipse als zweidimensionales Werkzeug nur mit sehr großem Aufwand ins Dreidimensionale übertragbar, da die Tangenten an die aus Seiten-, Front- und Aufsicht der Ellipsen entstehenden Ellipsoiden gelegt werden müssten, um die Sichtbereiche dreidimensional erfassen zu können (Abbildung 5.9). Die hier vorgestellte Einrichtung basiert aber lediglich auf der Augenellipse in der Seitenansicht, so dass im Grunde nur in einer zur ZERO-Y parallelen Ebene des Fahrzeuges gemäß SAE gemessen werden kann.

Abbildung 5.9: SAE-Augellipsoiden zur Ermittlung der Freisichtbereiche im Dreidimensionalen

5.3 Methoden zur virtuellen Sichtanalyse in 3D-CAD-Systemen

Im Unterschied zu den Realmethoden, die im Wesentlichen von ein und demselben Augpunkt ausgehen, sich aber dafür grundlegend in der Art und Weise der Datengewinnung unterscheiden, heben sich die einzelnen virtuellen Methoden in der Art und Weise der Augpunktbestimmung voneinander ab.

5.3.1 Punktorientierte Methoden zur virtuellen Sichtanalyse

5.3.1.1 Sichtbereichsanalyse mit SAE-Augellipsoiden

Wie schon beschrieben, stellen die Augellipsoiden die räumliche Version der durch Grund-, Front- und Seitenriss beschriebenen Augellipsen nach SAE dar. Sie geben damit die räumliche Augpunktverteilung innerhalb eines Fahrzeugs wieder und werden in diesem gemäß den Vorschriften für die Augenellipse(n) platziert. Analog zu der voran beschriebenen Vorgehensweise geben auch hier an die Ellipsoiden gelegte Tangenten den Bereich freier Sicht wieder - nun allerdings räumlich. Nach der Platzierung im CAD-Datensatz des zu betrachtenden Fahrzeuges kann für jede beliebige Ebene der räumliche Verlauf aller Geraden ermittelt werden, die tangential an einem der Ellipsoiden und durch die Fensterflächen des Fahrzeugs bei gleichzeitiger Punktberührung von Fahrzeugkomponenten verlaufen (Abbildung 5.10).

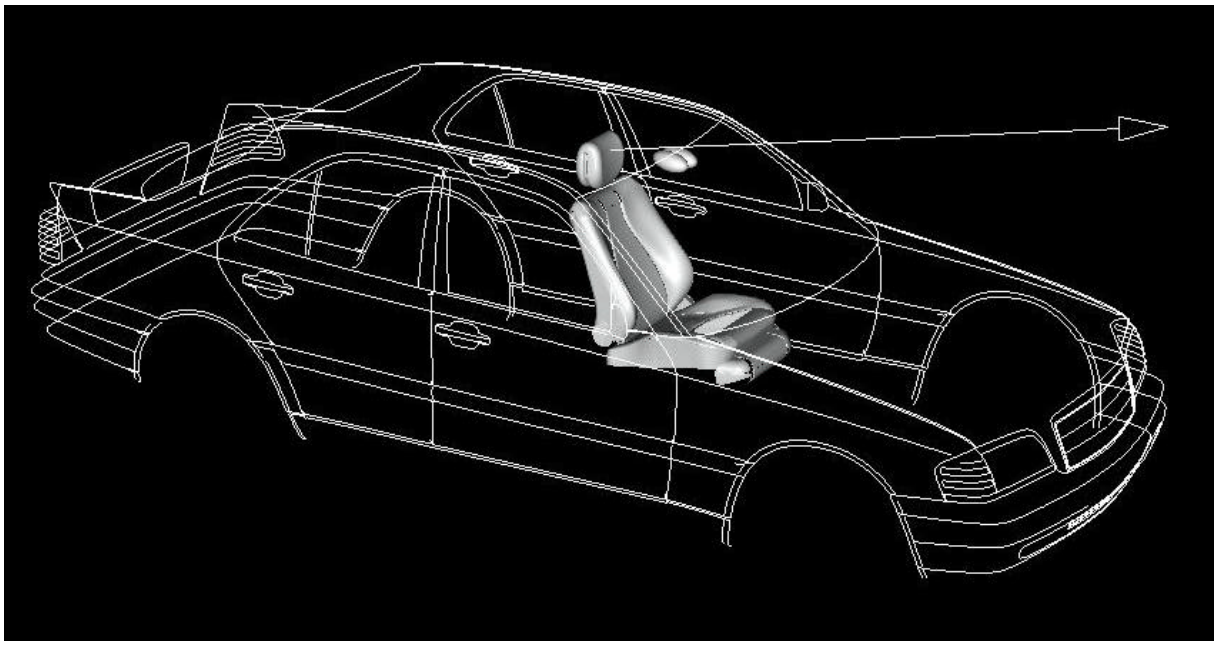


Abbildung 5.10: Sichtbereichsanalyse mit Augellipsoiden nach SAE

Der Vorteil dieser Methode gegenüber den am Realfahrzeug durchgeführten ist, neben der sehr hohen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, auch die Darstellung und Weiterverarbeitung der Messergebnisse. Da diese im Dreidimensionalen vorliegen, ist z. B. der Vergleich verschiedener Fahrzeuge untereinander sehr schnell und anschaulich möglich. Allerdings ist die Methode mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Des Weiteren birgt die Methode alle Nachteile der SAE-Augenellipse - die Aussagekraft der Ergebnisse ist damit stark eingeschränkt.

5.3.1.2 Einfache CAD-Sichtanalyse über feste Augpunkte

5.3.1.2.1 Strahlenanalyse

Diese Methode stellt das virtuelle Pendant zum Lasertheodolitenverfahren und eine Vereinfachung der Sichtanalyse mit Hilfe der Augellipsoiden dar. An deren Stelle treten, je nach Messung, ein oder zwei statische Augpunkte (zumeist die Ellipsenmittelpunkte[4]). Von diesen ausgehend werden - analog zum Lasertheodolitenverfahren - Geraden punkttangential an die Fahrzeugkomponenten gelegt und die sich ergebenden Öffnungswinkel betrachtet. Geschnitten mit z. B. einem Zylinder oder der virtuellen Bodenfläche lassen sich mit Hilfe der Geradenschar die gleichen Ergebnisdarstellungen erzeugen, wie sie bereits unter Abschnitt 5.2.4 vorgestellt wurden.

5.3.1.2.2 Flächenanalyse

Ähnlich dem Schattenwurfverfahren existiert eine weitere generelle Möglichkeit, ausgehend von einem Punkt die Bereiche freier Sicht zu ermitteln. Hierbei werden Flächen erzeugt, die einerseits durch den jeweiligen Augpunkt, andererseits von der umlaufenden, geschlossenen Raumkurve der jeweils betrachteten Fensterfläche aufgespannt werden (Abbildung 5.11). Das Ergebnis sind die so genannten Sichtstrahlengänge. Über das Fahrzeug hinaus verlängert können diese mit beliebigen Flächen oder Zylinder verschnitten und im Dreidimensionalen analysiert werden (Abbildung 5.12).

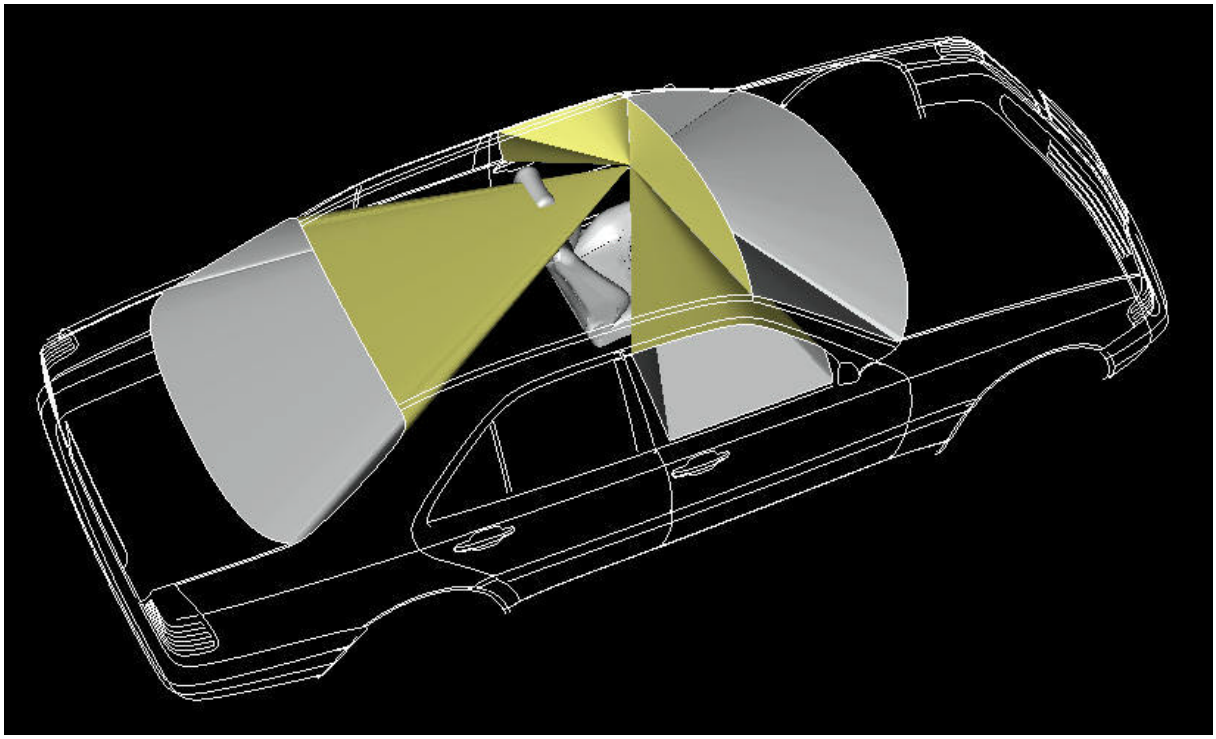


Abbildung 5.11: Sichtbereichsermittlung für die Sicht durch Front- und Heckscheibe sowie der vorderen Seitenscheiben mit Hilfe der Flächenanalyse über einen festen Augpunkt

[4] Nur die x- und z-Koordinaten dürfen verwendet werden. Die y-Koordinaten der Mittelpunkte hätten einen zu großen Abstand zwischen linkem und rechtem Augpunkt zur Folge.

Der entscheidende Vorteil gegenüber der Verwendung von SAE-Augellipsoiden liegt vor allem in der einfacheren und schnelleren Durchführbarkeit. Der für das Messergebnis maßgebliche Nachteil liegt zum einen in dem durch die Verwendung eines statischen Augpunktes einhergehenden Realitätsabweichung - zum anderen aber auch an der Lage der Augpunkte, die bei Verwendung der Ellipsenmittelpunkte nicht der Position realer Augpunkte entsprechen.

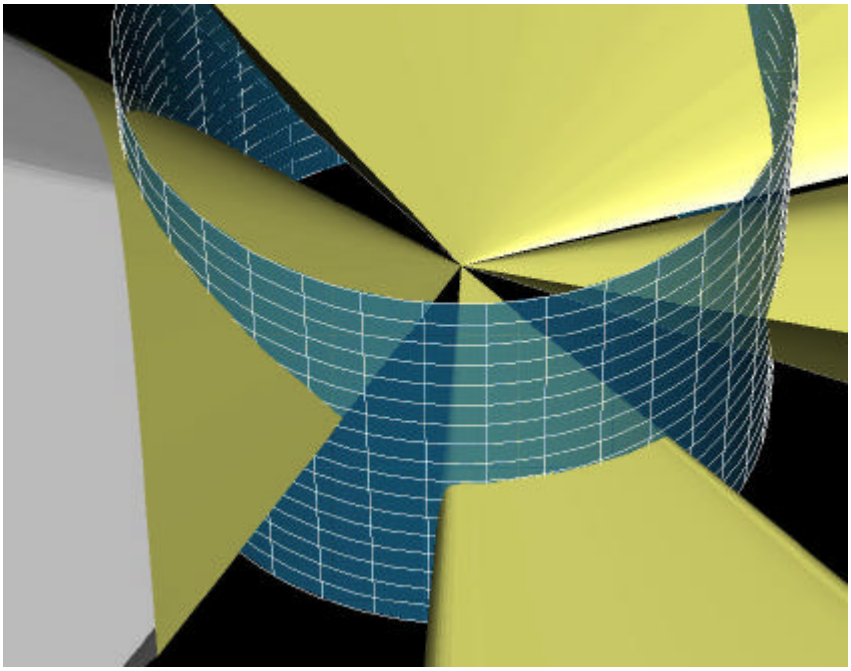


Abbildung 5.12: Strahlengänge der Sichtbereichsermittlung aus Abbildung 5.11 geschnitten mit einem Zylinder

5.3.1.3 CAD-Sichtanalyse mit festen oder teilvariablen Realaugpunktlagen

Will man den Realitätsbezug hinsichtlich der Augpunktlagen steigern, so bietet sich der Einsatz von 3D-Menschmodellen an. Im CAD-Datensatz des Fahrzeugs positioniert, liefern sie eine der Realität sehr nahe kommende Position der Augpunkte. Auch eine Verschiebung der Augpunktlagen kann dabei berücksichtigt werden. Bei manuell zu positionierenden Systemen allerdings nur die aus einer reinen Kopfbewegung resultierenden - also solche, die von der Grundhaltung nicht allzu stark abweichen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Sichtanalyse für Personen unterschiedlicher Größe durchgeführt werden können - zumindest wenn das verwendete System die Variation der Größe zulässt.

5.3.2 Restriktive CAD-Sichtanalysemethoden mit 3D-Haltungsmodellen

Die Position realer Augpunktlagen innerhalb eines Fahrzeugs hängt neben den körperlichen Eigenschaften des Fahrers vor allem von der eingenommenen Haltung ab. Diese ist, neben den individuellen Sitzgewohnheiten des Fahrers, einerseits abhängig von der Gestaltung des Fahrzeugs, andererseits von dem vom Fahrer betrachteten Sichtziel, also von seiner Blickrichtung. Diese Abhängigkeiten lassen sich mit einem Menschmodell, welches manuell im Fahrzeug zu platzieren ist, nur sehr ungenau berücksichtigen. Bessere Ergebnisse erhält man durch ein Menschmodell, dem ein entsprechendes Haltungsmodell hinterlegt ist, welches aufgrund der gegebenen Randbedingungen (z. B. der Relationen von Fahrersitz,

Lenkrad, Pedalerie, Fahrzeugdach sowie vorgegebener Blickrichtung) eine realistische Körperhaltung des Fahrers prognostiziert. Werden auch die fahrerseitigen Aspekte wie Körpergröße, Korpulenz, Geschlecht usw. berücksichtigt, können mit Hilfe dieser blickrichtungsabhängigen Augpunktlagen die Sichtbedingungen eines Fahrzeugs sehr realitätsnah beurteilt werden (Abbildung 5.13).

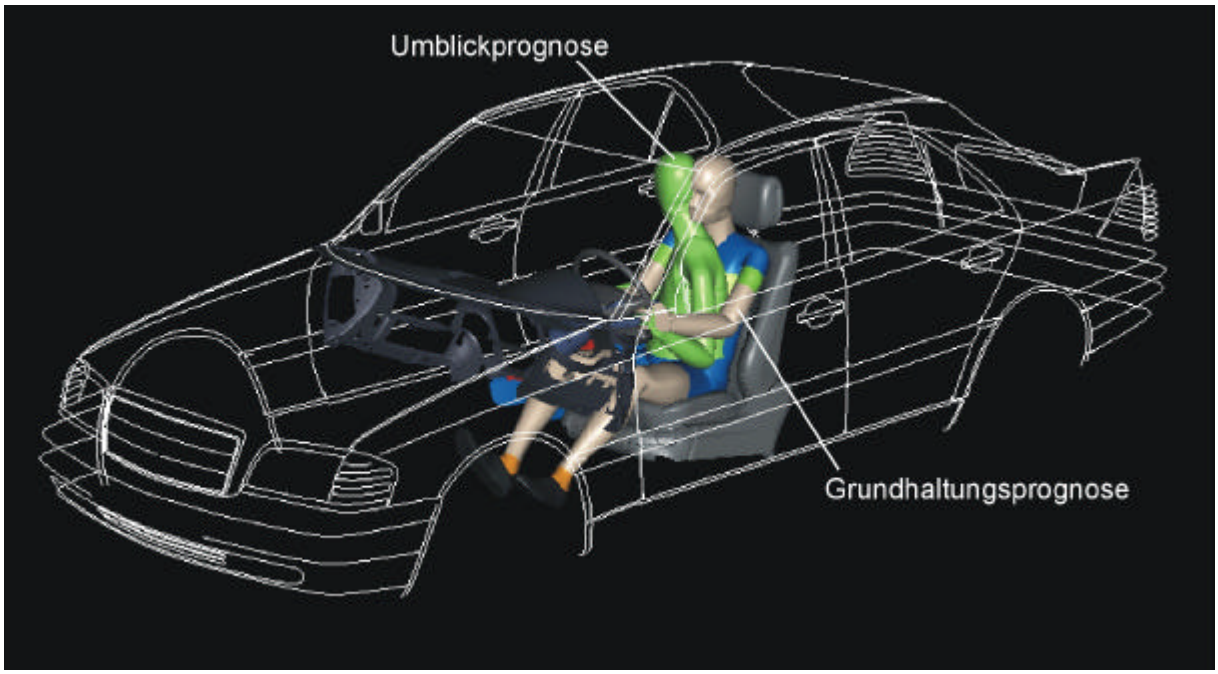


Abbildung 5.13: Körper-, haltungs- und fahrzeugabhängige Augpunktlagenermittlung mit dem Menschmodell RAMSIS

5.3.2.1 Blickfeldanalyse

Bei der Blickfeldanalyse stellt eine der haltungserzeugenden Randbedingungen die Blickrichtung selbst dar.

Entlang der Fixationsachse wird für jedes Auge bzw. für jeden Augpunkt das jeweils zugehörige Blickfeld in Form eines Flächenkegels erzeugt. Diese Flächenkegel können in einem weiteren Schritt mit den Fahrzeugflächen verschnitten und analysiert werden (Abbildung 5.14).

Zu beachten ist allerdings, dass diese Methode für bestimmte Augpunktlagen nur bedingt einsetzbar ist. Ursache hierfür ist die zu einer Blickrichtung gehörende Haltungsprognose, die zumeist schon eine Augbewegung zur Fixierung des Sichtziels vorsieht[5]. Da durch den Sichtkegel das gesamte Blickfeld des jeweiligen Auges wiedergegeben wird, die vorgegebene Blickrichtung aber eine Augbewegung beinhaltet, ist der erzeugte Sichtkegel für diese Augpunktlage zu groß. Dies gilt für all jene Augpunktlagen, bei denen die Fixation des Sichtziels durch die Fixationsachse nur aufgrund von zusätzlichen Augbewegungen möglich ist.

---

[5] Prinzipiell lässt sich diese Augbewegung auch unterdrücken. Allerdings kommt es damit zu unrealistischen Haltungsprognosen, da Haltungsmodelle die Realität wiederspiegeln, in der Fixationen immer mit Augbewegungen einhergehen (siehe Kapitel 3).

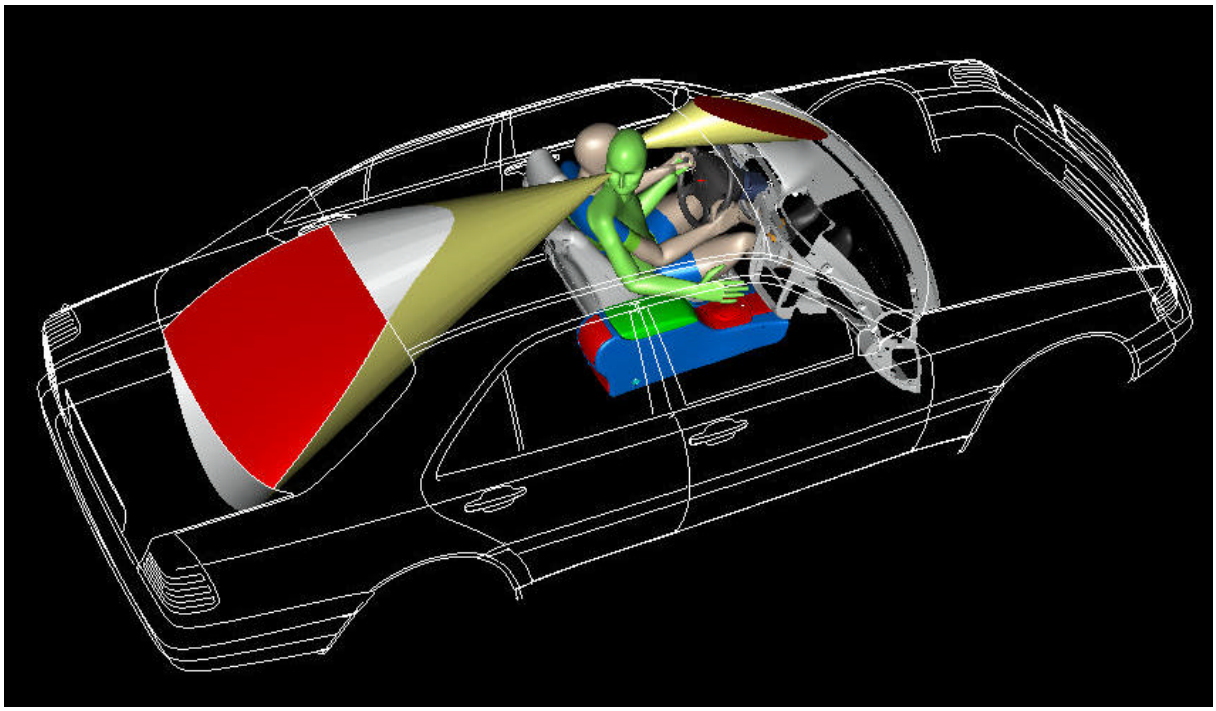


Abbildung 5.14: Sichtkegel des rechten Auges geschnitten mit Front- und Heckscheibenfläche

5.3.2.2 Blickrichtungsanalyse

Bei der Blickrichtungsanalyse handelt es sich um die genaueste, aber zugleich auch aufwändigste Analysemethode[6]. Hier wird für jede einzelne Blickrichtung eine separate Haltung errechnet. Die Betrachtung der zugehörigen Fixationsachse gibt Aufschluss darüber, ob der Blick frei durch die Scheibenflächen verläuft oder durch Fahrzeugkomponenten blockiert wird (Abbildung 5.15).

Betrachtet man alle Fixationsachsen freier Sicht, die tangential an Fahrzeugkomponenten anliegen (Tangentialfixationsachsen), so lassen sich auch hier Strahlengänge erzeugen. Allerdings ist hierfür eine erhebliche Zahl an Tangentialfixationsachsen notwendig.

---

[6] Parametrische Verfahren würden den Aufwand stark einschränken. Sie liegen aber in der benötigten Kombination Menschmodell, Haltungsmodell, umfassende CAD-Umgebung z. Z. noch nicht vor (siehe auch Kapitel 7, Abschnitt 7.4.2).

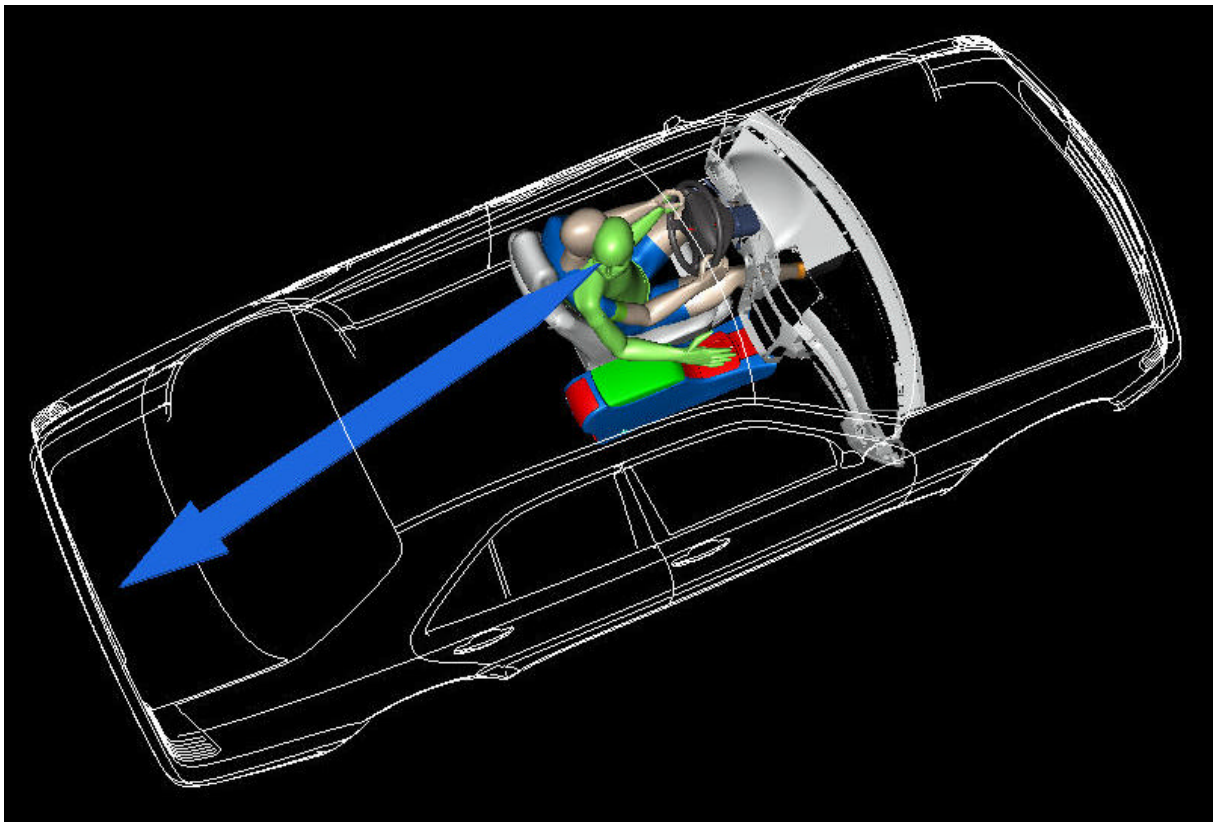


Abbildung 5.15: Blickrichtung des rechten Auges mit zugehöriger Augpunktlage

5.3.2.3 Virtuelle Sichtbeurteilungsmethode

Bis jetzt wurden Verfahren vorgestellt, die die Beurteilung der Sichtverhältnisse aus der Sicht eines außen stehenden Beobachters zulassen. Hier soll nun kurz eine weitere Möglichkeit der Außensichtanalyse vorgestellt werden, die mit Hilfe des Menschmodells *RAMSIS* möglich ist. Das Modell stellt eine Sichtanalysefunktion bereit, mit der sich der Konstrukteur in jeden beliebigen Fahrer versetzen und aus dessen Augen heraus die gegebenen Sichtverhältnisse des betrachteten Fahrzeugs beurteilen kann.

Hierzu wird das Fahrzeug in einen virtuellen Messraum implementiert, der neben einem Maßstab zur besseren Orientierung verschiedene Sichtziele für die Beurteilung aufweist. Abbildung 5.16 zeigt einen solchen Messraum, der als Sichtziel eine sich vor dem Fahrzeug befindliche Ampel beinhaltet.

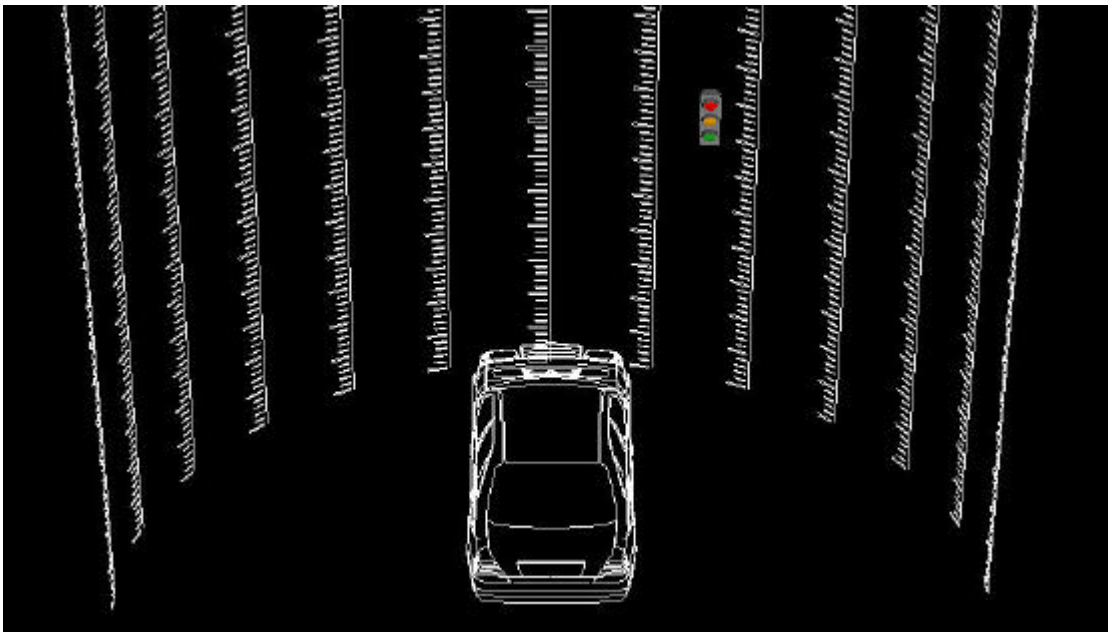


Abbildung 5.16: Fahrzeug im virtuellen Messraum

Dadurch, dass nun die Möglichkeit besteht, die Sichtsituation durch die Augen des im Fahrzeug platzierten Menschmodells zu betrachten, kann sehr leicht beurteilt werden, ob die Sichtbedingungen (hier der Blick auf die Ampel) für den jeweiligen Personentypus ausreichen oder nicht.

Abbildung 5.17 zeigt die sich für einen 30-49 Jahre alten Mann mittlerer Körpergröße, Korpulenz und Proportion ergebenden Verdeckungen durch den Innenspiegel und das Dach beim Blick auf die Ampel durch die Frontscheibe. Wie zu sehen ist, kann die Ampel ohne Kompensationsbewegung aus der Fahrergrundhaltung nicht vollständig eingesehen werden.

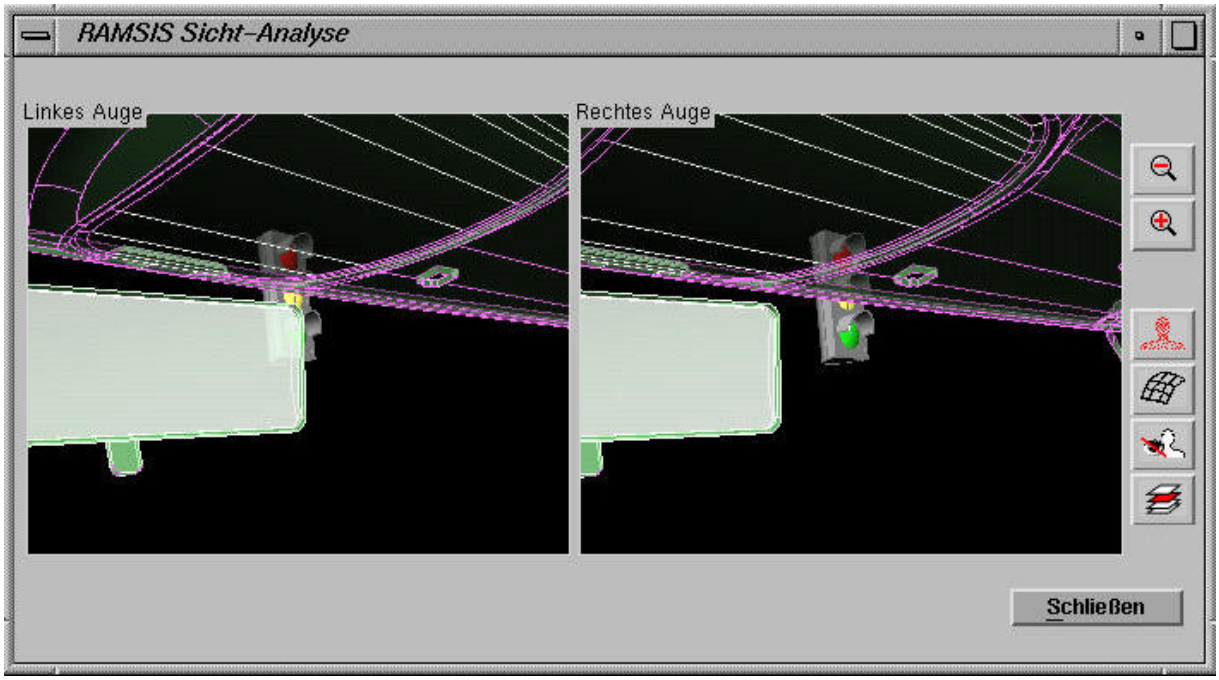


Abbildung 5.17: Virtuelle Sichtbeurteilung mit dem Menschmodell RAMSIS

5.3.2.4 Visualisierungsmodi in RAMSIS

Ab der Version 3.7 stehen dem Anwender von *RAMSIS* zwei weitere Möglichkeiten zur Beurteilung der Sichtverhältnisse zur Verfügung: der Schatten- und der Spot-Visualisierungsmodus (Abbildung 5.18).

Im Schattenmodus werfen alle Flächen, die im Maximalsichtbereich des linken und des rechten Auges liegen, entsprechend eingefärbte Schatten. Bereiche, die nur durch das rechte Auge wahrgenommen werden können, sind grün, die des linken Auges rot eingefärbt. Bereiche, die für beide Augen sichtbar sind, erscheinen dagegen in einem hellen Mischlicht.

Der Spot-Visualisierungsmodus gibt Aufschluss über den Optimalsichtbereich beider Augen, indem Flächen innerhalb dieser Bereiche in den jeweiligen den Augen zugeordneten Farben (rechtes Auge grün, linkes Auge rot) dargestellt werden. Mit Mischlicht beleuchtete Bereiche liegen im Optimalsichtbereich beider Augen. Bereiche außerhalb der Optimalsichtbereiche bleiben im Dunkeln.

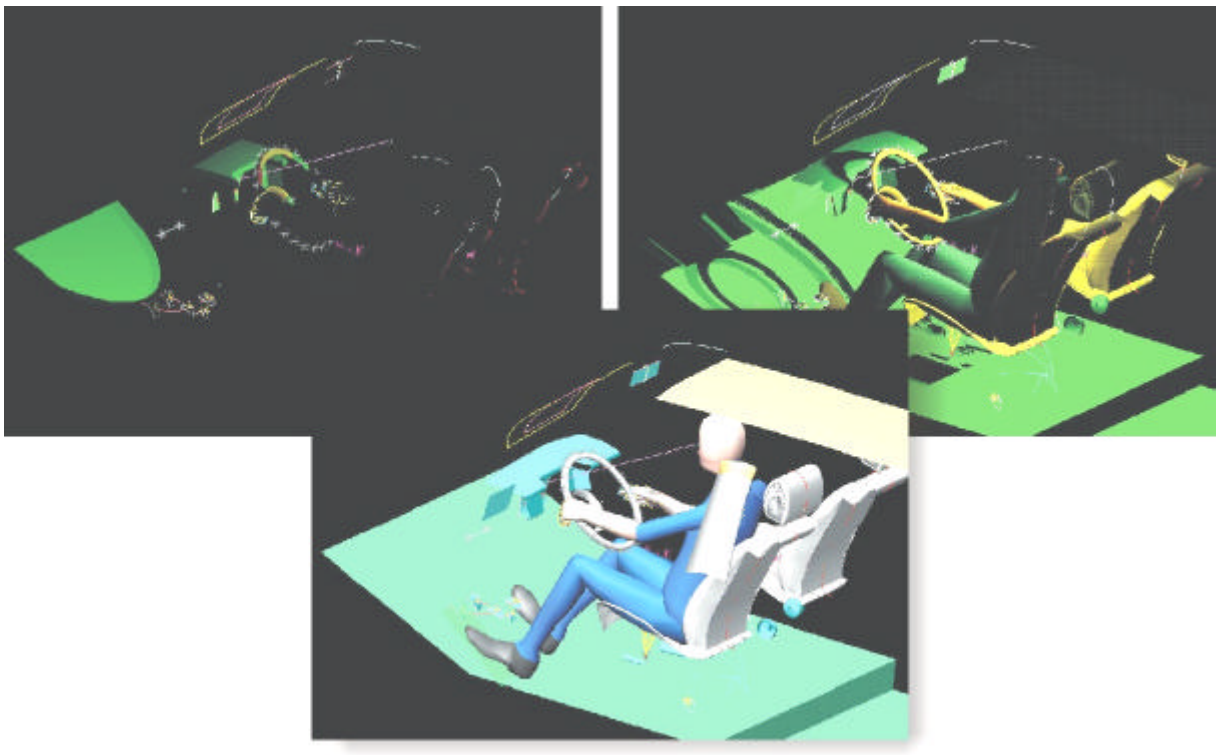


Abbildung 5.18: Dieselbe Szene (vorne Mitte) im Spot- (l.) und Schatten-Visualisierungsmodus (r.)

5.3.2.5 Spiegelsichtanalyse mit RAMSIS

Anstatt durch Spiegel erzeugte Sichtbereiche aufwändig im CAD zu konstruieren, kann dies mit Hilfe einer in *RAMSIS* implementierten Funktion direkt geschehen. Hierzu können beliebige Spiegelflächen (sphärisch oder eben) definiert werden. Aus der aktuellen Haltung wird die Sicht des Mittenauges über den Spiegel errechnet und als Sichtstrahlengang visualisiert (Abbildung 5.19).

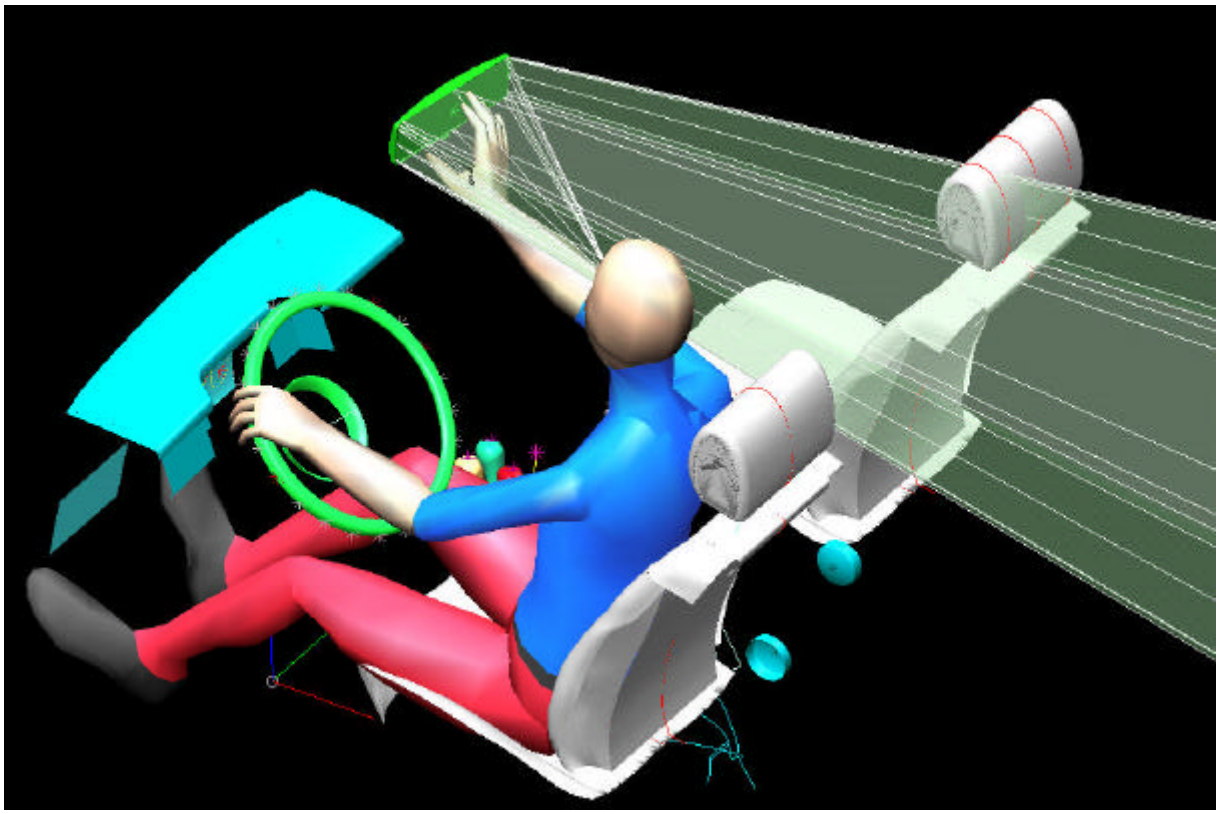


Abbildung 5.19: Sichtstrahlengang der indirekten Sicht über den inneren Rückspiegel

Da es sich bei dem so erzeugten Strahlengang ebenfalls um ein Flächenelement handelt, kann auch er für die Auswertung mit anderen Flächenelementen geschnitten und analysiert werden.

5.3.3 Gemeinsame Vor- und Nachteile der virtuellen Methoden

Ein sehr großer Vorteil in der Verwendung von CAD-Datensätzen bei der Analyse der Sichtverhältnisse in Fahrzeugen besteht neben der hohen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Daten darin, dass Komponenten des jeweiligen Fahrzeugs, die sich während der Untersuchung als Sicht behindernd erweisen (z. B. A-Säulen oder Rückspiegel), leicht in Form und Lage den Erfordernissen für eine bessere Sicht anpassen und sich daraus einstellende Effekte sogleich kontrollieren lassen. Um dies bei den Realmethoden tun zu können, ist unter Umständen der Bau eines (weiteren) Modells notwendig, z. B. dann, wenn verschieden geformte Rückspiegel betrachtet werden sollen.

Der größte Nachteil der virtuellen Methoden ist in den benötigten CAD-Datensätzen der zu untersuchenden Fahrzeuge zu sehen. Dies gilt weniger dann, wenn es um die Analyse eines bestimmten Fahrzeuges geht, welches sich eventuell gerade im Entwicklungsprozess befindet, sondern vielmehr, wenn Vergleichsdaten gesammelt werden sollen, die für eine Quantifizierung der Außensicht benötigt werden. Sinnvollerweise sollten hierfür so viele Fahrzeugtypen und -konzepte wie möglich betrachtet werden. Nur stehen die dafür notwendigen CAD-Datensätze nicht jedem zur Verfügung - bei älteren Modellen existieren sie erst gar nicht. Zwar werden heute Packagedatensätze kommerziell erzeugt und vertrieben - dies beschränkt sich allerdings erstens nur auf aktuelle Fahrzeugreihen und ist zweitens bei der Menge der benötigten Modelle relativ kostspielig. Die Vermessung der gefragten Fahrzeuge

in Eigenregie wiederum ist ausgesprochen zeitaufwändig und setzt spezielle 3D-Armscanner und Koordinatenmessmaschinen voraus.

