

## EDITORIAL

Liebe Kolleginnen und Kollegen  
Sehr geehrte Leserinnen und Leser  
Freunde und Förderer der Ergonomie



Das diesjährige Heft der Ergonomie aktuell wird Ihnen einmal mehr eindrucksvoll die Bandbreite der Themen vermitteln, zu denen am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München intensiv geforscht wird. Dabei werden Sie Arbeiten entdecken, in denen noch die Früchte der Forschungsaktivitäten meines Vorgängers Professor Bubb geerntet werden konnten. Zusätzlich auch neue Projekte, die seit dem Erscheinen der vorherigen Ausgabe gestartet wurden. In diesem Zusammenhang tauchen die Namen und Gesichter zahlreicher neuer MitarbeiterInnen auf, die inzwischen in den Bereichen Anthropometrie, Systemergonomie und Modellierung menschlicher Zuverlässigkeit aktiv sind.

Im Bereich der Fahrzeugforschung arbeiten wir, über die aktive Sicherheit und Controllability hinaus, unter anderem im Cluster Elektromobilität an Assistenzkonzepten für vorausschauendes Fahren und effiziente Mobilität. Im Bereich der Produktionsergonomie gewinnt die sichere und effiziente Kooperation zwischen Mensch und Roboter an Bedeutung. Der LfE führt hier entsprechende Bewegungsstudien durch und arbeitet an den notwendigen Interaktionskonzepten. Die Mitarbeiter des Lehrstuhls sind international gesuchte Ansprechpartner und die Abgänger des vergangenen Jahres wurden bei namhaften Unternehmen ange stellt. Als Lehrstuhlinhaber freut es mich besonders, dass die Münchner Ergonomie gerade auf diesem Weg ihre Bestätigung findet.

Das vergangene Jahr war vor allem geprägt durch den Ausbau des Usability Labors, des Sportlabors in Garching und die Verankerung der Vorlesung Versuchsplanung & Statistik im Lehrangebot.

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei allen MitarbeiterInnen für ihr Forschungsengagement und bei Professor Heiner Bubb für seine – wie könnte es anders sein – nach wie vor intensive Mitarbeit.

Das LfE Team und mich würde es freuen, wenn diese Ausgabe der Ergonomie aktuell Sie neugierig gemacht hat und wir Sie in Garching am Lehrstuhl begrüßen können.

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Ihr

Klaus Bengler

## „Projekte im Zieleinlauf und an der Startlinie“

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Editorial	1
RAMSIS kognitiv Wolfram Remlinger	2
A-Säulenverdeckung im Kreuzungsverkehr Wolfram Remlinger, A. Zaindl	4
DHErgo: Mehr Dynamik für digitale Menschmodelle Florian Engstler, Fabian Günzkofer	5
Zeichnen für illustrative und präsentations-fähige Darstellung Andreas Haslbeck	9
LfE- Themen zum Sitzkomfort O. Sabbah, U. Herbst, D. Lorenz, St. Lorenz	10
Eigenschaftsentwicklung für Fahrerassistenzsysteme mittels eines innovativen und durchgängigen Entwicklungsprozesses B. Strasser; Th.Bock; K.-H. Siedersberger; G. Duba; M. Maurer; H. Bubb	13
Herausforderungen für die Gestaltung von Überwachungs - Arbeitsplätzen I. J.-Fraczek, D. Bortot, S. Popova, K. Bengler	17
Ehrungen / Preisse / Veranstaltungen	23 - 27
Analyse des Blickverhaltens an Kreuzungen als Grundlage für die Gestaltung von Assistenzsystemen Marina Plavšić	28
Internationale Messe-Präsentation der TUM Veit Senner	31
Wissenschaftlicher Skivergleichstest Veit Senner	32
Neue Projekte	33 - 35
Wer ist neu am LfE Werner Zopf	36
Veröffentlichungen des LfE	39
Aktuelle Forschung am Fachgebiet SpGM Veit Senner	41

# RAMSIS kognitiv

Wolfram Remlinger

Der Lehrstuhl für Ergonomie (LfE) beschäftigt sich bereits seit mehr als 30 Jahren mit digitalen Modellen des Menschen. Bereits 1986 mündete dies in einer Zusammenarbeit mit dem Softwareunternehmen Tecmath GmbH in Kaiserslautern zur gemeinsamen Entwicklung des „Rechnergestützten Anthropometrisch-Mathematischen Systems zur Insassen-Simulation“ (**RAMSIS**) im Auftrag der deutschen Automobilindustrie. Obwohl im Zielkatalog für RAMSIS bereits damals ein sehr weites Spektrum von Simulations- und Analysefähigkeiten gewünscht wurde, standen die Abbildung des Körpermaßspektrums und die Simulation der Körperhaltungen, speziell im Fahrzeug, im Vordergrund der programmtechnischen Implementierung. Nachdem RAMSIS aufgrund vieler Ergänzungen und Optimierungen mit der Zeit zum führenden Produkt im internationalen Markt der 3D-Menschmodelle heranwuchs, erweiterten sich auch die Ansprüche von Erwartungen an den Einsatzbereich und die Fähigkeiten dieses Tools kontinuierlich.

Am LfE wurde bereits seit vielen Jahren die Möglichkeit diskutiert, RAMSIS auch bezüglich kognitiver Aspekte weiterzuentwickeln. Diese Vision erscheint sehr verheißungsvoll zu sein. Gleichzeitig ist sie sehr ambitioniert. Um einen ersten Umsetzungsschritt zu diesem ferneren Ziel eines kognitiven Menschmodells zu gehen, wurde im Jahr 2006 von der Human Solutions GmbH, wie Tecmath heute heißt, ein Projekt konzipiert, das diesen Weg inzwischen eingeleitet hat.

Das Funktionsmodul ‚RAMSIS kognitiv‘ erweitert das bis dato rein anthropometrische Menschmodell um Fähigkeiten zur Analyse und Simulation des menschlichen Wahrnehmungsprozesses. Dabei steht zunächst die visuelle Informationsaufnahme im Vordergrund. Der Projektumfang von ‚RAMSIS kognitiv‘ beinhaltet einen Umfang von elf neuen Funktionen zur Analyse und Simulation der geometrisch-optischen Eigenschaften der visuellen Informationen sowie der optisch-physiologischen Bedingungen der Sichtbarkeit dieser Informationen für den Menschen.

Das Projekt selbst wurde getragen und finanziert von mehreren Unternehmen aus dem RAMSIS-Konsortium, nämlich den Automobilherstellern Audi, BMW, Daimler, Porsche und Volkswagen. Sie alle verwenden RAMSIS in CATIA V5. Diese Tatsache bestimmte für das Projekt die bevorzugte Anwenderplattform. Denn einige der Funktionen basieren auf den geometrischen Fähigkeiten dieses mächtigen CAD-Systems. Zeitlich wurde das Projekt auf eine Gesamtdauer von drei Jahren ausgerichtet, in drei Phasen aufgeteilt und von Anfang 2007 bis Anfang 2010 durchgeführt. Gegenüber zuvor durchgeführten RAMSIS-Projekten sollte eine Umsetzung der wissenschaftlichen Grundlagen in die reguläre Software deutlich zügiger vorgenommen werden. Für jeweils drei bzw. vier der insgesamt elf Funktionen erfolgte in jedem Projektjahr am LfE die vollständige inhaltliche Konzeption und Spezifikation

sowie bei Human Solutions die Programmierung. Dadurch konnten in jedem der drei einjährigen Projektabschnitte neue Funktionsumfänge fertig gestellt werden, die jeweils direkt in die Software-Versionen der Projektpartner einflossen und sogleich für die Anwender in den Unternehmen nutzbar waren. Für alle Beteiligten bestand so die Möglichkeit, kontinuierlich Zwischenergebnisse zu prüfen, und auch gegebenenfalls erforderliche Korrekturen im Projekt unmittelbar einzubringen.