Allerdings haben die Realmethoden immer dann Vorteile, wenn Platzierungsvariationen ohnehin schon vorhandener Fahrzeugkomponenten untersucht werden sollen, z. B. wenn die durch den Beifahrersitz erzeugten Verdeckungen zu bestimmen sind. Aber auch wenn die Funktion von Sicht beeinflussenden Fahrzeugkomponenten von Interesse ist, z. B. die durch die Scheibenwischer erzeugten Wischfelder, sind die Realmethoden - zumindest wenn es sich um bereits existierende Fahrzeuge handelt - den virtuellen Methoden überlegen.

5.4 Resümee

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die genannten Realverfahren eher zur Erstellung von Vergleichsdaten eignen, als dies die virtuellen Methoden tun. Diese eignen sich dagegen sehr gut, um schon im Entwicklungsprozess eines neuen Fahrzeugs auf die Frage der Außensichtproblematik einzugehen. Grundlage hierfür stellen die an den Realfahrzeugen gefundenen Vergleichsdaten, die mit den zur Verfügung stehenden Verfahren allerdings nur sehr unzureichend die real vorliegenden Sichtbedingungen eines Kraftfahrzeugfahrers wiedergeben. Im folgenden Kapitel wird daher ein neues Verfahren zur Vermessung der Sichtverhältnisse an Realfahrzeugen vorgestellt, welches sich die Vorteile von Real- und virtuellen Methoden zunutze macht.

6 Das Sichtanalysesystem ARGUS

6.1 Einführung

6.1.1 Grundlegendes

Aus den in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführten und näher erläuterten Gründen ist ein neues System zur Vermessung und Analyse der Sichtverhältnisse in Pkws wünschenswert, welches die Nachteile der aktuell zur Verfügung stehenden Messverfahren kompensiert und nach Möglichkeit die folgenden Merkmale aufweisen sollte:

- Die Messungen sollen (teil-)automatisch ablaufen.
- Die Reproduzierbarkeit der Messungen muss gegeben sein.
- Die Messungen müssen auf den anthropometrischen Daten realer Personen beruhen.
- Das Testpersonenkollektiv soll einfach und beliebig zusammengestellt werden können.
- Die Lage der für die Messungen herangezogenen Augpunkte muss zu jedem Zeitpunkt, also für jede Blickrichtung, der Realität entsprechen. D. h. nicht ein statischer Augpunkt darf betrachtet werden - vielmehr sind die Augpunkte dynamisch zu behandeln.
- Die Messungen müssen binokular durchgeführt werden können.
- Die Auswertungen der Messdaten muss in einfacher Weise Computer gestützt erfolgen.
- Zur besseren Beurteilung der gewonnenen Daten sollen neben 2D- auch 3D-Darstellungen der Messergebnisse möglich sein.

Abgesehen von der Tatsache, dass eine Beurteilung der Sichtverhältnisse durch Testpersonen nur bedingt quantitativ möglich ist, müssen die Nachteile, die ein übliches Testpersonenkollektiv mit sich bringt, weitgehend ausgeschlossen werden. Wünschenswert sind frei wählbare „Testpersonen“ in Größe, Alter, Geschlecht etc., die zudem unvoreingenommen jedes Fahrzeug nur hinsichtlich der Sichtverhältnisse beurteilen und persönliche Vorlieben außer Acht lassen. Da solche Kollektive nicht zu erstellen sind, bietet sich der Einsatz eines Menschmodells an.

Prinzipiell wäre es natürlich relativ leicht möglich, die Außensichtbereiche am Computer mit CAD-Daten der zu vermessenden Fahrzeuge und einem geeigneten Menschmode, wie es z. B. *RAMSIS* darstellt, durchzuführen. Allerdings sollen die Messungen an Realfahrzeugen ablaufen, für die nicht zwangsläufig die notwendigen CAD-Daten vorliegen.

6.1.2 Die Idee

Aus dem Anspruch heraus, die betreffenden Fahrzeuge nicht auf Basis ihrer CAD-Datensätze, sondern als Realfahrzeuge zu vermessen, entstand die Vorstellung, eine Kombinatorik aus realem Messsystem und computergenerierter Menschmodellierung zu entwickeln. Das hieraus entstandene Messsystem stellt im Grunde eine automatisierte Version des Lasertheodolitensystems (Abschnitt 5.2.4)

dar. Diesem wird jetzt allerdings nicht nur ein einzelner, theoretischer Augpunkt vorgegeben, sondern verschiedene der Realität entsprechende. Diese Augpunkte sind - wie auch in der Realität - personen-, fahrzeug- und blickrichtungsabhängig und werden dem System durch das Haltungsmodell und die anthropometrische Datenbank des Menschmodells *RAMSIS* bereitgestellt. Dabei wird von einer *idealen Umblickbewegung*, also einer Bewegung ohne Kompensation aufgrund von Sichthindernissen, wie A-, B- und C-Säulen (gegebenenfalls auch der D-Säulen), Kopfstützen und anderen Fahrzeugkomponenten, ausgegangen (Hudelmaier, 1997).

Für das geplante Messverfahren bedeutet dies, dass alle von außen auf den Fahrer einwirkenden Faktoren, bis auf die grundhaltungsbestimmenden, unberücksichtigt bleiben. D. h. es werden neben den individuellen Faktoren des Fahrers, wie Größe, Proportionen, Korpulenz, Alter und Geschlecht, nur Fahrzeugkomponenten berücksichtigt, die die Haltung des Fahrers direkt beeinflussen - also Sitz, Pedalerie, Lenkrad, Fahrzeugboden und Fahrzeugdach. Alle indirekt auf die Haltung einwirkenden Komponenten, d. h. kompensationsbewegungsverursachende, werden als nicht existent betrachtet.

In einem nächsten Schritt wird das sich so ergebende Umblickverhalten dann mit der tatsächlichen Fahrzeuggeometrie konfrontiert. Das Ergebnis kann also als Schnittmenge von idealen Außensichtverhältnissen, in Abhängigkeit der individuellen körperlichen Charakteristika des Fahrers, und den durch die reale Fahrzeuggeometrie auftretenden Verdeckungen betrachtet werden (Abbildung 6.1).

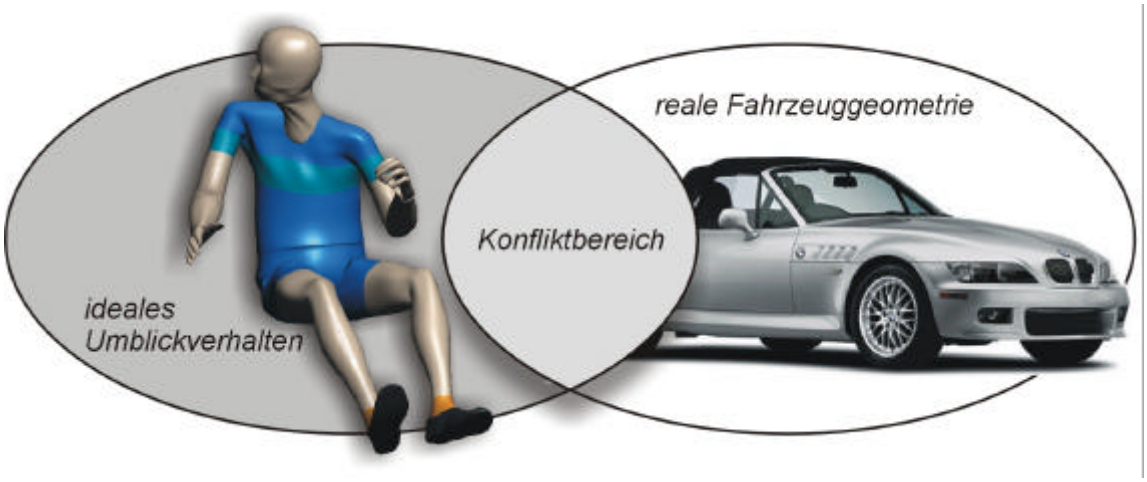


Abbildung 6.1: Konfrontation von idealem, personenspezifischem Umblickverhalten und realer Fahrzeuggeometrie.

Da von einem idealen Umblickverhalten ausgegangen wird, kann der sich in Abbildung 6.1 dargestellte Konfliktbereich als Summe aller die freie Sicht des Fahrers behindernder Fahrzeugkomponenten aufgefasst werden, die Kompensationsbewegungen seitens des Fahrers notwendig machen (würden). Da sich der Konfliktbereich nur bei einem „Glaswagen“ annähernd vollständig vermeiden lassen könnte, ist als Ziel der Fahrzeugkonstruktion anzusehen, dafür Sorge zu tragen, dass Konfliktbereiche nur dort auftreten, wo sie hinsichtlich der Übersicht als unkritisch bzw. für eine bessere Orientierung als erwünscht gelten können.

6.2 Das Messsystem

Aufgrund dieser Überlegungen wurde am *Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München* in Zusammenarbeit mit der *tecmath AG*, Kaiserslautern, das Messsystem ***ARGUS*** (***A****utomatisches* ***RAMSIS****gestütztes* ***G****renzkanten-****U****ntersuchungs****S****ystem*) entwickelt und realisiert.

Mit Hilfe von *ARGUS* können die personenindividuellen Verhältnisse für die Sicht eines beliebigen Fahrers aus jedem real existierenden Fahrzeug detailliert vermessen, analysiert und quantifiziert werden. D. h. während bei anderen Messeinrichtungen lediglich ein theoretischer, statischer Augpunkt betrachtet wird, kann mit *ARGUS* jede gewünschte Person (theoretisch auch jede real existierende) hinsichtlich Ihrer Sichtverhältnisse in einem beliebigen Fahrzeug untersucht werden.

Dabei wird die Lage der Augpunkte nicht nur hinsichtlich der verschiedenen Körpereigenschaften variiert, d. h. die Augpunkte lediglich so innerhalb des Fahrzeugs verschoben, wie sie sich bei Personen unterschiedlicher Größe beim Blick geradeaus einstellen würden. Die wesentliche Neuerung des Systems stellt vielmehr die Berücksichtigung blickrichtungsabhängiger Augpunktlagen dar. Das bedeutet, die betrachteten Augpunkte bewegen sich gemäß der zugehörigen Blickrichtungen im Raum auf einer der Realität entsprechenden Bahn, deren Stützpunkte die bei einer Kopf- und Torsodrehung eingenommenen, realen Augpunktlagen sind.

Die Messungen können dabei sowohl *monokular* als auch *binokular* durchgeführt werden, d. h. die Sichtunterschiede für das rechte und das linke Auge werden im Analyseergebnis dokumentiert. Im Gegensatz zu anderen eingesetzten Verfahren ist es damit möglich, sowohl die freie Sicht als auch auftretende Verdeckungen so darzustellen, wie sie für den Fahrer tatsächlich erscheinen würden. Dies ermöglicht eine realitätsnahe Dokumentation der jeweiligen Außensichtverhältnisse, was die Grundlage für eine Quantifizierung der Sicht darstellt.

Eine Vereinfachung des Messvorgangs stellt die Automatisierung der Messungen dar. Es werden dem Messsystem lediglich die Bereiche genannt, die gemessen werden sollen - Messung und Dokumentation erfolgen dann vollautomatisch. Damit wird nicht nur der Operateur entlastet - vor allem die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen werden entscheidend verbessert.

6.3 Die Hardware des Messsystems

Das Messsystem *ARGUS* besteht im Wesentlichen aus einer CCD-Kamera, die das menschliche Auge simuliert, einer mit dieser verbundenen Bildverarbeitung, die eine Kantenerkennung möglich macht, dem Vermessungsroboter *MARVIN*, der die Kamera in der jeweiligen Augposition mit jeweils zugehörender Blickrichtung des vorgegebenen Fahrers positioniert und dem Umblickprognose- und Analyseprogramm (*UP-AP*), welches von der *tecmath AG* realisiert wurde (Hudelmaier, 1999). Das *UP-AP* prognostiziert - basierend auf der Typologie und Haltungssimulation des 3D-Menschmodells *RAMSIS* und in Abhängigkeit der Packagedaten des betrachteten Fahrzeugs - ein dem gewünschten Fahrer entsprechendes Umblickverhalten. Es stellt die fahrerspezifischen Augpunktlagen in Abhängigkeit zugehörender Blickrichtungen im Vorfeld der Messung bereit und ermöglicht die Auswertung der gemachten Messungen.

Abbildung 6.2 zeigt die einzelnen Komponenten des Messsystems. Der Steuerrechner, der die Umblickprognose erstellt und den Messroboter regelt sowie der Beobachtungsmonitor der Kamera sind dabei nicht dargestellt.

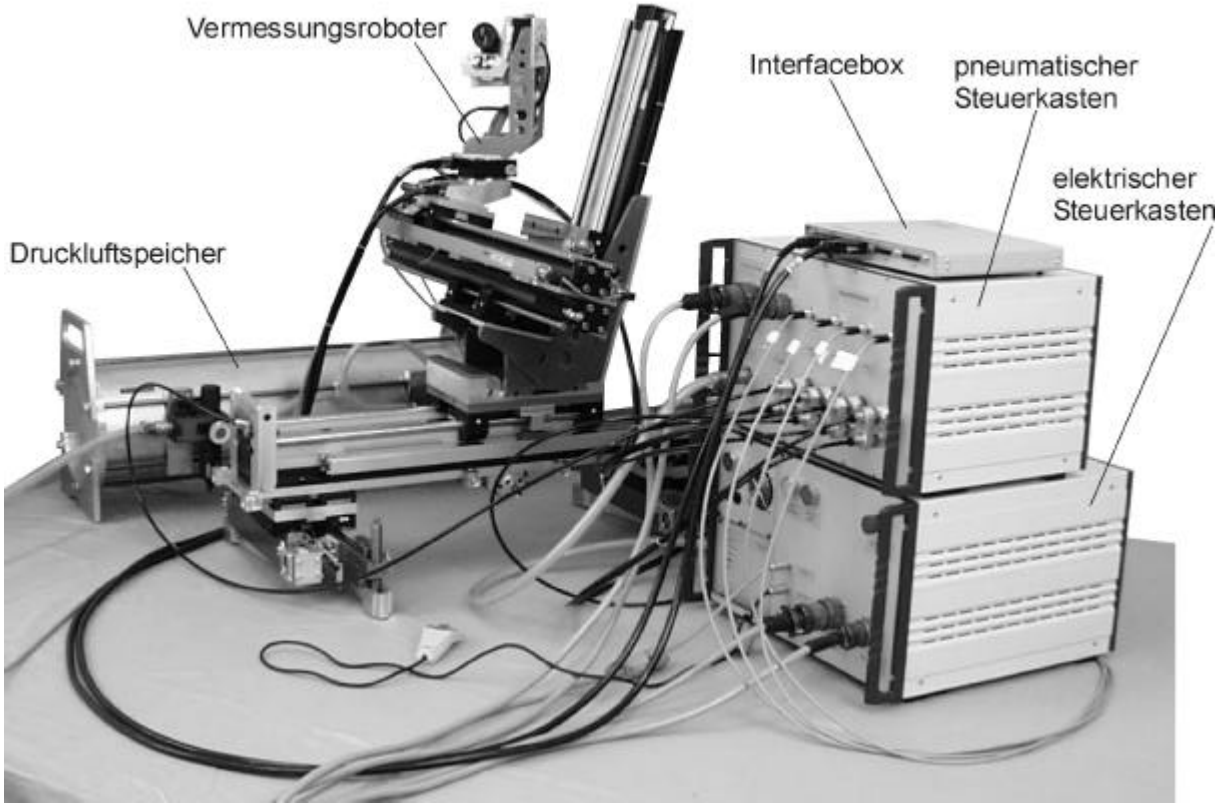


Abbildung 6.2: Hardware-Komponenten des Messsystems ARGUS

6.3.1 Der Vermessungsroboter MARVIN

Der Roboter ***MARVIN*** (***M****odularer* ***A****nalyse****R****oboter zur* ***V****ermessung des* ***I****nsassen****N****utzsichtfeldes;* siehe Abbildung 6.3) platziert die Kamera in den vom *UP-AP* vorgegebenen Augpunkten unter den jeweils zugehörigen Blickwinkeln.

Bei *MARVIN* handelt es sich um einen 2+4-Achsen Roboter, d. h. er besteht aus zwei unabhängig voneinander angesteuerten, elektrisch angetriebenen Rotationsachsen sowie vier pneumatischen Linearachsen, von denen zwei (y1- und y2-Achse) softwaretechnisch miteinander gekoppelt sind.

Abbildung 6.4 zeigt den Aufbau des Sensorkopfes. Die elektrischen Rotationsantriebe 1 und 2 führen die Rektaszension bzw. Deklination der CCD-Kamera unabhängig von den Linearantrieben aus. Dabei schneiden sich die Drehachsen der Rotationsantriebe in der optischen Achse. Damit ist bei einem Schwenk der Kamera kein Nachführen der Optik erforderlich, da kein Versatz bezüglich des Roboters auftritt.

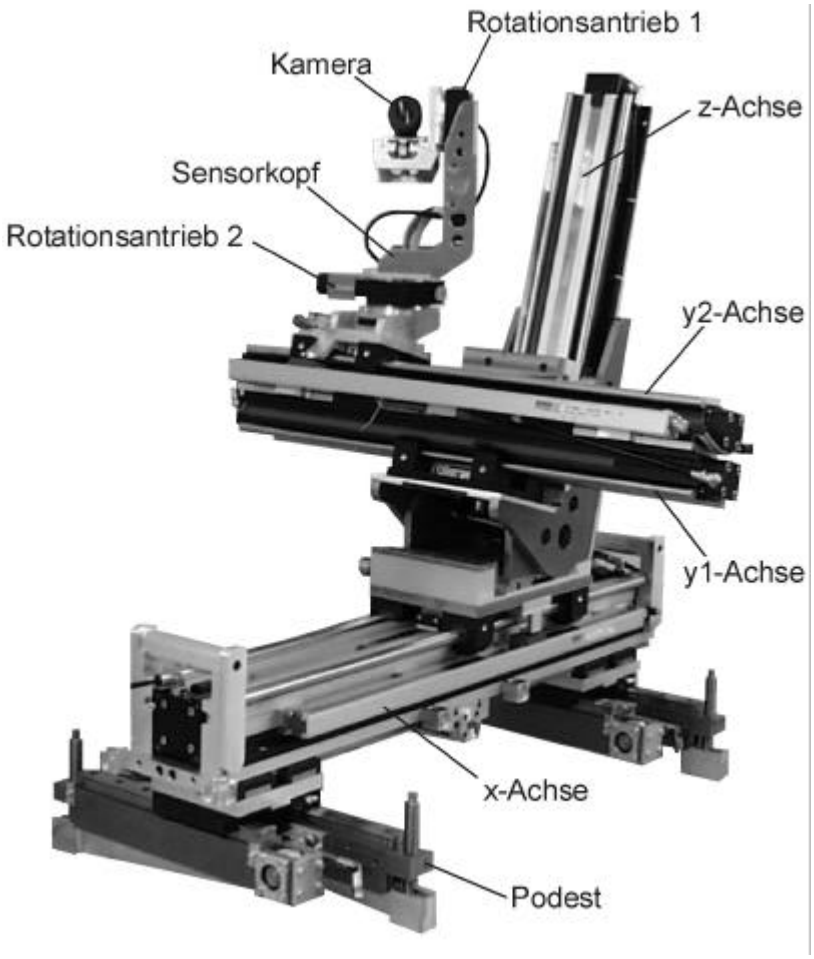


Abbildung 6.3: Modularer Vermessungsroboter MARVIN mit CCD-Kamera und anpassungsfähigem Podest zum Einspannen im Fahrzeug

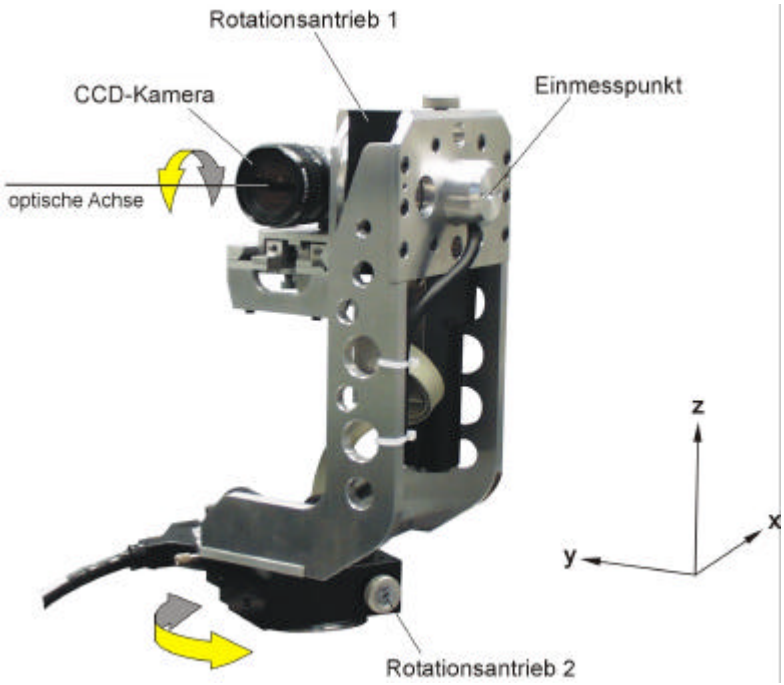


Abbildung 6.4: Der Aufbau des Sensorkopfes

Über den Einmesspunkt an der linken Seite des Sensorkopfes wird die Lage des Roboters im Fahrzeug mit Hilfe einer 3D-Koordinatenmessmaschine bestimmt, d. h. die Stellung des Roboterkoordinatensystems bezüglich des Fahrzeugkoordinatensystems ermittelt, was für die Ausrichtung des Roboters innerhalb des Fahrzeugs von entscheidender Bedeutung ist (siehe Abschnitt 6.5.1 Die Kalibrierung des Roboters). Der Ursprung des Roboterkoordinatensystems liegt dabei im Schnittpunkt der Rotationsachsen mit der optischen Kameraachse. Seine Dimensionen sind entlang der Drehachsen und der optischen Achse des Sensorkopfes so orientiert, dass die positive x-Achse entlang der optischen Achse entgegen der Blickrichtung verläuft (siehe Ersatzkoordinatensystem in Abbildung 6.4). Der Ursprung des Roboterkoordinatensystems ist dabei der Kamerapunkt, der durch den Roboter in die durch *RAMSIS* errechneten fahrerspezifischen Augpunktkoordinaten gelegt wird. D. h. bei der Vermessung nimmt der Ursprung des Roboterkoordinatensystems die Lagen der *RAMSIS*-Augpunktlagen ein (Abbildung 6.5).

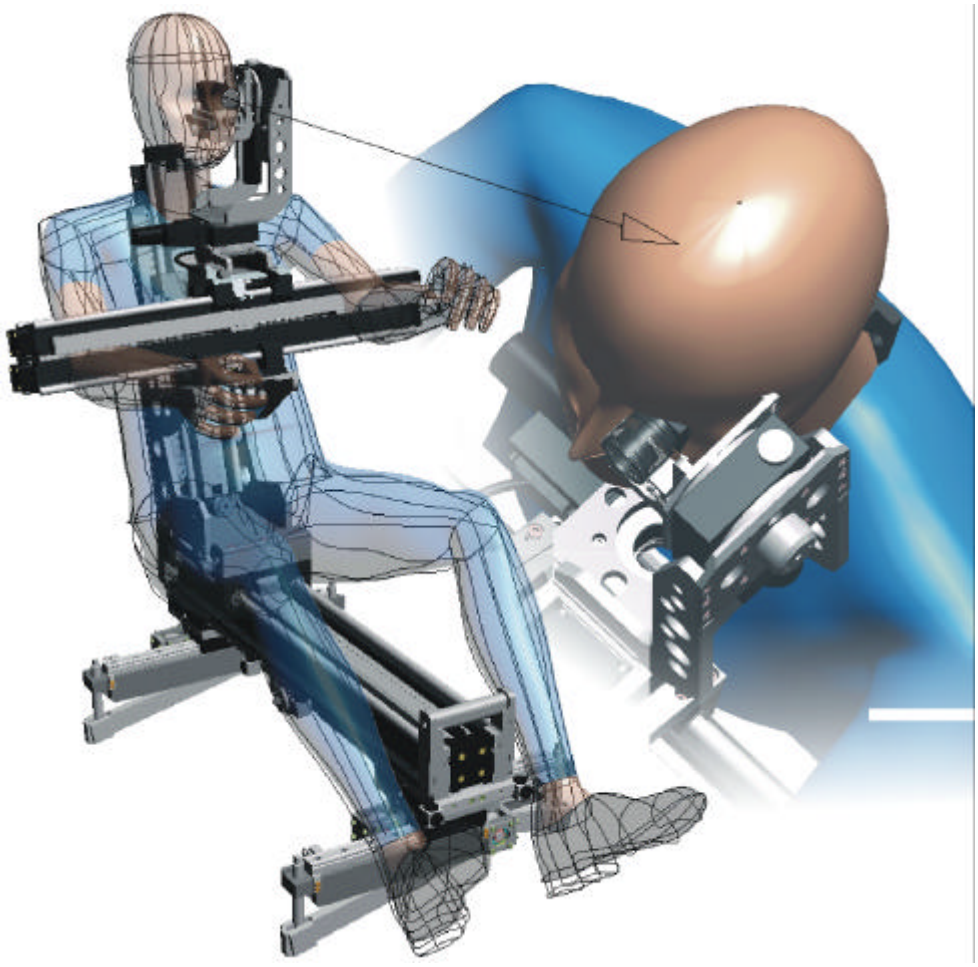


Abbildung 6.5: Die Kamera des Messroboters positioniert im linken Auge beim Blick geradeaus, überlagert mit der entsprechenden augpunktbestimmenden Haltungsprognose von RAMSIS

Da der Vermessungsroboter im Inneren des zu vermessenden Fahrzeuges, anstelle des Fahrersitzes[7], platziert wird (Abbildung 6.6), und dies in Fahrzeugen jeder Größe

[7] Bei der Vermessung der Außensicht des Beifahrers anstelle des Beifahrersitzes.

und Klasse möglich sein soll, ist ein geringer Bauraum bei gleichzeitig möglichst großem Arbeitsbereich notwendig. Daher sind die Linearachsen in der aktuellen Version als pneumatische Antriebe (Kolbenstangenlose Zylinder) ausgeführt. Diese werden über elektrische Servoventile angesteuert. Dabei liegt an den Servoventilen immer der konstante Arbeitsdruck von 8 bar an.

Die aktuelle Position der einzelnen Linearachsen wird über absolute Wegmesssysteme bestimmt, welche laufend die aktuelle Position der jeweiligen Achse an den Steuerrechner zurückgeben. Je nach vorgegebener Sollposition schließt bzw. öffnet dieser die entsprechenden Ventile. Dabei erreicht jede Achse eine Wiederholgenauigkeit von $\pm$ 0,15 mm.

Abbildung 6.6: Vermessungsroboter MARVIN innerhalb eines BMW der 3er-Serie - anstelle des Fahrersitzes montiert

Der Einbau des Roboters in das Fahrzeug erfolgt durch die Fahrertür. Um dies zu vereinfachen ist der Roboter modular aufgebaut. Zunächst wird nur das Podest mit angeschlossener x-Achse in die Fahrzeugwanne gehoben und über die Podestfüße mit dieser verspannt. Es folgen nacheinander die anderen Achsen des Roboters - zum Schluss wird der Sensorkopf aufgesetzt (Abbildung 6.7). Die einzelnen Komponenten lassen sich leicht über selbstgreifende Schnappkupplungen zusammenfügen bzw. trennen. Die Kupplungen sind dabei so gestaltet, dass sie die genaue Ausrichtung der Komponenten zueinander garantieren. Zudem verhindert eine Dreharretierung das unbeabsichtigte Öffnen.

6.4 Die Steuer- und Analysesoftware des Messsystems

Die Software des Systems besteht aus zwei voneinander getrennt arbeitenden Programmbereichen. Dem von der *tecmath AG* erstellten und bereits erwähnten *UP-AP,* welches die Umblickprognosen und Analysefunktionen bereit stellt und den Steuerprogrammen des Roboters, welche am *Lehrstuhl für Ergonomie* entwickelt und programmiert wurden. Beide Programmbereiche sollen innerhalb der nächsten Abschnitte näher erläutert werden.

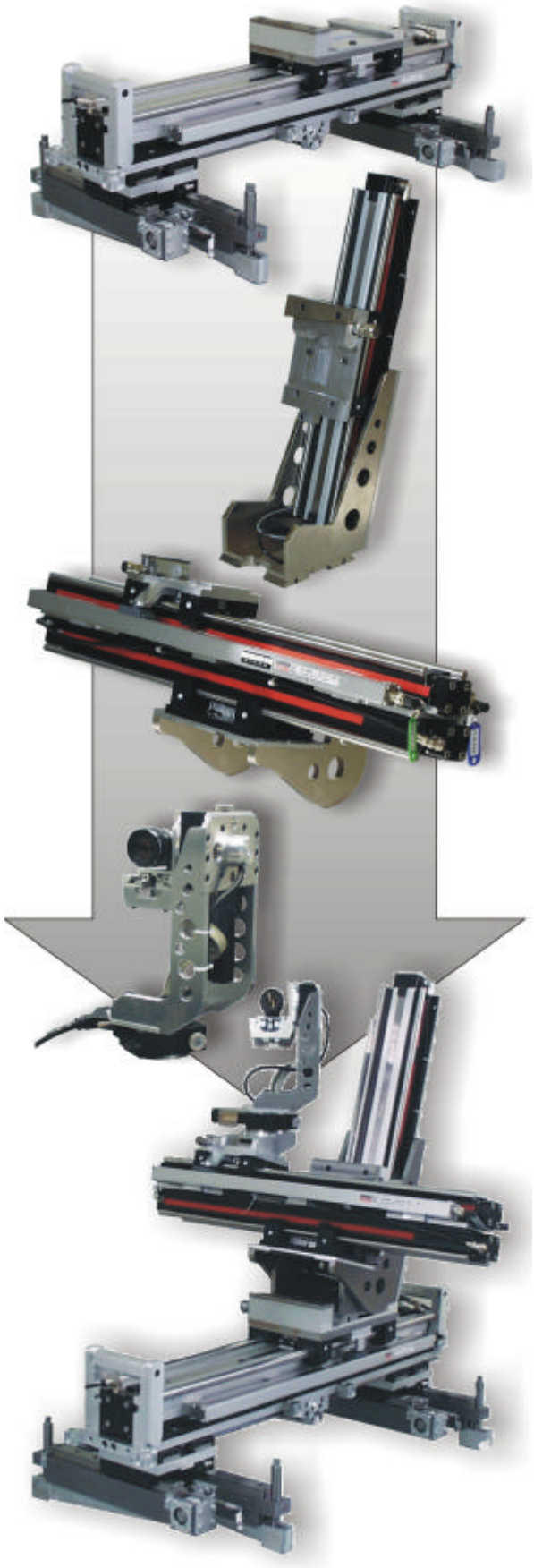


Abbildung 6.7: Die Komponenten des Messroboters in der Montagereihenfolge

6.4.1 Das UP-AP

Für die Bereitstellung der für eine Fahrzeugvermessung benötigten Daten sowie für deren Verarbeitung und Analyse, verfügt das Messsystem *ARGUS* über eine spezielle Programmeinheit - Das *Umblickprognose- und Analyseprogramm* (*UP-AP*). Dies berechnet im Vorfeld der eigentlichen Messungen im Fahrzeug für jede virtuelle Versuchsperson des gewünschten Testkollektivs, in Abhängigkeit der Fahrzeuggeometrie, ein spezifisches Umblickverhalten - die so genannte Umblickprognose. Dabei sind dem *UP-AP* die anthropometrischen Daten und das Haltungsmodell des Menschmodells *RAMSIS* hinterlegt, so dass auch das Testkollektiv - im Rahmen der in *RAMSIS* implementierten Möglichkeiten - frei zusammen gestellt werden kann. Damit bildet *RAMSIS* eine zentrale Komponente des Systems, die eine realistische Sichtvermessung überhaupt erst möglich macht.

Zur Erstellung der Umblickprognose wird zunächst ein neues Projekt über das Eingabefenster des Analyseprogramms (Abbildung 6.8) angelegt oder ein schon bestehendes zur Weiterbearbeitung geöffnet. Als Projekt wird dabei eine fortlaufende Messung eines bestimmten Fahrzeugs mit zugeordnetem Testkollektiv bezeichnet.

Abbildung 6.8: Projektfenster des Umblickprognose- und Analyseprogramms

Damit die einzelnen „Testpersonen“ in dem zu vermessenden Fahrzeug eine möglichst der Realität entsprechende Haltung einnehmen können, werden vom Fahrzeug bestimmte Punktkoordinaten benötigt, die mit einer 3D-Koordinatenmessmaschine am Fahrzeug abgenommen und in einem Dialogfenster (Abbildung 6.9) eingegeben werden. Im Einzelnen sind dies:

- der Sitzreferenzpunkt (SgRP) nach SAE
- vier Eckpunkte des H-Punktverstellfeldes des verwendeten (Fahrer-) Sitzes
- der Fersenpunkt AHP nach SAE
- die Lage der Lenkradhinterkante
- die Neigung des Lenkrades im Raum
- der Durchmesser des Lenkrades
- der Durchmesser des Lenkradkranzes
- die Lage des Fahrpedals
- der Kopfraum (H61 nach SAE)
- die Koordinaten der Radaufstandspunkte
- die gewünschte Torsoneigung

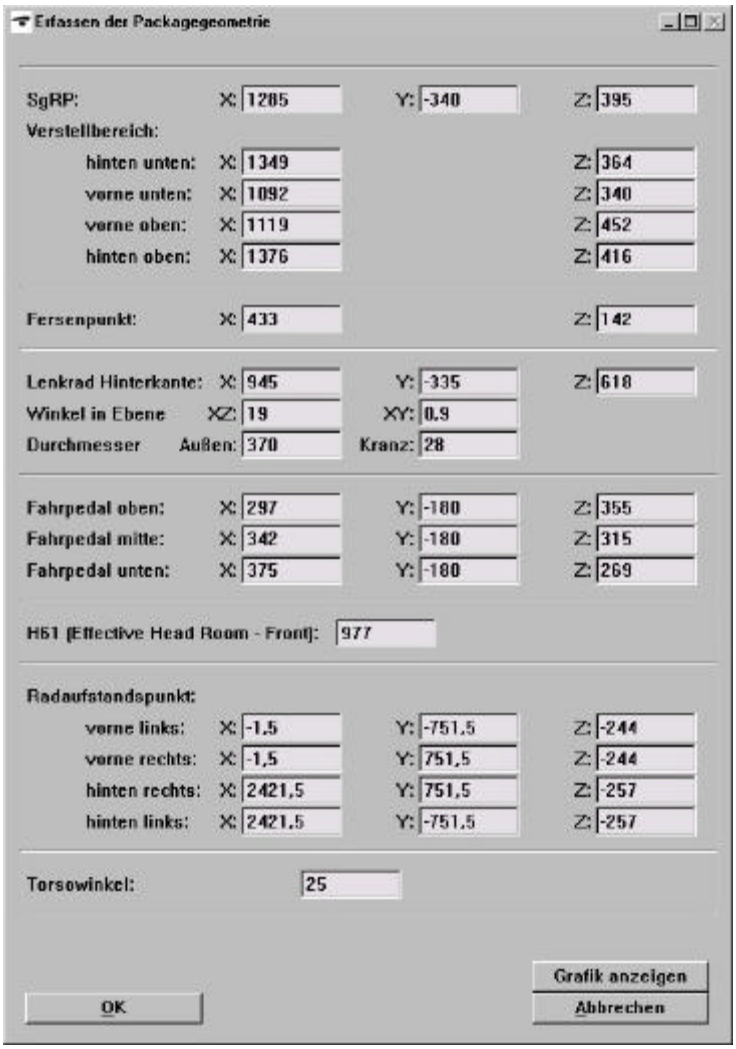


Abbildung 6.9: Dialogfenster zur Eingabe der Fahrzeugkoordinaten

Aus diesen Punktkoordinaten wird automatisch eine dem Fahrzeug entsprechende Packagegeometrie erstellt, die alle für die Platzierung des *RAMSIS*-Testkollektivs wichtigen Restriktionspunkte und -flächen beinhaltet. Zusätzlich abgeleitet für die Platzierung werden eine plane Fahrzeugdach- und Fersenaufstandsfläche sowie - wichtig für die spätere Auswertung - die Höhe des Fahrzeugs über dem Boden, d. h. eine Straßenebene.

Nicht explizit eingegeben werden die Restriktionen für die Lage der Hände, also die Kontaktpunkte der Handflächen des jeweiligen *RAMSIS*-Typs mit dem Lenkrad. Diese werden durch einen internen Algorithmus so bestimmt, dass die Hände in einer „Viertel-vor-Drei-Stellung“ am Lenkrad liegen[8].

Nachdem das System alle notwendigen Daten über das Fahrzeug erhalten hat, kann das gewünschte Testkollektiv über ein Dialogfenster beliebig definiert werden (Abbildung 6.10). Da, außer den verschiedenen Nationalitäten, alle in *RAMSIS* verfügbaren anthropometrischen Daten implementiert sind, stehen das Geschlecht,

[8] Bei Blickrichtungen, die, gemessen in der Horizontalebene, über 90° zur Medianebene des *RAMSIS*-Manikins liegen, löst sich die Hand der jeweils drehungszugehörigen Seite vom Lenkrad ab.

die Korpulenz und Körperhöhe, aber auch die Proportionen, die Altersgruppe sowie das Bezugsjahr als Kriterium zur Wahl. Die genannten Kriterien können dabei zur Bildung der einzelnen „Personen“ des Kollektivs beliebig variiert und kombiniert werden[9]. Aus den Kombinationsmöglichkeiten von Geschlecht, Körperhöhe, Korpulenz und Proportion kann das Testkollektiv aus 90 verschiedenen Typen zusammengestellt werden. Durch die Zuordnung einer der möglichen Altersgruppen erhöht sich die Anzahl entsprechend. Überdies stehen die Bezugsjahre 1984 bis 2010 zur Verfügung.

Ferner besteht die Möglichkeit, jeder „Testperson“ ein *Sichtschema* zuzuweisen. D. h. es wird festgelegt ob die Sicht binokular oder monokular erfasst werden soll. Bei einer monokularen Sicht werden im Folgenden die Lagen des Mittenauges, für die binokulare die Werte des rechten und des linken Augpunktes bezüglich des Fahrzeugkoordinatensystems durch das Analyseprogramm berechnet.

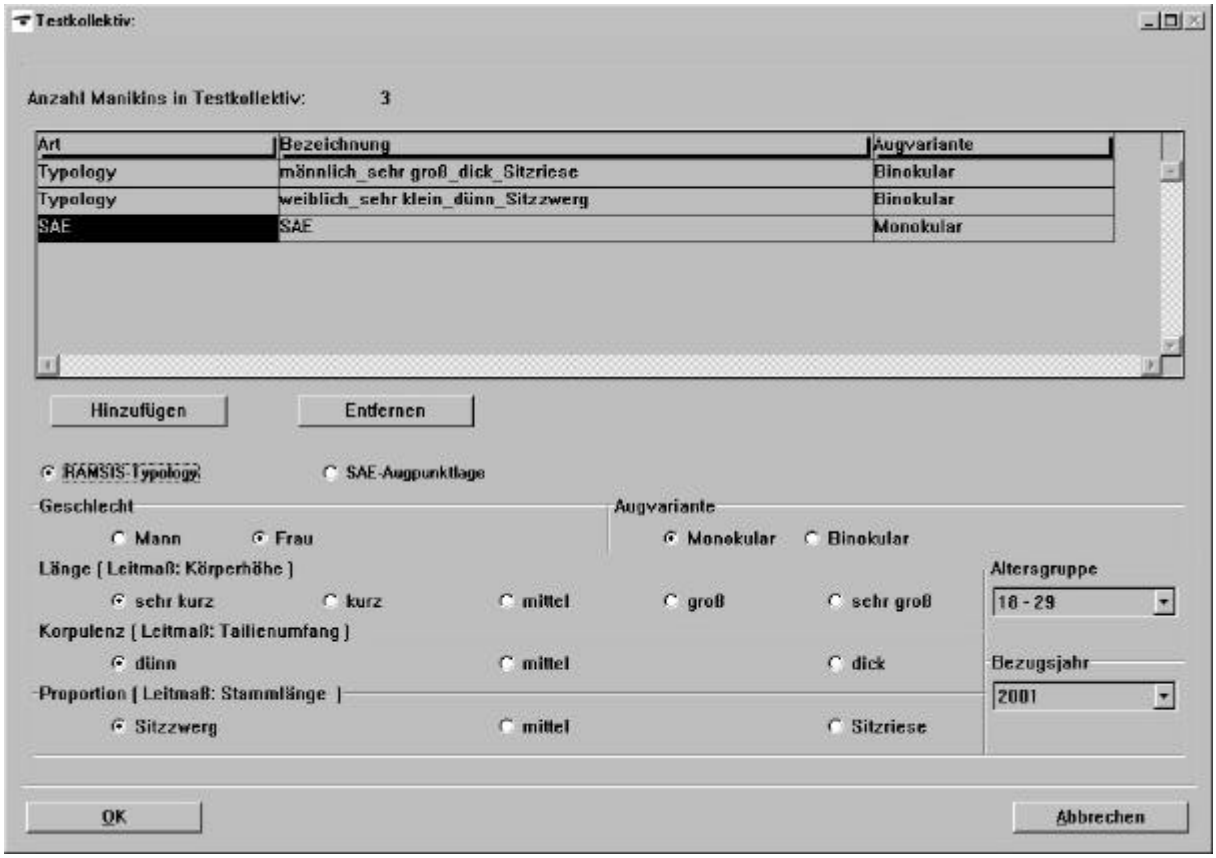


Abbildung 6.10: Dialogfenster zur Erstellung der Testkollektive

Ist das Testkollektiv festgelegt, werden durch das Programm die einzelnen „Personen“ auf der Basis des *RAMSIS*-Pkw-Fahrer-Haltungsmodells in der Fahrzeuggeometrie platziert. Für die Bestimmung dieser Ausgangshaltung werden weitestgehend die von Kolling (1998) gefundenen Restriktionen verwendet, die eine sehr genaue Haltung des jeweiligen Typs innerhalb des betrachteten Fahrzeugs garantieren. Die Tabellen A.1 und A.2 im Anhang zeigen die für die Ausgangshaltung gesetzten Restriktionen.

---

[9] Das Kindmodell steht – aus der Überlegung heraus, dass die Sicht von Pkw-Fahrern vermessen werden soll – nicht zur Verfügung.

Wenn die Ausgangshaltung der „Testpersonen“ im Fahrzeug bekannt ist, berechnet das Programm das Umblickverhalten für jede einzelne „Person“ des Kollektivs. Hierzu werden die zuvor gemachten Restriktionen verändert (siehe Anhang) und zudem Blickrichtungsvorgaben gemacht. Diese Blickrichtungsvorgaben werden durch eine eigene Datei, der *viewrobot.ini*, bereitgestellt und können hier auch variiert werden (Tabelle A.3 im Anhang zeigt die Standardblickrichtungsvorgaben). Die wahrscheinlichste Haltung, die zur Erfüllung jeder einzelnen Vorgabe eingenommen wird, wird berechnet. Auch diese Berechnungen basieren auf dem *RAMSIS*-Haltungsmodell.