Die Funktionen selbst sind zugeschnitten auf das Spektrum der visuellen Informationen, die ein Fahrer sowohl aus dem Innenraum seines Fahrzeugs, also von der unmittelbaren Mensch-Maschine-Schnittstelle, erhält, als auch auf die Umgebungsinformationen aus dem Umfeld seines Fahrzeugs, die das Feedback seiner Führungsaufgabe vermitteln.

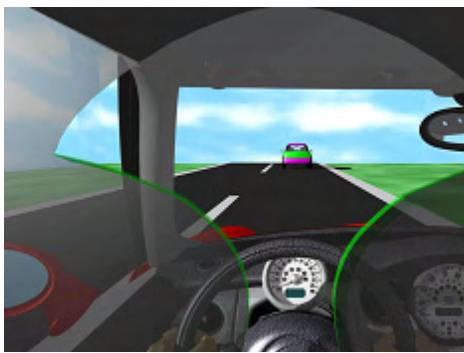
Im Einzelnen stehen dem RAMSIS-Anwender nun Funktionen zu folgenden ergonomischen Aspekten zur Verfügung:

- Sichtfelder und Blickfelder
- Brillensicht, besonders durch Gleitsichtgläser
- Akkommodationseinschränkungen
- Sehschärfe
- Identifikation von Blendungssituationen durch Spiegelungen
- Verdeckungseffekte
- Sichtbedingungen von LCDs
- Sichtanforderungen an Head up Displays
- Projektion der Sicht nach außen
- Bewertung der Sicht durch das Daimler-Scholly-Verfahren
- Sicht auf Streckenverlauf und andere Verkehrsteilnehmer
- Vorausschau und dynamische Sichtgrenzen



Akkomodationsabstände zum Auge

Die Funktionen stützen sich dabei vielfach auf ergonomisches Grundlagenwissen, das größtenteils bereits als wissenschaftlicher Kenntnisstand in der Literatur bekannt ist. Die besondere Anforderung des Projektes bestand darin, diese theoretischen Kenntnisse in Anwendungsfunktionen zu überführen, die eine direkte aussagefähige Nutzung im 3D-CAD-Modell mit Hilfe von RAMSIS erlauben. Damit wurde die Hürde deutlich abgesenkt, bekanntes Theoriewissen mit direkter



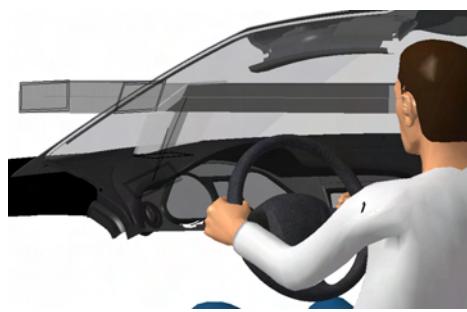
Gesichtsfeld mit Gleitsichtbrille



Sichtverdeckungsprojektion



Binokulare ‚Sichtbanane‘ durch das Lenkrad



Konzeption eines HUD-Strahlengangs

praktischer Aussagekraft anzuwenden. Die Abbildungen zeigen eine Reihe von beispielhaften Einsatzsituationen einiger dieser neuen RAMSIS-Funktionen.

Das ausgesprochen positive Feedback aus den Reihen der RAMSIS-Anwender in den Ergonomieabteilungen der Automobilunternehmen bestätigte bereits während der Projektlaufzeit den Erfolg des Projektes ‚RAMSIS kognitiv‘!

werden bereits in Serie produziert und verkauft. Wir freuen uns am Lehrstuhl für Ergonomie sehr darüber, dass die Arbeitsergebnisse dieses Projektes so schnell von den RAMSIS-Anwendern angenommen wurden und in der Praxis Fuß fassen. Denn dies ist seit je her ein Kernziel der ‚Münchener Ergonomie‘.

Diese Bestätigung gibt uns außerdem große Hoffnung, dass nach diesem ersten Schritt die Weiterentwicklung eines umfassenden kognitiven Menschmodells in einem konkreten Forschungsprojekt weiterverfolgt werden kann.

#### Literatur zum Projekt:

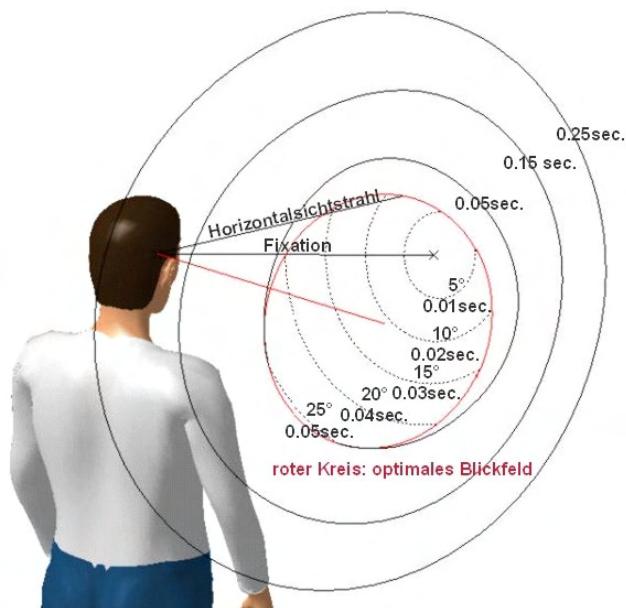
Remlinger, Wolfram (2007). Erweiterte Möglichkeiten der Sichtanalyse mit dem Menschmodell RAMSIS. In M. Grandt und A. Bauch (Hrsg.), Simulationsgestützte Systemgestaltung (DGLR-Bericht 2007-04, S. 189-198). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.

Remlinger, W.; Bubb, H.: RAMSIS kognitiv - das Menschmodell lernt sehen. In: Jahressokumentation 2008. Bericht zum 54. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 9.-11. April 2008 in München. Dortmund, GfA-Press, 2008, S. 51-56.

Remlinger, W.; Bubb, H.: Sichtanalyse mit dem Menschmodell RAMSIS unter Berücksichtigung altersbedingter Sehschwächen. In: Produktdesign für alle: Für Junge = für Alte? Tagungsband 15. und 16. Mai 2008 BG-Akademie Dresden, S. 131-135

Remlinger, W.; Bubb, H.; Wirsching H.-J. (2008): New Features for the Sight Analysis with RAMSIS; 11th SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference, June 17-19, 2008 in Pittsburgh, PA, USA (Paper No. 08DHM 0014)

Remlinger, W.; Bubb, H.; Wirsching H.-J. (2009): Sight Analysis with ‚RAMSIS Cognitive‘: Step II; SAE, 2009, (Paper No. 09DHM 0041)



Zeitbedarf für Blickwechsel

Einzelne Funktionen wie die Analyse von Spiegelungen sind aus der täglichen Arbeit einiger Anwender in der Industrie kaum mehr wegzudenken.

Die ersten Fahrzeugmodelle, bei deren Entwicklung Funktionen aus ‚RAMSIS kognitiv‘ zum Einsatz kamen,

# A-Säulenverdeckung im Kreuzungsverkehr

Wolfram Remlinger, A. Zaindl

Die A-Säule von Automobilen wurde in den vergangenen Jahrzehnten zusammen mit der aerodynamischen Optimierung der Frontscheibe kontinuierlich flacher gestellt. Aufgrund einer Definitionslücke in der Zulassungsverordnung dürfen flacher angestellte A Säulen breiter ausgeführt werden als steile.

Dies führt dazu, dass moderne Fahrzeuge erheblich breitere A-Säulen besitzen, die den Fahrern teilweise erhebliche Sichtprobleme bereiten. Mit Hilfe des Fahr-simulators und umfangreicher Messtechnik wurde am LfE ein Probandenversuch mit insgesamt 46 Proban-den durchgeführt, um einen Effekt dieser Sichtverdek-kungsproblematik im Verkehr zu untersuchen.

Es wurde eine Versuchsstrecke mit mehreren Gefahrensituationen an gut einsehbaren Kreuzungen von Landstraßen programmiert. Zusätzlich wurde eine Synchronisation der Geschwindigkeiten des querenden Verkehrs mit der Geschwindigkeitswahl des Probanden vorgenommen. Diese Synchronisierung der Geschwindigkeiten erfolgte mit dem Ziel, Fahrzeuge des Querverkehrs in eine definierte Verdeckungssitu-ation der A-Säulen des eigenen Fahrzeuges zu bringen. Die Fahrzeuge des Querverkehrs nähern sich somit in einer so genannten ‚Stehenden Peilung‘ hinter einer A-Säule und sind für die Versuchspersonen aus ihrer normalen Fahrhaltung somit praktisch unsichtbar (Abbi).

So entstanden neun mehr oder weniger kritische Kreuzungssituationen, die in eine 15-minütige Versuchsfahrt über eine Überlandstrecke eingebettet wurden.

Obwohl die Konstruktion dieser kombinierten und sichtverdeckten Annäherung an eine Kreuzung für einen einzelnen Autofahrer einen seltenen Ausnahmefall darstellt, tritt dieses Phänomen aufgrund der Vielzahl von Verkehrsteilnehmern auch auf Bayerischen Landstraßen täglich auf und führt häufig zu Unfällen mit schwersten Personenschäden. Die Straßenbauämter führen gemeinsam mit dem ADAC an unfallträchtigen Kreuzungen bauliche Veränderungen zur Reduzierung der Anfahrgeschwindigkeit mit dem Zweck der Unfallvermeidung durch.

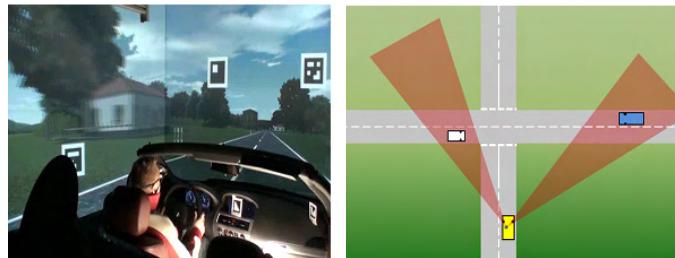


Abb. 1: Blick in den Fahrversuch; Sichtverdeckungskonstellation

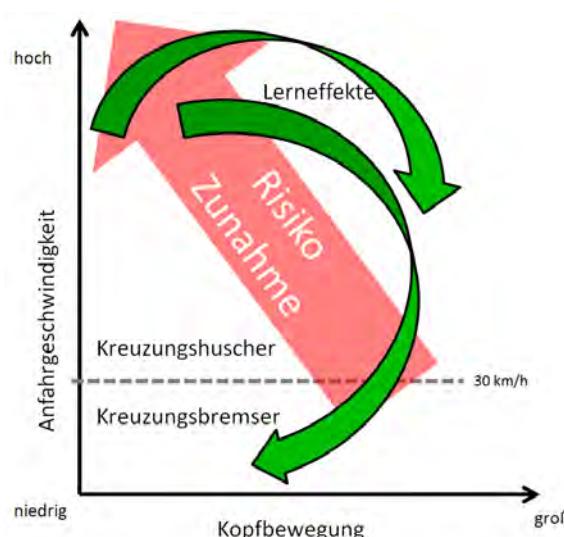
4 Die Auswertung dieser Studie konnte erstmals dieses Unfallphänomen präzise abbilden und analysieren. Der Simulatorversuch erklärt auch den Wirkungsmechanismus der baulichen Maßnahmen an den Kreuzungen, die das Unfallrisiko wirkungsvoll reduzieren können. Bei den Versuchsfahrten wurde eine Vielzahl von Daten aufgezeichnet, die für die Auswertung von Inter-

esse sind. Darunter sind unter anderem die Blickerfas-sung mit Dikablis, die Aufzeichnung der Strecken- und Fahrdynamikdaten mit SILAB und die Kopfbewegung des Fahrers mittels eines zweidimensionalen Infrarot-Trackings auf Basis einer modifizierten Wii-Remote, also einer Bedieneinheit der bekannten Videospielkonsole.

In einer ersten Auswertungsphase wurden die Vor-fahrtsmissachtungen, Kopfbewegungen und Ge-schwindigkeitsprofile ausgewertet. Über die Hälfte der Probanden hätten in ihrer ersten Situation mit verdecktem synchronisierten Verkehr einen Unfall, bzw. Bei-nahe-Unfall mit hoher Geschwindigkeit verursacht. Dies ist eine erschreckend große Zahl vor dem Hintergrund eines hohen Verletzungsrisikos in der Realität! Die Probanden konnten anhand Ihrer Annäherungs-strategien in zwei Gruppen unterteilt werden. Der eine Typus bremst relativ stark vor jeder Kreuzung ab und überzeugt sich dann, ob sich Querverkehr nähert. Diese Fahrer wurden hier als ‚Kreuzungsbremser‘ be-zeichnet. Der andere Typus hält schon von weiter Ent-fernung Ausschau nach dem Querverkehr und überquert die Kreuzung mit relativ hoher Geschwindig-keit, falls sie als frei eingeschätzt wird. Dieses Verhal-ten wurde als ‚Kreuzungshuscher‘ tituliert. Die Stra-tegie des Kreuzungsbremzers konnte dabei als deut-lich sicherere Anfahrstrategie identifiziert werden.

In der Gruppe der risikobehafteten Kreuzungshuscher konnte außerdem ein Zusammenhang zwischen der Translationsbewegung des Kopfes und der Erken-nungshäufigkeit des Querverkehrs festgestellt werden. Das bedeutet vereinfacht ausgedrückt, dass intensive und aktive Suchblicke mit großer Kopf- und Oberkör-perbewegung wichtig und wirksam sind.

Ebenso wurde über die Dauer der Versuchsfahrt ein Lerneffekt festgestellt, welcher sich sowohl in einem langsameren Anfahren an die Kreuzung als auch in einem veränderten Bewegungsverhalten der Fahr-zeugführer darstellte. Dieser Lerneffekt führt eindeutig zu einer Verhaltensänderung mit Risikoreduzierung. Das Zusammenspiel zwischen der Kopfbewegung und der Anfahrgeschwindigkeit, und das daraus resultie-



rende Risiko sowie auch die Lerneffekte, sind in folgender Abbildung schematisch dargestellt.