Durch die verschiedenen Blickrichtungsvorgaben kommt es bezüglich der Ausgangshaltung zu Haltungsänderungen und damit zu Verschiebungen der Augpunktlagen. Das Ergebnis ist eine der Anzahl der Blickrichtungsvorgaben entsprechende Zahl von Haltungsprognosen, wobei jeder einzelnen dieser Richtungen nun jeweils eine bestimmte Augpunktlage zugeordnet ist (Abbildung 6.11). Die Koordinaten dieser Punkte mit zugehörigem Blickrichtungsvektor werden gespeichert und in einer Datei, der so genannten *Umblickdatei*, abgelegt. Beim Start der eigentlichen Messungen am Fahrzeug wird diese Umblickdatei an das Steuerprogramm des Roboters übergeben.

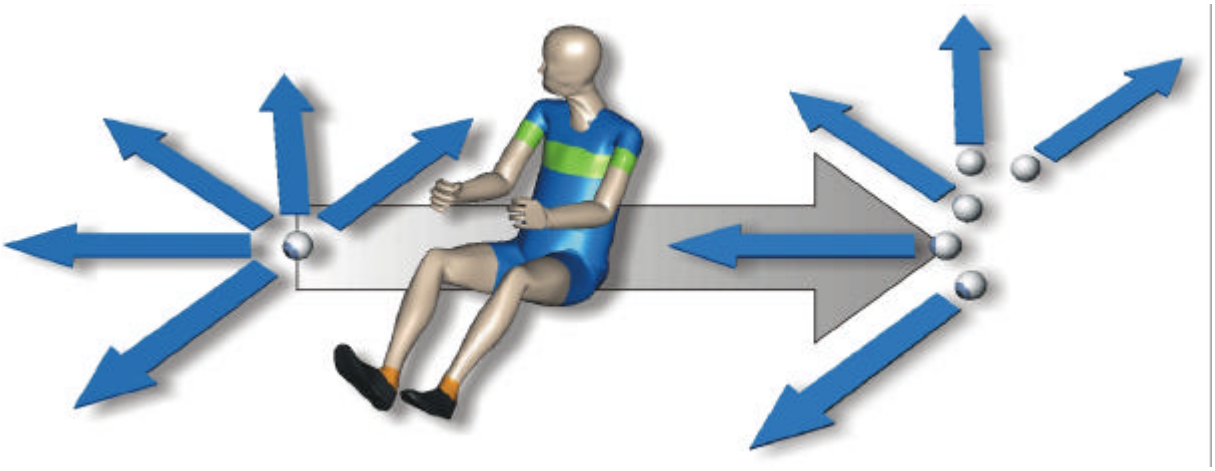


Abbildung 6.11: Blickrichtungsvorgaben (hier nur in der Horizontalebene) werden durch die Umblickprognose des UP-AP zu Blickrichtungsvektoren mit zugehörigen Augpunktlagen

6.5 Die Steuerung des Roboters

Um den Roboter in eine bestimmte Position zu verfahren, wird über einen D/A-Wandler eine sollpositionsabhängige Spannung an den der zu bewegenden Achse zugeordneten Kanal angelegt. Der angeschlossene Regelkreis regelt die Position des pneumatischen Aktors mit Hilfe des zugehörigen Stellers und Sensors aus. Das Schwenken und Drehen der Kamera wird durch zwei elektrische Servomotoren realisiert, die über eine separate Steuerung verfügen. Die Bildinformationen der Kamera werden über die Bildverarbeitung und einen ihr zugeordneten Preprozessor verarbeitet und dann an das Steuerprogramm des Systems weitergeleitet.

Dieses Steuerprogramm wurde objektorientiert in Visual C++ programmiert. Es beinhaltet die Benutzerinterfaces zum Abstimmen der Aufgabeninhalte von Kalibrierung und Messung und eine Dynamic Link Library (DLL), welche die Schnittstelle zur Steuerung des Roboters bereit stellt (Sonntag, 2000).

Zur Kalibrierung des Systems oder zum Starten einer Messung wird das jeweilige Programm aus dem *UP-AP* heraus aufgerufen und die benötigten Datensätze übergeben. Das *UP-AP* tritt darauf hin in den Hintergrund. Die zur Kalibrierung oder zur Vorbereitung der Messung durch den Benutzer eingegebenen Informationen werden separat gespeichert und am Ende der jeweiligen Aktion an das *UP-AP* zurückgegeben.

6.5.1 Die Kalibrierung des Roboters

Die Kalibrierung des Roboters umfasst zwei Bereiche. Da das System bei jedem Fahrzeugtyp bzw. -konzept einsetzbar sein soll und daher die Verfahrwege der Roboterachsen durchaus größer sein können, als dies für das aktuell betrachtete Fahrzeug notwendig wäre, muss als erstes der maximale Verfahrbereich jeder Achse innerhalb des Fahrzeugs im Steuerprogramm festgelegt werden. Durch diese Festlegung der maximalen Verfahrwege des Roboters können, ohne den Einsatz teurer Sensortechnik, Schäden am Interieur vermieden werden.

Da die maximalen Verfahrwege der Achsen nicht in der Steuersoftware abgelegt sind, sondern vom Operateur während der Kalibrierung festgelegt werden, können die einzelnen Roboterachsen bei Bedarf durch längere bzw. kürzere ersetzt werden. Zusammen mit dem bereits in Kapitel 4 Abschnitt 4.5.1 erwähnten Lkw-, H30- sowie Pilotenhaltungsmodell ist damit der Einsatz des Analysesystems auch in einem Lkw, Omnibus oder Flugzeug denkbar.

Der zweite Kalibrierungsschritt umfasst den Abgleich des Roboterkoordinatensystems mit der Ausrichtung des Fahrzeugkoordinatensystems. Zwar kann die Orientierung des Roboters über entsprechende Verstelleinrichtungen am Podest variiert werden, für einen exakten Abgleich der Systeme ist dies allerdings unzureichend. Daher muss dieser softwaretechnisch erfolgen.

Für die Durchführung beider oben genannten Schritte wird das Kalibrierprogramm der Robotersteuerung aufgerufen. Abbildung 6.12 zeigt das zugehörige Dialogfenster. Hier wird zunächst der maximale Verfahrbereich des Roboters aus den beschriebenen Gründen innerhalb des Fahrzeugs festgelegt.

Für die Ausrichtung des Roboterkoordinatensystems bezüglich des Fahrzeugkoordinatensystems werden durch den Roboter vier Punkte innerhalb des zuvor festgelegten Verfahrbereichs automatisch angefahren. Deren Koordinaten im Raum werden durch eine 3D-Koordinatenmessmaschine ermittelt und dem Steuerprogramm mitgeteilt[10]. Als Referenzpunkt am Roboter dient der sich am Sensorkopf befindliche Einmesspunkt (Abbildung 6.4), dessen Versatz zum Roboterkoordinatensystem automatisch berücksichtigt wird. Da sich der Sensorkopf bei der Kalibrierung in Grundstellung befindet, d. h. das Roboterkoordinatensystem exakt entlang den Linearachsen des Roboters ausgerichtet ist, kann über entsprechende Drehmatrizen die Lage des Roboterkoordinatensystems bezüglich des Fahrzeugkoordinatensystems im Raum berechnet und das Ergebnis dem Steuerprogramm übermittelt werden.

---

[10] Für die Ermittlung der Koordinaten des Einmesspunktes wird der Umstand ausgenutzt, dass das Fahrzeug zur Bestimmung der benötigten Fahrzeugkoordinatenpunkte auf einer 3D-Koordinatenmessmaschine eingerichtet ist. Mit dieser werden die Koordinaten des Einmesspunkts am Sensorkopf des Roboters bestimmt.

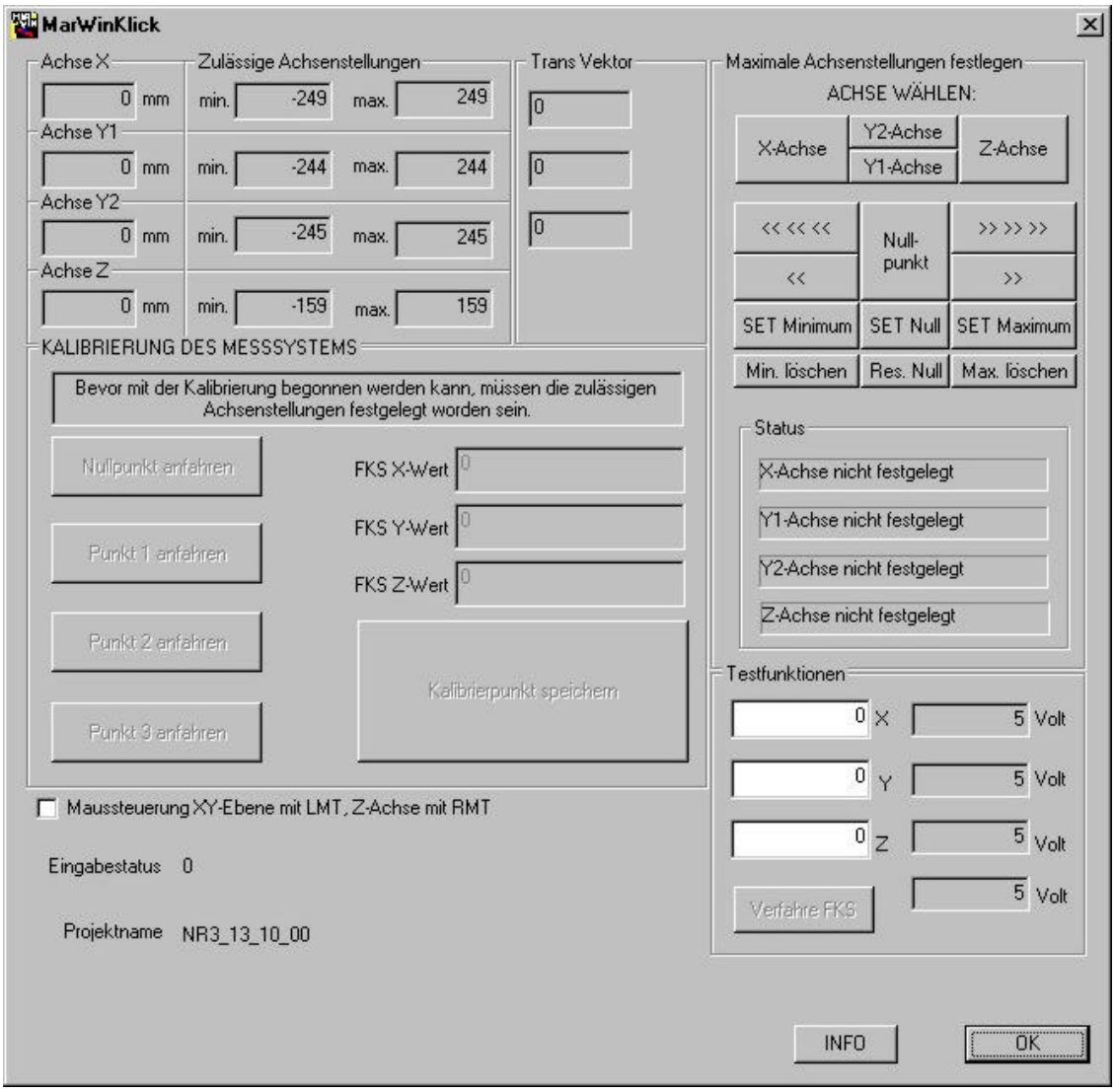


Abbildung 6.12: Dialogfenster „MarWinKlick“ zur Festlegung des Roboterverfahrbereichs und Kalibrierung der Koordinatensysteme

6.5.2 Festlegen der zu vermessenden Bereiche

Da die Messungen selber vollautomatisch ablaufen sollen, muss dem System mitgeteilt werden, welche (Fenster-)Flächen vermessen werden sollen. Um dies zu tun, erscheint - nach dem Beenden der Kalibrierung - das Dialogfenster zur Festlegung der Messflächen (Abbildung 6.13), welches das Steuerprogramm des Roboters bereitstellt. Durch Betätigen der entsprechenden Buttons kann die Kamera über die Rotationsantriebe so lange gedreht werden, bis ein für die Vermessung zu berücksichtigender Scheibenbereich erreicht wurde. Dies wird über einen mit der Kamera verbundenen Monitor kontrolliert. Dabei wird die Kamera nicht einfach nur um ihre beiden Achsen gedreht. Jede neue Ausrichtung der Kamera ist schon jetzt als Blickrichtung zu verstehen, der durch das *UP-AP* eine bestimmte Augpunktlage zugeordnet ist, in der die Kamera durch den Roboter platziert wird. Damit finden schon bei der Vorauswahl der zu vermessenden Bereiche reale Augpunktlagen und daraus evtl. resultierende Verdeckungen bzw. Bereiche freier Sicht Berücksichtigung.

Die angefahrene Stellung wird gespeichert und nachher bei der Vermessung als Startpunkt für die Messung des entsprechenden Bereichs verwendet.

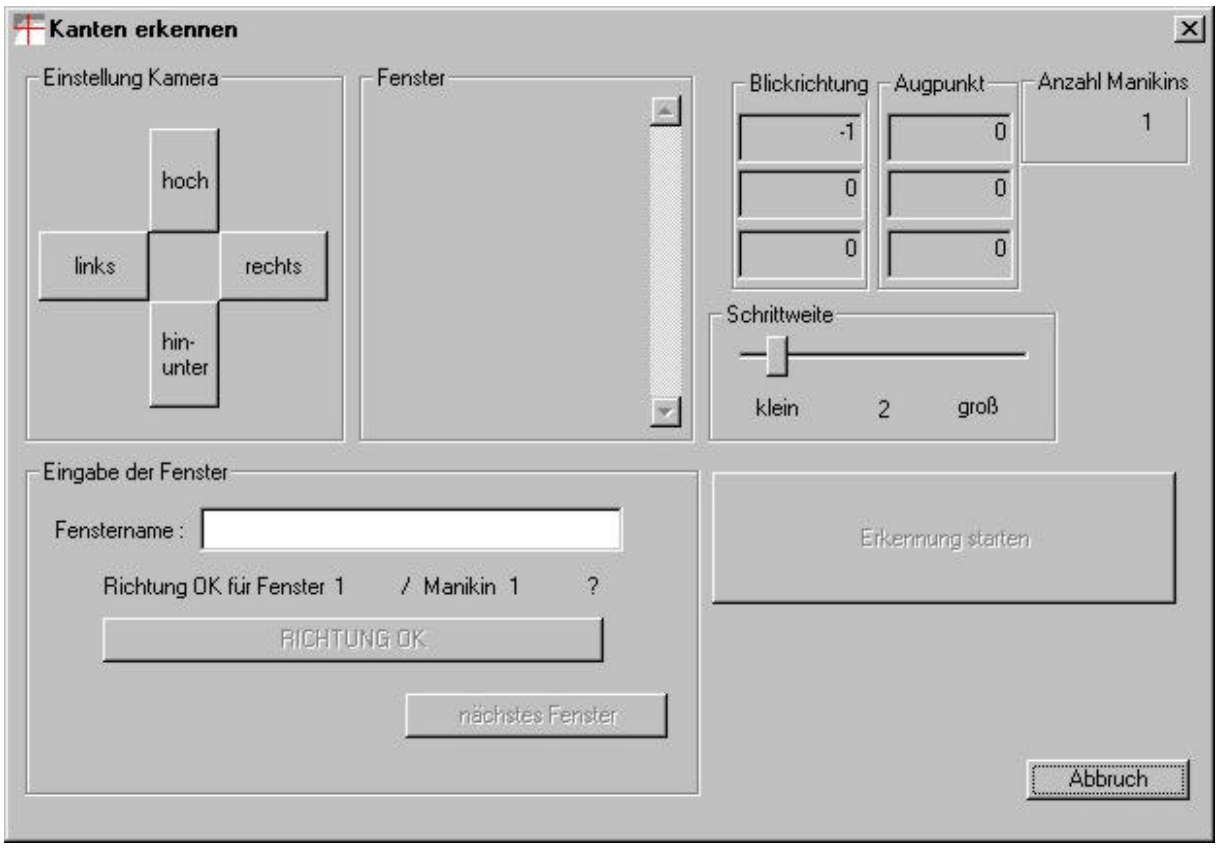


Abbildung 6.13: Dialogfenster zur Definition der zu vermessenden Fahrzeugbereiche

Sind die zu vermessenden Bereiche definiert, kann der eigentliche Messvorgang gestartet werden.

6.5.3 Kantenerkennung mittels Bildverarbeitung

Der Inhalt der Umblickdatei kann als Vektorfeld aller bei freier Sicht in Frage kommenden Blickrichtungen aufgefasst werden. Es kommt nun darauf an, aus diesem Feld all jene Blickrichtungen heraus zu filtern, die, in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrzeuggeometrie, die freie Sicht nach außen ermöglichen, d. h. die Blickrichtungen zu finden, die nicht auf Fahrzeugkomponenten gerichtet sind. Von Interesse sind dabei nur die Blickrichtungsvektoren, die tangential zu den Scheibenrahmen bzw. zu Verdeckungskomponenten verlaufen - also all jene, die gerade noch eine Sicht nach außen zulassen. Diese werden mit Hilfe der Bildverarbeitung bzw. der Kantenerkennung gefunden. Diese registriert innerhalb angegebener Analysebereiche die horizontalen und vertikalen Grauwertänderungen. Das Prinzip der Kantenerkennung sei kurz an Abbildung 6.14 erläutert.

Zu erkennen sind zwei lange und vier kurze Analysebereiche, deren Breite jeweils ein Pixel betragen. Jeder dieser Analysebereiche ermittelt den höchsten lokalen Grauwertsprung und dessen Position. Unterschieden wird zwischen horizontalen und vertikalen Übergängen und Richtungen. Die langen Analysebereiche erkennen Übergänge in beiden Richtungen - die kurzen nur in eine. Um Letzteres zu kompensieren, liegen hier mehrere übereinander.

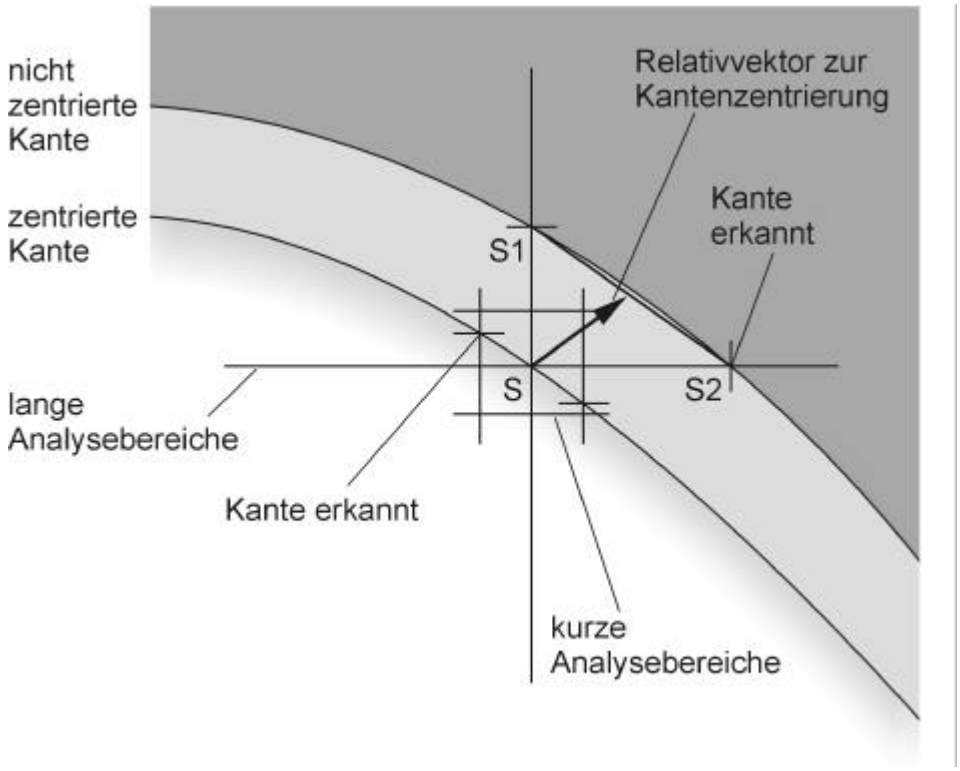


Abbildung 6.14: Prinzip der Kantenerkennung

Die Methode der Kantenerkennung ist nun die Folgende:

In einem ersten Schritt wird versucht, die Kamera über die Rotationsantriebe des Roboters so zu drehen, dass die zu verfolgende Kante im Schnittpunkt S der langen Analysebereiche zu liegen kommt. Das Programm misst dabei den Abstand der beiden Schnittpunkte S1 und S2 und berechnet den zu verfahrenden Winkel sowie die Distanz. Dies wird in mehreren Schleifen so lange wiederholt, bis die Kante exakt im Schnittpunkt S liegt. Der nächste Schritt erfolgt mit Hilfe der kurzen Analysebereiche. Diese werden um den Punkt S gelegt und ebenfalls die Schnittpunktlagen mit der Kante gemessen. Auf diese Weise wird die nächste mögliche Verfahrrichtung ermittelt, wobei ein Abgleich mit der zuvor gefahrenen Richtung erfolgt und die ausgewählt wird, die am ehesten zu dieser passt. Nachdem dieser Schritt ausgeführt wurde, wird wieder der Schnittpunkt S auf die Kante gesetzt.

Zur Veranschaulichung zeigen die folgenden Seiten die Flussdiagramme 6.1 - 6.4, die die Abläufe der programminternen Algorithmen, die das Umfahren der Kanten regeln, darstellen.

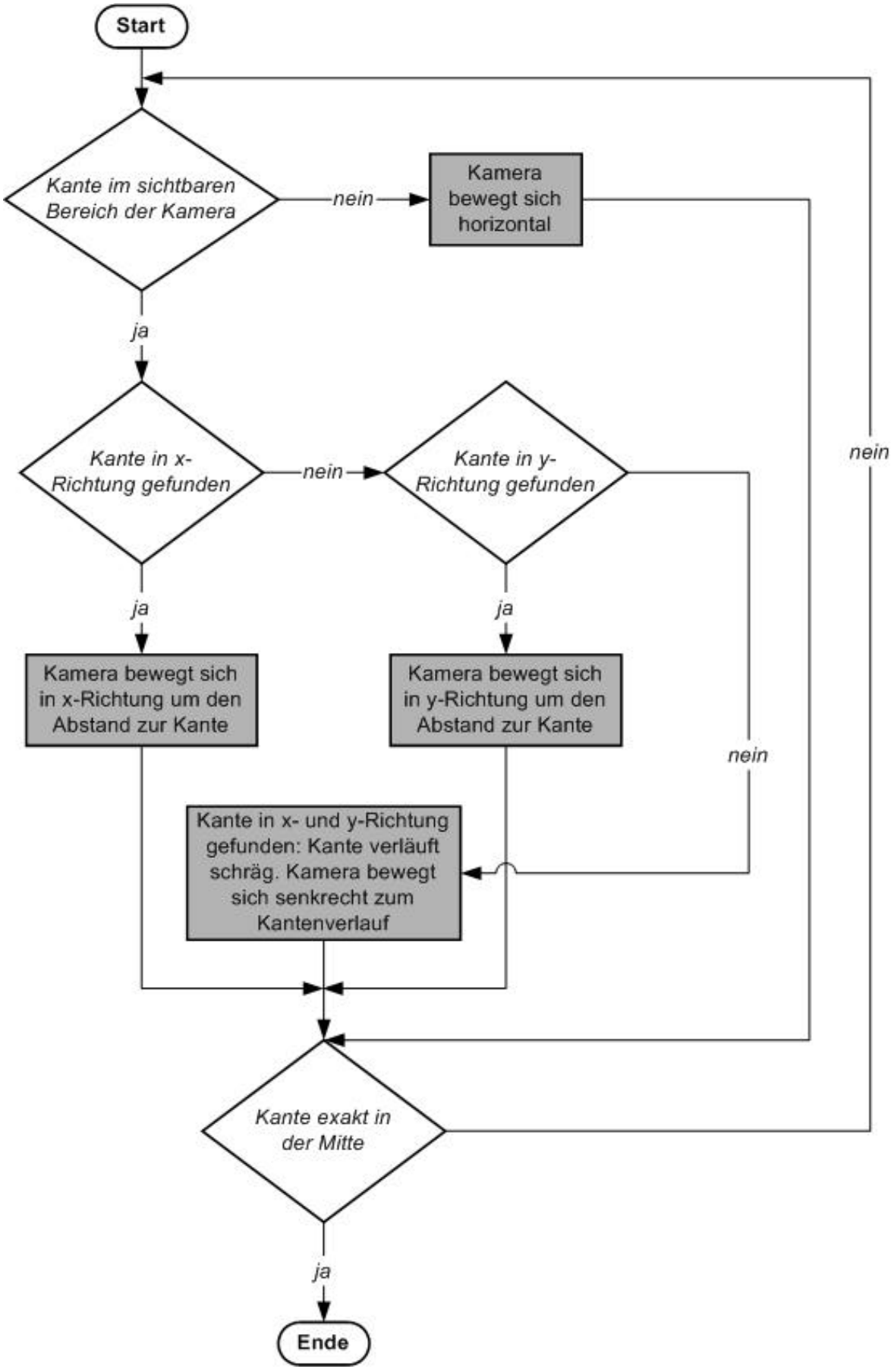


Diagramm 6.1: Darstellung des zum Auffinden einer Kante benötigten Algorithmus

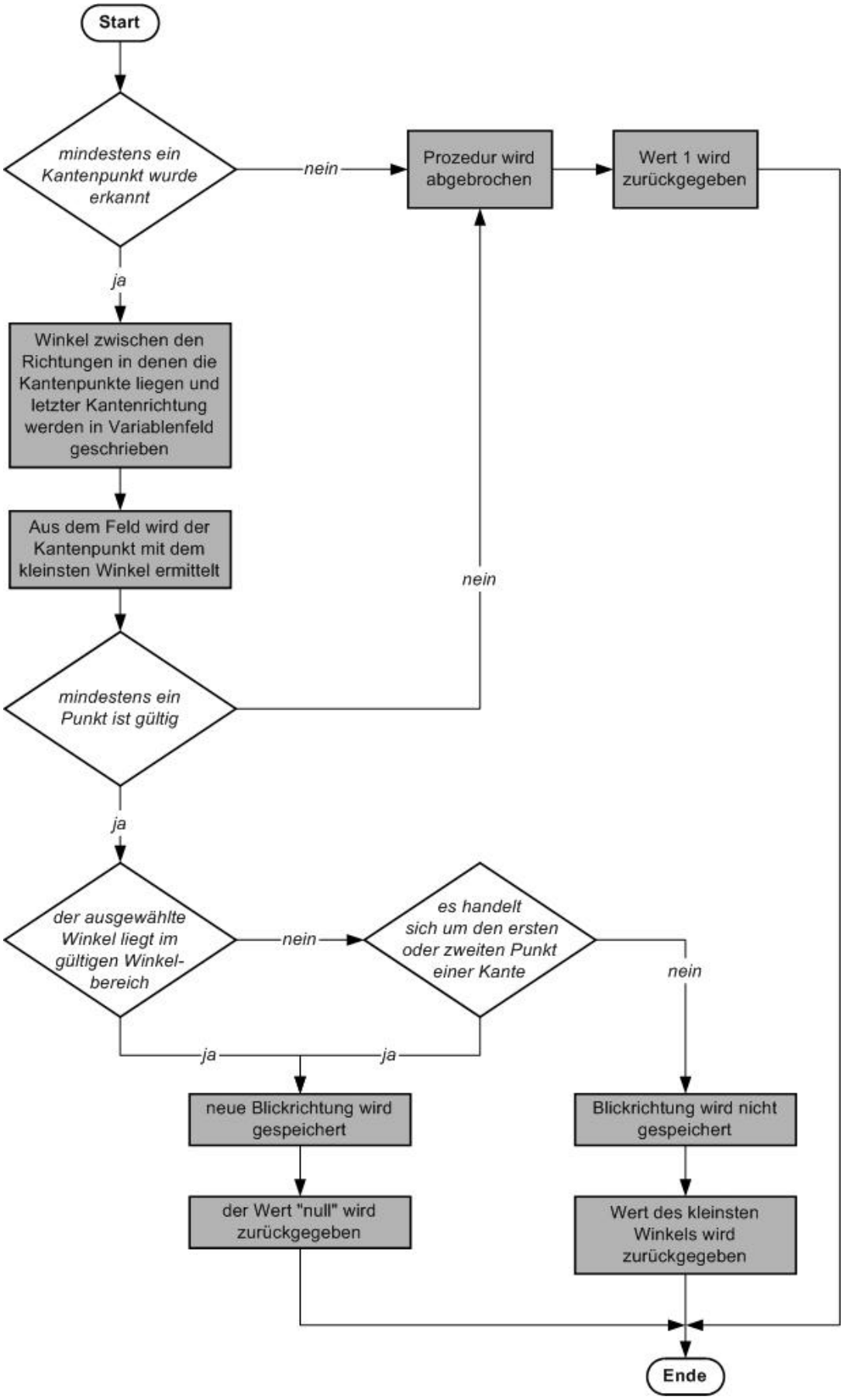


Diagramm 6.2: Algorithmus zum Auffinden des nächsten Kantenpunktes

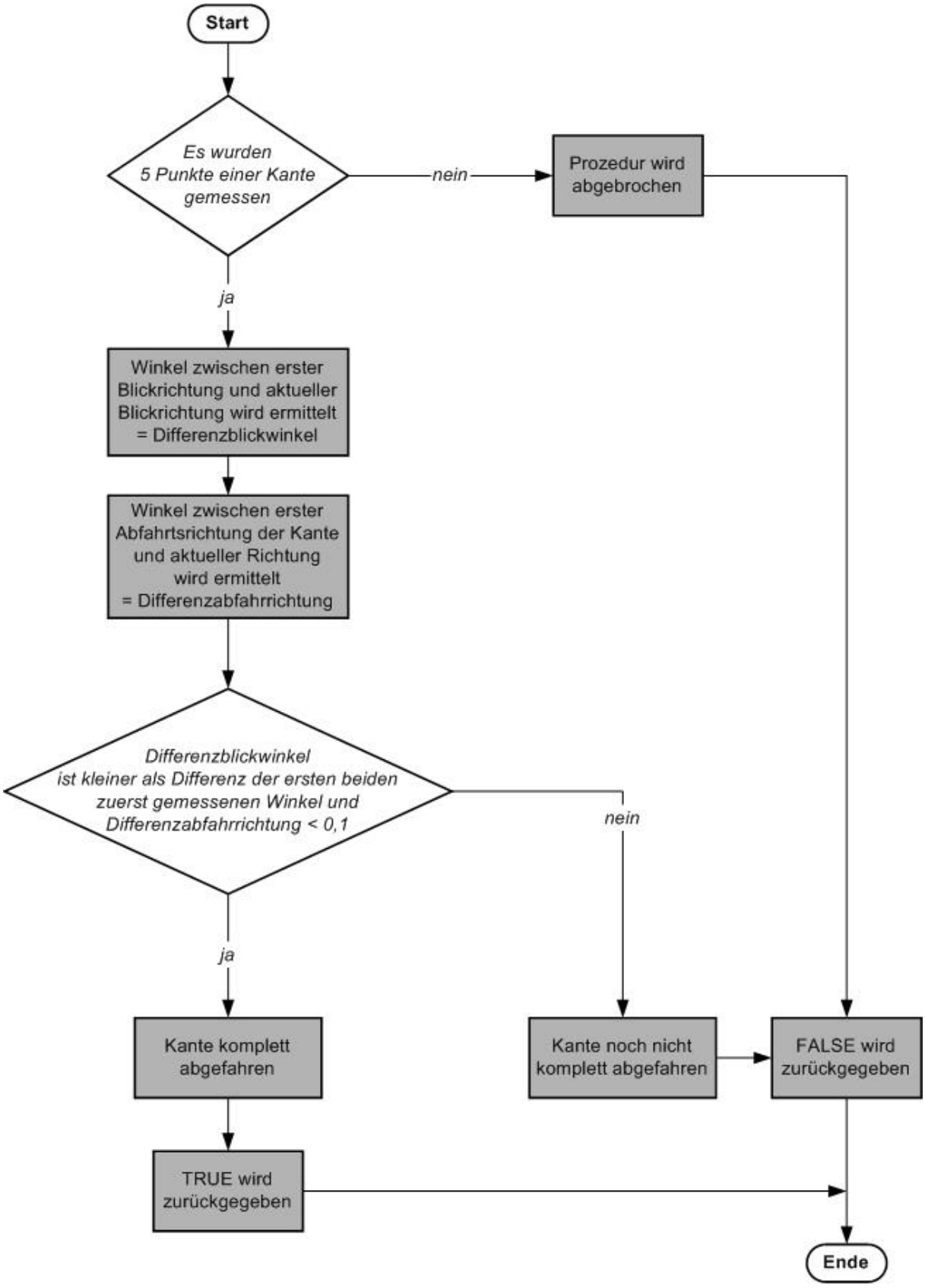


Diagramm 6.3: Algorithmus für den Abbruch nach einer kompletten Umrundung der Scheibe

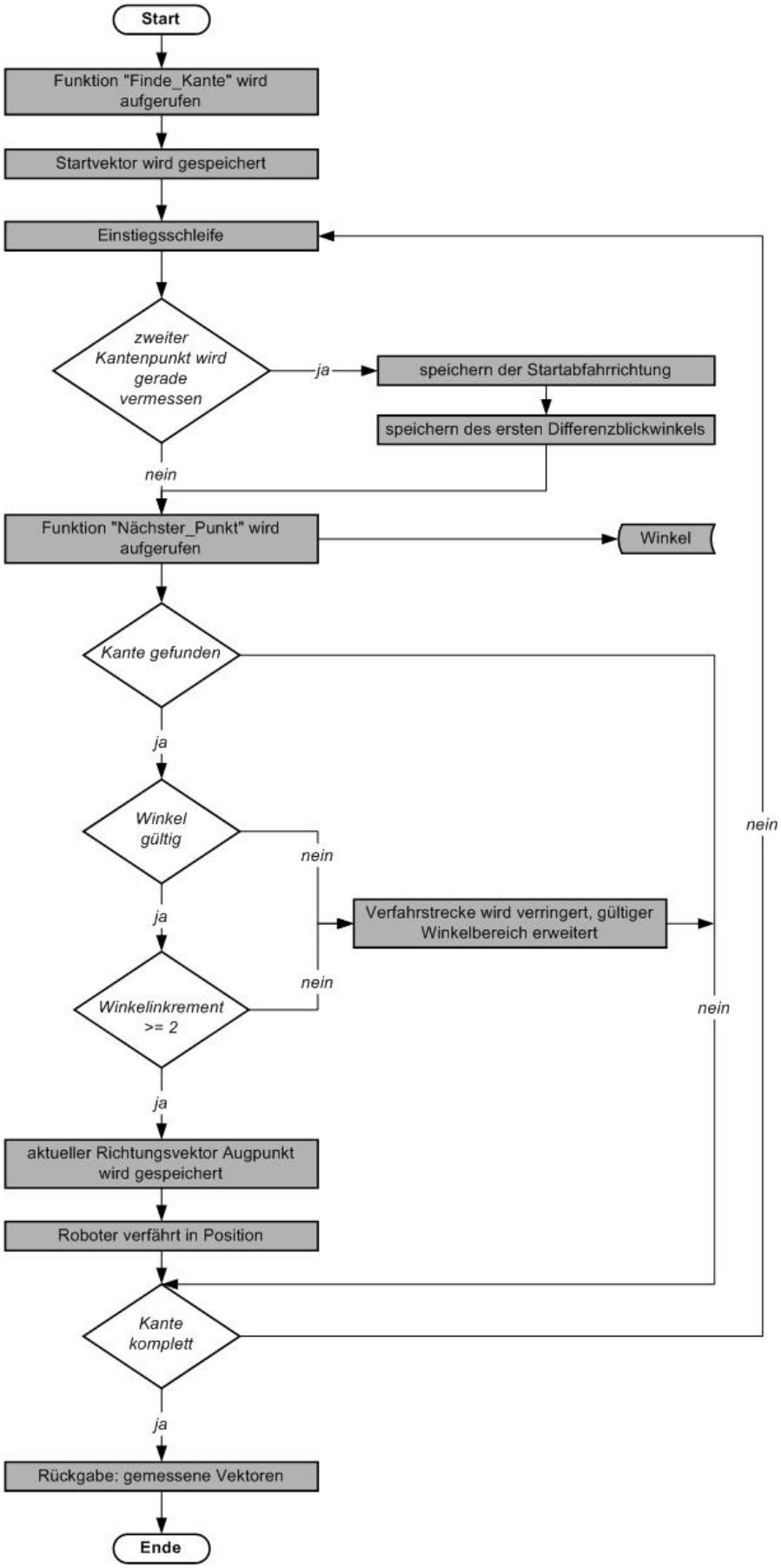


Diagramm 6.4: Der für das Entlangfahren an einer Kante hinterlegte Gesamtalgorithmus

6.5.3.1 Genauigkeitsprüfung der Bildverarbeitung

Um Aussagen über die Genauigkeit der Bildverarbeitung bei der Kantenverfolgung machen zu können, wurde der nachfolgend näher beschriebene Test durchgeführt, der auf der folgenden Überlegung basiert:

Ist Abstand und Lage des Roboterkoordinatensystems bezüglich einer Fläche bestimmter Größe bekannt, so kann eine aus einer Achsenschar, bei der jede Achse der optischen Achse der Kamera entspricht, und einer Schnittebene gleicher Orientierung und Lage der Ausgangsfläche entstandene Referenzfläche als Vergleich herangezogen werden. D. h., bei einer optimalen Kantenverfolgung sind Ausgangsfläche (vermessene Fläche) und Referenzfläche (errechnete Fläche) gleich.

Für den Test wurde lediglich der Sensorkopf eingesetzt, der bezüglich des Roboterkoordinatensystems exakt 1500 mm vor einer weißen, gut ausgeleuchteten Leinwand so platziert war, dass die negative x-Achse orthogonal und mittig zu dieser stand. Auf der Leinwand wurde mit schwarzem Isolierband ein Rechteck der Größe 1000 mm x 700 mm so abgeklebt, dass eine Fläche von 0,700 m^2 umschlossen wurde. Die Kamera wurde dann so weit verfahren, bis ihre optische Achse die innere Kante des schwarzen Streifens traf. Die Kantenfindung wurde zugeschaltet und eine volle Umrundung der Messfläche abgewartet. Die durch die Kantenfindung gesteuerten Nachführbewegungen der Rotationsantriebe wurden als Winkelwerte ausgegeben und in einer Datei abgelegt. Dabei entsprechen diese Werte bezüglich jedes gefundenen Kantenpunktes der Lage der optischen Achse im Raum. Insgesamt wurde der beschriebene Versuch dreimal durchgeführt und für jeden eine eigene Wertedatei angelegt.

Zunächst wurden die arithmetischen Mittelwerte der in den drei Dateien abgelegten Werte gebildet. Die Mittelwerte wurden dann, ausgehend von einem den Roboterkoordinaten entsprechenden System, in eine 3D-CAD-Umgebung übertragen. Das Ergebnis waren die Lagen der optischen Achsen im Raum bezüglich eines ortsfesten Roboterkoordinatensystems. Es wurde eine Hilfsebene im Abstand von 1500 mm orthogonal zur negativen x-Achse eingeführt. Die Schnittpunkte der Hilfsebene mit den optischen Achsen wurden ermittelt. Die sich so ergebenden Punkte sind die Stützpunkte einer Fläche, bei der es sich um die für die Genauigkeitsbewertung benötigte Referenzfläche handelt. Ihr Flächeninhalt wurde bestimmt und mit dem der gemessenen Fläche verglichen.

Der Flächeninhalt der Referenzfläche beträgt 0,70208 m^2, was einer Abweichung gegenüber der vermessenen Fläche von 0,297% entspricht. Die Kantenfindung kann damit als sehr gut bewertet werden.

6.5.4 Vermessungen nach SAE

Da die Möglichkeit gegeben sein soll, bereits mit dem Lasertheodoliten vermessene Fahrzeuge bzw. daraus resultierende Ergebnisdarstellungen mit aktuellen *ARGUS*-Ergebnissen vergleichen zu können, stellt *ARGUS* eine Vermessung nach SAE zur Wahl, bei der von einem festen Augpunkt - dem Mittelpunkt der Augenellipse - ausgegangen wird (siehe Kapitel 5.1). Bei diesen Messungen werden daher keine Verschiebungen der Augpunktlagen berücksichtigt. Vielmehr liegen alle Blickrichtungen in ein und demselben Augpunkt, der wiederum relativ zum SgRP definiert ist (SAE J941e). Da die Lage des SgRP bezüglich des Fahrzeugkoordinatensystems bekannt ist, kann der Vermessungsroboter die CCD-

Kamera im Ellipsenmittelpunkt platzieren und über die Rotationsachsen so drehen, dass der Kamerabrennpunkt immer im Ellipsenpunkt liegt.

6.6 Ergebnisdarstellungen des Sichtanalysesystems

Nach erfolgter Umrundung aller festgelegten Messflächen wird die erzeugte Sichtgrenzkantendatei an das Umblickprognose- und Analyseprogramm übergeben. Die in ihr enthaltenen Strahlengänge der Bereiche freier Sicht werden hier für die verschiedenen Darstellungsarten aufbereitet.

Abbildung 6.15 zeigt das Dialogfenster des Analysesystems, mit dem die errechneten Ergebnisse einer oder mehrerer Vermessungen dargestellt werden können. Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Abwicklung von Sichtstrahlengängen geschnitten mit einem Zylinder (Radius 4 m), wie sie bei der Vermessung einer A-Klasse nach SAE (statischer Augpunkt im Mittelpunkt der SAE-Augenellipse) entsteht. Der Radius des Zylinders ist dabei frei wählbar, die Inhalte der einzelnen Fensterflächen werden automatisch berechnet.