Neben den Erkenntnissen über die unfallreduzierende Kreuzungsgestaltung und der Wirksamkeit eines vorsichtigen und aufmerksamen Fahrerverhaltens bei der Kreuzungsannäherung zeigt sich eindeutig auch ein

Sicherheitsmanko moderner Fahrzeuge. Die A-Säulen sind trotz gesetzlicher Zulassung im Sinne der Verkehrsicherheit vielfach zu breit ausgebildet und zu weit innen angeordnet. Die Automobilhersteller sollten unbedingt im Sinne der Sicherheit ihrer Kunden mehr Augenmerk auf die Gestaltung der A-Säulen ihrer Fahrzeuge richten.

## DHErgo: Mehr Dynamik für digitale Menschmodelle

Florian Engstler, Fabian Günzkofer

### Entwicklungsgeschichte digitaler Menschmodelle

Die Geschichte digitaler Menschmodelle beginnt mit der Digitalisierung zweidimensionaler Anthropometrieschablonen in den 1960er Jahren (Schmidtke 2002). In den folgenden Jahren wurde von Seiten der Industrie wie auch der Forschung eine Vielzahl von Modellen für die Lösung meist sehr spezifischer Probleme und Fragestellungen entwickelt. Seit den 1980er Jahren begannen sich die umfangreicheren Eigenschaften heutiger Modelle herauszukristallisieren. Dabei reduzierte sich die Anzahl der Modelle, wogegen der Funktionsumfang und die Komplexität ständig gewachsen sind (Mühlstedt 2008).

Betrachtet man Funktionsumfang, Verbreitung und zu erwartende Entwicklung lassen sich nach Mühlstedt (2008) aktuell vier Menschmodelle identifizieren, die auf Grund ihrer Bedeutung und Verbreitung als primär bezeichnet werden: Human Builder (DASSAULT SYSTEMES), Jack (Siemens/UGS), RAMSIS (Human Solutions) und Santos (Virtual Soldier Research, University of Iowa). Während die drei Erstgenannten am Markt verfügbare Systeme darstellen, ist Santos bisher nicht als kommerzielles Produkt erhältlich. Das Modell wird jedoch mit umfangreichen Ressourcen vorangetrieben und zeigt großes Potential. Der Lehrstuhl für Ergonomie pflegt eine enge Kooperation mit der Softwarefirma Human Solutions in Kaiserslautern und war von Beginn an bei der Entwicklung des Modells RAMSIS beteiligt (Seidl 1993). Die genannten Modelle bieten bereits eine akkurate Wiedergabe menschlicher Anthropometrie, eine Vorhersage von Körperhaltungen und teilweise Bewegungen auf Basis geometrischer Randbedingungen und Aufgaben sowie eine Vielzahl von Analysefunktionen für Sicht, Erreichbarkeit oder auch Komfort (Bubb et al. 2009). Im Fokus liegt dabei die statistisch abgesicherte Darstellung von Nutzern bzw. Nutzerkollektiven, um Aussagen für die ergonomische Produktgestaltung von Konsumgütern zu treffen. Weitere, weniger verbreitete Modelle werden zumeist für die Behandlung spezieller Probleme eingesetzt, welche mit den primären Modellen nicht bearbeitet werden können. So bieten beispielsweise die musculoskeletalen Modelle AnyBody der Universität Aalborg, PamMuscle der Firma ESI oder OpenSim der Universi-

tät Stanford eine detaillierte Darstellung des menschlichen Muskel-Skelett-Systems und ermöglichen damit detaillierte Analysen im Bereich der Biomechanik. Allerdings sind solche Modelle nur teilweise validiert und in ihrer Bedienung nur für erfahrene Anwender geeignet, was ihre Verbreitung und vor allem den industriellen Einsatz erschwert.

Während die primären Menschmodelle bei der Darstellung anthropometrischer Gegebenheiten sowie der Bedienfreundlichkeit für den Anwender eine hohe Reife erlangt haben, ist die Betrachtung dynamischer Vorgänge mit ihnen bisher nur sehr eingeschränkt möglich. Allerdings besteht von Seiten der Anwender gerade hier großer Bedarf. Diese Lücke wird momentan nur zum Teil durch musculoskeletal Modelle geschlossen, weshalb diese Funktionalitäten zukünftig in die primären Modelle einfließen sollen. Aus diesem Grund treiben Forschung und Entwicklung momentan vor allem die Simulation von Bewegungen und Kräften voran. Damit gekoppelt werden zumeist auch entsprechende Bewertungsverfahren wie die Vorhersage der zu erwartenden physischen Belastungen oder des Diskomforts betrachtet.

### Das Projekt DHErgo

In diesem Kontext ist auch das Projekt „DHErgo“ zu sehen, das im siebten Rahmenprogramm der Europäischen Union gefördert wird. Ziel des Projektes ist die Schaffung eines Menschmodells zur Simulation dynamischer Bewegungen unter gegebenen geometrischen Randbedingungen sowie des dabei auftretenden Diskomforts. Darüber hinaus soll auch die anatomische Genauigkeit im Vergleich zu den bisherigen Ansätzen gesteigert werden, beispielsweise bei der Abbildung von Greifräumen. Dabei werden grundlegende Versuche zu Muskelkräften, Gelenkmomenten und Beweglichkeit durchgeführt, neue Simulationsmethoden entwickelt und in Form eines Software-Demonstrators umgesetzt. Die industriellen Projektpartner entstammen zwar ausschließlich der Automobilindustrie, das resultierende Menschmodell wird jedoch für allgemeine produktgermanische Analysen entwickelt. Die Stärke des Projektes liegt dabei in der komplementären Expertise des internationalen Konsortiums:

Der Lehrstuhl für Ergonomie und das französische Forschungsinstitut INRETS übernehmen den Großteil der experimentellen Aktivitäten zu Kräften und Bewegung, während der Lehrstuhl für Anatomie der Universität Brüssel (ULB) Erkenntnisse zu Skelett- und Muskelmodellierung einbringt. Diese Daten werden mit Unterstützung des spanischen Forschungsinstitutes CEIT und der französischen Softwarefirma ESI in Simulationsmodelle überführt und von Human Solutions in einem RAMSIS-basierten Demonstrator umgesetzt. Die Validierung der Modelle wird von den Automobilherstellern BMW, Renault und PSA Peugeot Citroën übernommen, die vorab auch die grundlegenden Anforderungen an das Menschmodell spezifiziert hatten.

### Eine kurze Geschichte über Muskeln

Wie bereits erwähnt bildet die Simulation dynamischer Bewegungen den Kern von DHErgo. Menschliche Bewegungen sind dabei immer mit dem Einsatz der Muskulatur verbunden. Die Muskelkraft, die ein Mensch aufbringen kann, hängt sehr stark mit der Körperhaltung zusammen. Dies basiert darauf, dass die erzeugbare Kraft von der Muskellänge abhängt. Im Falle von Muskeln, die mehrere Gelenke überziehen, ist die Muskellänge sogar von mehreren Gelenkwinkeln abhängig. Beispielsweise verläuft der Bizeps von der Speiche zum Schulterblatt. Deswegen hängt die Kraft sowohl vom Ellenbogen- wie auch vom Schulterwinkel ab. Weiterhin beeinflussen sich Muskeln gegenseitig. Befindet man sich in einer Haltung, in der ein Muskel nahezu vollständig kontrahiert ist, ist der Gegenspieler nahezu maximal gedehnt und verursacht einen Zug in die entgegengesetzte Richtung. Die Kraft ist jedoch nicht nur von der Körperhaltung abhängig, sondern auch von der Krafrichtung. Bei Kugelgelenken wie z.B. der Schulter oder der Hüfte sind bei Vernachlässigung der Bänder Bewegungen in alle Richtungen möglich. Da hierfür aber unterschiedliche Muskeln und Muskelgruppen zuständig sind, unterscheidet sich die Kraft je nach Wirkrichtung.

### Messung von Muskelkräften und Gelenkmomenten

Die Muskelkraft direkt zu bestimmen oder zu messen ist äußerst schwierig und kann ohne chirurgische Eingriffe nur näherungsweise durch EMG (Elektromyographie) erfolgen. Will man das resultierende Gelenkmoment ermitteln, muss zudem der Hebel zwischen Muskel und Gelenk (Kraftarm) berücksichtigt werden (siehe Abbildung 1). Da nach außen zunächst nur Gelenkmomente wirksam sind, ist es für ergonomische Fragestellungen zweitrangig, welchen Anteil einzelne Muskeln übernehmen. Daher erfolgt die Kraftmodellierung in DHErgo über Gelenkmomente.

### Wozu dient Kraft- und Bewegungsmodellierung?

Jede Haltung, Bewegung oder Manipulation erfordert den Einsatz der quergestreiften Muskulatur. Um bewerten zu können, wie beschwerlich bzw. diskomfortabel eine Aufgabe ist, muss bekannt sein, zu welchem Anteil die Maximalkraft eines Menschen hierzu

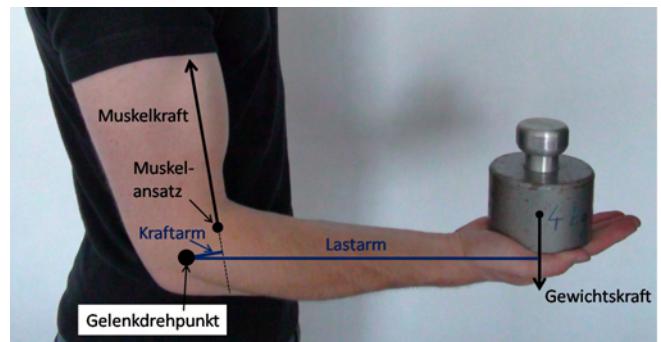


Abb. 1: Darstellung der Hebelverhältnisse bei einer Hebeaufgabe (Quelle: LfE)

mobilisiert werden müssen. Zur Bestimmung dieses Ausnutzungsgrades muss also die Maximalkraft in jeder Haltung bekannt sein. Als Beispiel dient erneut die Hebeaufgabe aus Abbildung 1. Betrachtet man nur das Ellenbogengelenk so verursacht das Gewicht über den Lastarm ein bestimmtes Lastmoment. Dieses wird nun mit dem maximal aus Muskelkräften erzeugbaren Gelenkmoment, auch Kompensationsmoment genannt, verglichen.

Gemäß dem hedonistischen Prinzip (Schäfer et al., 2006) wählt ein Mensch für eine Aufgabenerfüllung die Haltung oder Bewegung, welche in Summe den geringsten Diskomfort verursacht. Somit kann durch Kenntnis der Gelenkmomentverläufe eine Haltungs- und Bewegungsprognose erfolgen.

Für eine Simulation von Bewegungen ist es weiterhin erforderlich die Bewegungsräume, das heißt die jeweiligen Gelenkwinkelgrenzen, zu kennen. Die Kenntnis der Bewegungsräume trägt zudem zur Kraftmodellierung bei, da bestimmte Momente an den Gelenkwinkelgrenzen zu null werden. Ein Flexionsmoment kann beispielsweise in vollständig flexierter Haltung nicht mehr erzeugt werden.

### Ansatz zur Kraftmodellierung

Um in jeder beliebigen Haltung die Kraft in jeder möglichen Richtung vorhersagen zu können, müssen die Momente pro Gelenk in verschiedenen Positionen gemessen werden. Hierdurch kann ein Zusammenhang zwischen Gelenkwinkel und Maximalmoment ermittelt werden. Da das Maximalmoment (Moment, das für vier Sekunden gehalten werden kann) für eine bestimmte Haltung gemessen werden soll, werden die Versuche ohne Bewegung durchgeführt. Dieses statische Vorgehen erfolgt durch isometrische Messungen, bei welchen die Versuchsperson die Maximalkraft gegen einen festen Widerstand ohne weitere Körperbewegung aufbringt (Kroemer 1977, Mital 1998 und Kumar 2004).

Um den genauen Verlauf der Gelenkmoment-Gelenkwinkel-Beziehung zu erhalten, müssen pro Bewegungsrichtung und Gelenk sehr viele Messungen durchgeführt werden. Hierbei stehen die Anzahl der Messungen und somit die Genauigkeit der Modellierung und der experimentelle Aufwand in einem Spannungsverhältnis. Eine Auflösung dieses Konflikts soll durch einen methodenbasierten Ansatz erreicht werden. Hierzu werden wenige Versuchspersonen sehr detailliert vermessen und deren Moment-Gelenkwinkel Kurven bestimmt. Ausgehend von diesen Ergebnissen

reicht eine geringere Anzahl an Messungen bei weiteren Probanden aus.

### Durchführung von Probandenversuchen am LfE

Der Lehrstuhl für Ergonomie konzentriert sich in DHErgo auf die detaillierte Messung von Gelenkmomenten und Beweglichkeit. Hierzu müssen die Versuchspersonen sowohl in ihrer äußereren wie auch inneren Struktur erfasst werden. Dabei erfolgt die Ermittlung der Körperform mit einem 3D-Bodyscanner. Zur Nachbildung des inneren Skeletts werden einige Knochenpunkte der Versuchsperson palpirt (abgetastet) und vermessen. Ausgehend von den Koordinaten dieser Punkte kann das Skelett mit Hilfe einer bei ULB bestehenden Knochendatenbank skaliert werden (siehe Abbildung 2).

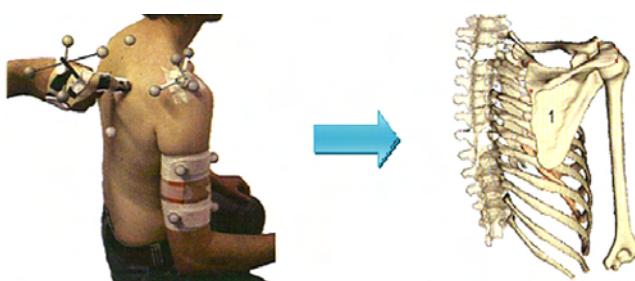


Abb. 2: Vom Antasten einzelner Knochen zum Rückschluss auf das individuelle Skelett am Beispiel des Oberschenkelknochens (linkes Bild aus Salvia et al. 2009, rechtes Bild aus Van Sint Jan 2007)

Zur Kraftmodellierung finden daraufhin für jedes Gelenk Maximalkraftmessungen in allen möglichen Richtungen mit allen nötigen Gelenkwinkelkombinationen statt. Abbildung 3 zeigt eine Kniegelenkmessung in stark flexierter Haltung. Für diese Messungen werden sowohl Kniewinkel wie auch Hüftwinkel und verschiedene Unterschenkelrotationen betrachtet.