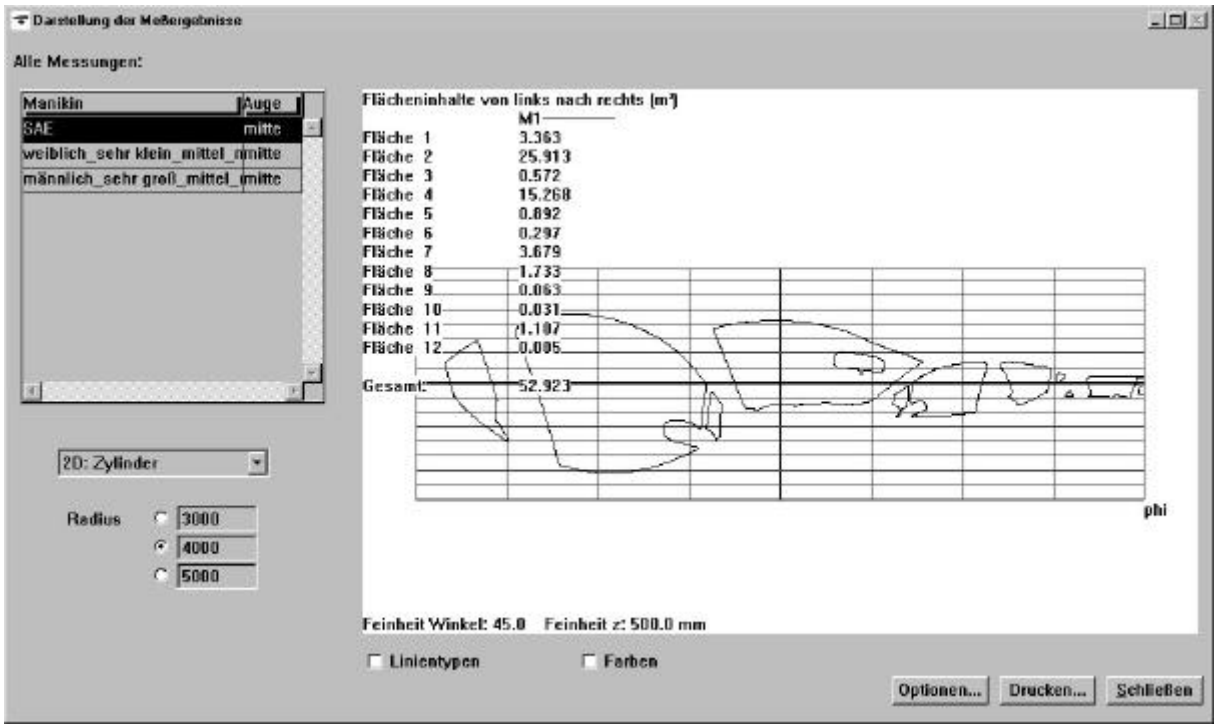


Abbildung 6.15: Dialogfenster des Analysesystems zur Ergebnisdarstellung

Ein mögliches Resultat einer *RAMSIS*-basierten Vergleichsmessung ist in Abbildung 6.16 dargestellt. Es handelt sich hierbei um die Gegenüberstellung der freien Sicht einer sehr kleinen Frau und eines sehr großen Mannes durch die vorderen Scheibenbereiche. Es wird deutlich, wie unterschiedlich Lage und Größe der Scheibenbereiche bezüglich der jeweiligen Augpunktlagen sind. Das Ergebnis macht klar, wie wichtig eine realistische Darstellung der Sichtverhältnisse im Fahrzeug für die aktive Sicherheit im Straßenverkehr ist.

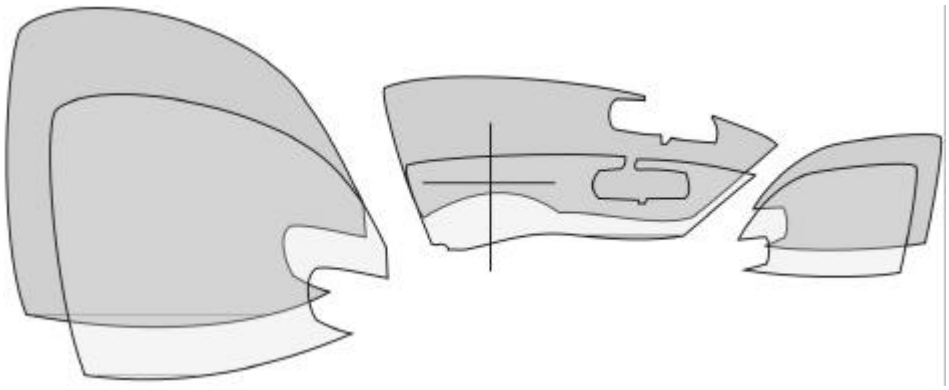


Abbildung 6.16: Gegenüberstellung der Sicht von sehr kleiner, alter Frau (dunkel) und sehr großem, jungen Mann (hell) mittlerer Proportion und Korpulenz durch Windschutz- und vordere Seitenscheiben

Das System lässt aber auch erstmals die Darstellung der Sichtverhältnisse im Dreidimensionalen zu (Abbildung 6.17). Die aus den Messungen resultierenden Strahlengänge können hier beliebig im Raum bewegt werden. Zudem können sie mit Zylindern verschiedener Größe und Ebenen beliebiger Lage geschnitten werden. Dabei können die Strahlengänge beider Augen einander überlagert und binokulare Verdeckungsbereiche sichtbar gemacht werden. Dies alles erleichtert die Beurteilung der im jeweiligen Kraftfahrzeug vorliegenden Sichtverhältnisse erheblich. Des Weiteren können aber auch die üblichen Darstellungsarten wie Fahrbahn- und Säulenverdeckungen ausgegeben werden. Über entsprechende Schnittstellen ist es möglich, die Ergebnisse entweder direkt auszugeben oder aber als VDA-Dateien CAD-Anwendung zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung zu stellen.

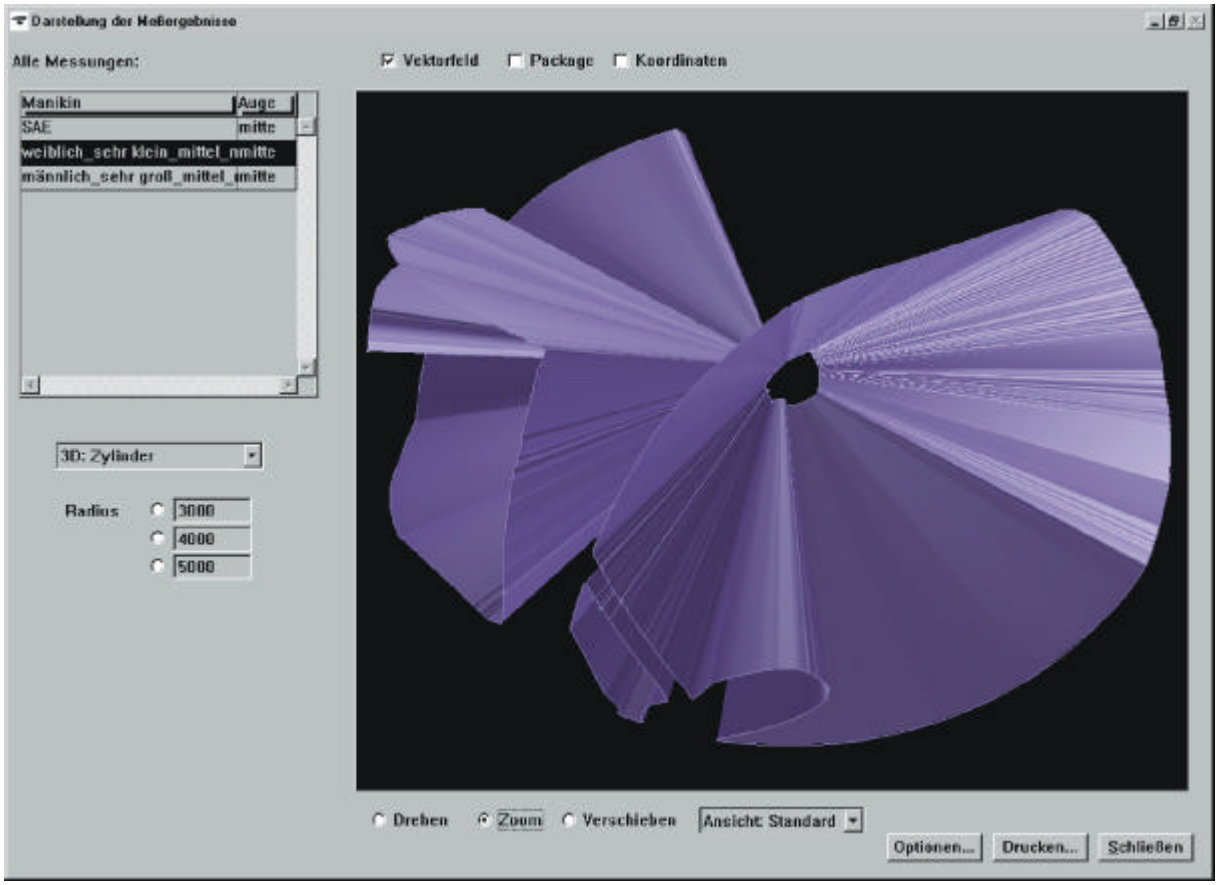


Abbildung 6.17: Dreidimensionale, frei variierbare Ergebnisdarstellung im Analysesystem ARGUS

Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 6.18 Strahlengänge dargestellt, wie sie aus der Vermessung einer Windschutzscheibe auf die herkömmliche Art, z. B. mittels Lasertheodolit, und mit Hilfe des *ARGUS*-Systems abgeleitet werden können. Auffällig ist dabei der jeweilige Ursprung. Wie zu sehen ist, liegt dieser beim oberen Strahlengang in einem einzelnen Punkt, beim unteren auf einem geschlossenen Spline, dessen Stützpunkte die blickrichtungsabhängigen Augpunktlagen im Raum sind.

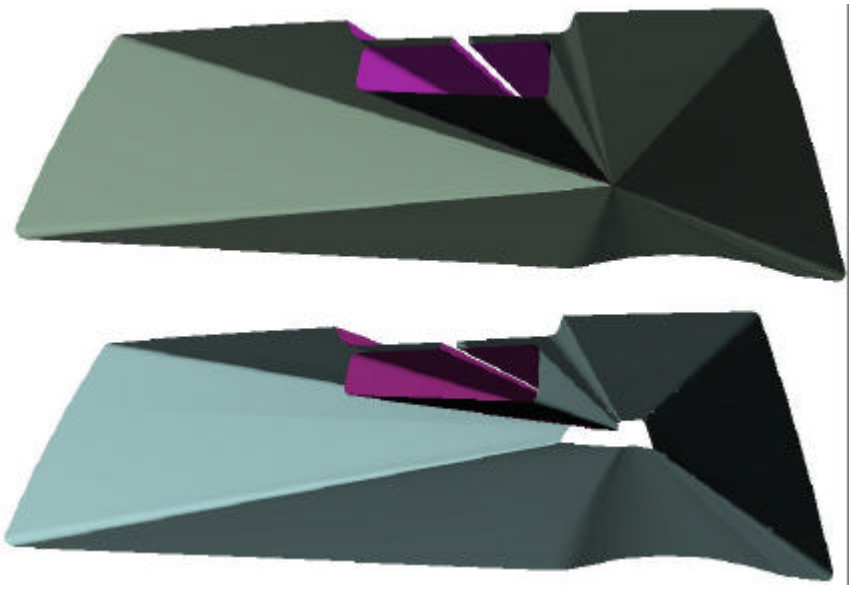


Abbildung 6.18: Sichtstrahlengang mit Punktursprung (o.) und blickrichtungsabhängigen Augpunktlagen (u.)

6.7 Resümee

Das Sichtanalysesystem *ARGUS* stellt gegenüber den gängigen Methoden zur Sichtvermessung in Pkws eine erhebliche Verbesserung dar. Die Automatisierung des Messvorgangs gewährleistet eine hohe Reproduzierbarkeit der Daten. Als einziges Verfahren berücksichtigt das *ARGUS*-System sowohl den Fahrer als auch das Fahrzeug und ermöglicht erstmals den sinnvollen Vergleich von Messungen, die an unterschiedlichen Fahrzeugen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse lassen sich zudem umfassend auswerten.

Bei allen Vorteilen des Systems – eine objektive Bewertung der Sichtverhältnisse ist auch mit *ARGUS* zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Hierfür sind weitere Untersuchungen, z. B. über das Blickverhalten von Autofahrern nötig. Eine Kombination der verschiedenen Ergebnisse macht dann allerdings eine objektive Bewertung jedes Fahrzeugs realisierbar (siehe hierzu Kapitel 8 Ausblick).

Die mit Hilfe von *RAMSIS* erzeugten, blickrichtungsabhängigen Augpunktlagen bilden die Grundvoraussetzung für die realitätsnahe Sichtbereichsbestimmung. Erst der Einsatz des Menschmodells *RAMSIS* ermöglicht so die zukünftige Bewertung der Sicht. Dass *RAMSIS* hinsichtlich der gewählten Anthropometrie des Fahrers und dessen Interaktion mit dem Fahrzeug gute Ergebnisse liefert, wurde bereits in Kapitel 4 gezeigt – allerdings liegen hier nur Erkenntnisse für die Fahrergrundhaltung vor. Wie die Haltungsprognose von *RAMSIS* bei extremen Verdrehungen von Kopf und Torso reagiert, ist nicht bekannt. Da diese Extremalhaltungen aber Bestandteil jeder in *ARGUS* erzeugten Umblickprognose sind, müssen diese einer näheren Untersuchung unterzogen werden.

7 Die Optimierung der RAMSIS-Umblickprognose

Neben den in Kapitel 4 beschriebenen Einsitz- und Erreichbarkeitsuntersuchungen, bei denen die eingenommenen Körperhaltungen beim Betätigen von fahrzeugtypischen Stellteilen betrachtet wurden, wurden für die Modellierung der *RAMSIS*-Haltungsmodelle auch Untersuchungen hinsichtlich eingenommener Körperhaltungen beim Umblicken im Fahrzeug durchgeführt. Da diese Umblickversuche die Grundlage für die in *ARGUS* implementierte Umblickprognose legen und damit in direktem Zusammenhang mit der Funktion des Messsystems stehen, soll im Weiteren genauer auf sie eingegangen werden.

7.1 Die Validierung des RAMSIS-Umblickverhaltens

7.1.1 Aufbau und Durchführung der ursprünglichen Umblickuntersuchungen

Für die primären Umblickuntersuchungen (Seidl, 1994) wurde der Fahrerstand mit 24 optischen Signalen (Lampen) umstellt, wobei sich die Positionen der Signale aus fahrertypischen Umblickaufgaben im täglichen Straßenverkehr ableiteten (Abbildung 7.1).

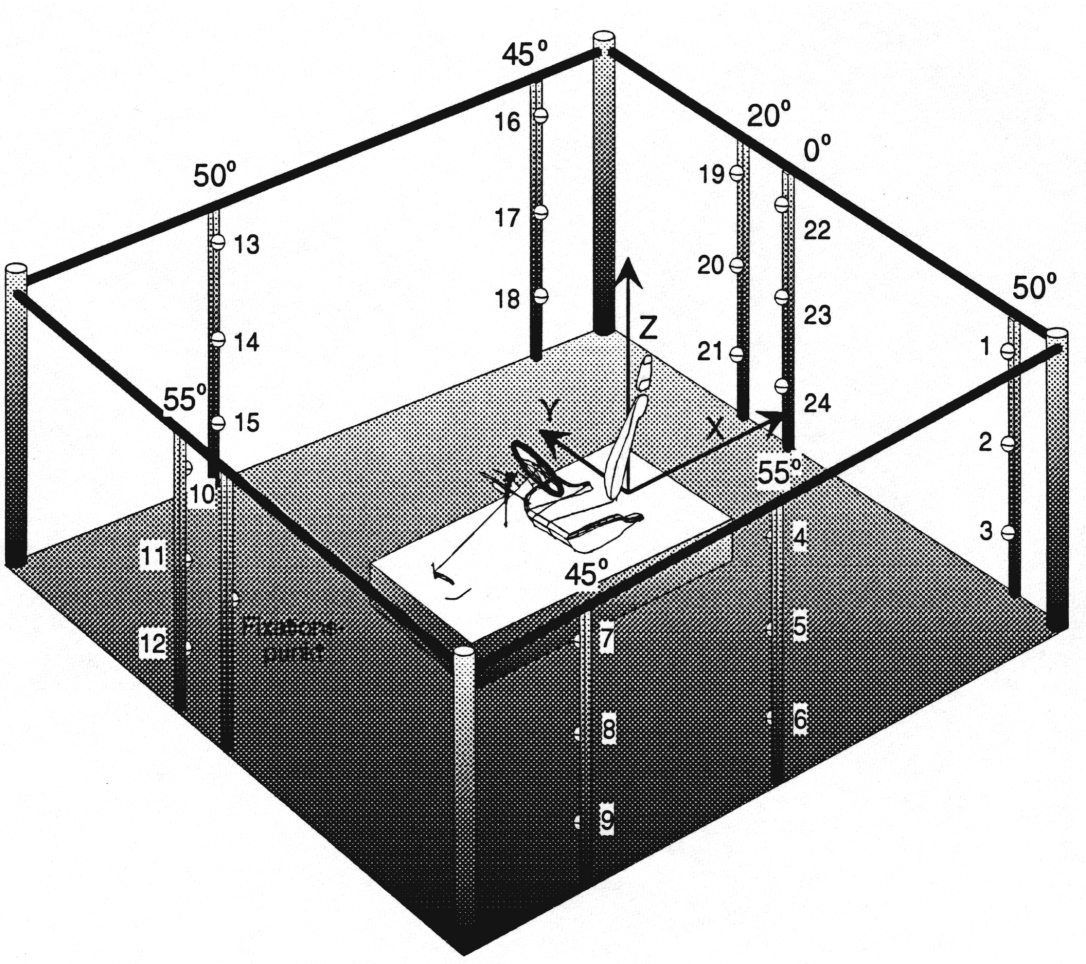


Abbildung 7.1: Horizontale und vertikale Anordnung der Sichtsignale (aus Seidl, 1994)

Zehn Versuchspersonen wurden betrachtet. Sie hatten sich im „Fahrzeug“ einzurichten und dann die in zufälliger Reihenfolge aufleuchtenden Signale zu fixieren. Die dabei eingenommenen Körperhaltungen wurden mittels CCD-Kameras aufgezeichnet, anschließend ausgewertet und modelliert.

7.1.2 Realitätsbezug des modellierten Umblickverhaltens

Wie aus Abbildung 7.2 zu ersehen ist, ermöglicht die vorgenommene Modellierung durchaus realistische Haltungsprognosen unter der Vorgabe bestimmter Restriktionen. Allerdings fällt auch auf, dass mit zunehmender Kopf- bzw. Körperdrehung Abweichungen zur Realität auftreten. Abbildung 7.3 zeigt dies am Beispiel eines seitlich hinter dem „Fahrer“ liegenden Sichtzieles. Wie zu ersehen ist, taucht das Manikin hier in den Sitz regelrecht ein. Dies ist damit zu erklären, dass der Bezug zwischen *RAMSIS* und Sitz üblicherweise nur über den Seating Reference Point nach SAE bzw. über das H-Punktverstellfeld des Sitzes hergestellt wird. Die durch *RAMSIS* prognostizierten Fahrerhaltungen bei kleinen bis geringen Kopf- und Torsodrehungen scheinen zwar den Sitz zu berücksichtigen - allerdings ist dies nicht auf eine Interaktion zwischen *RAMSIS* und verwendetem Sitz zurückzuführen, sondern auf die Vorgaben durch das Fahrerhaltungsmodell. Für normale Fahrhaltungen reicht diese Vorgehensweise, wie den Untersuchungen von Kolling (1997) zu entnehmen ist, aus - mit zunehmender Torsion des Oberkörpers treten allerdings Ungenauigkeiten auf. Im Realfall erzwingt die Lehne Kompensationsbewegungen des Fahrers, da sie entweder der linken oder der rechten Schulter im Weg steht. Auch die Kopfstütze gilt es zu berücksichtigen. Da diese etwa in Augenhöhe liegt, muss beim Blick zurück seitlich an ihr vorbei gesehen werden können. Dies ist nur dann zu erreichen, wenn *RAMSIS* die Rückenlehnenfläche und die Kopfstütze kennt, d. h. wenn sie in die Restriktionen eingebunden sind. Allerdings ist bis jetzt unklar, wie dies am besten zu bewerkstelligen ist.

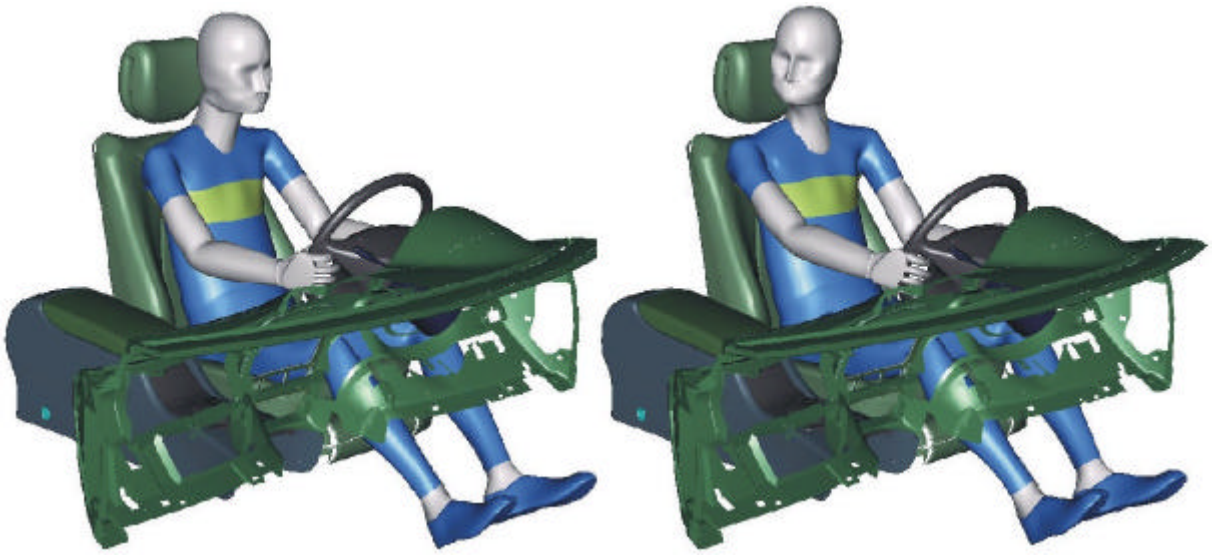


Abbildung 7.2: RAMSIS in neutraler Fahrerhaltung mit Blickrichtung „geradeaus“ (l.) und bei der Fixation eines um 90° gegenüber der Medianebene versetzten Sichtziels (r.)

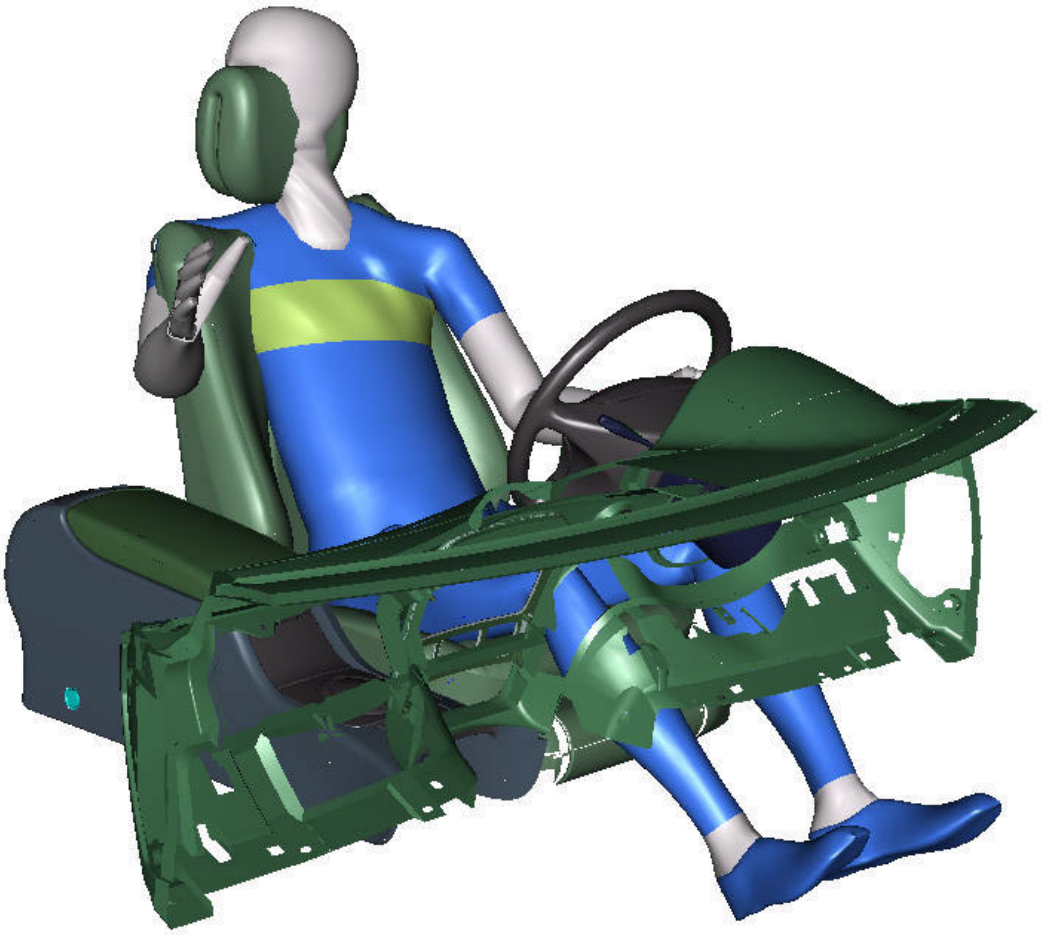


Abbildung 7.3: RAMSIS mit Fixationsziel „hinter dem Wagen“

Dies zeigt Abbildung 7.4 (links) deutlich. Zwar wird die Rückenlehne des Sitzes hier berücksichtigt - auch der Blick nach hinten geht an der Kopfstütze vorbei. Die dabei eingenommene Kopfhaltung entspricht allerdings nicht der, die man nach den Ergebnissen aus Kapitel 3 bei einem Autofahrer erwarten würde. Die geforderte Kopfhaltung ist demnach ebenfalls nicht im Haltungsmodell enthalten und muss daher *RAMSIS* gesondert mitgeteilt werden. Abbildung 7.4 (rechts) zeigt eine Haltung, bei der Sitz und Kopfstütze berücksichtigt und zudem die Kopfhochachse in positiver z-Richtung des Fahrzeugkoordinatensystems ausgerichtet wurde. Die errechnete Haltung erscheint durchweg realistisch. Allerdings können keine Aussagen darüber gemacht werden, wie wirklichkeitsnah sie tatsächlich ist, da keine Daten bezüglich eingenommener Haltungen beim Blick nach hinten vorliegen. Damit kann auch nicht gesagt werden, wie sinnvoll die Richtungsvorgabe für die Kopfachse im Einzelfall ist bzw. ob mit Hilfe der Achsenvorgabe realistische Haltungen prognostiziert werden können[11].

[11] Die einzelnen Restriktionsvorgaben der dargestellten Haltungen können den Tabellen im Anhang entnommen werden.

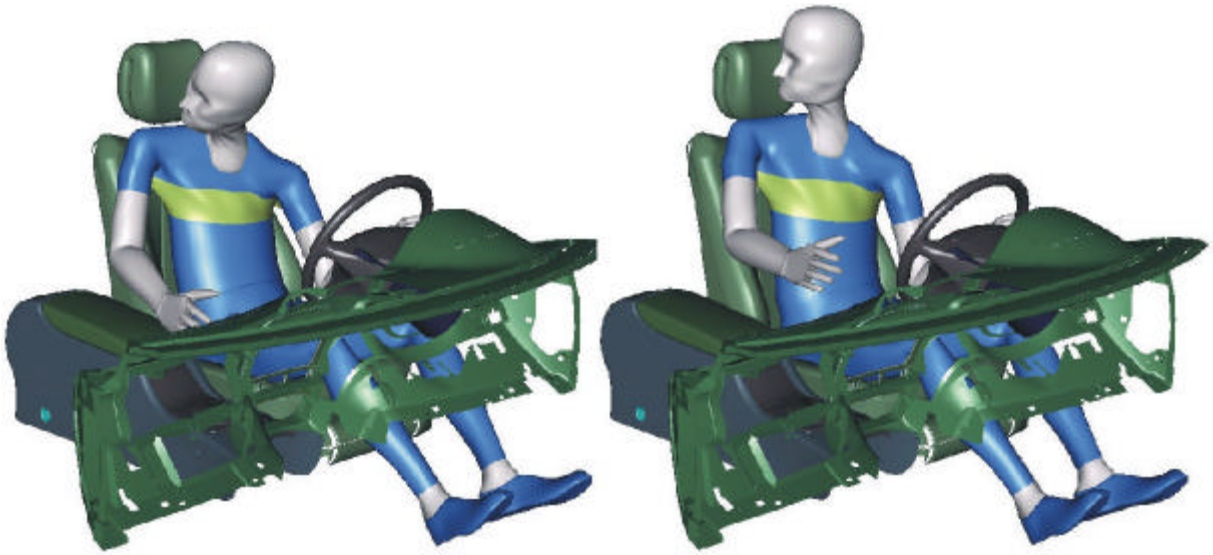


Abbildung 7.4: RAMSIS mit Fixationsziel „hinter dem Wagen“ unter Berücksichtigung von Rückenlehne und Kopfstütze (l.) und mit Fixationsziel „hinter dem Wagen“ unter Berücksichtigung von Rückenlehne und Kopfstütze und zusätzlicher Richtungsvorgabe der Kopfhochachse (r.)

Da die Qualität der mittels *ARGUS* durchgeführten Messungen ganz entscheidend von den durch *RAMSIS* gelieferten Augpunktlagen abhängt, müssen Daten erhoben werden, um Aussagen über die Güte des Umblickverhaltens bzw. die unbedingt zu setzenden Restriktionen machen zu können. Diese Platzierungsrestriktionen werden im *ARGUS*-System automatisch gesetzt. Zwar ist denkbar, dass bestimmte Vorgaben je nach Bedarf aktiviert bzw. deaktiviert werden (schon jetzt wird ab einem bestimmten Blickwinkel die Kopplung der rechten Hand mit dem Lenkrad gelöst), dies muss aber immer in gleicher Weise, unabhängig von Geometrie und Manikin geschehen. Zu beachten ist weiterhin, dass Restriktionsflächen und Punkte zuvor vom Realfahrzeug abzunehmen sind. Dieser Aufwand soll so gering wie möglich gehalten werden. Des Weiteren beeinflusst die Anzahl der Restriktionen stark die Berechnungsdauer der einzelnen Haltungen.

Es kann vermutet werden, dass die ansteigende Ungenauigkeit der *RAMSIS*-Haltungsprognose mit zunehmender Kopf- und Torsodrehung auf die Art und Weise der Datenerhebung, die dem Haltungsmodell zugrunde liegt, zurückzuführen ist. Es ist davon auszugehen, dass die rückwärtig liegenden Leuchten 16 bis 21 sowie 1 bis 3 und 22 bis 24 in Abbildung 7.1 von den damaligen Versuchspersonen nicht direkt angesehen, sondern nur aus den Augenwinkeln betrachtet wurden. Dies erklärt warum Haltungen ohne starke Torso- und Kopfdrehung sehr gut simuliert werden können - Restriktionsvorgaben, die eine stärkere Verdrehung in diesen Bereichen hervorrufen sollten („Sichtziel hinter dem Wagen“), dagegen zu ungenauen Prognosen führen. Wie Untersuchungen mit der Standalone-Version des Programms zeigen, versucht *RAMSIS* in solchen Fällen eher über die Augen die Restriktionsvorgabe „Sichtziel“ zu erfüllen, als über eine Körper- oder Kopfdrehung.

7.1.3 Umblickversuche im Fahrerstand

7.1.3.1 Vorbemerkungen und Hypothesen

Ziel der Haltungsprognosen ist, eine möglichst hohe Übereinstimmung mit der Realität zu erreichen. Ob dies beim Umblicken allein über bestimmte Restriktionen möglich ist, oder ob grundlegende Änderungen am Standardfahrerhaltungsmodell vorgenommen werden müssen, soll im Folgenden geklärt werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass eine Haltung, wie sie bei der direkten Fixation eines hinter dem eigenen Fahrzeug liegenden Sichtzieles (bei den in Deutschland vorherrschenden Linkslenkerfahrzeugen also bei einer starken Drehung nach rechts, z. B. beim Rückwärtsfahren) einzunehmen ist, das absolute Extrem für das Haltungsmodell darstellt. Mit anderen Worten: Sollte es gelingen eine derartige Haltung über die Vorgabe von Restriktionen realistisch zu prognostizieren, so können auch alle anderen in einem Pkw auftretenden Haltungen aufgrund eines entsprechenden Restriktionsdatensatzes prognostiziert werden - natürlich immer unter der Voraussetzung, dass es sich dabei um Haltungen mit Realitätsbezug handelt.

Um diese Fragestellung zu klären, werden Versuche durchgeführt, die die Grundlage für eine genaue Haltungsanalyse von Fahrern beim Blick zurück bilden.

Dabei sollen durch die Versuche keine Umblickstrategien von Pkw-Fahrern ermittelt werden. Beobachtungen an 40 Fahrern (Männer und Frauen verschiedenen Alters) in unterschiedlichen Fahrzeugen zeigen zwar, dass diese existieren - vorherrschend ist dabei die Zuhilfenahme des Beifahrersitzes, um die Verdrehung des Torsos zu erweitern. Dieselben Personen nehmen allerdings nahezu identische Haltungen ein, wenn der Fahrerarbeitsplatz auf seine wesentlichen Komponenten (Fahrersitz, Lenkrad, Pedalerie) eingeschränkt wird.

Das hier betrachtete *RAMSIS*-Haltungsmodell kann keine kraftunterstützten Haltungen, wie es z. B. eine Torsodrehung mit sich auf der Beifahrersitzlehne abstützender rechter Hand darstellt, prognostizieren. Auch bildet der Beifahrersitz, als vom Fahrerarbeitsplatz unabhängige Größe eine zu hohe Variationsbreite, als dass er in die Haltungssimulation sinnvoll einfließen könnte. Aufgrund dieser Tatsachen müssen für die Untersuchungen zwei Voraussetzungen gelten:

1. Es wird nur der eigentliche Fahrerarbeitsplatz ohne Beifahrersitz betrachtet.
2. Die reale Umblickhaltung wird durch keinen Rückhaltegurt eingeschränkt (optimales Umblickverhalten).

Unter diesen Bedingungen können aufgrund der mit *RAMSIS* bereits gemachten Erfahrungen die folgenden Hypothesen aufgestellt werden:

Hypothese 1

Es können Restriktionsvorgaben gefunden werden, die eine der Realität hinreichend entsprechende Prognose der „Rückwärtsfahrhaltung“ ermöglichen.

Hypothese 2

Diese Restriktionsvorgaben können so erweitert werden, dass sie auf alle Personen- und Fahrzeugtypen anwendbar sind.

Da der im Folgenden näher beschriebene Versuchsaufbau sowie die Durchführung der Versuche entsprechend den Erfordernissen des Haltungsanalyseprogramms *PCMAN* gestaltet sind, soll an dieser Stelle etwas vorgegriffen und zum besseren Verständnis zunächst näher auf dieses System eingegangen werden.

7.1.3.2 PCMAN - System zur Anthropometrie-, Haltungs- und Bewegungsanalyse

Mit Hilfe des Analysesystems *PCMAN* können anthropometrisch korrekte Abbilder beliebiger Versuchspersonen erzeugt und hinsichtlich eingenommener, statischer Haltungen, aber auch in Einzelhaltungen aufgeteilte Bewegungsabläufe erfasst werden.

Das System arbeitet dabei nach der Stereophotogrammetrie, die eine berührungslose Datenerfassung möglich macht. Vorteil dieser Methode ist unter anderem, dass die Probanden nicht durch das Messsystem selber beeinflusst oder gar abgelenkt, sondern lediglich von diesem bei ihren Tätigkeiten innerhalb des Versuchs beobachtet werden.

Bezogen auf das Menschmodell *RAMSIS*, für dessen Haltungsmodell die Versuche letztendlich durchgeführt werden, besteht ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von *PCMAN* darin, dass die erhobenen Daten modelladäquat sind und somit einfach übertragen werden können.

7.1.3.2.1 Aufbau des Analysesystems

Da *PCMAN* sowohl für die Haltungs- und Bewegungsanalyse, als auch für die Erfassung der anthropometrischen Daten eingesetzt werden kann, variiert der Aufbau des Systems von Fall zu Fall. Für Haltungs- und Bewegungsanalyse werden mindestens zwei Videokameras eingesetzt, deren optische Achsen möglichst orthogonal zueinander angeordnet sind. Für die Erfassung der Anthropometrie werden dagegen zwei orthogonal zueinander stehende CCD-Kameras verwendet, deren Aufnahmen direkt über eine entsprechende Karte an den Messrechner weitergegeben werden. Die digitalisierten Aufnahmen der Videokameras bzw. die der CCD-Kameras können am Rechner mit Hilfe einer unter MS Windows lauffähigen Software analysiert werden. Diese ist in die Module Kalibrier-, Anthropometrie-, Haltungs- und Bewegungsanalyse aufgeteilt (Seitz, 1998).

7.1.3.2.2 Kalibrierung des Analysesystems

Um die Relationen und die Lage der einzelnen Kameras zueinander und zur Versuchsperson herzustellen, ist vor jeder Messreihe eine Kalibrierung des Systems notwendig. Hierzu wird ein Kalibrierkörper aus mindestens zwei Ansichten mit Hilfe der Kameras aufgenommen. Da die Abmaße des Körpers dem Programm bekannt sind, kann durch einfaches Anwählen der Eckpunkte der auf dem Bildschirm dargestellten Aufnahmen des Kalibrierkörpers ein ihm entsprechendes rechnerinternes Abbild überlagert werden. Sind alle Kanten und Ecken deckungsgleich, so sind Abstand und Neigung der Kameras zum Objekt eindeutig festgelegt und werden in einer Kalibrierdatei gespeichert. Kameraabhängige Parameter wie Linsenverzerrung, Brennweite usw. finden dabei ebenfalls Berücksichtigung und werden im Vorfeld für jede einzelne Kamera durch eine eigene Kalibrierung bestimmt.

7.1.3.2.3 Anthropometrie- und Haltungserfassung mittels PCMAN

Für die Vermessungen wird ein dreidimensionales Drahtmodell, ein so genannter *PCMAN*-Dummy, in einen virtuellen Raum übertragen, welcher durch aufeinander abgestimmte Kameras definiert ist. In diesem virtuellen Raum kann das überlagerte Drahtmodell frei verschoben und bewegt werden. Der Aufbau des Modells erlaubt eine beliebige Veränderung jedes Körperelements in Länge und Umfang. Wird dem virtuellen Raum zudem das Bild bzw. die Bilder einer Realperson aus unterschiedlichen Perspektiven hinzugefügt, so ist es möglich, das Drahtmodell exakt dem Körper und auch der Haltung der betrachteten Person anzupassen.

7.1.3.2.3.1 Bestimmung der Anthropometrie

Um exakte Haltungs- aber auch Bewegungsanalysen durchführen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Anthropometrie der jeweils beobachteten Versuchsperson notwendig.

Die Versuchsperson nimmt dazu zwei festgelegte Haltungen, die sog. Standard- und Pharaohaltung ein. Die Haltungen werden mittels der beiden orthogonal zueinander stehenden CCD-Kameras aufgenommen (Abbildung 7.5).

Abbildung 7.5: Versuchsperson in Standard- (l.) und Pharaohaltung (r.)

Den Bildern wird dann der *PCMAN*-Dummy überlagert und den Konturen des Probanden angepasst. Das Ergebnis ist ein dem Probanden entsprechender dreidimensionaler *PCMAN*-Dummy, der für weitere Analysen zur Verfügung steht (Abbildung 7.6).

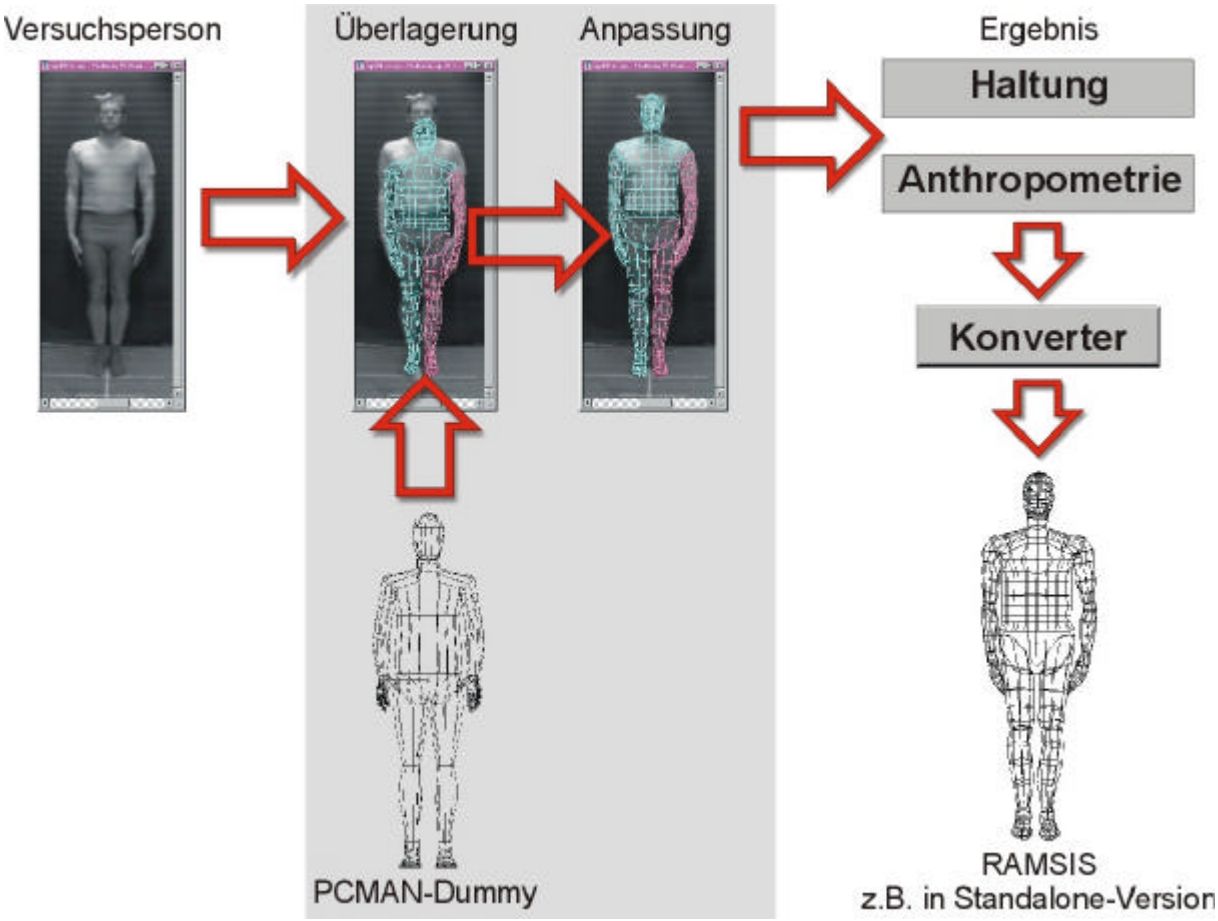


Abbildung 7.6: Prinzip der anthropometrischen Vermessung von Versuchspersonen

7.1.3.2.3.2 Die Erfassung der eingenommenen Körperhaltungen

Zur Analyse von Haltungen - oder ganzen Bewegungsabläufen - wird der jeweilige Versuchsablauf mittels Videokameras dokumentiert. Um die einzelnen Bilder der Kameras zeitlich einander zuordnen zu können, werden die verschiedenen Videobänder entweder nachträglich mit einem synchronen Timecode versehen oder eine spezielle Messuhr so im Versuchsaufbau positioniert, dass sie von allen Kameras eingesehen werden kann.