Abb. 3: Messung des Kniegelenkmoments  
(Quelle: LfE)

In weiteren Experimenten werden die Bewegungsräume aller Gelenke betrachtet und mit einem Bewegungserfassungssystem (Vicon) aufgezeichnet und ausgewertet. Im Fall mehrgelenkiger Muskeln können auch bei Beweglichkeitsmessungen in Bezug auf ein Gelenk benachbarte Gelenke die Messung beeinflussen. So hängt zum Beispiel die maximale Streckung des Knies (Knieextension) vom aktuellen Hüftwinkel ab (siehe Abbildung 4)



Abb. 4: Messung der Knieextension in Abhängigkeit des Hüftwinkels  
(Quelle: LfE)

Zur Aussagekraft über Bewegungsräume eines Gelenks werden nicht nur Bewegungen in einer Ebene, sondern auch zusammengesetzte Bewegungen betrachtet. So ist in Abbildung 5 eine Zirkumduktion zu erkennen. In diesem Fall wird die maximale Flexion der Hüfte mit einer Abduktion (Abspreizung des Beines) überlagert.

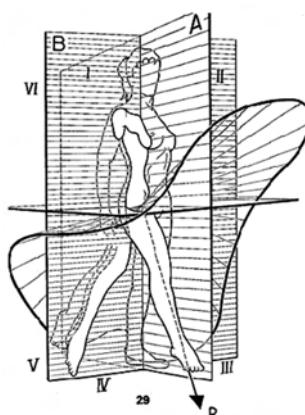


Abb. 5: Darstellung einer Hüftzirkumduktion  
(Frayssé et al, 2009)

Auf Grund all dieser Messungen kann ein individuelles Menschmodell mit spezifischen Kraft- und Beweglichkeitseigenschaften erstellt werden.

### Versuche an beteiligten Instituten

Im Rahmen des Projektes DHErgo finden darüber hinaus Messungen an anderen Forschungseinrichtungen statt.

INRETS nimmt zur Modellierung des Weichteilverhaltens Druckmessungen auf verschiedenen Sitzen vor. Betrachtet werden einerseits Messungen auf konventionellen Fahrzeugsitzen und andererseits auf einem Pkw-Sitz mit hölzerner Sitz- und Lehnenfläche. Jede Sitzdruckmessung findet mit unterschiedlicher Muskelanspannung statt. Durch die unterschiedlichen Druckbilder basierend auf unterschiedlicher Muskelanspannung und Sitzflächenhärté werden von der ESI Group die elastischen Eigenschaften des menschlichen Gewebes berechnet. Mit der Kenntnis der Sitzeigenschaften (Elastizität, Schaumdicke etc.) wird eine verbesserte Simulation des Einsitzens durch realistische auftretende Verformungen angestrebt.

Am Lehrstuhl für Ergonomie finden voraussichtlich nur eingelenkige Kraftmessungen statt. Alltägliche Aufgaben, wie z.B. Betätigung der Bremse, erfordern jedoch mehrere Gelenkmomente (Sprunggelenk, Knie und Hüfte) gleichzeitig. Daher finden wiederum bei INRETS mehrgelenkige Messungen, wie z.B. eine Maximalkraftmessung bei Kupplungsbetätigung, statt. Des

Weiteren werden Validierungsversuche durchgeführt, um die durch das Menschmodell prognostizierten Kräfte bei bestimmten Aufgabenstellungen abzuschätzen.

Über den statischen Bereich hinaus werden Bewegungen, wie z.B. Ein-/Ausstieg in einen Pkw oder Beladen eines Kofferraums untersucht. Bei der Auswertung kommt CEIT, einem spanischen Institut für Mechanik, eine wichtige Rolle zu. Als Spezialist auf diesem Gebiet obliegt dem Institut die Bewegungsrekonstruktion und gemeinsam mit INRETS die Identifikation von Bewegungsstrategien für bestimmte Aufgaben. Da die Versuche mit denselben Versuchspersonen durchgeführt werden, die auch an den Kraftmessungen partizipiert haben, kann in jeder Einzelhaltung die lokale Auslastung der Gelenke berechnet werden.

Ausgehend von der Bewegungsrekonstruktion wird auf zwei unterschiedlichen Wegen die Bewegungssimulation beschritten. Ein Versuch besteht darin, wie bereits erwähnt, aus erkannten Bewegungsmustern datenbankbasiert je nach Anwendung passende Bewegungen zusammenzusetzen. Die zweite Herangehensweise besteht in einer generischen Bewegungsvorhersage über relative Gelenkmomentauslastung und Diskomfort. Auf diese Weise wird versucht, die Bewegung zur Erfüllung einer Aufgabe so zu wählen, dass die benötigte Kraft bzw. der Diskomfort in Summe minimiert wird. Beide Herangehensweisen haben ihre Vor- und Nachteile. Welche besser geeignet ist, wird im Projektverlauf von DHErgo untersucht werden.

Das auf den beschriebenen Versuchen beruhende weiterentwickelte Menschmodell soll am Projektende in Form eines Demonstrators auf RAMSIS-Basis zur Verfügung stehen. Dieser wird vor allem von den beteiligten Automobilherstellern, aber auch den anderen Partnern für die Validierung des im Rahmen von DHErgo entwickelten Menschmodells eingesetzt und kann direkt für die Entwicklung ergonomischer Produkte genutzt werden.

## Literatur

- Bubb, H.; Fritzsche, F. A Scientific Perspective of Digital Human Model: Past, Present and Future. In: Duffy, V G (Ed.). *Handbook of digital human modeling. Research for applied ergonomics and human factors engineering*. Boca Raton, Fla., 2009.
- Faller, A, Schünke, M und Schünke, G. Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion. Stuttgart, 1999.
- Fraysse, F.; Chateauroux, E.; Pannetier, R.; Wang, X.; Engstler, F.; Günzkofer, F. et al. Data Collecting protocol of the cycle 1 – Lower Limb INRETS and TUM experimental protocols, 2009 (in progress)
- Kroemer, K H E. Die Messung der Muskelstärke des Menschen. Methoden und Techniken. Bremerhaven, 1977.
- Kumar, S. Muscle strength. Boca Raton, 2004.
- Mital, A and Kumar, S. Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part I - Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1998/8/1; 22:101–121.
- Mühlstedt, J.; Kaußler, H.; Spanner-Ulmer, B. (2008). Programme in Menschengestalt: Digitale Menschmodelle für CAx- und PLM-Systeme. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 02/2008, S. 79-86. ISSN: 0340-2444
- Salvia, P, Jan, S V S, Crouan, A, Vanderkerken, L, Moiseev, F, Sholukha, V, Mahieu, C, Snoeck, O and Rooze, M. Precision of shoulder anatomical landmark calibration by two approaches: A CAST-like protocol and a new anatomical palpator method. *Gait & Posture*, 2009/6; 29:587–591. Copyright Elsevier 2009
- Schäfer, P.; Zacher, I. On the way to autonomously moving manikins – empowered by discomfort feelings. In: *Proceedings of the XVI. World Congress on Ergonomics of the IEA 2006*, Maastricht.
- Schmidtke, H. Handbuch der Ergonomie. HdE, mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden. München, 2002.
- Seidl, A. Das Menschmodell RAMSIS Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen, Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 1993
- Van Sint Jan, S and Allard, P. Color atlas of skeletal landmark definitions. Guidelines for reproducible manual and virtual palpations. Edinburgh, Copyright Elsevier 2007.

## Impressum:

Herausgegeben vom  
**Lehrstuhl für Ergonomie**  
Technische Universität  
München  
Boltzmannstrasse 15  
85747 Garching  
Tel. 089/ 289-15388  
[www.ergonomie.tum.de](http://www.ergonomie.tum.de)

## Verantw. i.S.d.P.:

Prof. Dr. K. Bengler  
Layout: Werner Zopf, LfE  
Redaktion:  
K. Bengler, V. Senner,  
W. Zopf  
Druck: Printy, Digitaldruck&Kopierservice  
80333 München  
ISSN: 1616-7627

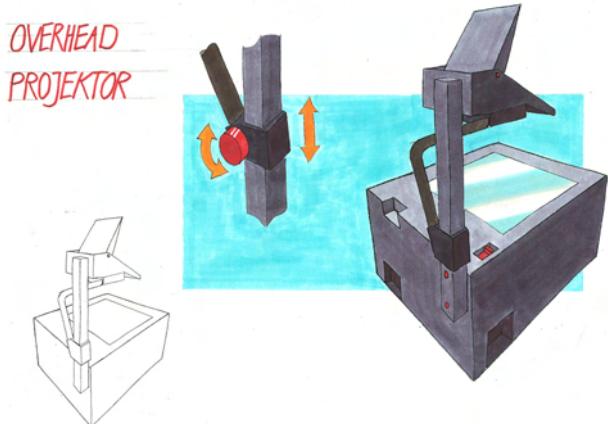
# Zeichnen für illustrative und präsentationsfähige Darstellung

Andreas Haslbeck

Um kreative Techniken rund um Handzeichnungen und Skizzen zu erlernen und zu verbessern, wurde Ostern 2009 am Lehrstuhl für Ergonomie eine Weiterbildung zum Thema durchgeführt.

In einer Systemergonomie-Runde wurde im Frühjahr 2009 die Fragestellung diskutiert, wie ergonomische Lösungsmöglichkeiten für Produkte einfach und schnell, aber optisch ansprechend präsentiert werden können. Durch geeignete Darstellungstechniken ist es möglich, gute Ideen erfolgreich zu präsentieren. Zu diesem Zweck wurde von Wolfram Remlinger eine Mitarbeiterschulung in Skizziertechniken am Lehrstuhl organisiert.

Herr Manfred Geier, der hauptberuflich für einen amerikanischen Werkzeughersteller das Design koordiniert, ist als Dozent an der TUM kein Unbekannter. Am Lehrstuhl für Produktentwicklung werden seit langem alle neuen Mitarbeiter von ihm in Skizziertechniken eingeführt.



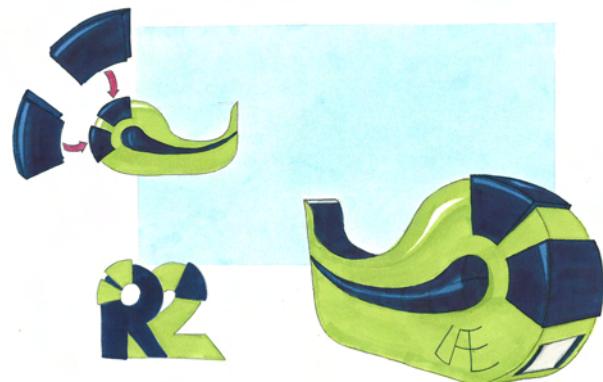
In seiner dreitägigen Schulung bei den Ergonomen gab der Referent zuerst eine Einführung in die wichtigsten Materialien eines Designers: Stift und Papier. Bereits die richtige Wahl dieser beiden Werkzeuge bildet für eine gelungene Zeichnung die Basis.



Um dann jedoch die richtigen Strichzüge zeichnen zu können, waren die ersten Arbeitsschritte das Freihandzeichnen von geraden Linien und runden Kreisen. Auf den Kreis folgt schließlich die Ellipse. Es lassen sich mit Ellipsen und gebogenen Strichzügen bereits Vasen oder Krüge zeichnen. Nimmt man dazu dunklen Karton als Unterlage und zieht einige Kanten mit weißer Farbe nach, kommen erste plastische Effekte zum Vorschein. Das Ziel des ersten Schulungstags war eine zweidimensionale Freihandzeichnung eines realen Objekts. Ein Joystick aus dem H-Mode Labor stand hierbei Modell.

Die folgenden Schulungstage widmeten sich den dreidimensionalen Darstellungen. Je nach Zweck einer Skizze können dazu unterschiedlich viele Fluchtpunkte verwendet werden. Generell gilt: je mehr Fluchtpunkte eine Skizze besitzt, umso dramatischer wirkt die Darstellung. Während Skizzen mit nur einem Fluchtpunkt noch relativ ruhig wirken, ist es mit drei Fluchtpunkten bereits sehr einfach möglich, eine hohe Dramatik in die Skizze einzubringen.

Diese Bilder wirken dann schon fast surrealisch: ein Straßenzug aus dem menschlichen Blickwinkel wirkt uns Menschen sehr vertraut, der Blickwinkel eines 'Gullideckels' auf denselben Straßenzug wirkt für uns allerdings befremdlich oder comicartig.



Mit diesen neuen Techniken ausgestattet, gestalteten die Ergonomen am letzten Tag des Zeichenkurses eine Skizze mit drei Fluchtpunkten. Das geeignete Modell war schnell gefunden: ein Overheadprojektor. Während in der detailgetreuen Skizze der Abmessungen des Projektors die Pflichtaufgabe lag, stellte das individuelle Kolorieren anschließend die Kür dar.

Schattierungen und plastische Effekte lassen sich mit sehr eng aufeinander abgestimmten Farbtönen sehr gut darstellen. Die durchaus bemerkenswerten Ergebnisse lassen sich bei den Kursteilnehmern des Lehrstuhls bestaunen.

# LfE- Themen zum Sitzkomfort

Olaf Sabbah, Uwe Herbst, Daniel Lorenz, Stephan Lorenz

## 1 Ausgangssituation

Bei der technischen Entwicklung von Sitzen spielt die Reduzierung des Diskomforts eine entscheidende Rolle. Hierzu werden Prototypenstände regelmäßig einer Bewertung unterzogen. Meist erfolgt die Bewertung durch eine Expertengruppe, die anhand ihrer Erfahrung Schwachstellen ermitteln und Optimierungspotentiale aufzeigen soll. In Untersuchungen muss auch den Bedürfnissen von Menschen mit unterschiedlicher Größe und Proportion Rechnung getragen werden. Für die Begriffsdefinition von Komfort und Diskomfort gilt (vgl. Zhang et al., 1996): Komfort umschreibt Aspekte des „Gefallens“ und Diskomfort Aspekte des „Erleidens“. Letzteres basiert auf eher physikalischen Wahrnehmungen, wie Druck, Wärme oder Kraftaufwand, und kann objektiver beurteilt werden.

Sitzkomfort sowie Sitzdiskomfort im Automobilbereich werden häufig darauf beschränkt wie „bequem“ ein Fahrzeugsitz ist. Dabei ist der Sitzdiskomfort im Allgemeinen in einem wesentlich größeren Kontext zu betrachten. Aus ergonomischer Sicht spielen hierbei eine ganze Reihe von Faktoren eine wichtige Rolle (Abbildung 1).