Bilder der Versuchsperson, die hinsichtlich der eingenommenen Haltungen analysiert werden sollen, werden mittels einer Frame-Grabber-Karte als Bitmap gespeichert. In einem nächsten Schritt wird den einzelnen Bildern der jeweilige, zuvor durch die Anthropometrieerfassung erzeugte, *PCMAN*-Dummy überlagert. Dabei werden die einzelnen Gelenkwinkel, unter Berücksichtigung der physiologischen Beweglichkeit des Menschen, so lange verändert, bis eine Deckung der Konturen von Dummy und Versuchsperson erreicht ist (Abbildung 7.7).

Da das Drahtmodell dann exakt die Haltung der zu untersuchenden Person wiedergibt, können Aussagen über die eingenommenen Gelenkwinkel gemacht werden.

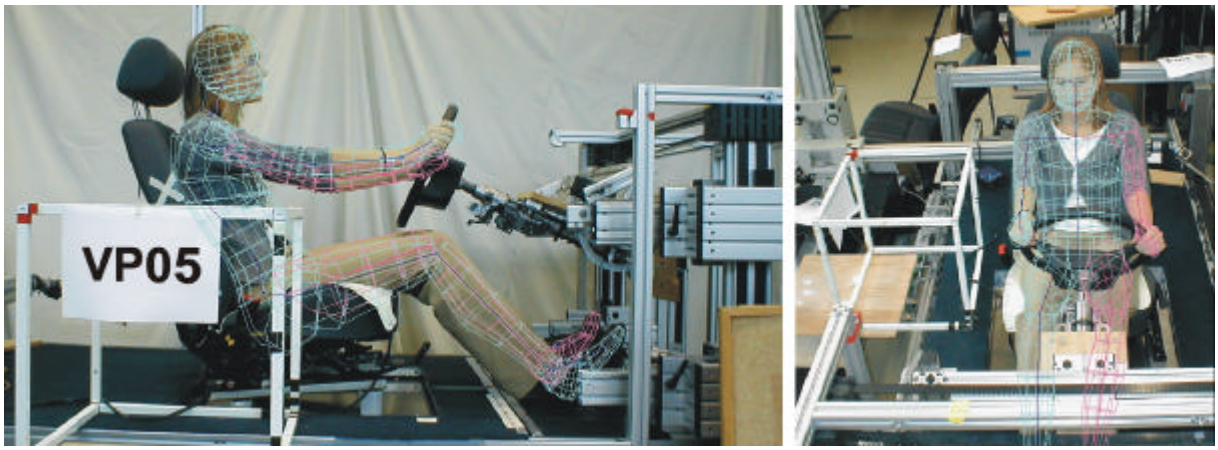


Abbildung 7.7: Ermittlung der Fahrerhaltung in einem Pkw. Versuchsperson überlagert von zugehörigem PCMAN-Dummy

7.1.3.2.4 Übertragung der Daten an RAMSIS

Wie bereits erwähnt wurde, sind die durch *PCMAN* erhobenen Daten zu *RAMSIS* modelladäquat. Das bedeutet, dass sowohl die ermittelte Anthropometrie als auch die Haltungen vollständig in das *RAMSIS*-System übertragen und dort weiterverarbeitet werden können. Dies geschieht mit Hilfe eines Anthropometrie- bzw. eines Haltungskonverters, die in *RAMSIS* implementiert sind. Ebenfalls implementiert ist ein inverser Anthropometriekonverter, der es gestattet in *RAMSIS* erzeugte Anthropometrien (z. B. über den *RAMSIS*-Body-Builder) in *PCMAN* zu übertragen.

7.1.3.3 Versuchsaufbau

Die Umblickversuche sollten später in *RAMSIS* nachgestellt werden. Daher mussten die von den Versuchspersonen zu fixierenden Sichtziele bekannt sein. Hierzu hätte bei realen Fahrversuchen in einem Pkw wiederum das *JANUS*-System zum Einsatz kommen müssen, was aber vermieden werden sollte, da ein nicht unbedeutender Einfluss auf die Haltungen durch das System befürchtet wurde. Es wurde daher der Fahrerstand des *Lehrstuhls für Ergonomie* eingesetzt. Ein weiterer Grund, der für die Versuchsdurchführung im Fahrerstand spricht, ist die Haltungsanalyse, für die die durch die Versuchsperson eingenommenen Haltungen mit Videokameras dokumentiert wird. Hierzu muss möglichst die ganze Versuchsperson aus mindestens zwei unterschiedlichen Kameraperspektiven erfasst werden um Rauminformationen zu erhalten - dies ist innerhalb eines Fahrzeugs nur schwer möglich, da der Innenraum zu beengt ist und Teile der Versuchsperson durch Fahrzeugkomponenten verdeckt sein können.

Der Fahrerstand gewährleistet dagegen eine weitgehend freie Sicht auf die Versuchspersonen. Lenkrad und Pedale des Aufbaus sind voneinander unabhängig in Höhe, Neigung sowie in vertikaler und horizontaler Richtung verstellbar. So kann - relativ zum Fahrersitz - jedes beliebige Pkw-Package eingerichtet werden. Zum Einstellen der Fahrerstandkomponenten auf die jeweiligen Packagemaße wird eine 3D-Koordinatenmessmaschiene eingesetzt, deren Achsen auf die des Fahrerstandes abgeglichen sind.

Um Erkenntnisse über das Umblickverhalten bei verschiedenen Sitzpositionen zu erhalten, wurden bei den Versuchen drei verschiedene Fahrzeugkonzepte betrachtet, die aus Tabelle 7.1 ersichtlich sind.

Tabelle 7.1: Fahrzeugkonzept und erwartete Sitzposition mit zugehörigem Fahrzeugmodell

Nr.	Fahrzeugkonzept	Fahrzeugmodell	erwartete Sitzposition /Lehnenneigung
1	Sportwagen	Mercedes SLK-Klasse (R170)	tief / flach
2	gehobene Mittelklasse	Mercedes E-Klasse (W210)	mittel / mittel[12]
3	Off-Roader/Van	Mercedes M-Klasse (W163)	hoch / aufrecht

Um für die Versuchspersonen den Realitätsbezug noch zu steigern, und um ein möglichst realistisches Einsitzverhalten mit damit verbundenen korrekten Haltungen zu erreichen, wurde für jedes Fahrzeugkonzept der entsprechende Sitz verwendet. Von jedem der drei Sitze war der Seating Reference Point (SgRP) bekannt, so dass eine korrekte Platzierung relativ zu Lenkrad und Pedalen möglich war. Jeder Sitz wurde hierzu auf einer entsprechenden Messplatte montiert, deren Plattenböcke die im entsprechenden Fahrzeug vorhandenen Anschraubpunkte des Sitzes bereitstellen (Abbildung 7.8). Somit ist eine genau der Realität entsprechende Ausrichtung der Sitze gewährleistet. Da immer die kompletten Sitze, also Sitz inklusive Sitzschienen, montiert wurden, stand auch im Versuchsaufbau der reale Verstellbereich zur Verfügung.

Abbildung 7.8: Sitz der M-Klasse montiert auf seiner Messplatte

Damit die Sichtziele von den Versuchspersonen auch wirklich fixiert und nicht nur aus den Augenwinkeln wahrgenommen werden, wurden anstelle der ursprünglich eingesetzten Leuchtsignale Monitore verwendet. Auf diesen erschienen einfache „Ja-Nein-Fragen“, die mittels Zuruf zu beantworten waren. Somit wurde sichergestellt,

[12] Relativ zu Fahrzeugkonzept 1 und 3

dass die Versuchspersonen auch wirklich eine Fixation des Sichtzieles vornahmen. Es wurden zwei Sichtziele (Monitor 1 und 2) dargeboten, die entsprechend Abbildung 7.9 bezüglich des SgRP aufgestellt wurden. Dabei entspricht Monitor 1 einem etwa auf Aughöhe liegenden Objekt beim Blick über die rechte Schulter (Schulterblick beim Einfädeln in fließenden Verkehr). Monitor 2 ist so platziert, dass durch ihn ein Sichtziel, wie es beim „gerade Rückwärtsfahren“ zu fixieren wäre – also, z. B. ein sich hinter dem eigenen befindliches Fahrzeug beim Einparken – dargestellt wird.

Zur räumlichen Haltungserfassung wurden drei Kameras eingesetzt. Diese wurden, wie in Abbildung 7.9 dargestellt, bezüglich des Fahrerstandes positioniert.

Damit die Probanden eine der Realität entsprechende Fuß- und Beinhaltung einnahmen, wurde von einem Schaltfahrzeug ausgegangen, bei dem beim Rückwärtsfahren Kupplungs- und Gaspedal in einem bestimmten, fahrzeug- und geschwindigkeitsabhängigen Verhältnis zueinander betätigt werden müssen. Um dies im Fahrerstand zu simulieren, wurden die mit einer jeweils festen Rückstellkraft beaufschlagten Pedale mit elektrischen Potentiometern versehen. Ihr so abnehmbarer Betätigungsweg wurde an einen frei programmier- und einstellbaren Schwellwertregler weitergeleitet. Dieser verarbeitet die einkommenden Weginformationen und gibt in Abhängigkeit der eingestellten Schwellwerte das Verhältnis von Gas- und Kupplungspedal als Spannungsgröße aus.

An Monitor 2 wurde eine Diodenleiste angebracht, die mit dem Ausgang des Schwellwertreglers verbunden wurde. In Abhängigkeit der ausgegebenen Spannungen leuchten damit sukzessive unterschiedlich viele Dioden auf. Die Aufgabe für die Versuchspersonen bestand nun darin, die mittlere, farbig codierte Diode der Leiste alleine zum Leuchten zu bringen, was einer realistischen Betätigung von Kupplungs- und Gaspedal beim Rückwärtsfahren entspricht.

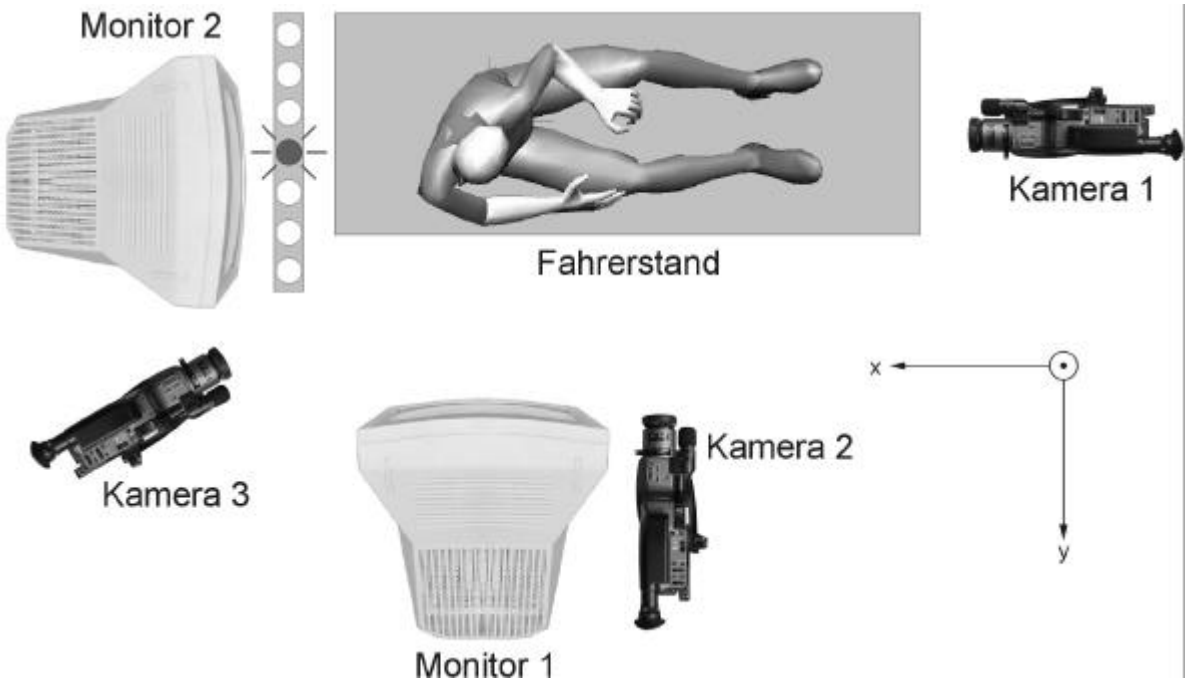


Abbildung 7.9: Positionen der Kameras und Sichtziele bezüglich des Fahrerstandes

Abbildung 7.10 zeigt den kompletten Versuchsaufbau in der Simulatorhalle des *Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München*.

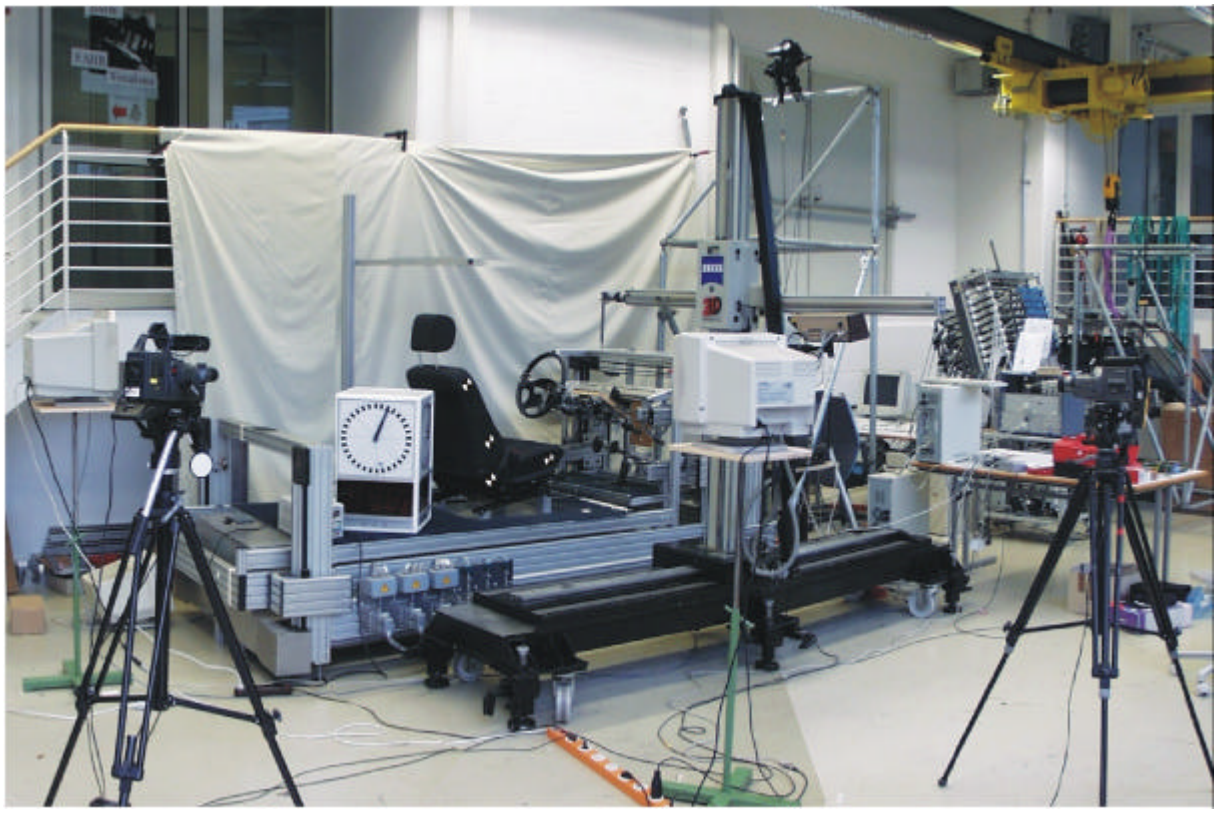


Abbildung 7.10: Versuchsaufbau in der Simulatorhalle des Lehrstuhls für Ergonomie

7.1.3.4 Versuchspersonenkollektiv

Das Versuchspersonenkollektiv wurde nach den *RAMSIS* zugrunde liegenden Leitmaßen Körpergröße, Korpulenz und Proportion gebildet. Jede Person stellt dabei in einem der Leitmaße ein Extrem dar – in den beiden anderen dagegen den „Normaltypus“. Als Datengrundlage dient die *RAMSIS*-Standardtypendatei, auf die die Akzeleration 2001 angewendet wurde. Die Differenzierung wird zudem auf das Geschlecht sowie auf drei Altersgruppen - 18-29 Jahre (jung), 30-49 Jahre (mittel) und 50-70 Jahre (alt) - angewendet. Abbildung 7.11 zeigt die Verteilung der Versuchspersonen im Merkmalsraum der *RAMSIS*-Standardtypen. Jede Versuchsperson ist dabei als der Schwerpunkt eines der in der Abbildung dargestellten Quaders zu verstehen.

Unter der Voraussetzung, dass für jede Konstellation eine Person gefunden werden kann, ergibt sich ein Kollektiv von 36 Personen. Um möglichst geeignete Kandidaten zu finden, wurden zunächst 402 optisch in Frage kommende Männer und Frauen genauer vermessen[13]. Aus den gewonnenen Körperdaten wurden schließlich die Versuchspersonen bestimmt, die den gewünschten Werten am nächsten kamen.

[13] Dabei wurden nur die Personen in den Katalog aufgenommen, die auch Ihre Bereitschaft an einer Teilnahme bei den Versuchen zum Ausdruck brachten.

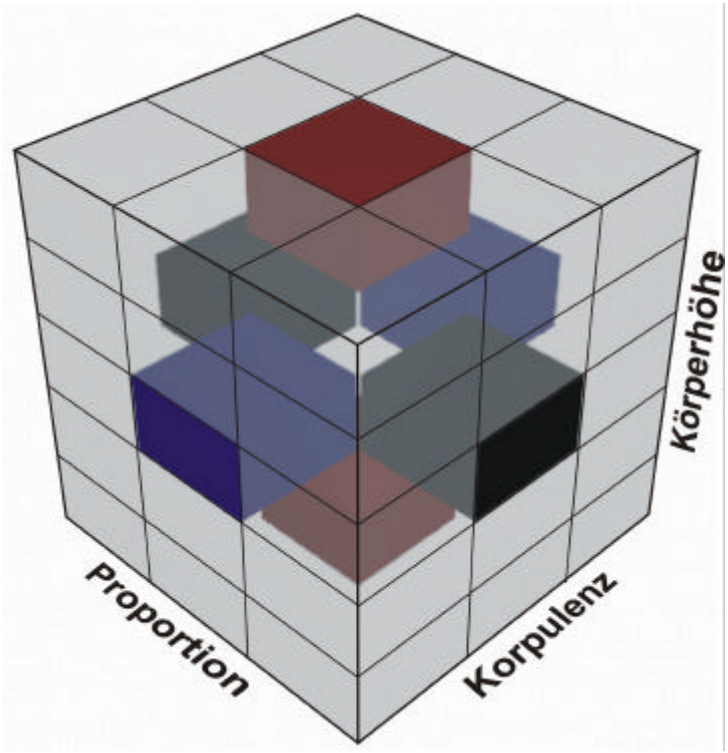


Abbildung 7.11: Die Lage der Versuchspersonen im Merkmalsraum der RAMSIS-Typologie

7.1.3.5 Versuchsdurchführung

Vor dem ersten Versuch wurde jede Versuchsperson zur späteren Anthropometriebestimmung - wie schon in Abschnitt 7.1.3.2.3 beschrieben - in Standard- und Pharaohaltung mittels zweier CCD-Kameras aufgenommen.

Um den Umbauaufwand des Fahrerstandes so gering wie möglich zu halten, wurden die Versuchsreihen jeweils komplett mit allen Versuchspersonen an einem Fahrzeug abgeschlossen, bevor die Packagedaten des nächsten Fahrzeugs eingerichtet und die nächste Versuchsreihe gestartet wurde.

Um Messungenauigkeiten möglichst auszuschließen, wurden vor jedem Versuch die Kameras neu kalibriert (siehe Abschnitt 7.1.3.2.2). Die genaue Position und Lage des Kalibrierkörpers bezüglich des FKS wurde mit Hilfe der 3D-Koordinaten-messmaschine bestimmt. Somit konnte der genaue Bezug zwischen *PCMAN*-Koordinatensystem und FKS hergestellt werden.

Die Versuchspersonen wurden zunächst über Sinn und Zweck der durchzuführenden Versuche informiert. Als nächstes wurden sie mit dem Aufbau vertraut gemacht. Sie nahmen im Fahrerstand Platz und durften sich die für sie angenehmste Fahrposition frei über den Sitz einstellen. Um dies zu erleichtern, und um ein Gefühl für Gas- und Kupplung zu vermitteln, wurden sie angewiesen, 10-15 Minuten einen per Rechner simulierten und über einen vor dem Fahrerstand befindlichen Monitor dargebotenen Parcours abzufahren. Danach hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit, einige Testläufe mit Diodenleiste, Gas- und Kupplungspedal durchzuführen.

Nach dieser Gewöhnungs- und Übungsphase wurden die Kameras 1-3 gestartet und mit der eigentlichen Versuchsdurchführung begonnen.

Während die Versuchpersonen wiederum den simulierten Parcours abfuhren, wurden sie unvermittelt angewiesen, Monitor 1 bzw. Monitor 2 zu fixieren und die

dort gerade erschienene Frage zu beantworten. Dies wurde mehrmals in unregelmäßigen Abständen wiederholt.

Zum Abschluss eines jeden Versuchs wurden die Sitzreferenzpunkte (siehe Abbildung 7.8) mit Hilfe der 3D-Koordinatenmessmaschine bezüglich des festen Fahrzeugkoordinatensystems abgenommen, wodurch eine genaue Lagen- und Neigungsbestimmung des Sitzes bzw. seiner Rückenlehne und Sitzfläche möglich wurde.

7.1.3.5.1 Erhebung der Realhaltungen

Die Bänder der drei Videokameras wurden sukzessive nach der für eine Versuchsperson typischen Grund- und Umblickhaltung durchsucht. Dabei können mit Hilfe der im Bild mitlaufenden Messuhr (siehe Abbildung 7.10) einzelne Bilder der drei Filme zeitlich exakt zugeordnet werden. Die sich zeitlich entsprechenden Bilder wurden zur weiteren Analyse als Bitmapdatei auf den Rechner geladen.

Wie bereits in Abschnitt 7.1.3.2.3.2 näher beschrieben, wurde auf Grundlage dieser Haltungsaufnahmen und der auf der Basis der Anthropometrien erzeugten *PCMAN*-Dummys, die jeder Versuchsperson entsprechende Grund- und Umblickhaltung durch Anpassen des Dummys erzeugt. Das Ergebnis sind die der Realhaltung entsprechende Gelenkwinkel der *PCMAN*-Gelenke.

Zudem wurden die Positionen der H-Punkte, wie sie von den Versuchspersonen in Grund- und Umblickhaltung in den verschiedenen Fahrzeugen eingenommen werden, bezüglich des Sitzreferenzpunktes (Referenzpunkt „Position“ in Abbildung 7.8) mit Hilfe der in *PCMAN* implementierten Punktvermessung ermittelt. Da die Lage des Sitzreferenzpunktes sowie die Orientierung des *PCMAN*-Koordinatensystems bzgl. des Fahrzeugkoordinatensystems bekannt ist, lassen sich die H-Punkte der Versuchspersonen im FKS darstellen.

7.1.4 Erstellen der RAMSIS-Prognosen

7.1.4.1 Fahrzeuggeometrien

Auf Basis der auch für die Einrichtung des Fahrerstandes benutzten Daten wurden einfache Fahrzeuggeometrien für SLK-, E-, und M-Klasse mit Hilfe von Pro/ENGINEER erstellt, als IGES-Files exportiert und schließlich in die *RAMSIS*-Standalone Version 3.7.4 importiert.

7.1.4.2 Grundlagen der Restriktionsfindung

Grundsätzlich lässt sich *RAMSIS* mit Hilfe von Restriktionen in fast jede gewünschte Haltung bringen - ausschlaggebend ist lediglich die Wahl der Restriktionen, die mitunter in Abhängigkeit des jeweils betrachteten Manikin und der zu berücksichtigenden Geometrie zu verändern sind. D. h. Restriktionen, die bei einer bestimmten Geometrie und einem sehr großen, dicken Mann zu brauchbaren Ergebnissen führen, können bisweilen versagen, wenn sie auf einen z. B. mittleren Mann angewendet werden.

Daraus ergeben sich fünf Ansprüche, denen die nachfolgenden Untersuchungen strikt folgen werden:

Anspruch 1:

Die untersuchten Restriktionen müssen auf alle betrachteten Anthropometrien anwendbar sein.

Anspruch 2:

Die untersuchten Restriktionen müssen auf alle betrachteten Fahrzeuggeometrien anwendbar sein.

Anspruch 3:

Die für die Restriktionen benötigten Referenzpunkte und Flächen müssen auf einfachste Weise innerhalb vorhandener Geometrien erzeugt werden können.

Anspruch 4:

Die Erzeugung der Referenzpunkte und Flächen muss in einer Standardgeometrie möglich sein – wobei als Standardgeometrie eine durch ein Kupplungspedal erweiterte ARGUS-Geometrie gilt.

Anspruch 5:

Nur solche Restriktionsdatensätze werden zugelassen, deren Restriktionswahl Rechenzeit optimiert sind, d. h. dass keine Restriktionen gesetzt wurden, deren resultierende Haltung nicht auch durch eine weniger rechenzeitaufwändige Restriktion erzeugt werden kann.[14]

Anspruch 6:

Die Koordinaten personenabhängiger Restriktionen müssen alleine mit Hilfe von RAMSIS gefunden werden können. Versuche mit Realpersonen für Ihre Bestimmung sind zu vermeiden.

Restriktionen, die nur einen der Ansprüche nicht erfüllen, werden als unbrauchbar verworfen

Während die Position einiger Körperelemente, z. B. der Füße oder des Beckens, prinzipiell feststehen, muss für andere anhand von Beobachtungen erst ermittelt werden, wo und wie Restriktionen am günstigsten zu legen sind.

Für die Grundhaltung wurde dabei im Wesentlichen auf die von Kolling gemachten Untersuchungen zurückgegriffen und die entsprechenden Restriktionen abgeleitet. Tabelle 7.2 zeigt eine Auflistung dieser grundhaltungsbestimmenden Restriktionen. Der Haltepunkt P1 gemäß Abbildung 7.12 liegt dabei nach Anspruch 3 und 4 im Schnittpunkt zweier Ebenen und der Lenkradkranzfläche. Wobei die erste Ebene eine Fläche senkrecht auf der zur Y-ZERO-Ebene des Fahrzeugs parallelen Medianebene des Lenkrades ist, die durch die zur Lenkachse parallel verlaufende Gerade durch den Lenkradkranzmittelpunkt verläuft. Die zweite Ebene ist die Fläche, die den Lenkradkranz radial und mittig schneidet. P4 ist dann der an der Lenkradmedianfläche gespiegelte Punkt P1.

[14] Beispiel hierfür ist der Einsatz der Restriktionsoption „Gelenke“, mit der bestehende Gelenkwinkel eingefroren werden. Die Berechnungszeit von neuen Haltungen, in denen sich diese Gelenke kaum verändern, ist wesentlich geringer als die Beaufschlagung der entsprechenden Gelenkkette durch andere Restriktionen, z. B. Zielangaben.

Tabelle 7.2: Aufgabeninhalt des grundhaltungsbestimmenden Restriktionsdatensatzes G1

#	Art der Rest.	Restriktion seitens RAMSIS	RAMSIS interner Name	Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie	Bemerkung / Zusatzbedingung
1	Ziel	Hüftpunkt	PHZ	Einsitzpunkt PG_{VP}	PG_{VP} aus *PCMAN* Rot. in x, y, z frei
2	Ziel	linke Hand	FG1L0002	Lenkradpunkt P1	
3	Ziel	rechte Hand	FG1R0008	Lenkradpunkt P4	
4	Ziel	rechter Fußkontaktpunkt	FBR0005	Gaspedal	
5	Ziel	linker Fußkontaktpunkt	FBL0005	Kupplungspedal	
6	Ziel	rechter Hackenpunkt	FUR0306	Fahrzeugboden	
7	Ziel	linker Hackenpunkt	FUL0306	Fahrzeugboden	
8	Handhaltung	linke/rechte Hand			loses Greifen

Die Handstellungen der Umblickhaltung sind, absolut gesehen, starken Schwankungen unterworfen, was mit den Lenkbewegungen der Versuchspersonen zusammenhängt. Daher werden auch hier die Handhaltungen immer relativ zum Lenkrad betrachtet, das sich für die Restriktionswahl in der Grundstellung befindet. Relativ zum Lenkrad bleibt die linke Hand - auch bei Lenkeinschlägen - fest. Sie liegt zumeist im Bereich zwischen Punkt P2 und P3 (Abbildung 7.12), vereinzelt auch etwas über P3 hinausgehend. Überraschenderweise bleibt auch bei der Umblickbewegung bei 98% aller Versuchspersonen die rechte Hand am Lenkrad – fast durchweg im Bereich von P4.

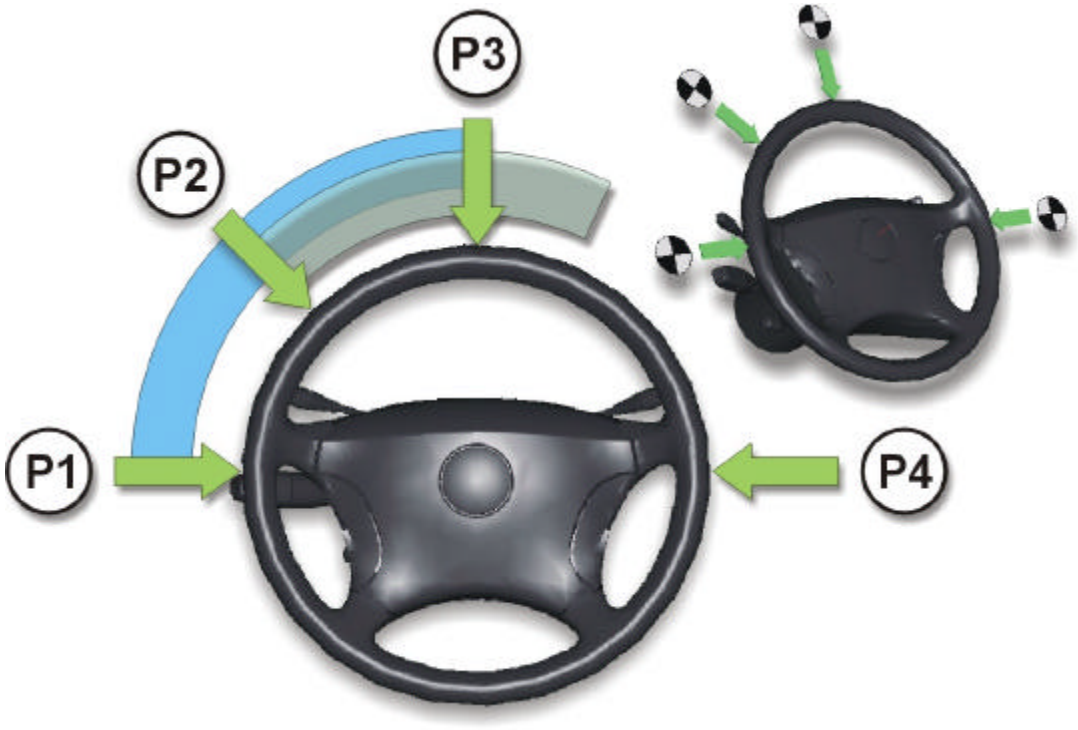


Abbildung 7.12: Restriktionspunkte am Lenkrad

7.1.4.3 Prognosenerstellung auf der Grundlage von Restriktionen

Um die den Ansprüchen 1-6 am besten genügende Haltungsprognose zu ermitteln, wurde zunächst ein, zwar auf den vorangegangenen Überlegungen basierender, aber dennoch möglichst einfacher Referenzrestriktionsdatensatz erstellt, und die auf dieser Basis, in Verbindung mit den verschiedenen Anthropometrien und Fahrzeuggeometrien, prognostizierten Haltungen mit den Realhaltungen verglichen (siehe Abschnitt 7.1.5). Dieser Restriktionsdatensatz wurde dann sukzessive erweitert bzw. verändert und die jeweils erzeugten Prognosen wiederum den Realhaltungen gegenübergestellt.

Auf diese Weise wurden 43 verschiedene Restriktionsdatensätze erzeugt. Neben den in diesen enthaltenen Ziel-, Grenzflächen-, Gelenk- und Fixierungsrestriktionen wurden auch Variationen der Beweglichkeiten (50% oder 95%) durchgeführt. Allerdings erfolgte an dieser Stelle kein Einsatz von benutzerdefinierten Einstellungen, wie sie seit der Version 3.7.4 für so genannte *Expertenuser* zur Verfügung stehen, d. h. es wurden nur Standardeinstellungen, die jedem *RAMSIS*-Nutzer ohne Expertenwissen zugänglich sind, verwendet.

Insgesamt wurden 2116 Haltungen prognostiziert und 648 Prognosen den Realhaltungen gegenüber gestellt. Das folgende Kapitel zeigt den Vergleich bzw. die Ergebnisse der Validierung exemplarisch an dem Restriktionsdatensatz U43, der die besten Ergebnisse lieferte und dessen Aufgabeninhalt in Tabelle 7.3 wiedergegeben ist.

Tabelle 7.3: Aufgabeninhalt des Restriktionsdatensatzes U43

#	Art der Rest.	Restriktion seitens RAMSIS	RAMSIS interner Name	Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie	Bemerkung / Zusatzbedingung
1	Ziel	Hüftpunkt	PHZ	Einsitzpunkt PH_{VP}	PH_{VP} aus *PCMAN* Rot. x, y, u. z frei
2	Ziel	linke Hand	FG1L0003	Lenkradpunkt P2	
3	Ziel	rechte Hand	FG2R0007	Lenkradpunkt P4	
4	Ziel	rechter Fußkontaktpunkt	FBR0005	Gaspedal	
5	Ziel	linker Fußkontaktpunkt	FBL0005	Kupplungspedal	
6	Ziel	rechter Hackenpunkt	FUR0306	Fahrzeugboden	
7	Ziel	linker Hackenpunkt	FUL0306	Fahrzeugboden	
8	Ziel	Fixationspunkt		Objektpunkt	
9	Grenzfläche	rechter Unterschenkel	Unterschenkel-Fl-r-außen	Mittenkonsole	Richtung 0, -1, 0
10	Grenzfläche	rechtes Auge	GAUR	Rechte Seitenfläche der Kopfstütze	Richtung 0, 1, 0 Abstand 0
11	Grenzfläche	linker Unterarm innen	Unterarm-Fl-l-innen	Lenkkranzfläche	Richtung 1, -1, 0
12	Grenzfläche	rechte Schulter	Schulter-Fl-r-hinten		Richtung -1, 0, 0
13	Richtung	Längsachse des Kopfes	Tangente Kopfelement		Richtung 0, 0, 1
14	Handhaltung	linke/rechte Hand			Kontaktgriff

7.1.4.4 Erläuterungen zu den Restriktionen

Restriktion 1: Ziel / Hüftzentrum

Wie aus Tabelle 7.2 und Tabelle 7.3 zu ersehen ist, werden zwei unterschiedliche Punkte der Fahrzeuggeometrie als Restriktion für die Platzierung des Hüftpunktes gesetzt. Damit treten hier zwei Besonderheiten gegenüber der normalen Vorgehensweise bei der Platzierung von *RAMSIS* in der Fahrzeuggeometrie auf. Im Allgemeinen wird hierzu der Offsetpunkt PHPT in das H-Punktverstellfeld des Sitzes gelegt. Das H-Punktverstellfeld kennzeichnet allerdings den möglichen Verstellbereich des Sitzes. Da dessen Lage bei einer Umblickbewegung nicht variiert wird, muss die Restriktion für PHPT so gewählt werden, dass dem Rechnung getragen wird. Gleichwohl treten dennoch Verschiebungen des Hüftpunktes bei den Versuchspersonen auf. Diese haben allerdings nichts mit einer Verstellung des Sitzes zu tun. Vielmehr verlagert ein Fahrer bei einer Umblickbewegung sein Becken oder rutscht sogar auf dem Sitz vor, zurück oder zur Seite, um eine bessere Blickposition zu erhalten.

Weitere H-Punktverschiebungen treten durch Weichteil- und Sitzverformungen bei der Gewichtsverlagerung auf. Weichteilverformungen können – zumindest z. Z. – in *RAMSIS* nicht berücksichtigt werden. Was die Sitzverformung angeht, so besteht zwar seit kurzem die Möglichkeit, mit Hilfe des am *Lehrstuhl für Ergonomie* der *TU München* entwickelten Forschungsstuhls FS2000 (Balzulat, 2000; Hudelmaier, 1997) Sitzparameter von bestehenden Sitzen abzunehmen, entsprechende Sitze zu simulieren und so Rückschlüsse auf das Einsitzverhalten zu ziehen – Ergebnisse der in diesem Rahmen laufenden Forschungsarbeiten liegen z. Z. allerdings noch nicht vor, so dass das Einsitzverhalten und die Interaktion von Mensch und Fahrzeugsitz immer noch eine unbekannte Größe darstellt und somit auch nicht simuliert werden kann.

Diagramm 7.1 zeigt die auftretenden, relativen Verschiebungen des Hüftzentrums, wie sie bei den Versuchen in den Mockups der SLK-, E- und M-Klasse auftraten und mittels *PCMAN* bestimmt werden konnten.

Die genaue Betrachtung der H-Punktverschiebungen ergab keine Korrelationen zwischen Personen(-gruppen) und Verschiebung. Sie sind im Mittel betrachtet auch relativ gering (x-Verschiebung 8,0 mm, Standardabweichung σ = 16,8 mm; y-Verschiebung 11,5 mm, σ = 22,2 mm; z-Verschiebung 0,9 mm, σ = 17,0 mm). Derartige Verschiebungen können mit *RAMSIS* im Normalfall allerdings nicht berücksichtigt werden, da *RAMSIS* nur auf Flächen bzw. Punkten referenziert werden kann – nicht aber innerhalb von Volumenkörpern. Dennoch sollen die Verschiebungen für die Untersuchung berücksichtigt werden, um bessere Aussagen über die Güte der Prognosen zu erhalten. Daher werden die aus der Realuntersuchung ermittelten Lagen der Hüftzentren als Restriktion benutzt. D. h. die Restriktionspunkte PG_{VP} (zur Bestimmung der jeweiligen Grundhaltung) und PH_{VP} (zur Bestimmung der jeweiligen Umblickhaltung) sind für jede Person anders.

Daraus folgt, dass als Platzierungsreferenz für *RAMSIS* der Hüftzentrumspunkt PHZ herangezogen wird und nicht der Offsetpunkt PHPT, der durch die Bildung des Versatzvektors RH ermittelt wird (Abschnitt 4.6).

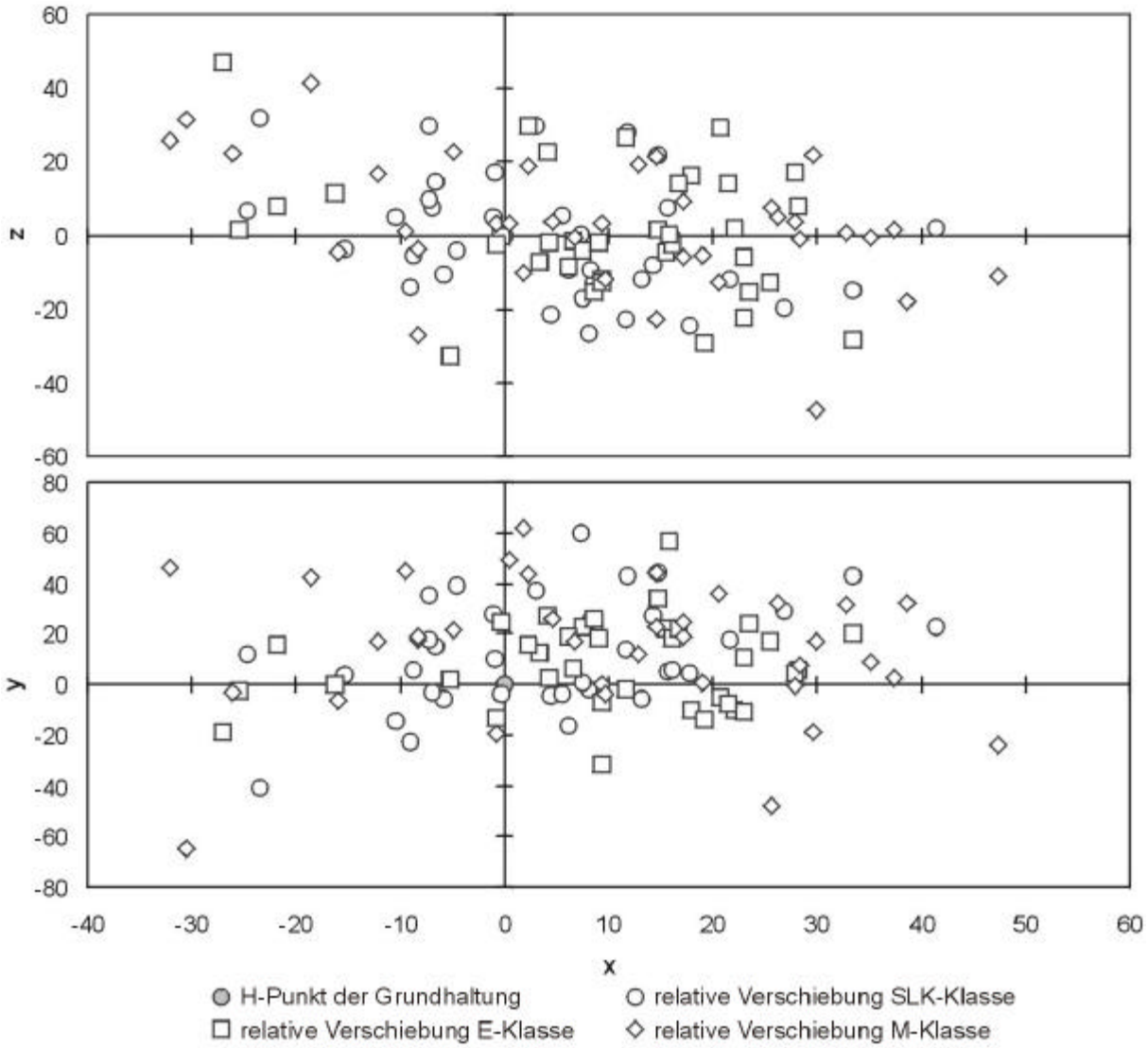


Diagramm 7.1: Relative Verschiebungen des Hüftzentrums beim Umblicken in der SLK-, E und M-Klasse

Restriktion 8: Ziel / Objektpunkt

Der *RAMSIS*-Fixationspunkt wird auf den Objektpunkt referenziert, der dem Bildschirmmittelpunkt von Monitor 2 im Realversuch entspricht.

Restriktion 9: Grenzfläche / Mittenkonsole

Im Realfall stellt die Mittenkonsole bei der Umblickbewegung nach rechts eine Barriere für das rechte Knie bzw. den rechten Unterschenkel dar. Da das *RAMSIS*-Becken rotatorisch nicht festgelegt werden soll, muss auch für die Prognose eine Fläche eingeführt werden, die von Unterschenkel und Knie nicht durchdrungen werden darf und die somit die Rotation des Beckens einschränkt. Hierzu wird eine plane Fläche an der Stelle des Fahrzeugs erzeugt, die die halbe Durchschnittsbreite der Mittenkonsole in y-Richtung markiert.

Restriktion 10: Grenzfläche / Kopfstütze

Wie die Beobachtung der Probanden bei den Versuchen ergab, nimmt das rechte Auge beim Fixieren des rückwärtigen Sichtziels eine Position ein, die es gestattet, knapp an der Kopfstütze vorbei zu blicken. Der Abstand in y-Richtung zwischen

rechtem Auge und Kopfstützenseitenfläche ist dabei nahezu Null. Es wird deshalb eine Restriktion eingeführt, die dafür sorgt, dass das rechte Auge (und damit auch das linke) seitlich (positive y-Richtung) neben der Kopfstütze liegt.

Restriktion 11: Grenzfläche / Unterarm

Ohne diese Grenzfläche nimmt zwar die Hand die ihr vorgegebene Position am Lenkrad ein - gleichzeitig taucht der linke Unterarm aber durch den Lenkradkranz.

Restriktion 12: Grenzfläche / Schulter

Diese Restriktion stellt eine der wichtigsten dar, da durch sie die Rückenlehne des Sitzes berücksichtigt wird. Es stellt sich allerdings als schwierig dar, ihre Lage festzulegen. Diese könnte für die hier angestellten Betrachtungen aus den real gemessenen Sitzlagen bzw. Haltungsdaten ermittelt werden - aufgrund von Anspruch 6 muss ein solches Vorgehen allerdings ausgeschlossen werden. Daher wird die Rückenlehnenposition auf folgende Weise bestimmt:

Für das der jeweiligen Person entsprechende Manikin, für das die Rückenlehne bestimmt werden soll, wird mit Hilfe der in Tabelle 7.2 enthaltenen Restriktionen die Grundhaltung errechnet. Sodann wird eine auf der x-Achse senkrecht stehende Ebene eingeführt, deren x-Koordinate so gewählt wird, dass die Ebene tangential an der Rückenkontur des äußeren *RAMSIS*-Models anliegt.

Vergleicht man die Positionen dieser Ebene mit denen der Lage der rechten Schulter aus den Realhaltungen, so kann man feststellen, dass sich die Lage der Schultern (bei entsprechender Umblickhaltung) immer im Bereich der wie oben erzeugten Rückenlehnen befindet.

Die beschriebene Vorgehensweise stellt damit ein geeignetes Verfahren zum Festlegen der Rückenlehnen gemäß Anspruch 6 dar.

Restriktion 13: Richtung / Kopfachse

Schon in Kapital 3 wurde festgestellt, dass die Augpunktlagen bei einer realen Umblickbewegung bzw. bei der Fixation eines Objektes nur in sehr geringem Maße in der Höhe variieren. Die von *RAMSIS* aufgrund der anderen Restriktionen eingenommene Kopfhaltung entspricht dagegen der in Abbildung 7.4 dargestellten. Um für die richtige Kopfhaltung zu sorgen, muss dem Kopf daher eine Richtung vorgegeben werden.

7.1.5 Validierung der RAMSIS-Prognosen

7.1.5.1 Grundlagen

Um eine Aussage über die Güte der *RAMSIS*-Prognose machen zu können, ist es notwendig, diese mit den ermittelten Realhaltungen vergleichen zu können. Sowohl die gemessenen Realhaltungen, als auch die *RAMSIS*-Haltungen können als Winkel der einzelnen Gelenke dargestellt werden. Vergleicht man diese Winkel, so erhält man die Kenngröße A_r (Gl.7.1), die die relative Abweichung über alle Gelenke darstellt (Seidl, 1993) bzw. die gemittelte Kenngröße A_m (Gl.7.2) pro Gelenk (Arlt, 1999).

Da auch die einzelnen Koordinaten der Gelenkpunkte bekannt sind, lässt sich zudem die relative Abweichung von prognostizierter und realer Gelenklage bestimmen. Diese ist der Betrag des Differenzvektors und wird mit A_{Diff} bezeichnet (Gl.7.3).

$$A_r = \frac{\sum_{i=1}^{Fg} \left| \alpha_{ireal} - \alpha_{iRAMSIS} \right|}{\sum_{i=1}^{Fg} \left| \alpha_{imax} - \alpha_{imin} \right|} \cdot 100 \quad [\%]$$

Gl. 7.1

$$A_m = \frac{1}{Fg} \sum_{i=1}^{Fg} \frac{\left| \alpha_{ireal} - \alpha_{iRAMSIS} \right|}{\left| \alpha_{imax} - \alpha_{imin} \right|} \cdot 100 \quad [\%]$$

Gl. 7.2

mit:

Fg	*Anzahl der Freiheitsgrade*
α_{ireal}	*realer Gelenkwinkel des Gelenks i*
$\alpha_{iRAMSIS}$	*von RAMSIS prognostizierter Gelenkwinkel des Gelenks i*
α_{imax}	*maximaler physiologischer Gelenkwinkel des Gelenks i*
α_{imin}	*minimaler physiologischer Gelenkwinkel des Gelenks i*

$$A_{Diff} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \sqrt{x_{idiff}^2 + y_{idiff}^2 + z_{idiff}^2}$$

Gl. 7.3

$$x_{idiff} = x_{ireal} - x_{iRAMSIS}$$

Gl. 7.4

$$y_{idiff} = y_{ireal} - y_{iRAMSIS}$$

Gl. 7.5

$$z_{idiff} = z_{ireal} - z_{iRAMSIS}$$

Gl. 7.6

mit:

n	*Anzahl der RAMSIS-Gelenke*
x_{ireal}	*Koordinate des Realgelenks i in x-Richtung bzgl. FKS*
y_{ireal}	*Koordinate des Realgelenks i in y-Richtung bzgl. FKS*
z_{ireal}	*Koordinate des Realgelenks i in z-Richtung bzgl. FKS*
$x_{iRAMSIS}$	*Koordinate des RAMSIS-Gelenks i in x-Richtung bzgl. FKS*
$y_{iRAMSIS}$	*Koordinate des RAMSIS-Gelenks i in y-Richtung bzgl. FKS*
$z_{iRAMSIS}$	*Koordinate des RAMSIS-Gelenks i in z-Richtung bzgl. FKS*

7.1.5.2 Ergebnisse aus dem Vergleich von Realhaltungen und RAMSIS-Prognose auf Basis des Restriktionsdatensatzes U43

In den folgenden Tabellen 7.5 - 7.7 sind die Ergebnisse der Gegenüberstellungen von den mit dem Restriktionsdatensatz U43 erzeugten Haltungsprognosen und den mittels *PCMAN* beschriebenen Realhaltungen dargestellt. Um differenziertere Aussagen über die Prognosen machen zu können, werden die Ergebnisse auch auf die Köperteilgruppen Kopf, Torso, linker und rechter Arm sowie linkes und rechtes Bein dargestellt. Die einzelnen Körperteilgruppen setzen sich dabei aus den in Tabelle 7.4 näher bezeichneten Gelenken zusammen.

Tabelle 7.4: Gelenke der Körperteilgruppen

Körperteilgruppe	***Gelenke*** *(nach Abbildung 4.2)*
Kopf	GKH, GHH
Torso	GSBL, GBRK, GBB, GBL, GLL, GLK
rechter Arm	GSBR, GSR, GELR, GHAR
linker Arm	GSBL, GSL, GELL, GHAL
rechtes Bein	GHUR, GKNR, GSPR
linkes Bein	GHUL, GKNL, GSPL

Tabelle 7.5: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Fahrerhaltungsmodell und Restriktionsdatensatz U43. Ergebnisse der SLK-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	11,6	4,4	13,5	5,5	45,1	36,7
Torso	9,1	2,4	13,4	3,4	35,2	27,7
Kopf + Torso	5,9	2,3	13,4	3,2	37,6	29,7
rechter Arm	8,4	2,5	9,4	2,6	58,0	35,3
linker Arm	11,7	3,9	14,0	3,6	108,1	40,2
Arme	10,0	2,6	11,7	2,5	83,1	32,3
rechtes Bein	6,0	2,7	6,5	2,7	35,5	30,2
linkes Bein	4,5	2,4	5,0	2,4	34,9	30,9
Beine	5,2	2,2	5,7	2,2	35,2	29,9
gesamt	9,2*	1,5*	11,4*	2,2*	53,3**	29,5**

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.6: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Fahrerhaltungsmodell und Restriktionsdatensatz U43. Ergebnisse der E-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	10,9	4,5	12,7	5,4	44,1	22,1
Torso	9,1	2,2	12,6	2,1	27,9	12,9
Kopf + Torso	5,7	2,0	12,6	2,2	32,0	14,4
rechter Arm	8,7	1,9	10,4	2,3	53,1	17,1
linker Arm	11,8	3,5	13,4	3,0	91,6	30,9
Arme	10,3	1,8	11,9	1,8	72,4	19,6
rechtes Bein	7,5	2,7	7,9	2,4	22,8	12,0
linkes Bein	4,9	1,7	5,3	1,7	18,4	8,1
Beine	6,1	1,9	6,6	1,7	20,6	8,2
gesamt	9,5*	1,0*	11,3*	1,3*	42,7**	10,7**

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.7: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Fahrerhaltungsmodell und Restriktionsdatensatz U43. Ergebnisse der M-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	9,9	3,5	10,8	4,0	52,6	28,8
Torso	10,4	1,8	14,9	2,1	33,5	17,0
Kopf + Torso	6,3	1,7	14,0	2,1	38,3	18,8
rechter Arm	9,3	2,3	10,3	2,3	56,0	16,4
linker Arm	10,3	4,1	13,2	4,2	100,7	32,7
Arme	10,1	2,1	11,7	2,2	78,3	17,3
rechtes Bein	5,1	1,1	5,5	1,0	17,0	6,1
linkes Bein	4,2	1,4	4,7	1,4	20,2	12,4
Beine	4,7	0,8	5,1	0,7	18,6	8,0
gesamt	9,4*	0,9*	11,5*	1,2*	46,0**	10,4**

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

7.1.5.3 Interpretation der Ergebnisse

Wie aus Tabelle 7.5 und Tabelle 7.7 zu ersehen ist, bestehen die größten Abweichungen gegenüber den Realhaltungen seitens der Prognosen im linken Hand-Arm-System. Dies liegt daran, dass als Lenkradrestriktion der Punkt P2 vorgegeben werden musste, um Anspruch 1 und 2 erfüllen zu können - auch wenn in der Realität eher P3 bevorzugt wird. Durch das zugrunde liegende Fahrerhaltungsmodell, dessen Grundhaltung eine normale Fahrerhaltung - Ellenbogen nach unten gerichtet, eher hängende Schultern - ist, tendiert die Haltungsprognose auch beim Griff zu P3 zu einer nach unten gerichteten Ellenbogenlage mit hängender Schulterpartie, was zu einer Kollision bzw. Durchdringung des Lenkrades führt.

Da die Beine am besten fixiert sind und nur sehr eingeschränkten Bewegungsfreiraum haben, treten bei ihnen auch die besten Ergebnisse auf. Dennoch sind auch hier Abweichungen zu verzeichnen, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass die Versuchspersonen im Fahrerstand Kupplung und Gas betätigten. In der CAD-Umgebung wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Pedale zu 1/3 des Gesamtpedalweges getreten sind, was nicht unbedingt der gerade betrachteten Realhaltung entsprechen muss. Aber auch die Möglichkeit, dass die Versuchspersonen das kurzfristige Einhalten der Umblickhaltung durch Kraftaufwand in den Beinen zu unterstützen suchten, spielt hier sicherlich mit hinein.

Die Abweichungen im Bereich des Kopfes und des Torsos rühren vor allem daher, dass *RAMSIS* weder Kopf noch Torso so weit verdreht wie es die Realpersonen durchweg tun. Grund hierfür ist, dass der Sehstrahl des Mittenauges bezüglich der Kopfmedianebene einen sehr großen Bereich (60°) nach links und rechts abdecken kann. Auch wenn davon ausgegangen wird, dass die Versuchspersonen, den Monitor nicht direkt mit beiden Augen fixierten, sondern peripheres Sehen unter den gegebenen Umständen als akzeptabel ansahen, erscheint dieser Winkelwert im Bezug zur Realität doch zu hoch.

7.1.5.4 Abschließendes Resümee der Validierung

Nach Seidl (1993) kann als qualitatives Prüfkriterium für die Güte der Prognose folgende Bedingung herangezogen werden:

$$\mathbf{A_r = 12\%}$$

D. h. die *RAMSIS*-Prognose kann dann als akzeptabel angesehen werden, wenn das Prüfkriterium für alle A_r erfüllt wird.

Insgesamt betrachtet erfüllen die Umblickprognosen dieses Kriterium. Diagramm 7.2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Kenngröße A_r aller Gelenke - sowohl getrennt für die einzelnen Fahrzeuge als auch gesamt. Hypothese 1 und Hypothese 2 aus Abschnitt 7.1.3.1 können damit prinzipiell als erfüllt angesehen werden.

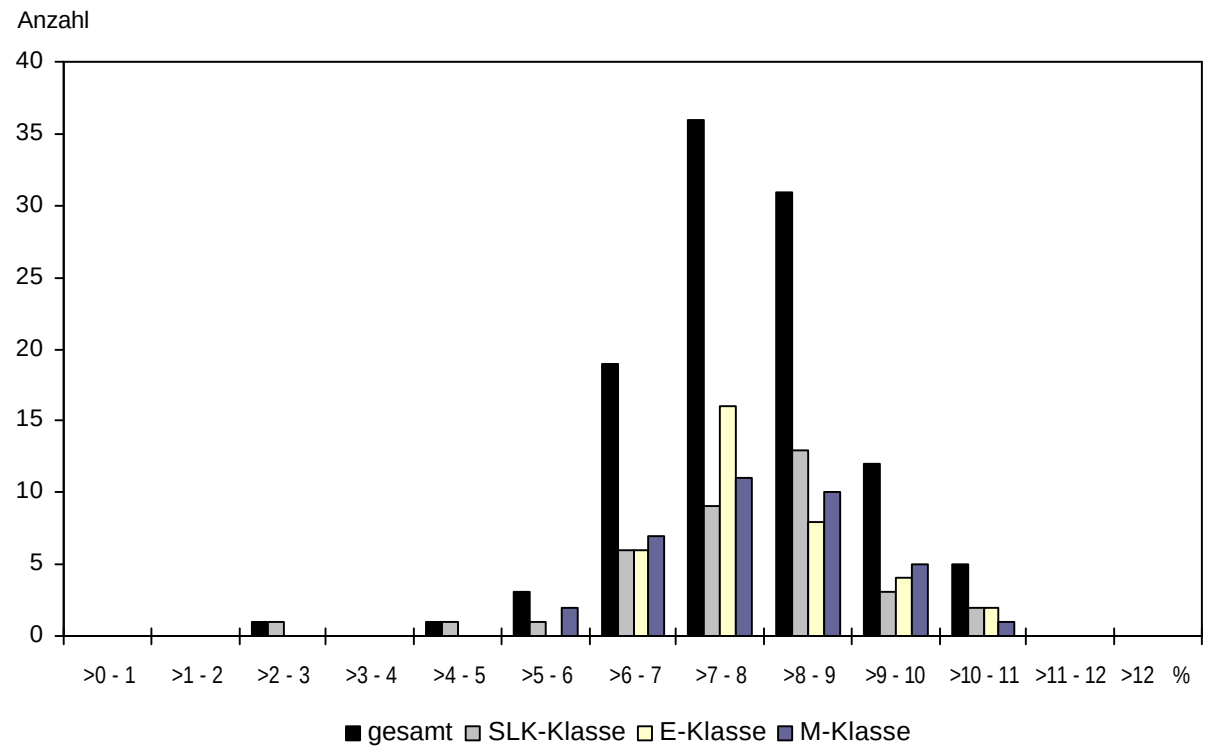


Diagramm 7.2: Häufigkeitsverteilung der Kenngröße A_r (Gesamtwerte) bei der Anwendung des Restriktionsdatensatzes U43 auf das Standardfahrerhaltungsmodell

Da die eingenommenen Augpunktlagen direkt mit der Haltung zusammenhängen, kann aufgrund dessen auch für die Augpunktlagen von einer hinreichend guten Prognose durch *RAMSIS* ausgegangen werden.

Allerdings zeigt die Betrachtung der auf die einzelnen Körperteilgruppen bezogenen Kenngröße A_r, dass neben den hohen Abweichungen der Prognose im linken Arm, auch in dem die Augpunktlagen direkt beeinflussenden Kopf starke Differenzen zur Realhaltung vorliegen (Diagramm 7.3).

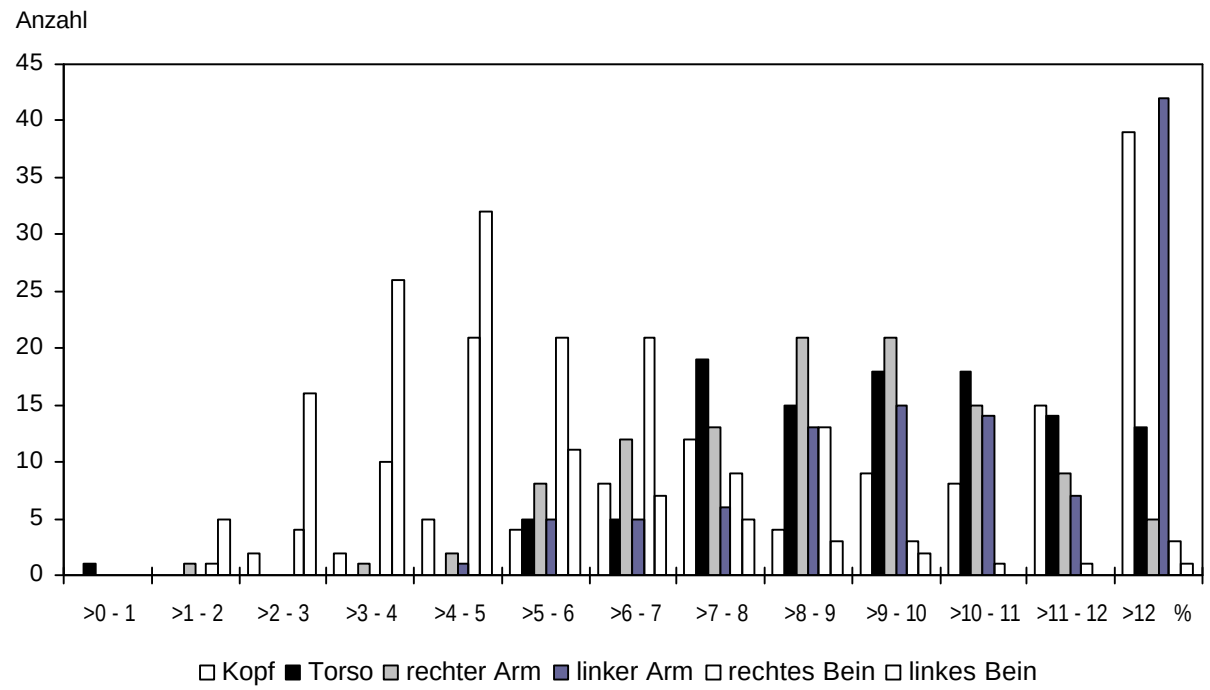


Diagramm 7.3: Häufigkeitsverteilung der auf die einzelnen Körperteilgruppen bezogenen Kenngröße A_r der Einzelhaltungen

7.2 Haltungsmodell für die rückwärtige Orientierung

Zwar zeigt das 12%-Prüfkriterium, dass auf der Basis des normalen Fahrerhaltungsmodells ein vollständiges Umblickverhalten simuliert werden kann – allerdings müssen dabei auch Abstriche bei der Genauigkeit der Haltungsprognose in Kauf genommen werden. Diese sind direkt mit der Auslegung des Fahrerhaltungsmodells verknüpft, welches für eine normale Fahrhaltung aber nicht für extreme Kopf- und Torsodrehungen ausgelegt ist.

Da dem Fahrerhaltungsmodell – wie auch den anderen Haltungsmodellen in *RAMSIS* – eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der auftretenden Gelenkwinkel bei einer bestimmten Aufgabenstellung zugrunde liegt, kann das bestehende Haltungsmodell nicht durch die in den voraus beschriebenen Untersuchungen neu gefundenen Winkel bzw. deren Häufigkeitsverteilung erweitert werden.

Z. Z. basieren *RAMSIS*-Prognosen auf aufgabenbezogenen Haltungsmodellen, wobei die Prognosen umso besser ausfallen, je näher das verwendete Haltungsmodell bzw. die zum jeweiligen Haltungsmodell führenden Versuchsreihen an der gestellten Aufgabe liegen.

Da eine Rückwärtsfahrt, zumindest was die dabei eingenommene Haltung angeht, stark von der Normalhaltung eines Fahrers bei der Geradeausfahrt abweicht, stellt sie einen Sonderfall dar, der nach einem eigenen Haltungsmodell verlangt.

7.2.1 Die grundsätzliche Generierung von Haltungsmodellen

Generell werden für die Generierung von *RAMSIS*-Haltungsmodellen zwei Vorgehensweisen verwendet, wobei die zweite auf den Ergebnissen der ersten beruht.

7.2.1.1 Generierung mit relativen Verteilungsfunktionen

Die ursprüngliche Vorgehensweise wurde von Seidl (1994) für einen Autofahrerarbeitsplatz entwickelt und beruht auf der Hypothese, dass die unterschiedlichen Gelenke und deren Freiheitsgrade voneinander unabhängig sind. Dadurch ist jedes Gelenk (theoretisch) in der Lage, unter Berücksichtigung der jeweiligen Umgebungsbedingungen, die günstigste Stellung einzunehmen. Die zu einer Haltung führenden Berechnungen können daher als eine Optimierung jedes einzelnen Gelenks verstanden werden. Die einzelnen Gelenkfreiheitsgradfunktionen werden von Seidl durch die Einführung von sieben Stützstellen reduziert. Dabei stellen die Randwerte die minimalen bzw. maximalen Grenzen der menschlichen Beweglichkeit im jeweiligen Gelenk dar (nach Damon, 1966). Nach der Transformation in eine relative Verteilungsfunktion, die die notwendige Stetigkeit garantiert, erhalten diese die Werte 0 bzw. 1 zugeordnet. Der Optimalwinkel ist der arithmetische Mittelwert der im jeweiligen Gelenk aufgetretenen Winkel. Die restlichen vier Stützstellen ergeben sich direkt aus der Funktion des jeweiligen Gelenkfreiheitsgrades. Zwei von ihnen begrenzen je 25% der gemessenen Freiheitsgrade nach oben bzw. unten. Die letzten beiden Stützpunkte halbieren nun die Abstände von den vorher genannten und den maximalen und minimalen Grenzwinkeln. Die Verteilungsfunktion ist nun durch die Stützstellen so beschrieben, dass der optimale Haltungswinkel den Wert 0,5 aufweist. Die eigentliche Berechnungsfunktion wird nach dem Fritsch-Carlson-Verfahren (Fritsch, 1980) dargestellt. Abschließend erfolgt die Verknüpfung der einzelnen Optimierungsfunktionen der Gelenke zur Haltung bestimmenden Gesamtoptimierungsfunktion, wobei der Multiplikationsansatz der Winkelwahrscheinlichkeiten zu Anwendung kommt.

7.2.1.2 Generierung durch Optimalwertverschiebung

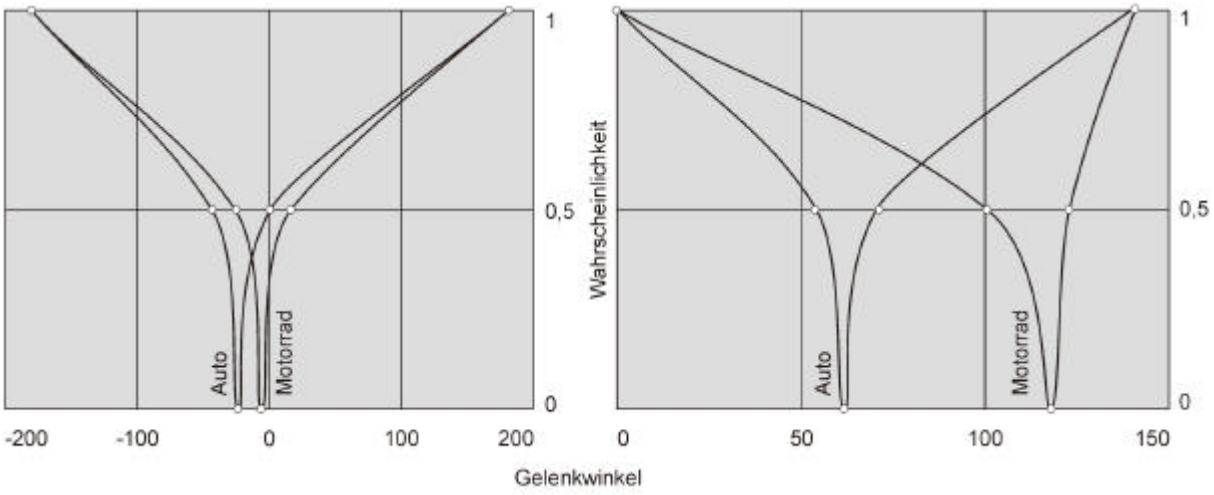


Abbildung 7.13: Gegenüberstellung des Beckenwinkels GHZ (links) und des Kniewinkels GKN (rechts) beim Fahrerhaltungsmodell nach Seidl und beim Motorradhaltungsmodell nach Kolling (überarbeitet aus Kolling, 1997)

Die andere Vorgehensweise stellt die Erzeugung des Motorradhaltungsmodells durch Kolling (1997) dar. Hierzu wurde davon ausgegangen, dass die Randwerte, also der maximal bzw. minimal mögliche Gelenkwinkel des Autofahrerhaltungsmodells unverändert bleiben, da sie aufgabenunabhängig sind. Der Optimalwinkel eines jeden Gelenks ergibt sich aus den in Versuchen gewonnen und gemittelten Werten. Im Gegensatz zum vorher beschriebenen Autofahrerhaltungsmodell werden die Haltungen nun nicht aus einer relativen Verteilungsfunktion ermittelt - vielmehr wird auf das Autofahrerhaltungsmodell zurückgegriffen, in dem der Optimalwinkel des Gelenks entsprechend der neu gewonnenen Daten verschoben und die einzelnen Stützstellen im gleichen Verhältnis zwischen Mittelwert und Grenzwert belassen werden.

Das Ergebnis zeigt Abbildung 7.13 am Beispiel der Gegenüberstellung von Becken- und Kniewinkel beim Auto- und Motorradfahrerhaltungsmodell.

7.2.2 Generierung eines Haltungsmodells für die Rückorientierung mit Hilfe von RAMSIS-Expertenfunktionen

Mit der Version von *RAMSIS* 3.7 steht dem Anwender auch die Möglichkeit offen, eigene Haltungsmodelle zu generieren und diese für Auswertungen heranzuziehen.

Dabei wird das unter Abschnitt 7.2.1.2 beschriebene Verfahren eingesetzt, mit dem schon das Motorradhaltungsmodell entstanden ist.

Auf der Basis eines geeigneten Haltungsmodells - im vorliegenden Fall dem Autofahrerhaltungsmodell - kann mit dieser Funktion eine bestimmte Haltung eingeladen werden, deren Gelenkwinkel dann als Optimalwerte angesehen werden. Die Optimalwinkel und jeweiligen Stützpunkte des zugrunde liegenden Modells werden dann dementsprechend verschoben.

Tabelle 7.8 stellt die arithmetischen Mittelwerte der Gelenkwinkel dar, die durch die Versuche im Fahrerstand ermittelt wurden. Übertragen auf ein entsprechendes *RAMSIS*-Manikin stellt die mit diesen Winkeln erzeugte Haltung (Abbildung 7.14) die Grundlage für ein Rückorientierungsmodell im Pkw dar.

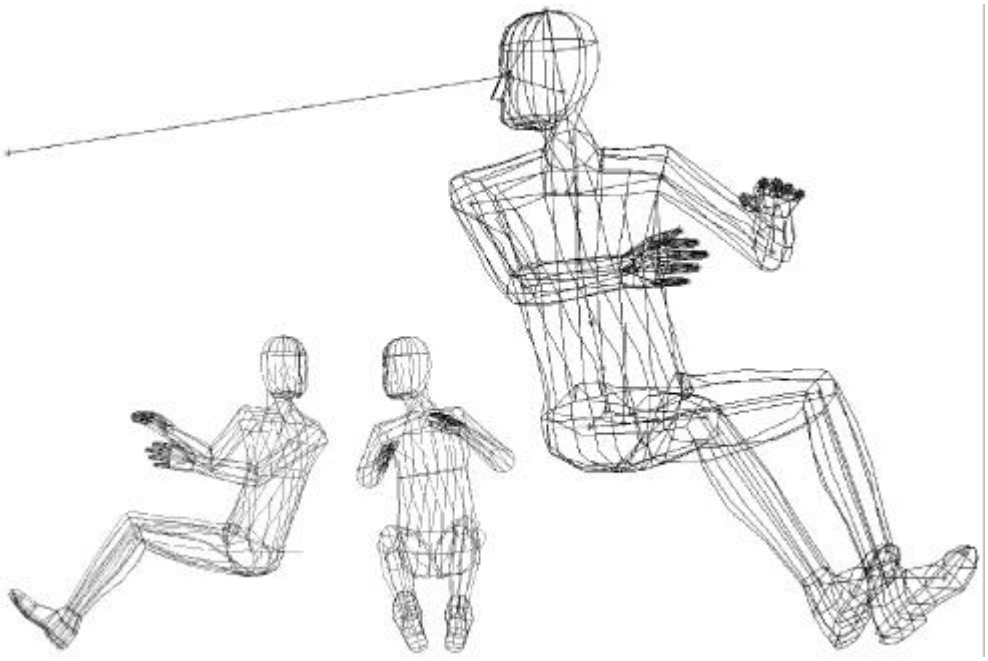


Abbildung 7.14: Neue Standardhaltung für Rückorientierungen optimiert aus den arithmetischen Mittelwerten der Realuntersuchungen

Tabelle 7.8: Gelenkwinkel der Optimalhaltung bei Rückwärtsfahrten und zugehörige Standardabweichungen s [°]

Nr.	Gelenk		Ø	s	Nr.	Gelenk		Ø	s
1	GHZ	x	-12,0	6,4	14	GSR	x	33,3	17,8
		y	3,0	4,7			y	21,1	11,4
		z	-21,0	7,6			z	94,1	9,4
2	GHUR	x	17,4	6,3	15	GELR	x	17,2	19,6
		y	0,4	7,3			y	-51,4	14,4
		z	77,7	8,6			z		
3	GLK	x			16	GHAR	x		
		y	1,5	3,8			y	-10,2	11,8
		z	-4,0	6,7			z	1,9	8,7
4	GHUL	x	-5,9	7,7	17	GSL	x	-37,0	21,1
		y	16,4	7,5			y	-40,0	15,1
		z	81,3	9,9			z	-3,0	24,4
5	GLL	x	-10,5	5,2	18	GELL	x	16,7	31,8
		y	0,7	2,9			y	-108,2	12,7
		z	10,4	6,4			z		
6	GBL	x	-12,0	4,2	19	GHAL	x		
		y	0,9	4,3			y	1,6	18,3
		z	9,6	4,4			z	-4,1	16,7
7	GBB	x	-11,0	8,2	20	GAUM	x		
		y	-3,1	6,2			y	-0,5	4,8
		z	10,4	9,0			z	-17,3	1,6
8	GHB	x	-11,3	7,5	21	GKNR	x	-5,7	6,2
		y	-0,3	8,0			y	60,2	9,0
		z	4,7	9,7			z		
9	GHH	x	-30,0	2,4	22	GSPR	x	0,0	2,1
		y	-2,6	9,0			y		
		z	-9,7	11,6			z	90,0	10,1
10	GBRK	x			23	GFBR	x		
		y					y		
		z	0,0	0,0			z	0,1	1,4
11	GKH	x	-42,0	3,5	24	GKNL	x	-0,3	6,4
		y	5,2	6,9			y	69,0	10,0
		z	1,4	8,6			z		
12	GSBR	x	-0,6	2,8	25	GSPL	x	0	2,1
		y	8,8	10,4			y		
		z	26,8	10,5			z	90,0	9,2
13	GSBL	x	-0,6	3,8	26	GFBL	x		
		y	3,3	8,4			y		
		z	-4,9	9,0			z	1,4	4,7

7.2.3 Validierung des Rückorientierungsmodells

Im Folgenden soll untersucht werden, in wieweit die Verwendung des neu erstellten Rückorientierungsmodells die durch *RAMSIS* prognostizierten Haltungen verbessert. Da eine neue Versuchsreihe zu zeit- und kostenintensiv wäre, werden wiederum die bereits gefundenen Haltungsdaten für die Validierung herangezogen. Zwar wurde aus ihnen das neue Haltungsmodell abgeleitet - da die Haltungsprognose allerdings auch von den gewählten Restriktionen abhängt, kann so zumindest gezeigt werden, dass mit dem neuen Haltungsmodell Verbesserungen mit neuen Restriktionsdatensätzen möglich sind.

7.2.3.1 Rückorientierung mit identischem Restriktionsdatensatz U43

Es wurden nochmals sämtliche Anthropometrien auf Basis des Restriktionsdatensatzes U43 (Abschnitt 7.1.4.3) in den drei Fahrzeuggeometrien platziert. Auch mit dem neuen Rückorientierungsmodell wurden Anspruch 1 und 2 vollständig erfüllt, so dass die Ergebnisse (siehe die Tabellen 7.9 - 7.11) aus beiden Untersuchungen einander gegenübergestellt werden können.

Wie Diagramm 7.4 und Diagramm 7.5 zeigen, werden durch das neue Haltungsmodell durchaus Verbesserungen bzgl. der Realhaltungen in den Haltungsprognosen erzielt. Dies gilt besonders für den Kopf und das linke Hand-Arm-System. Aber auch die Prognose des Torsos - der längsten und damit auch der fehleranfälligsten Gelenkkette - verbessert sich.

Tabelle 7.9: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz U43. Ergebnisse der SLK-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	10,3	3,7	12,2	4,5	39,8	25,4
Torso	7,5	1,9	9,5	2,5	27,3	22,3
Kopf + Torso	4,9	1,9	10,1	2,4	30,4	22,2
rechter Arm	5,8	1,8	7,3	2,1	54,5	32,9
linker Arm	10,5	3,1	11,7	2,9	92,9	34,6
Arme	8,2	2,0	9,5	1,9	73,7	28,4
rechtes Bein	5,1	2,2	5,2	2,2	25,0	10,5
linkes Bein	4,5	2,3	4,7	2,3	20,0	10,2
Beine	4,8	2,1	4,9	2,1	22,5	9,1
gesamt	7,7	1,2	8,9	1,4	43,4	18,7

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.10: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz U43. Ergebnisse der E-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	9,3	4,3	10,9	4,6	45,1	28,5
Torso	7,2	2,1	8,9	2,5	28,7	25,0
Kopf + Torso	4,6	1,9	9,3	2,3	32,8	25,0
rechter Arm	6,6	1,9	8,4	2,5	58,5	21,7
linker Arm	8,4	2,5	9,7	2,7	76,5	34,6
Arme	7,5	1,5	9,1	2,0	67,5	25,2
rechtes Bein	6,5	3,0	6,4	2,8	28,9	16,0
linkes Bein	5,2	2,1	5,5	2,1	21,6	7,9
Beine	5,8	2,1	6,0	2,1	25,3	10,3
gesamt	7,4	1,2	8,6	1,6	43,2	19,0

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.11: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz U43. Ergebnisse der M-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	9,0	3,1	10,1	3,3	46,5	24,4
Torso	8,5	2,0	10,1	2,1	30,5	13,9
Kopf + Torso	5,2	1,8	10,1	2,0	34,5	15,5
rechter Arm	6,5	1,9	7,9	2,0	54,9	16,0
linker Arm	9,0	3,0	10,3	3,2	85,9	34,9
Arme	7,8	1,6	9,1	1,9	70,4	17,4
rechtes Bein	4,0	1,4	4,1	1,4	18,7	5,5
linkes Bein	4,2	1,4	4,5	1,4	23,8	10,6
Beine	4,1	0,9	4,3	0,9	21,2	7,1
gesamt	7,6	0,9	8,7	1,2	43,1	9,4

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

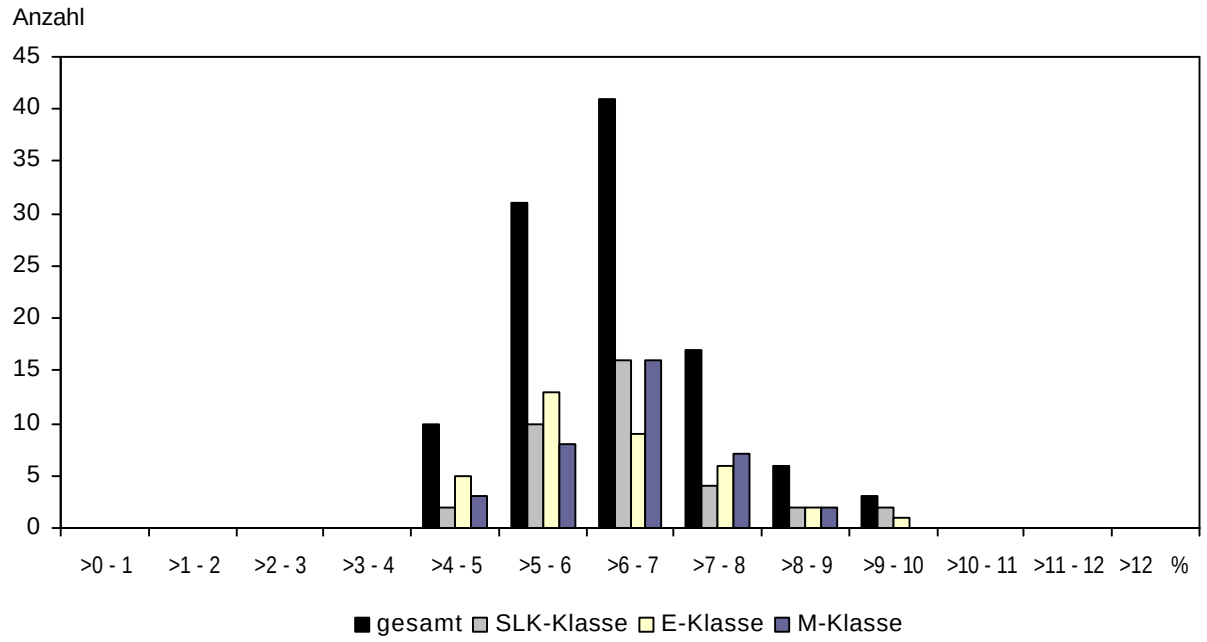


Diagramm 7.4: Häufigkeitsverteilung der Kenngröße A_r (Gesamtwerte) bei der Anwendung des Restriktionsdatensatzes U43 auf das Rückorientierungsmodell

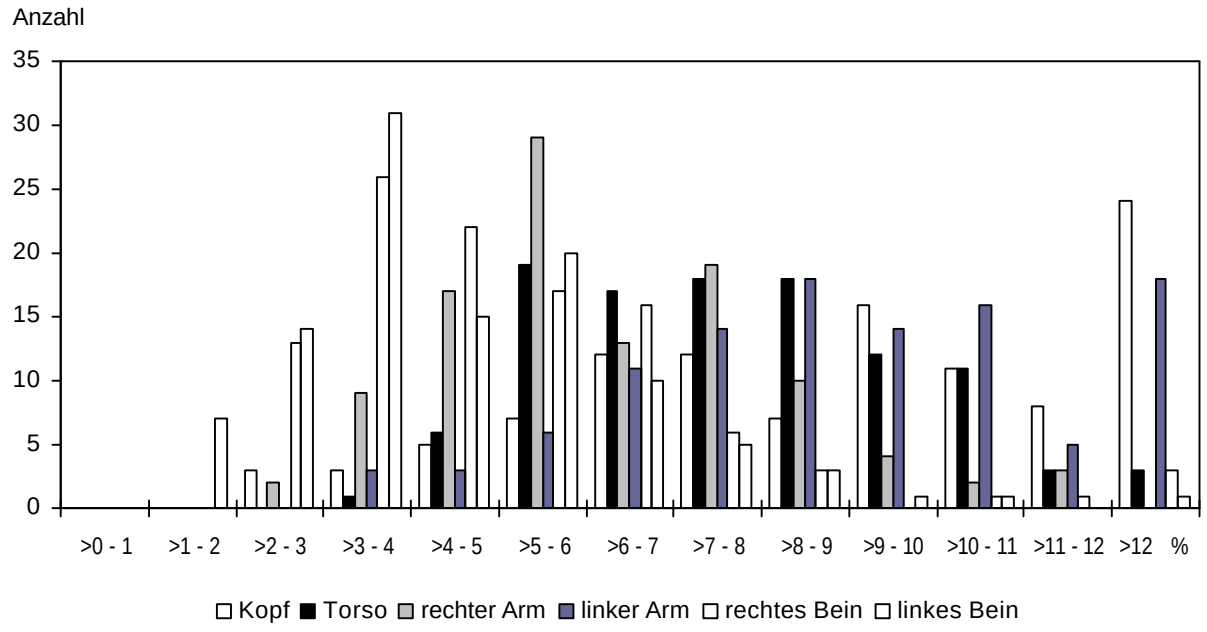


Diagramm 7.5: Häufigkeitsverteilung der auf die einzelnen Körperteilgruppen bezogenen Kenngröße A_r der Einzelhaltungen

7.2.3.2 Rückorientierung mit vereinfachten Restriktionen

Mit dem bisher verwendeten Restriktionsdatensatz U43 dauert die Berechnung der Haltungsprognose, vor allem aufgrund der Benutzung von zahlreichen Grenzflächen, relativ lange. Dies ist, auch im Hinblick auf das *ARGUS*-System, nicht wünschenswert, zumal mit dem neuen Haltungsmodell Grenzflächen, die den Sitz beschreiben, unnötig sind, da dieser - wie beim Fahrerhaltungsmodell auch - durch das Haltungsmodell selbst berücksichtigt wird. Die die Rückenlehne beschreibende Grenzfläche kann daher entfallen. Die Richtungsvorgabe für den Kopf (Tangente Kopfelement Richtung 0, 0, 1) führt zu einer höheren Berechnungsdauer. Es kann zwar gezeigt werden, dass sich der Mensch grundsätzlich bemüht, seinen Kopf aufrecht, d. h. seine beiden Augen in etwa auf gleicher Höhe zum Boden zu halten – dies bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass die Kopfhochachse eine Normale zur Bodenfläche bilden muss. Es wurde daher ein neuer Restriktionsdatensatz gesucht, der gemäß den Ansprüchen aus 7.1.4.2 eine einfachere Berechnung der Haltungsprognosen erlaubt. Tabelle 7.12 zeigt den Aufgabeninhalt des gefundenen Datensatzes R5. Neben dem Verzicht auf begrenzende Flächen stellt die Restriktion der linken Hand einen maßgeblichen Unterschied zur entsprechenden Restriktion des Datensatzes U43 dar. R5 stellt die Verbindung von linker Hand und Lenkrad über die Kurve C1 her, wobei C1 die Verbindung von Punkt P1 und P4 (aus Abbildung 7.12) entlang des größten Lenkradkranzdurchmessers darstellt. Die linke Hand bzw. das linke Hand-Arm-System ist somit in der Lage, ihre/seine Position endlang der oberen Lenkradkranzhälfte frei einzustellen.

Die folgenden Tabellen (7.13 - 7.15) und Diagramme (7.6 u. 7.7) zeigen die resultierenden Ergebnisse aus dem Restriktionsdatensatz R5 (Tabelle 7.12).

Tabelle 7.12: Aufgabeninhalt des Restriktionsdatensatzes R5

#	Art der Rest.	Restriktion seitens RAMSIS	RAMSIS interner Name	Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie	Bemerkung / Zusatzbedingung
1	Ziel	Hüftpunkt	GHZ	Einsitzpunkt PHVP	PHVP aus *PCMAN* Rot. in x, y, z frei
2	Ziel	linke Hand	FG1L0003	Lenkrad Kurve C1	
3	Ziel	rechte Hand	FG2R0007	Lenkradpunkt P4	
4	Ziel	rechter Fußkontaktpunkt	FBR0005	Gaspedal	
5	Ziel	linker Fußkontaktpunkt	FBL0005	Kupplungspedal	
6	Ziel	rechter Hackenpunkt	FUR0306	Fahrzeugboden	
7	Ziel	linker Hackenpunkt	FUL0306	Fahrzeugboden	
8	Ziel	Fixationspunkt		Objektpunkt	
9	Grenzfläche	rechtes Auge	GAUR	Rechte Seitenfläche d. Kopfstütze	Richtung 0, 1, 0 Abstand 0
10	Grenzfläche	linker Unterarm innen	Unterarm-Fl-l-innen	Lenkkranzfläche	Richtung 1, -1, 0
11	Handhaltung	linke/rechte Hand			Kontaktgriff

Tabelle 7.13: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz R5. Ergebnisse der SLK-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	10,1	3,7	12,1	4,6	51,6	32,8
Torso	7,6	2,0	9,5	2,5	31,7	26,2
Kopf + Torso	4,9	1,9	10,1	2,3	36,7	27,2
rechter Arm	5,5	1,9	7,0	2,3	64,6	40,1
linker Arm	10,0	3,4	10,6	3,1	92,0	38,6
Arme	7,8	2,1	8,8	1,9	78,3	35,4
rechtes Bein	5,7	2,4	5,8	2,4	22,3	9,2
linkes Bein	4,7	2,2	5,0	2,2	20,4	10,8
Beine	5,2	2,1	5,4	2,0	21,3	9,1
gesamt	7,6*	1,2*	8,7*	1,4*	46,7**	22,2**

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.14: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz R5. Ergebnisse der E-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	9,4	4,3	11,0	4,7	50,1	24,2
Torso	7,3	2,1	9,0	2,5	27,7	13,6
Kopf + Torso	4,7	1,8	9,5	2,2	33,3	15,3
rechter Arm	5,8	2,1	7,6	2,8	68,6	25,4
linker Arm	8,5	2,6	9,3	2,6	79,5	40,1
Arme	7,2	1,6	8,5	1,9	74,1	27,9
rechtes Bein	6,8	3,2	6,8	3,0	24,3	12,0
linkes Bein	5,2	2,0	5,5	2,1	22,2	8,7
Beine	6,0	2,3	6,1	2,2	23,2	8,3
gesamt	7,3*	1,0*	8,5*	1,5*	44,5**	13,5**

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.15: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz R5. Ergebnisse der M-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	8,9	3,2	9,9	3,6	54,6	32,1
Torso	8,3	2,0	10,1	2,1	33,2	15,9
Kopf + Torso	5,1	1,8	10,1	2,0	38,6	18,7
rechter Arm	6,3	2,0	7,6	2,3	65,6	26,8
linker Arm	8,1	2,9	9,1	2,9	80,7	36,2
Arme	7,2	1,7	8,3	1,9	73,1	25,2
rechtes Bein	5,4	1,4	5,4	1,5	35,3	11,2
linkes Bein	7,6	1,8	7,6	1,9	57,8	16,8
Beine	6,5	1,1	6,5	1,2	46,6	11,1
gesamt	7,7*	1,0*	8,7*	1,2*	53,8**	14,9**

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

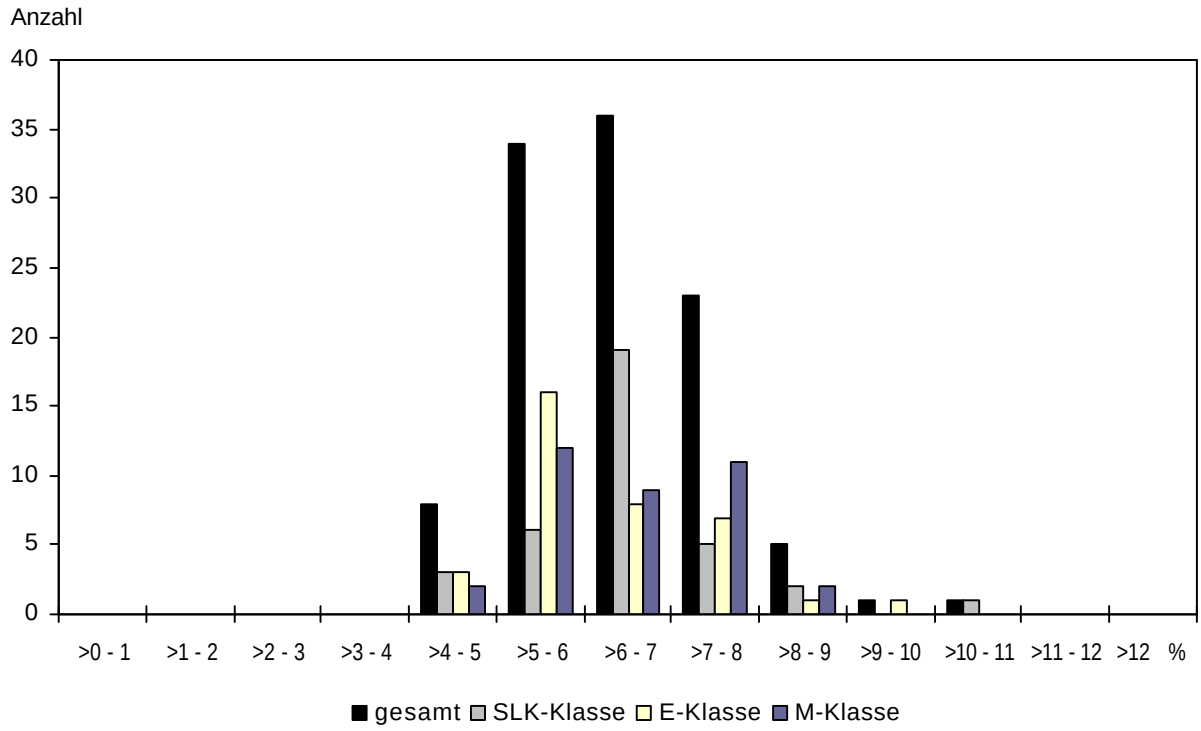


Diagramm 7.6: Häufigkeitsverteilung der Kenngröße A_r (Gesamtwerte) bei der Anwendung des Restriktionsdatensatzes R5 auf das Rückorientierungsmodell

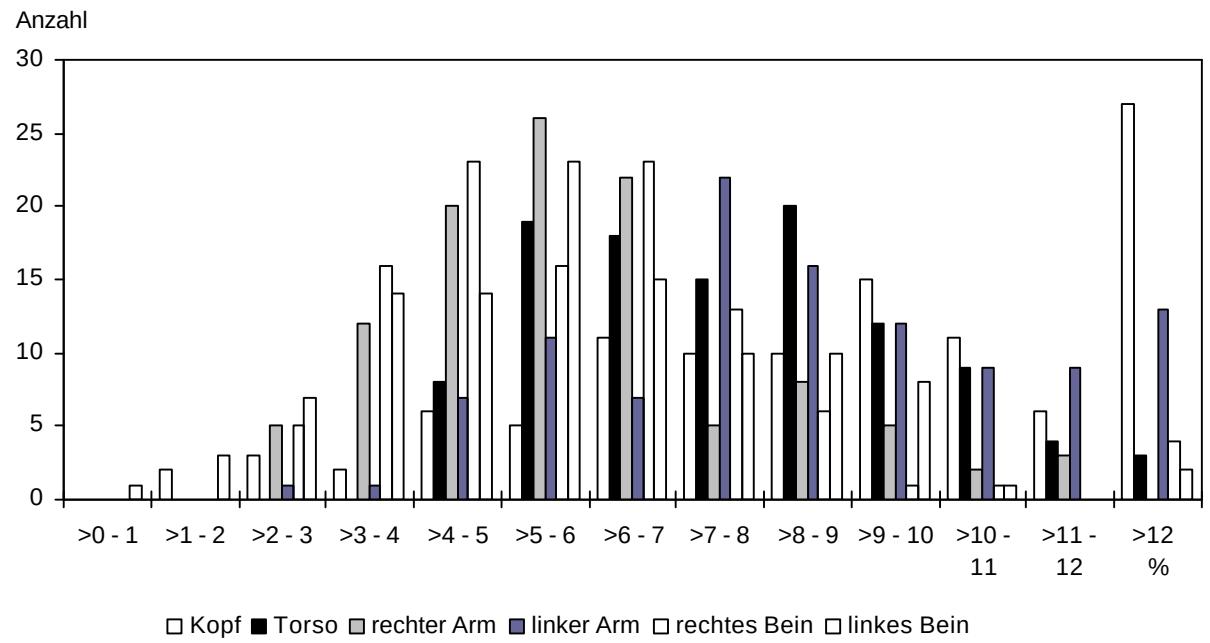


Diagramm 7.7: Häufigkeitsverteilung der auf die einzelnen Körperteilgruppen bezogenen Kenngröße A_r der Einzelhaltungen bei Verwendung des Restriktionsdatensatzes R5

Wie der Vergleich von Diagramm 7.4 und Diagramm 7.6 bzw. Diagramm 7.5 und Diagramm 7.7 zeigt, werden mit dem neuen Restriktionsdatensatz R5 Verbesserungen in den Prognosen erzielt, obwohl auf die Beschreibung der Rückenlehne verzichtet wurde. Eine deutliche Verbesserung wird auch im linken Hand-Arm-System sichtbar, welches sich über die Kurve C1 frei einstellen kann. Eine entscheidende Optimierung erfährt zudem die Berechnungsdauer, die bei weitem geringer ausfällt als bei der Verwendung des Restriktionsdatensatzes U43.

7.2.3.3 Rückorientierung mit eingeschränktem peripheren Sichtfeld

Trotz der Verbesserungen - Diagramm 7.7 zeigt auch, dass die Anzahl der Prognosen des Kopfes, die die kritische 12%-Grenze überschreiten, ansteigt. Bereits in Abschnitt 7.1.5.3 wurde auf den recht großen Auslenkungsbereich des *RAMSIS*-Sehstrahls hingewiesen. Betrachtet man die reine Augenbewegung, so ist die mögliche, seitliche Auslenkung des Sehstrahls von 60° gegenüber der Realität zu hoch angesetzt. Um dem zu begegnen wird folgende Überlegung in die Aufgabenstellung übertragen:

Beim Betrachten des rückwärtigen Bildschirms fixieren die Probanden diesen direkt, d. h. das periphere Sichtfeld ist weniger geeignet, um die dargestellten Fragen lesen zu können. Reine Augenbewegungen nach links und rechts sind nur bis zu etwa 30° möglich. Der Sehstrahl von *RAMSIS* dagegen gestattet eine Auslenkung zu beiden Seiten von 60°. D. h. im Vergleich mit *RAMSIS* sind im Realfall direkte Fixierungen nur mit größeren Kopf- und Torsoverdrehungen möglich.

Hieraus kann folgende Hypothese abgeleitet werden:

Hypothese

Die RAMSIS-Prognosen von Kopf und Torso können durch die Verringerung der seitlichen Sehstrahlauslenkung verbessert werden.

Um diese Hypothese zu überprüfen, werden die Prognosen mit dem Restriktionsdatensatz R5 nochmals mit veränderten Grenzen des Sehstrahls durchgeführt. Um zumindest einen gewissen Anteil des peripheren Sichtfeldes zu berücksichtigen, werden hierfür die Sehstrahlgrenzen für die seitliche Ausrichtung auf 35° gesetzt. Die aus diesem Restriktionsdatensatz[15] R5-35 resultierenden Ergebnisse sind in den Tabellen 7.16 - 7.18 sowie in den Diagrammen 7.8 und 7.9 dargestellt. Verbesserungen im Kopfbereich sind dabei nicht fest zu stellen. Die Änderung der Winkelgrenzen des Sehstrahls beeinflussen die Haltungsprognosen nicht in der gewünschten Weise und sind damit für Umblickanalysen nicht von Bedeutung. Die aufgestellte Hypothese bestätigt sich damit nicht.

Tabelle 7.16: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz R5-35. Ergebnisse der SLK-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	10,4	3,8	12,3	4,6	57,3	27,7
Torso	7,8	2,0	9,7	2,5	31,2	21,6
Kopf + Torso	5,1	1,9	10,3	2,4	37,7	22,3
rechter Arm	6,2	1,8	7,6	2,2	64,5	37,1
linker Arm	9,6	3,1	10,5	2,7	91,9	32,7
Arme	7,9	1,9	9,0	1,7	78,2	28,8
rechtes Bein	6,5	2,8	6,8	2,7	25,4	10,6
linkes Bein	4,7	2,1	5,2	2,1	23,7	9,5
Beine	5,6	2,0	6,0	2,0	24,6	8,8
gesamt	7,8	1,1	9,0	1,4	48,3	18,7

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

[15] Die Grenzänderungen werden ebenfalls als Restriktionsbedingungen betrachtet, obwohl sie im eigentlichen Sinne keine darstellen.

Tabelle 7.17: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz R5-35. Ergebnisse der E-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	9,7	4,5	11,2	4,9	44,6	28,4
Torso	7,5	2,3	9,2	2,6	24,5	14,6
Kopf + Torso	4,8	2,1	9,7	2,3	29,5	17,4
rechter Arm	6,2	2,1	8,1	2,7	62,4	21,2
linker Arm	9,0	3,1	10,0	2,8	92,8	36,9
Arme	7,6	2,0	9,0	2,2	77,6	25,0
rechtes Bein	7,6	3,4	7,7	3,1	26,6	12,0
linkes Bein	5,2	2,0	5,5	1,9	24,0	11,1
Beine	6,4	2,2	6,6	2,0	25,3	9,2
gesamt	7,7	1,3	8,9	1,6	45,2	13,9

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

Tabelle 7.18: Vergleich von Realhaltungen und den Prognosen mit Rückorientierungsmodell und Restriktionsdatensatz R5-35. Ergebnisse der M-Klasse

Gelenkkette	A_r	s_{Ar}	A_m	s_{Am}	A_{rel}	s_{rel}
Kopf	9,0	3,2	10,1	3,6	51,3	30,4
Torso	8,6	2,0	10,4	2,1	30,1	15,9
Kopf + Torso	5,3	1,7	10,3	2,1	35,4	17,9
rechter Arm	6,7	2,0	8,0	2,4	67,9	28,1
linker Arm	8,5	2,8	9,6	2,8	84,3	28,7
Arme	7,6	1,6	8,8	1,9	76,1	24,3
rechtes Bein	5,4	1,4	5,6	1,4	39,4	10,6
linkes Bein	8,5	1,5	8,8	1,6	64,3	16,8
Beine	7,0	1,0	7,2	1,0	51,9	10,4
gesamt	8,1	0,9	9,2	1,1	55,7	13,8

* ohne Berücksichtigung von Mittenauge GAUM ** ohne Augpunktkoordinaten

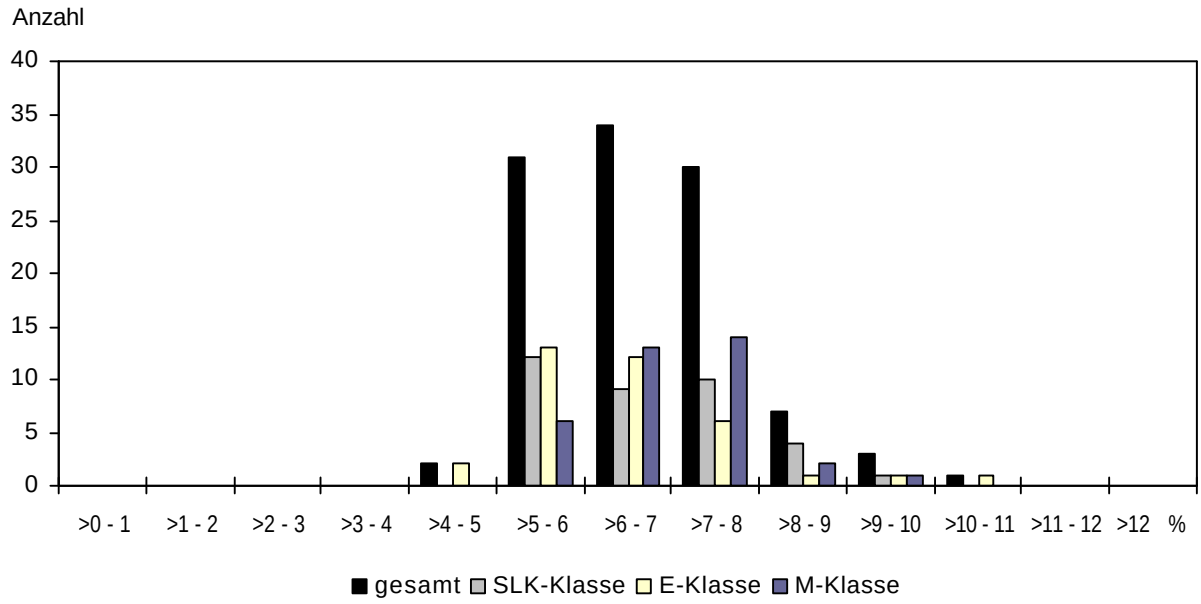


Diagramm 7.8: Häufigkeitsverteilung der Kenngröße A_r (Gesamtwerte) bei der Anwendung des Restriktionsdatensatzes R5-35 auf das Rückorientierungsmodell

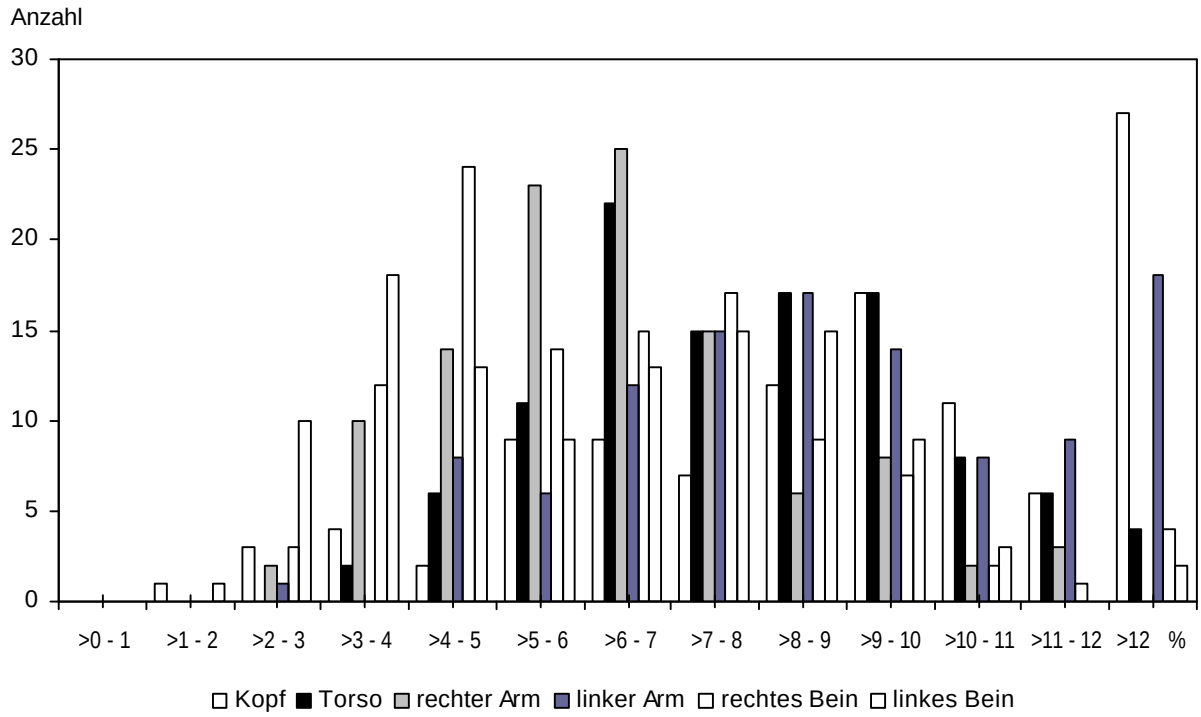


Diagramm 7.9: Häufigkeitsverteilung der auf die einzelnen Körperteilgruppen bezogenen Kenngröße A_r der Einzelhaltungen bei Verwendung des Restriktionsdatensatzes R5-35

7.3 Wechsel zwischen Fahrerhaltungs- und Rückorientierungsmodell in Abhängigkeit von Sichtzielvorgaben

Die bisherigen Analysen mit dem Menschmodell *RAMSIS* werden auf der Basis eines bestimmten Haltungsmodells, z. B. dem Fahrerhaltungsmodell erstellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine bestimmte Aufgabe ein zugeordnetes Haltungsmodell erfordert, welches die Prognose aller möglicherweise auftretenden Haltungen bei der Erfüllung der betrachteten Aufgabe zulässt.

In den vorausgehenden Abschnitten dieses Kapitels wurde gezeigt, dass dies für das Fahrerhaltungsmodell nur in beschränktem Maße zutrifft. Auch wenn das Umblicken Teil der eigentlichen Fahraufgabe ist, so stellen sich doch bessere Prognoseergebnisse ein, wenn hierfür ein spezielles Haltungsmodell verwendet wird. D. h. obwohl die eigentliche Fahraufgabe nicht geändert wird, ist es doch sinnvoll, bei sich ändernden Randbedingungen von dem einen zum anderen Haltungsmodell zu wechseln. Es stellt sich daher die Frage, wann welches Modell zum Einsatz kommen sollte.

Da Sinn und Zweck des sich Umdrehens einzig und alleine darin besteht, ein bestimmtes Sichtziel erfassen zu können, kann die Blickrichtung als maßgebliche Größe herangezogen werden. Im Folgenden wird die Winkelabweichung α von der Blickrichtung geradeaus betrachtet. Die geradeaus gerichtete Blickrichtung entspricht 0° und liegt in einer zur Y-ZERO-Ebene des Fahrzeugs parallelen Ebene (vergleiche Abbildung 3.2). α wird dabei in der Z-ZERO-Ebene des Fahrzeugs gemessen.

In der Realität kommt es bei der Fixierung eines rückwärtigen Objekts irgendwann zum Umgreifen der linken Hand in den oberen Lenkradkranzbereich sowie zum Abheben der linken Schulter von der Sitzlehne.

Um heraus zu finden, ab welcher Lage des Objektes ein Umgreifen bzw. ein Abheben der Schulter auftritt, wurde der folgend näher beschriebene Versuch mit 10 Probanden durchgeführt.

Hierzu wurde zunächst am Fahrerstand des *Lehrstuhls für Ergonomie* ein horizontaler, drehbarer Ausleger mit einer Länge von 1 m so über dem Fahrersitz befestigt, dass seine zur z-Achse des Fahrzeugkoordinatensystems parallele Drehachse in etwa auf Höhe des Hüftzentrums der jeweiligen Versuchsperson lag. Am freien Ende des Auslegers wurde ein Sichtziel (Kreuz) so befestigt, dass es in Augenhöhe der Probanden ruhte. Nachdem die Versuchsperson im Fahrersitz (Sitz der E-Klasse) Platz genommen und sich eingerichtet hatte, wurde der Ausleger langsam um seine Drehachse im Uhrzeigersinn gedreht. Die Versuchspersonen waren angewiesen, dabei das Sichtziel so lange wie möglich zu fixieren. Kam es zum Umgreifen der linken Hand und Abheben der linken Schulter, so wurde auf einer am Ausleger angebrachten Skala die Winkelabweichung α des Sichtziels gegenüber der Sitzmedianebene abgelesen. Durchschnittlich tritt demnach ein Umgreifen bei einer Auslenkung des Sichtziels von 112° (Standardabweichung $\sigma = 5°$) auf.

Für das Umschalten von dem einen zum anderen Haltungsmodell stellt dies alleine allerdings noch kein ausreichendes Kriterium dar, da in *RAMSIS* das Umgreifen der linken Hand von den gesetzten Restriktionen abhängt. Entscheidend für den Wechsel der Haltungsmodelle ist hier vielmehr, in wieweit der Sitz, insbesondere die Sitzlehnen, ohne die Vorgabe spezieller Restriktionen Berücksichtigung findet. D. h. es sollte zum Rückorientierungsmodell dann umgeschaltet werden, wenn die Kopf- und Torsobewegungen so groß werden, dass das Standardfahrerhaltungsmodell die Rückenlehne nicht mehr berücksichtigt.

Um Aussagen darüber machen zu können, wann dies der Fall ist, wurde *RAMSIS* aufgrund des Restriktionsdatensatzes G1 (Tabelle 7.2) in der Packagegeometrie der E-Klasse positioniert. Die Geometrie wurde durch 36 Sichtziele (Punkte) erweitert, die im Bereich der positiven y-Achse (also rechts vom Fahrer) lagen und halbkreisförmig um den H-Punkt des *RAMSIS*-Manikin im Abstand von jeweils 5° angeordnet waren. Der Datensatz wurde um die Restriktion „Fixationspunkt auf Sichtziel“ erweitert, wobei die einzelnen Sichtziele sukzessive nacheinander (beginnend mit „vorne“ entsprechend 0°) gesetzt wurden.

Der Sitz wird dabei ab dem 23. Sichtziel nicht mehr optimal berücksichtigt. Dies entspricht einer Auslenkung gegenüber der Y-ZERO-Ebene des Fahrzeugs von 110° und stimmt damit in etwa mit dem in den Realversuchen gefundenen Winkel überein.

Ein Umschalten von Standardfahrerhaltungsmodell zum Rückorientierungsmodell sollte demnach dann erfolgen, wenn das Sichtziel bezüglich des H-Punktes in etwa um 110° gegenüber der Normalblickrichtung geradeaus ausgelenkt ist.

7.4 Kompensationsbewegungen prognostiziert mit RAMSIS

In Kapitel 3 wurde bereits der Begriff der Kompensationsbewegungen aufgrund von Sichtbehinderungen eingeführt. Eine wesentliche Idee des Sichtanalysesystem *ARGUS* ist das ideale Umblickverhalten, welches den Vergleich verschiedener Fahrzeuge ermöglicht. Dieses ideale Umblickverhalten muss auf Kompensationsbewegungen verzichten. D. h. allerdings nicht, dass Betrachtungen derartiger Bewegungen zur Kompensation von auftretenden Sichtverdeckungen grundsätzlich uninteressant, weil unwichtig wären. Sichtverdeckungen durch Fahrzeugkomponenten werden nie grundsätzlich verhindert werden können. Daher werden auch immer Kompensationsbewegungen notwendig sein. Um nun Art und Umfang der notwendigen Bewegungen, um einem Sichthindernis auszuweichen, beurteilen zu können, ist eine Prognose der aufgrund einer Kompensation auftretenden Endhaltung in *RAMSIS* wünschenswert. Im Folgenden soll kurz die prinzipielle Vorgehensweise am Beispiel einer Sichtverdeckung durch die A-Säule beschrieben werden – das Sichtziel wird dabei vereinfacht als eine Kugel dargestellt (Abbildung 7.15).

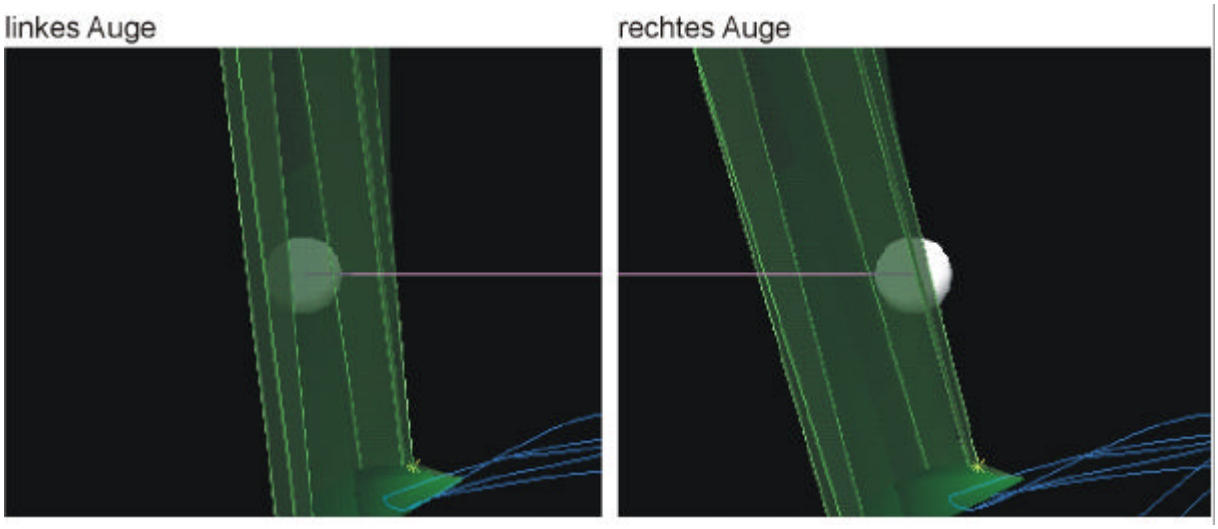


Abbildung 7.15: Verdeckung des Sichtziels „Kugel“ durch die linke A-Säule aus der Sicht des Fahrers (RAMSIS-Sichtanalysefunktion)

Um die für die Fixation des Sichtziels notwendige Kompensation in *RAMSIS* prognostizieren zu können, sind verschiedene Wege bzw. Restriktionsvorgaben denkbar. Grundsätzlich gilt: Um Kompensationen in *RAMSIS* prognostizieren zu können, muss bekannt sein, in welche Richtung der durchschnittliche Fahrer in Abhängigkeit der auftretenden Sichtverdeckung ausweicht, um diese zu umgehen, da dementsprechend die Restriktionsgeometrien zu erzeugen und die Restriktionen zu setzen sind. Im vorliegenden Fall einer Sichtverdeckung durch die A-Säule ist durch Versuche bekannt, dass die Verdeckung vorzugsweise durch eine Bewegung zur Fahrzeugmitte hin umgangen wird. D. h. der Blick wird bevorzugt durch die Windschutzscheibe gerichtet - die A-Säule wird als Blick-Barriere angesehen, die erst dann überstrichen wird, wenn andere Kompensationsversuche versagt haben (vergleiche hierzu die Versuchsergebnisse aus Kapitel 3).

In jedem Fall müssen Hilfsebenen und -punkte eingeführt werden, die als Geometrierestriktion dienen können. Dabei sind die Möglichkeiten, derartige Ebenen und Punkte in der *RAMSIS*-Standalone-Version zu erzeugen, stark eingeschränkt, da das hier implementierte CAD-Tool nicht über sämtliche Möglichkeiten einer reinen CAD-Anwendung wie z. B. CATIA oder Pro/ENGINEER verfügt.

7.4.1 Kompensationshaltung mit Mitteln der RAMSIS-Standalone-Version – haltungsunabhängige Restriktionsvorgaben

Grundsätzliches Ziel der Kompensation ist es, den Blick an der A-Säule vorbei auf das Sichtziel richten zu können. Die sinnvollste Vorgehensweise, dies in der Standalone-Version zu realisieren, ist, die Sicht behindernde A-Säule als Grenzfläche zu definieren. Der von der Bewegungsrichtung abgewandte Augpunkt (hier der linke) hat sich dann auf der der Bewegungsrichtung zugewandten Seite der Grenzfläche in einem bestimmten Abstand zu dieser aufzuhalten. Um die A-Säule in Bezug zum anzuvisierenden Sichtziel zu setzen, wird eine Ebene E über zwei Punkte P1 und P2 der A-Säule sowie über einen Punkt des Sichtziels (hier: der Mittelpunkt PM der Kugel) erzeugt (Abbildung 7.16).

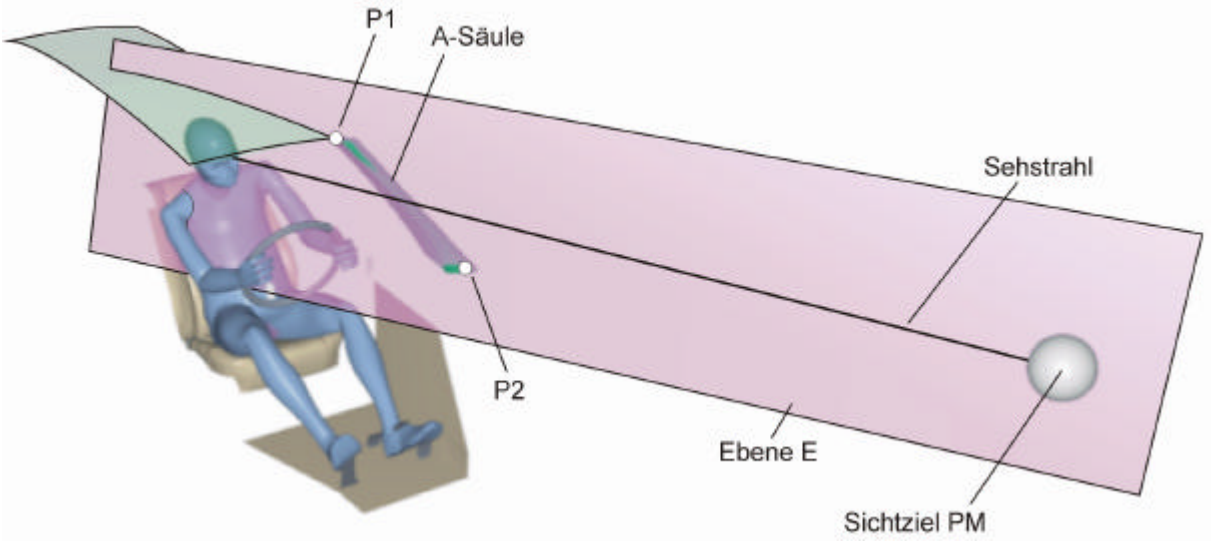


Abbildung 7.16: Kompensation über die Grenzfläche E

Die Ebene E bildet dann die Grenzfläche für das linke Auge, welches in einem bestimmten Abstand zur Ebene auf deren rechter Seite (positive y-Richtung 0,1,0 bzgl. des FKS) liegt.

Abbildung 7.17 zeigt das Ergebnis. Aufgrund der erzeugten Kompensation ist das Sichtziel von beiden Augen frei einsehbar.

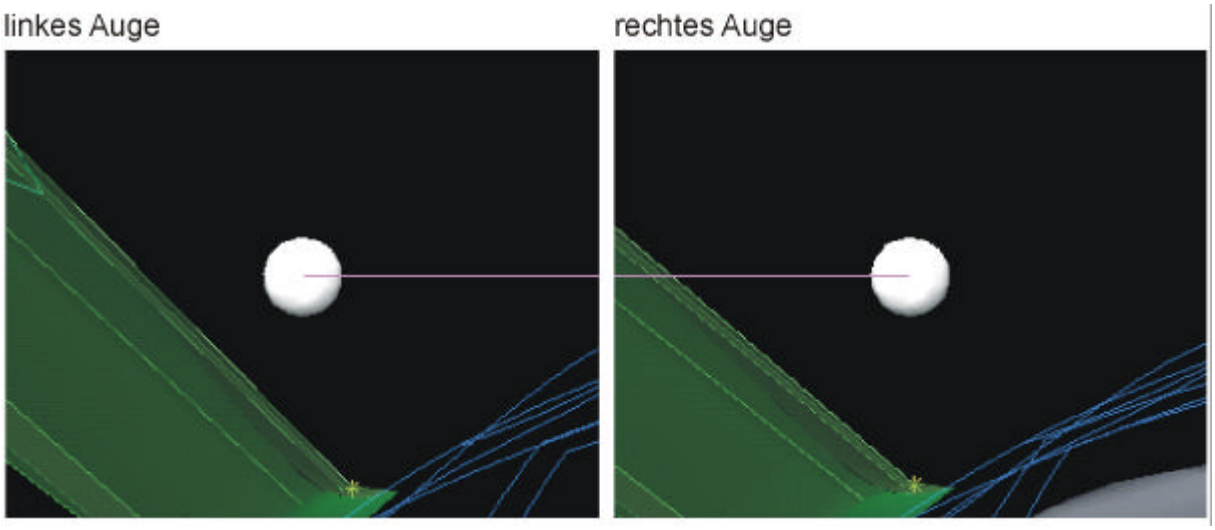


Abbildung 7.17: Kompensation der Verdeckung durch Einführen einer Grenzfläche

Ist eine Krümmung im Sichtbereich vorhanden, so kann diese über die Standalone-Version alleine nicht berücksichtigt werden. Soll dies trotzdem geschehen, so ist eine entsprechende Fläche in einem CAD-System zu generieren und in die betrachtete Geometrie einzubinden. Dieser Umweg ist bei der in CATIA implementierten *RAMSIS*-Version nicht notwendig. Hier können nicht nur Ebenen, sondern auch Flächen direkt - z. B. mit Hilfe der fraglichen gekrümmten Kurvenkante - erzeugt werden, die nachher als Grenzflächen definiert werden können.

7.4.2 Kompensationshaltung mit parametrischen Verfahren – haltungsabhängige Restriktionsvorgaben

Parametrische CAD-Systeme erlauben zu jedem Zeitpunkt die Veränderung von Geometrieparametern. Allerdings ist *RAMSIS* im Moment noch in keinem parametrischen System implementiert. Dies wird erst mit CATIA V5 der Fall sein. Da heute allerdings noch nicht bekannt ist, in wie weit *RAMSIS* in das CAD-System CATIA V5 eingebunden wird, kann auch nicht gesagt werden, ob Restriktionen, die von einer Haltung abhängen bzw. sich mit der Haltungsprognose ändernde Restriktionen überhaupt verarbeitet werden können.

Demzufolge handelt es sich im Folgenden um rein theoretische Betrachtungen, wie parametrische Restriktionen für die Kompensationsbewegungserzeugung genutzt werden könnten.

Ist *RAMSIS* in ein parametrisches System eingebunden, so kann prinzipiell ein direkter Bezug zwischen Manikin und Restriktionsgeometrie hergestellt werden. Hierzu wird eine Ebene aufgespannt, deren drei Stützpunkte die Augpunkte des sich in der Ausgangshaltung befindlichen Manikins sowie der zu fixierende Objektpunkt (Zentrum PM der Kugel) sind (Abbildung 7.18). Die so erzeugte Ebene E schneidet die A-Säule im Punkt P1, wobei P1 den ersten Sicht verdeckenden Punkt der A-Säule aus der Perspektive des Fahrers darstellt.

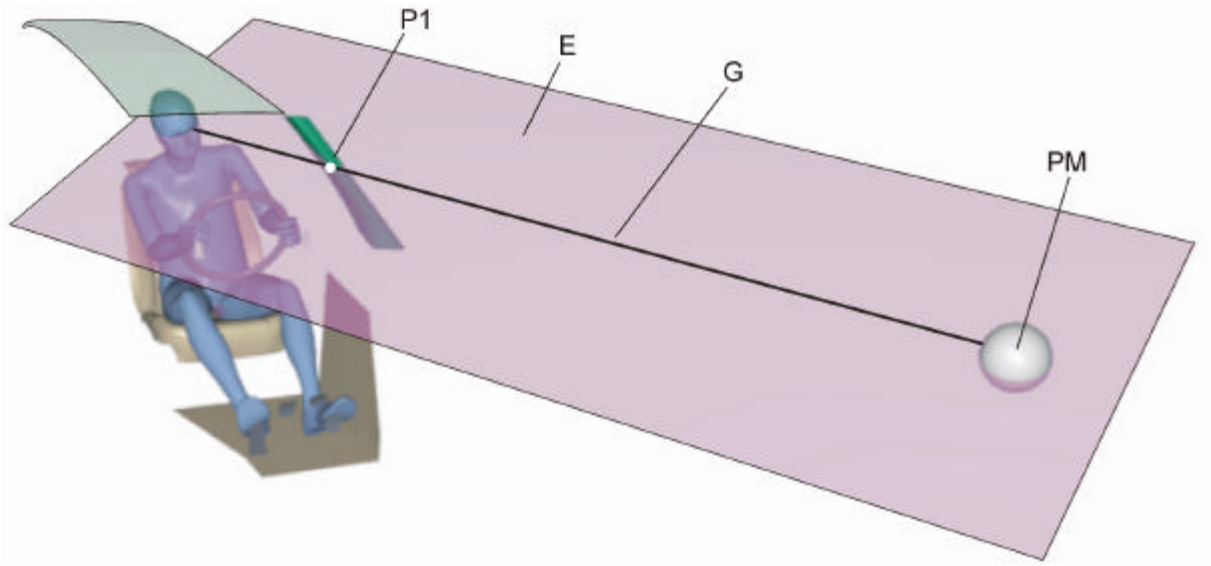


Abbildung 7.18: Restriktionsgeometrien erzeugt in einem parametrischen System mit implementiertem RAMSIS

Die Gerade G, deren Stützstellen P1 und PM sind, stellt dann den ersten Sichtstrahl dar, der einen freien Blick auf das Sichtziel monokular zulässt. Sie kann nun als Restriktion für das linke Auge gesetzt werden.

7.4.3 Hinweise zum Gebrauch prognostizierter Kompensationshaltungen

Grundsätzlich gilt, dass die Gestaltung des Fahrzeugs umso besser ist, je weniger Kompensationsbewegungen seitens des Fahrers für die Erfassung wichtiger Sichtziele notwendig sind. Da die visuellen Informationen allerdings in so großer Zahl auftreten, ist eine Berücksichtigung von allen – selbst wenn ihre genauen Positionen bzgl. des Fahrers bekannt wären – kaum möglich. Kompensationsbewegungen sind daher im Allgemeinen unvermeidlich. Es gilt allerdings sie möglichst gering zu halten.

Generell sollten Kompensationsbewegungen innerhalb der Medianebene des Fahrers vermieden werden. Dies gilt vor allem für solche, bei denen der Kopf eine sehr starke Bewegung gegen die des Torsos ausführen muss (Abbildung 7.19: links).

Aber auch laterale Bewegungen sollten nicht zu einer zu starken S-Krümmung des Körpers führen (Abbildung 7.19: rechts). Als Richtwert gilt: Die Augen sollten bei einer lateralen Kompensationsbewegung maximal eine halbe Schulterbreite verschoben werden, also innerhalb des der Bewegung zugewandten grauen Bereichs in Abbildung 7.19 liegen.

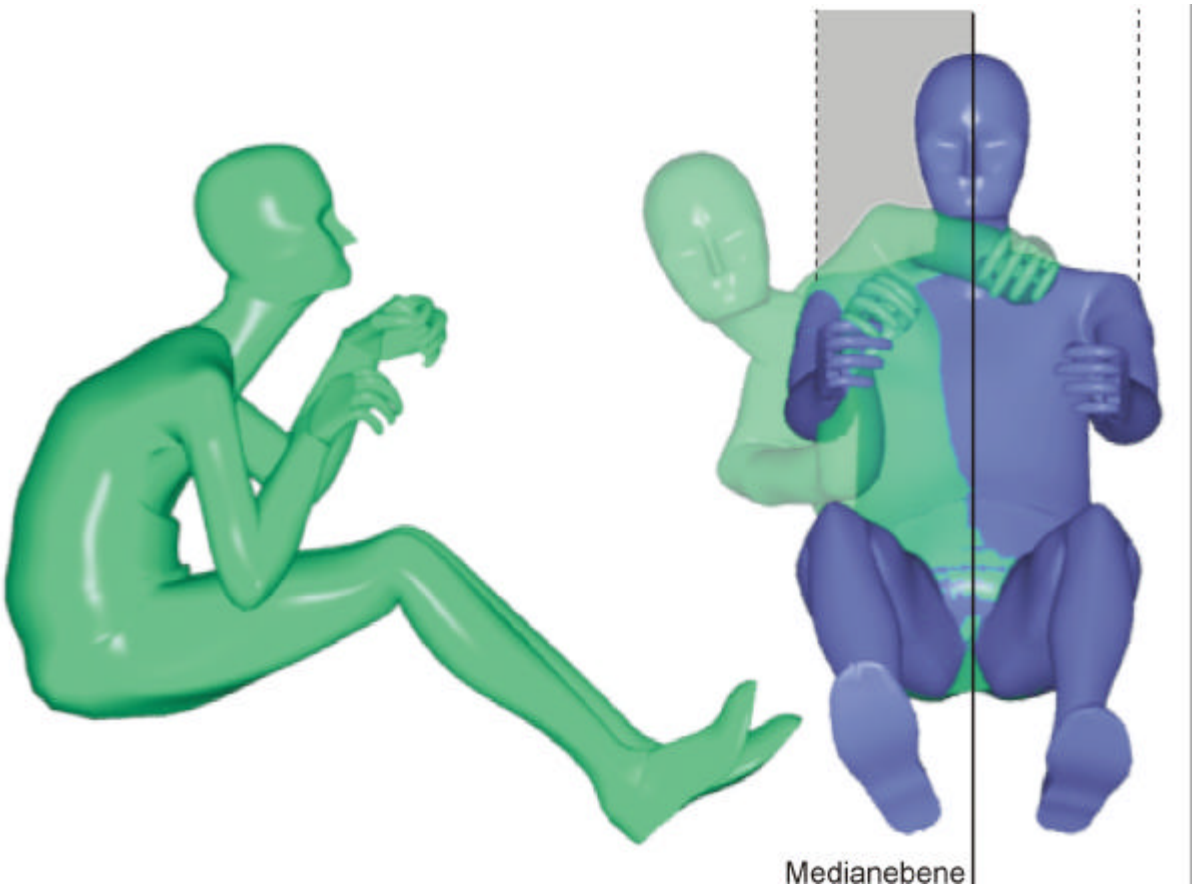


Abbildung 7.19: Extreme Kompensationsbewegungen, in der Medianebene (l.) und lateral (r.)

8 Ausblick

Mittelfristiges Ziel ist es, Kriterien für die Bewertung der vorgefundenen Sichtverhältnisse zu entwickeln und in das *ARGUS*-System zu integrieren, so dass nach der Vermessung eines Fahrzeugs sofort vom System eine objektive Beurteilung erfolgen kann.

Ein Möglichkeit, eine solche Bewertung zu realisieren, stellt die Verwendung von aufgabenabhängigen Blickzuwendungsverteilungen dar. Grundlage hierfür legen Versuche, die z. Z. mit einem speziell gestalteten Versuchsfahrzeug im alltäglichen Verkehrsgeschehen durchgeführt werden. Dieses Versuchsfahrzeug, das so genannte Glaskuppel-Auto, zeichnet sich dadurch aus, dass der gesamte Dachaufbau durch eine transparente Plexiglaskuppel ersetzt wurde. Der Fahrer des Fahrzeugs kann damit jedes Sichtziel fixieren, ohne durch Säulen oder Dach daran gehindert zu werden. Spezielle Systeme erlauben es zudem, die Kopfhaltung und Blickrichtung des Fahrers zu erfassen. Der Einsatz des *JANUS*-Systems erlaubt außerdem die Blickzuwendungen des Fahrers zu erkennen sowie eine Klassifizierung der zugehörigen Verkehrssituation vorzunehmen. Hieraus können örtliche Blickzuwendungsverteilungen ermittelt werden, die dann mit den Ergebnissen der mit *ARGUS* erstellten Sichtvermessungen überlagert werden.

Abbildung 8.1 zeigt die sich aus der binokularen Analyse ergebenden Sichtverdeckungen durch die vordere Fahrzeugkarosserie auf der Fahrbahnebene sowie mögliche situationsabhängige Blickzuwendungshäufigkeiten für die Geradeausfahrt. Aus der Darstellung lassen sich notwendige Verbesserungen im A-Säulenbereich direkt ableiten.

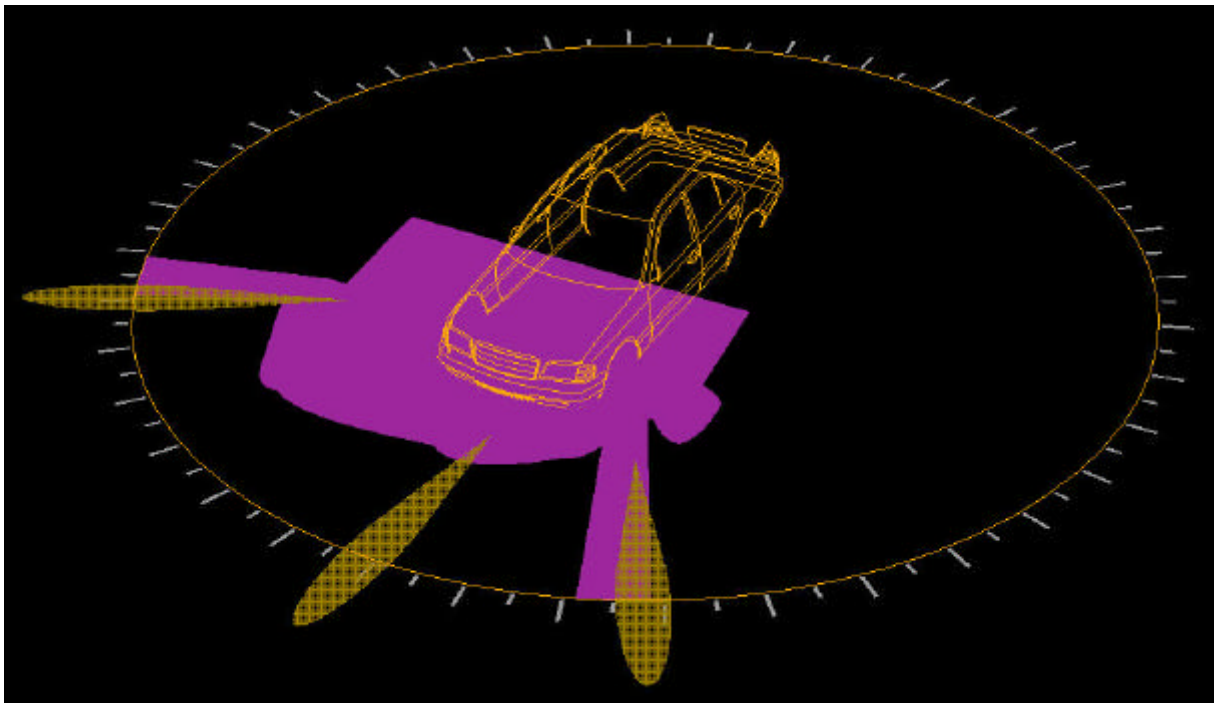


Abbildung 8.1: Binokulare Säulenverdeckungen und fahrsituationsabhängige Blickzuwendungshäufigkeitsverteilungen

Die gemachten Versuche im Fahrerstand zeigen, dass bereits das existierende Fahrerhaltungsmodell mit geeigneten Restriktionsdatensätzen durchaus in der Lage ist, vernünftige Prognosen auch extremer Haltungen zu liefern. Das erarbeitete Rückorientierungsmodell für extreme Kopf- und Torsoverdrehungen beim Autofahren stellt eine weitere Verbesserung dar. Das schon länger in *RAMSIS* implementierte Lkw-Haltungsmodell, sowie das neue Piloten-Haltungsmodell legen zudem den Einsatz des *ARGUS*-Systems innerhalb des Lastkraftwagen-, Omnibus- und Flugzeugbaus nahe. Einen weiteren denkbaren Einsatzbereich stellen Flurförderfahrzeuge dar, da hier die Sicht eine zentrale Rolle bei der Aufgabenerfüllung spielt. Allerdings sind hierfür zunächst die entsprechenden Haltungsmodelle zu erstellen.

Dies zeigt aber auch, dass in der Verwendung von wahrscheinlichkeitsbasierten Haltungsmodellen Nachteile liegen.

Die Weiterentwicklung von *RAMSIS* bleibt indes nicht stehen und geht z. Z. in Richtung eines Kraft orientierten Haltungsmodells, das für jede gestellte Aufgabe realistische Haltungen prognostizieren kann. Der Wechsel zwischen einzelnen, aufgabenabhängigen Haltungsmodellen wird daher über kurz oder lang der Vergangenheit angehören. Auch werden sich die Prognosen der Haltungen durch künftige Forschungen weiter verbessern, was wiederum eine Optimierung der durch *ARGUS* erstellten Sichtanalysen mit sich bringen wird.

Zudem wird die Interaktion von Fahrer und Sitz durch neue Methoden eine beschreibbare Größe darstellen, die in Haltungsprognosen einfließen wird.

9 Literatur

Bubb, H., Schmidtke, H., Balzulat, J. (1995): *H-Punktbestimmung für das Menschmodell RAMSIS*. Institut für Ergonomie der Technischen Universität München.

Bubb, H. (2002): *Körpermaße und ihre Berücksichtigung bei der Arbeits- und Produktgestaltung.* In: Arbeitssicherheit, Handbuch für Unternehmensleitung, Betriebsrat und Führungskräfte, Heft 6, Rudolf Haufe Verlag, S. 281-334.

Balzulat, J. (2000): *Ein holistischer Versuchsansatz zum Sitzverhalten*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

Brues, A.M. (1946): *Movement of the Head and Eye in Sighting*. In Randall, F.E., Damon A., Benton, R.S. and Patt D.I.: Human Body Size in Military Aircraft and Personal Equipment. Technical Report No. 5501, U.S. Army Air Forces, Wright Field Dayton, Ohio.

Cohen, A. S., Hirsig, R. (1990): *Zur Bedeutung des fovealen Sehens für die Informationsaufnahme bei hoher Beanspruchung*. In: Derkum. H. (Hrsg.): Sicht und Sicherheit im Straßenverkehr, Verlag TÜV Rheinland.

Daimler-Benz (1984): *Sichtwinkelmessvorrichtung in Kraftfahrzeugen*. Patentschrift DE 29 25 155 C2, Daimler-Benz AG, Stuttgart.

Damon, A. (1966): *The Body in Equipment Design*. Harvard University Press, Cambridge Massachusetts.

DIN 33408 (1987): *Körperumrißschablonen für Sitzplätze*. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH.

Egger, T. (1990): *Berechnungen und experimentelle Untersuchungen zur indirekten Sicht in Kraftfahrzeugen*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

Eid, F.; Schmidt, H. (1995): *Augpunktmessung im W202*. Technischer Bericht F1M-95-0011, Daimler-Benz, Stuttgart.

EWG 70/156: Anhang II: Begriffsbestimmungen für Fahrzeugklassen und Fahrzeugtypen. EWG-Richtlinie.

EWG 71/127 (1972): *Rückspiegel*. EWG-Richtlinie.

EWG 77/649 (1977) *Sichtfeld der Fahrer von Kraftfahrzeugen*. EWG-Richtlinie.

Färber, B. (1993): *Zuverlässigkeit und Gültigkeit technischer Hilfesysteme*. VDI Berichte Nr. 1046, S. 241-246.

Flügel, B.; Greil, H.; Sommer, K. (1986): *Anthropologischer Atlas*. Edition Wötzel, Frankfurt/Main.

Fritsch, F.N.; Carlson, R. E. (1980): *Monotone piecewise cubic interpolation.* SIAM, J., Volume 17, Page 238-246.

Gengenbach, R. (1997): *Fahrverhalten im Pkw mit Head-Up-Display*. Fortschrittberichte VDI, Reihe 12, Nr. 330, VDI Verlag, Düsseldorf.

Geuß, H. (1995): *Entwicklung eines anthropometrischen Messverfahrens für das CAD-Menschmodell RAMSIS*. Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.

Grandjean, E. (1979): *Physiologische Arbeitsgestaltung*. Ott Verlag Thun.

HdE (1989): *Handbuch der Ergonomie*. Band B, Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung , 2. Auflage, Koblenz..

Hudelmaier, J. (1997): *Entwicklung und Konstruktion eines Versuchsaufbaus zur Vermessung und Simulation von Sitzen und Polsterungen*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

Hudelmaier, J. (1997): *Konzeption eines automatischen Messsystems zur binokularen Sichtvermessung im Pkw*. Interner Bericht, Lehrstuhl für Ergonomie der Technische Universität München.

Hudelmaier, J. (1999): *ARGUS – Automatisches Messsystem zur binokularen Erfassung personenindividueller Sichtverhältnisse im Pkw*. Betriebsanleitung, Lehrstuhl für Ergonomie der Technische Universität München, Stand 22.11.1999.

Hudelmaier, J. (2002): *Analysing Driver's View in Motor Vehicles*. In Digital Human Modeling, VDI-Berichte Nr. 1675, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 167-182.

ISO 6549 (1999): *Straßenfahrzeuge - Methode zur Bestimmung von H- und R-(Sitzbezugs-)Punkten*. Beuth Verlag GmbH.

Kolling, J. (1997): *Validierung und Weiterentwicklung eines CAD-Menschmodells für die Fahrzeuggestaltung*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

Krist, R. (1993): *Modellierung des Sitzkomforts- eine experimentelle Studie*. Dissertation, Phil.-Päd. Fakultät der KU Eichstätt..

Meldrum, J. F. (1965): *Automobil Driver Eye Position*. Human Factors Research Dept., Ford Motor Company.

Peacock, B.; Karwowski, W. (1993): *Automotive Ergonomics*. Taylor & Francis Ltd.

Pfleger, E., Berger, W. J. Pichler, C. (1994): *Unfallursachenforschung bei Unfallhäufigkeitsstellen – Fallbeispiele für Informationsdefizite. In: Interdisziplinäre Unfallforschung – Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers.* 3. Fachtagung Verkehrssicherheit, Mitteilungen, Heft 24, S. 47-83, Universität für Bodenkultur, Wien.

Reichart, G. (2000): *Normatives Fahrerverhaltensmodell zur Vorhersage von Unfallhäufigkeiten*. GfA Konferenzbeitrag der Herbstkonferenz 2000, Herbert Utz Verlag, München.

Roe, R. W. (1975): *Describing the Driver´s Workspace; Eye, Head, Knee and Seat Positions*. SAE-750356.

Rötting, M. (1999): *Typen und Parameter von Augenbewegungen*. ZMMS Spektrum Band 8, Pro Universitate Verlag, Sinzheim.

SAE 75 (1979): *SAE Handbook*. Part 2, Society of Automotive Engineers, Inc.

SAE J941 (1979): *SAE Handbook*. Part 2, Society of Automotive Engineers, Inc.

SAE J941e (1979): *SAE Handbook*. Part 2, Society of Automotive Engineers, Inc.

SAE J826b (1979): *SAE Handbook*. Part 2, Society of Automotive Engineers, Inc.

SAE J1100a (1979): *SAE Handbook*. Part 2, Society of Automotive Engineers, Inc.

Schade, D. (1980): *Die Augenellipse als Hilfsmittel bei der Konzeption des Fahrerplatzes*. Automobil-Industrie 1/80, S. 121-127.

Schmidt, R. F., Thews, G. (1987): *Physiologie des Menschen*. Springer Verlag, 23. Auflage.

Schmidtke, H. (1993): *Ergonomie*. 3.Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien.

Schweigert, M. (1998): *Generierung eines Maßes zur Bestimmung der visuellen Aufmerksamkeit von Kraftfahrzeugführern.* Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

Seidl, A. (1993): *Das Menschmodell RAMSIS – Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

Seitz, T. (1998): *The optical measurement system PCMAN*. Proceedings of the workshop 3D anthropometrie and industrial products design, Paris.

Sonntag, P. Magold A. (2000): *Entwicklung einer Robotersteuerung für das Sichtgrenzenerfassungssystem ARGUS*. Semesterarbeit der Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

StVZO, §35b (2001): *Einrichtungen zum sicheren Führen der Fahrzeuge.*

Waldhier, T. (1989): *Menschmodellierende Verfahren zur rechnergestützten Arbeitsplatzgestaltung*. Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, TH Karlsruhe.

Wilde G.J.S. (1982): *Objective and Subjective Risk in Driver´s Response to Road Conditions: The Implications of the Theory of Risk Homeostasis for Accident Aetiologie and Prevention*. Daimler Benz AG, Forschung und Entwicklung.

10 Glossar

10.1 Begriffe und Definitionen

Akzeleration

Die Zunahme der Körperhöhe von Generation zu Generation (ca. 1-2 cm / Dekade).

CCD-Kamera

CCD = Charge Coupled Device (ladungsgekoppeltes Bauteil). Die CCD-Kamera ist eine elektronische Kamera, die über einen lichtempfindlichen Chip verfügt.

Fahrzeugkoordinatensystem - FKS

Das im Folgenden verwendete Fahrzeugkoordinatensystem ist das in der Automobilindustrie zumeist gebräuchliche. Dabei liegt das Zentrum im Schnittpunkt der Vorderachse mit der Ebene, die das Fahrzeug der Länge nach mittig schneidet. Die positive z-Achse ist vom Boden weg, senkrecht nach oben gerichtet. Die positive x-Achse verläuft gegen die Fahrtrichtung (Abbildung 10.1).

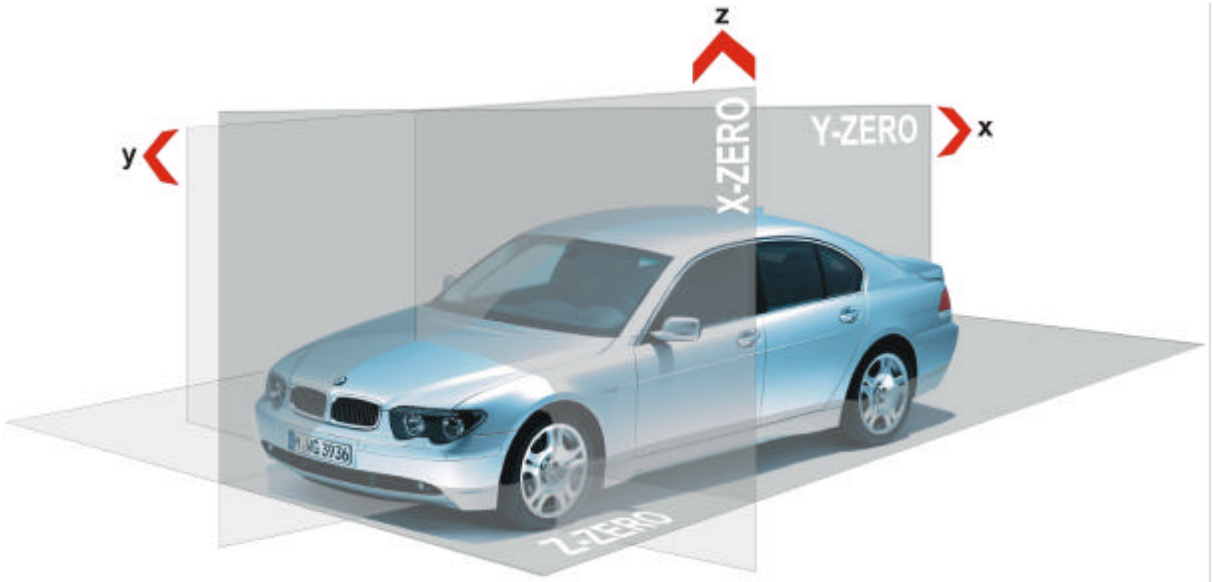


Abbildung 10.1: Orientierung des Fahrzeugkoordinatensystems

Fahrzeugklassenbezeichnungen (nach EWG 50/156 Anhang II Teil A)

Klasse M_1: Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz.

Klasse N_1: Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 Tonnen.

Fixation

Von der *Fixation* eines Objektes spricht man dann, wenn dieses ohne Relativbewegungen auf dem fovealen Bereich der Netzhaut abgebildet wird. Im Gebiet des Straßenverkehrs sind Fixationsdauern im Bereich ab 80-100 ms bis zu einigen Sekunden zu finden.

Foveales Sehfeld

(zentrales Sehfeld) ist der Bereich in dem Objekte scharf gesehen werden können, da ihre Abbildung auf den fovealen Bereich der Netzhaut projiziert wird.

H-Punkt

Der *H-Punkt* (Hüftpunkt) ist der Punkt auf der Medianebene des Menschen, der im Schnittpunkt der Torsoachse und der auf die Ebene projizierten Oberschenkellängsachse liegt.

H-Punkt-Messmaschine

Die H-Punkt-Messmaschine (Abbildung 10.2) dient zur Bestimmung der H-Punktlage in einem bestimmten Sitz. Der mit ihrer Hilfe ermittelte H-Punkt ist gleichzeitig auch der Sitzreferenzpunkt (Seating Reference Point).

H-Punkt-Verstellfeld

Das H-Punkt-Verstellfeld ist die vom Sitzreferenzpunkt während der Längs- und Höhenverstellung überstrichene Fläche in der Medianebene des Sitzes.

Abbildung 10.2: SAE-H-Punkt-Messmaschine

Hauptebenen des menschlichen Körpers

Abbildung 10.3 zeigt die Hauptebenen (Frontal-, Median- und Horizontalebene) des menschlichen Körpers in der Neutralnullstellung.

Horizontalsehachse

Bei gespannter Kopf- und Augenhaltung verläuft die Sehachse parallel zur Horizontalen.

Hüftzentrum

Das Hüftzentrum ist der Punkt, der die Strecke zwischen linkem und rechtem Hüftgelenk halbiert.

Kompensationsbewegung

Als *Kompensationsbewegungen* werden im hier dargestellten Zusammenhang all jene Ausgleichsbewegungen durch Kopf und/oder Oberkörper bezeichnet, die nötig sind, um ein in einer bestimmten Ausgangshaltung durch ein Objekt verdecktes Sichtziel fixieren zu können.

Konstruktiver H-Punkt - KHP

Der konstruktive (oder auch Design) H-Punkt ist der mit 2D-Zeichenschablonen ermittelte H-Punkt in jeder Sitzposition.

Manikin

Bezeichnung für ein in *RAMSIS* erzeugten, virtuellen Personentyp mit bestimmten Köperabmaßen.

Menschmodell

Unter einem Menschmodell wird ein rechnergestütztes System zur Simulation menschlicher Eigenschaften verstanden.

Mittenauge

Das fiktive *Mittenauge* entsteht bei Überlagerung der Netzhäute von linkem und rechtem Auge, so dass die Foveae sich decken. Bei *RAMSIS* liegt das Mittenauge im Mittelpunkt einer Linie, die den rechten und linken Augenpunkt als Stützpunkte hat.

Neutralnullstellung

Als *Neutralnullstellung* ist ein aufrechter Stand mit Knöchelschluss der Füße und angelegten Handflächen (Daumen vorn) definiert (Abbildung 10.3).

Öffnungswinkel

Winkel zwischen zwei tangential an den der Windschutzscheibe zugewandten Seiten der linken und rechten A-Säule und durch den SAE-Augpunkt verlaufenden Geraden, die auf einer im Prinzip beliebigen, im aufgezeigten Fall aber horizontalen, durch den SAE-Augpunkt verlaufenden Ebene liegen Es wird bezüglich einer im SAE-Augpunkt liegenden und parallel zur ZERO-Y-Ebene verlaufenden Sitzmittenebene ein *linker* und *rechter Öffnungswinkel* unterschieden.

Package

Maßliche Auslegung aller platzrelevanten Teile der Fahrgastzelle.

Peripheres Sehfeld

Der Bereich außerhalb des fovealen Sehfeldes.

Perzentil

Angabe, wie viel Prozent einer untersuchten Bevölkerungsgruppe bzw. die interessierende Teilgruppe der Gesamtpopulation in Bezug auf ein bestimmtes Körpermaß, kleiner als das angegebene Maß ist.

Prognose

Unter Prognose wird die wissensfundierte Voraussage zukünftiger Ereignisse, Zuständen und Entwicklungen verstanden.

R-Point

Ist der durch den Fahrzeughersteller festgelegte Sitzreferenzpunkt. Er liegt bei einer festgelegten Einstellung des Fahrersitzes, sowie einer bestimmten Torsoneigung im H-Punkt. Er wird mit der SAE-H-Punktmessmaschine ermittelt.

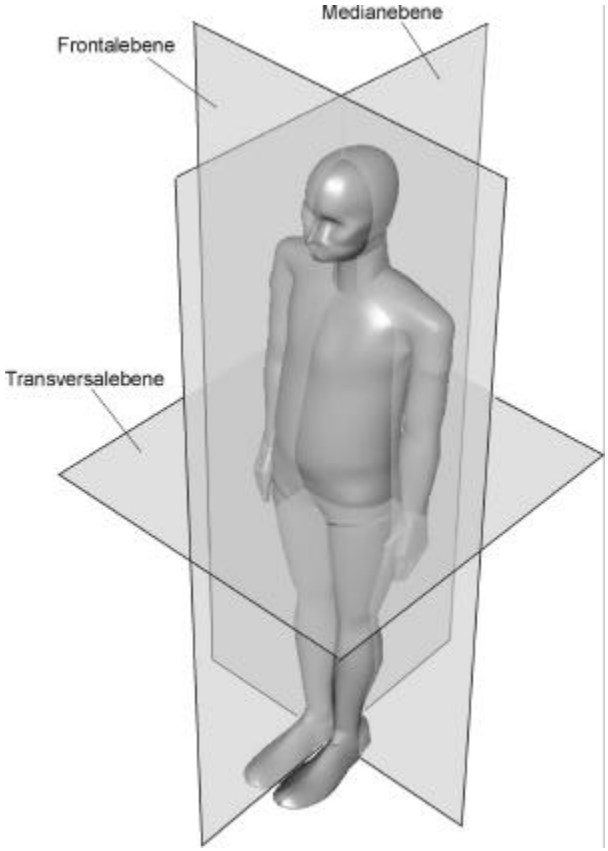


Abbildung 10.3: Die Hauptebenen des menschlichen Körpers, dargestellt in der Neutralnullstellung

Restriktion

Im *RAMSIS*-Sprachgebrauch bezeichnen *Restriktionen* haltungsbestimmende Vorgaben und Einschränkungen in Bezug auf die Interaktion zwischen Geometrieelementen und *RAMSIS* (z. B. rechte Hand an das Lenkrad) oder modellinternen (z. B. Ellenbogengelenk fixiert).

Saccaden

Rasche, ruckhafte Augenbewegungen von jeweils 10-80 ms Dauer beim Wechsel von einem Fixationspunkt zum nächsten. *Saccaden* können wenige Winkelminuten groß sein (*Mikrosaccaden*), bei entsprechender Willkürinnervation jedoch auch über 90° betragen.

SAE-Schablone

2D-Zeichenschablone nach SAE J826.

Sagittalebene

Parallelebene der Medianebene.

Seating Reference Point

Der *Seating Reference Point (SgRP)* ist der Konstruktionsreferenzpunkt des Fahrzeugherstellers. Er gibt die Lage des H-Punktes in der normalen, rückwärtigen Sitzposition des Fahrers wieder und ist damit auch der Referenzpunkt, in den die Zeichenschablonen oder das *RAMSIS*-Menschmodell gelegt werden (siehe auch ISO 6549). Er wird mit der SAE-H-Punkt-Messmaschine (Abbildung 10.2) nach einem bestimmten Procedere ermittelt.

Sicherheit (aktiv)

Zur aktiven Sicherheit zählen Systeme und Einrichtungen, die dazu dienen, Unfälle zu vermeiden.

Sicherheit (passiv)

Zur passiven Sicherheit zählen Systeme und Einrichtungen, die dazu dienen, Unfallfolgen zu mindern.

Simulation

Unter Simulation wird eine möglichst wirklichkeitsgetreue Wiedergabe der Realität verstanden.

Soma

= Körper (gr.)

Somatotypen

Körperbautypen

Stereophotogrammetrie

Die Stereophotogrammetrie stellt eine mit mindestens zwei Kameras durchgeführte indirekte Messmethode dar, bei der das betrachtete Objekt nicht direkt, sondern mit Hilfe der von ihm erzeugten Bildern vermessen wird.

Torsolinie

Die Torsolinie ist die Verbindungslinie von H-Punkt und Schulterbezugspunkt.

10.2 Verwendete SAE-Maßangaben

Im Folgenden werden die verwendeten Maßangaben nach SAE 1100a angegeben und erklärt. Wo diese von SAE 941a abweichen, ist dies vermerkt.

Systematik

H (+*Zahl*): Abstände (auch radiale) in Seiten-, Front- und Rückansicht mit vorwiegend vertikaler Ausrichtung.

L (+*Zahl*): Abstände in Seitenansicht mit vorwiegend horizontaler Ausrichtung sowie Winkel und radiale Abstände in allen Ansichten.

W (+*Zahl*): Maße orthogonal zur Fahrzeugmittenebene ZERO-Y in Front-, Rück-, und Aufsicht.

SAE-Bezeichnung	*Erklärung*
H30	vertikales Maß vom SgRP bis zum Hackenauflagepunkt.
H58[16]	vertikaler Abstand zwischen dem H-Punkt bei Fahrersitz in vorderster und hinterer Längseinstellung.
H61	Gegen die Vertikale um 8° geneigter Abstand gemessen vom SgRP des Fahrersitzes zur inneren Dachlinie.
L23	Horizontaler Abstand zwischen dem SgRP des Fahrersitzes in vorderster und hinterster Längsstellung.
L53	Horizontaler Abstand von SgRP des Fahrers zum Hackenpunkt.
L40	Winkel zwischen der Vertikalen und der Torsolinie.
W3	Der minimale, horizontale, laterale Schulterraum, gemessen in einer orthogonal zur Fahrzeuglängsmittenebene (ZERO-Y) erlaufenden Ebene in der der SgRP des Fahrersitzes liegt.
W7	Die y-Koordinate des Lenkradmittelpunktes im Fahrzeugkoordinatensystem.

[16] Entspricht H59 in SAE J941e

Anhang

Aktuelle Restriktionen der Ausgangshaltung im ARGUS-System

Tabelle A.1: Restriktionen der Ausganghaltung für den Mann

#	***Art der Restriktion***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***RAMSIS-interne Bezeichnung***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***[17]
1	Ziel	H-Punkt	PHPT	H-Punkt-Verstellfeld
2	Ziel	Linke Ferse	FUL0108 [A] FUL0306 [C]	Bodenfläche
3	Ziel	Rechte Ferse	FUR0107 [A] FUR0306 [C]	Bodenfläche
4	Ziel	Pedalberührpunkt	FUR0706 [A] FBR0005 [C]	Pedal[18]
5	Ziel	Linke Hand	DG2L0004 [B] FG1L0003 [D]	Griffpunkt L
6	Ziel	Rechte Hand	DG2R0003 [B] FG1R0007 [D]	Griffpunkt R
7	Fixierung (Becken)	Becken	-	Neigen frei; Kippen, Drehen fix

A Bei Fußmodell „GINO-Schuh“
B Bei Handmodell „Fünffinger-Hand“
C Bei Fußmodell „ohne Schuh“
D Bei Handmodell „Zweifinger-Hand“

[17] gemäß Abbildung A.1
[18] repräsentiert durch Verbindungslinie von Gaspunkt 1-3

Tabelle A.2: Restriktionen der Ausganghaltung für die Frau

#	***Art der Restriktion***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***RAMSIS-interne Bezeichnung***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***[19]
1	Ziel	H-Punkt	PHPT	H-Punkt-Verstellfeld
2	Ziel	Linke Ferse	FUL0105 A FUL0306 C	Bodenfläche
3	Ziel	Rechte Ferse	FUR0105 A FUR0306 C	Bodenfläche
4	Ziel	Pedalberührpunkt	FUR0706 A FBR0005 C	Pedal[20]
5	Ziel	Linke Hand	DG2L0004 B FG1L0003 D	Griffpunkt L
6	Ziel	Rechte Hand	DG2R0003 B FG1R0007 D	Griffpunkt R
7	Fixierung (Becken)	Becken	-	Neigen frei; Kippen, Drehen fix

A Bei Fußmodell „GINO-Schuh“
B Bei Handmodell „Fünffinger-Hand“
C Bei Fußmodell „ohne Schuh“
D Bei Handmodell „Zweifinger-Hand“

[19] gemäß Abbildung A.1
[20] repräsentiert durch Verbindungslinie von Gaspunkt 1-3

Aktuelle Restriktionen der Umblickprognosen im ARGUS-System

Allgemeinrestriktionen

Nach der Erzeugung der Ausgangshaltung werden für die eigentliche Umblickprognose folgende Restriktionen für Frau und Mann gesetzt:

Tabelle A.3: Restriktionen für Umblickprognose für Frau und Mann

#	***Art der Restriktion***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***RAMSIS-interne Bezeichnung***	***Bemerkungen***
1	Ziel	Blickrichtung	-	Wird sukzessive von Haltung zu Haltung verändert
2	Fixierung (Punkt)	Linke Hand	DG2L0004 [A] FG1L0003 [B]	Restriktion wird gelöst, wenn horizontale Blickrichtung nach links > 90 beträgt
3	Fixierung (Punkt)	Rechte Hand	DG2R0003 [A] FG1R0007 [B]	Restriktion wird gelöst, wenn horizontale Blickrichtung nach rechts > 90 beträgt
4	Fixierung (Becken)	Becken		Neigen, Kippen, Drehen fix
5	Fixierung (Gelenk)	Hüftgelenk rechts	GHUR	
6	Fixierung (Gelenk)	Kniegelenk rechts	GKNR	
7	Fixierung (Gelenk)	Sprunggelenk rechts	GSPR	
8	Fixierung (Gelenk)	Ballen rechts	GFBR	
9	Fixierung (Gelenk)	Hüftgelenk links	GHUL	
10	Fixierung (Gelenk)	Kniegelenk links	GKNL	
11	Fixierung (Gelenk)	Sprunggelenk links	GSPL	
12	Fixierung (Gelenk)	Ballen links	GFBL	

A Bei Handmodell „Fünffinger-Hand“
B Bei Handmodell „Zweifingerhand“

Standardblickrichtungsvorgaben in der Datei viewrobot.ini

Tabelle A.4: Standardblickrichtungsvorgaben

#	Bezeichnung	Schritte/ Ausrichtung	Erklärung
1	HorFirst	10°	Horizontale Ausrichtung der Startblickrichtung
2	HorStep	10°	Schrittweite in horizontaler Richtung
3	HorNumber	35	Anzahl der Schritte in horizontaler Richtung
4	VerFirst	-60°	Vertikale Ausrichtung der Startblickrichtung
5	VerStep	10°	Schrittweite in vertikaler Richtung
6	VerNumber	15	Anzahl der Schritte in vertikaler Richtung

Restriktionen der Haltungen in Abbildung 7.2 ff

Im Folgenden werden die Aufgabenkataloge der Haltungen wie sie in Abbildung 7.2 - Abbildung 7.4 dargestellt sind aufgezeigt. Für die Fahrzeugrestriktionsbezüge wurde eine zum *ARGUS*-System weitgehend konforme Fahrzeuggeometrie generiert, die der aktuellen Mercedes C-Klasse (ohne Schiebedach) entspricht. Anders als beim *ARGUS*-System üblich, wurden allerdings zwei zusätzliche Referenzebenen für Sitzlehne und Kopfstützenseite hinzugefügt (siehe Abbildung A.1). Diese Referenzebenen sind dabei als Flächen unendlicher Ausdehnung zu verstehen. Die Geometrie wurde in die *RAMSIS*-Standaloneversion geladen, in der die Haltungen unter Vorgabe verschiedener zu fixierender Objektpunkte berechnet wurden.

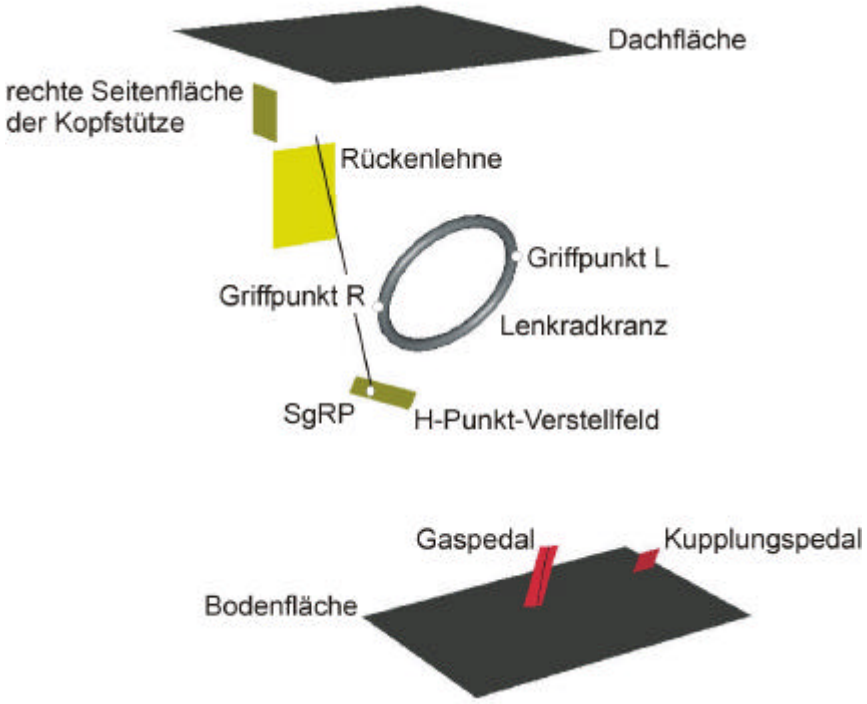


Abbildung A.1: Erweiterte ARGUS-Fahrzeuggeometrie der Mercedes C-Klasse

Tabelle A.5: Restriktionswahl in Abbildung 7.2 links

#	***Art der Rest.***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***	***Bemerkung / Zusätzliche Bedingung***
1	Ziel	linker Handpunkt	Griff Punkt L	
2	Ziel	rechter Handpunkt	Griff Punkt R	
3	Ziel	H-Punkt	beliebig in H-Punktverstellfeld	
4	Ziel	Linker Hackenpunkt	Bodenfläche	
5	Ziel	Rechter Hackenpunkt	Bodenfläche	
6	Ziel	Rechter Fußballenpunkt	Gas Punkt 1	
7	Abstand	Kopfspitze	Dachfläche	Min. 50 mm neg. z-Richtung
8	Ziel	Fixationspunkt	Objektpunkt P	P in Sitzmittenebene, 10 m vor dem Fahrzeug.

Tabelle A.6: Restriktionswahl in Abbildung 7.2 rechts

#	***Art der Rest.***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***	***Bemerkung / Zusätzliche Bedingung***
1	Ziel	linker Handpunkt	Griff Punkt L	
2	Ziel	rechter Handpunkt	Griff Punkt R	
3	Ziel	H-Punkt	beliebig in H-Punktverstellfeld	
4	Ziel	Linker Hackenpunkt	Bodenfläche	
5	Abstand	Rechter Hackenpunkt	Bodenfläche	In pos. z-Richtung
6	Ziel	Rechter Fußballenpunkt	Gas Punkt 1	
7	Abstand	Kopfspitze	Dachfläche	Min. 50 mm neg. z-Richtung
8	Ziel	Fixationspunkt	Objektpunkt P	P 90° rechts neben dem Fahrzeug.

Tabelle A.7: Restriktionswahl in Abbildung 7.3

#	***Art der Rest.***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***	***Bemerkung / Zusätzliche Bedingung***
1	Ziel	linker Handpunkt	Griff Punkt L	
2	Ziel	rechter Handpunkt	Griff Punkt R	inaktiv
3	Ziel	H-Punkt	beliebig in H-Punktverstellfeld	
4	Ziel	Linker Hackenpunkt	Bodenfläche	
5	Abstand	Rechter Hackenpunkt	Bodenfläche	In pos. z-Richtung
6	Ziel	Rechter Fußballenpunkt	Gas Punkt 1	
7	Abstand	Kopfspitze	Dachfläche	Min. 50 mm neg. z-Richtung
8	Ziel	Fixationspunkt	Objektpunkt P	P hinter dem Fahrzeug.

Tabelle A.8: Restriktionswahl in Abbildung 7.4 links

#	***Art der Rest.***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***	***Bemerkung / Zusätzliche Bedingung***
1	Ziel	linker Handpunkt	Griff Punkt L	
2	Ziel	rechter Handpunkt	Griff Punkt R	inaktiv
3	Ziel	H-Punkt	beliebig in H-Punktverstellfeld	
4	Ziel	Linker Hackenpunkt	Bodenfläche	
5	Abstand	Rechter Hackenpunkt	Bodenfläche	In pos. z-Richtung
6	Ziel	Rechter Fußballenpunkt	Gas Punkt 1	
7	Abstand	Kopfspitze	Dachfläche	Min. 50 mm neg. z-Richtung
8	Ziel	Fixationspunkt	Objektpunkt P	P hinter dem Fahrzeug
9	Abstand	Rechter Augpunkt	Neben Referenzfläche der Kopfstütze	In pos. y-Richtung

Tabelle A.9: Restriktionswahl in Abbildung 7.4 rechts

#	***Art der Rest.***	***Restriktion seitens RAMSIS***	***Restriktion seitens Fahrzeuggeometrie***	***Bemerkung / Zusätzliche Bedingung***
1	Ziel	linker Handpunkt	Griff Punkt L	
2	Ziel	rechter Handpunkt	Griff Punkt R	inaktiv
3	Ziel	H-Punkt	beliebig in H-Punktverstellfeld	
4	Ziel	Linker Hackenpunkt	Bodenfläche	
5	Abstand	Rechter Hackenpunkt	Bodenfläche	In pos. z-Richtung
6	Ziel	Rechter Fußballenpunkt	Gas Punkt 1	
7	Abstand	Kopfspitze	Dachfläche	Min. 50 mm neg. z-Richtung
8	Ziel	Fixationspunkt	Objektpunkt P	P hinter dem Fahrzeug
9	Abstand	Rechter Augpunkt	Neben Referenzfläche der Kopfstütze	In pos. y-Richtung
10	Abstand	Rechte Schulterfläche	Referenzfläche der Rückenlehne	In neg. x-Richtung
11	Richtung	Kopfhochachse		In pos. z-Richtung