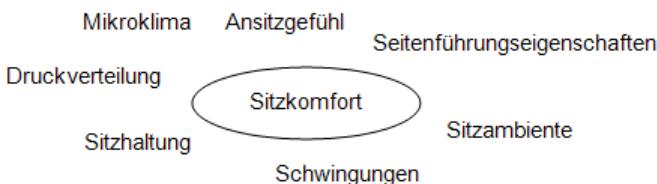


Abb. 1 Einflussfaktoren auf den Diskomfort in einem Fahrzeugsitz (vgl. Mergl, 2006)

Das „**Mikroklima**“ wird vor allem durch die Wasserdampfdurchlässigkeit des Sitzes festgelegt. Das Mikroklima kann mit Klimasystemen, die aktiv eine Luftzirkulation aufbauen, verbessert werden. Eine aktive Belüftung sorgt für Abführung von Hitze und Feuchtigkeit von der Kontaktfläche. Der erste Eindruck beim Einsitzen in einen Sitz wird als **Ansitzgefühl** bezeichnet – dieses ist nicht nur mit Diskomfort, sondern auch stark mit Gefallensaspekten also dem Komfortempfinden verbunden. Gleches gilt für das **Sitzambiente**, welches vom Raumgefühl und der allgemeinen Fahrzeugginnenraumwertigkeit abhängt. Des Weiteren beeinflusst die **Seitenführung** des Sitzes bei Kurvenfahrten den Gesamteindruck des Sitzes. Die Eigenschaft, den Insassen von Stößen und **Schwingungen** des Fahrzeugs durch Dämpfung zu entkoppeln, bezeichnet man als Schwingungseigenschaften. Der Einfluss von Seitenführungs- und Schwingungseigenschaften auf den Diskomfort lässt sich erst unter dynamischen Bedingungen, also während der Fahrt, untersuchen. Die **Körperhaltung**, die sich auf dem Sitz im Fahrzeug einstellt, prägt ebenfalls stark den Sitzdiskomfort. Sie

ist abhängig von Sitzgeometrie, Sitzeinstellung und dem Fahrzeugpackage. Schließlich spielt auch die **Druckverteilung** zwischen Mensch und Sitz eine entscheidende Rolle, da hier die größte Schnittstelle zum Menschen vorliegt.

All diese Faktoren können nicht völlig unabhängig voneinander betrachtet werden, da diese sich unterschiedlich stark gegenseitig beeinflussen. So bewirkt beispielsweise eine aufrechte Sitzhaltung in einem Mini-Van höhere Drücke unter den Sitzbeinhöckern; deutlich ausgeprägte Seitenwangen verbessern nicht nur den Seitenhalt, sondern vergrößern auch die Kontaktfläche und beeinflussen damit das Mikroklima.

Der Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München beschäftigt sich im Rahmen mehrerer Forschungsarbeiten mit den wesentlichen Facetten des Sitzkomforts. Im Folgenden werden zu diesen Forschungsbereichen die in diesem Zusammenhang eigens entwickelten Messwerkzeuge und Software-Tools näher erläutert.

## 2 Messtechnik und Software

In Bezug auf die Hardware kommen am LfE neben Standardmesswerkzeugen, wie **Druckmessmatten** und **SAE-Messmaschine** auch spezieller, am Lehrstuhl entwickelte Messwerkzeuge, wie ein **Forschungsstuhl** oder ein **Silikon-Sitzprüfkörper** zum Einsatz. Letzterer stellt einen Ansatz dar, die bisherigen Verfahren zur H-Punkt-Bestimmung wie die SAE-Messmaschine zu optimieren und realistische und gleichzeitig reproduzierbare Druckmessungen bei Sitzuntersuchungen ohne Probanden erreichen zu können. Derzeit existiert ein **Silikon-Sitzprüfkörper** (Abbildung 2) des Oberschenkel- und Beckenbereich eines 50-Perzentil-Mannes. Mit FEM-Analysen und speziellen Silikonmischungen konnte ein realistisches Materialverhalten für Sitzuntersuchungen erreicht werden.



Abb. 2 Silikon-Sitzprüfkörper

Als einzigartiges Werkzeug zur Sitzkomfortuntersuchung wurde von J. Balzulat (2000) der sogenannte Forschungsstuhl (FS2000) geschaffen (Abbildung 3).

Mit dem FS2000 ist es möglich, Haltungen in beliebigen Fahrzeugsitzen hinsichtlich ihrer Position, des empfundenen Diskomforts und der Gesundheit zu bewerten. Dafür werden für Sitz und Lehne jeweils 81 pneumatische Stößel angeordnet (Stößelgröße: 40x 40mm, Hub: 120mm), welche beliebige Sitzkonturen darstellen können. Die Härte eines Sitzes wird über

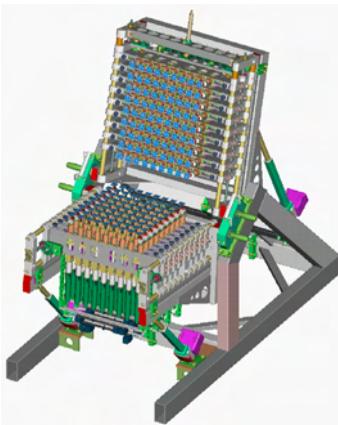


Abb. 3 Forschungsstuhl FS2000

das Zusammenspiel von Drucksensoren, der Regelung und den Stößelventile simuliert. Die Drucksensoren erfassen den Wert an der Oberfläche der Stößel und geben die Daten an den angeschlossenen Computer weiter. Dieser berechnet daraus die

Einsinktiefe für die Stößel und die pneumatischen Ventile regeln den Luftstrom dementsprechend. Neben der Möglichkeit eigens erstellte Sitzgeometrien und Härten zu testen, ist es mit dem Forschungsstuhl auch möglich bestehende Sitze zu vermessen und die gewonnenen Daten für Versuchszwecke weiter zu werten.

Zu den bedeutenden Software-Tools für die Sitzergonomie zählen, neben den Auswertertools der Druckessmatten, vor allem die digitalen Menschenmodelle **PC-Man** (Abbildung 4) und **RAMSIS**.

**PC-Man** ist ein am LfE entwickeltes, markerloses Haltungserfassungssystem. Voraussetzung für die Verwendung des Programms sind mindestens zwei Kameras, die den Probanden aus verschiedenen Blickrichtungen aufnehmen und dabei zeitlich synchron arbeiten. Zur Kalibrierung wird ein beliebiger Körper mit bekannter Geometrie herangezogen. Sind die Voraussetzungen erfüllt, kann über eine Testperson eine digitale Schablone bzw. das Drahtgittermodell den Bildern überlagert und exakt angepasst werden. Damit ist es zum Einen möglich, die Anthropometrie der Testpersonen zu erfassen und für weitere Untersuchungen zu nutzen und zum Anderen die Haltungswinkel der Probanden zu bestimmen.

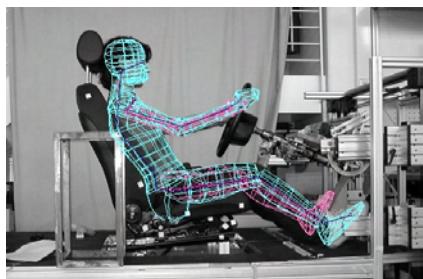


Abb. 4 PC-Man

Als weiteres Tool ist **RAMSIS** (Abbildung 5) an dieser Stelle zu nennen, welches am Lehrstuhl im Rahmen der Forschungsgruppe Automobiltechnik (FAT) und der Firma Human Solutions entwickelt wurde.

Genauer betrachtet zählt **RAMSIS** zu den Package-Tools, mit denen die Erreichbarkeit von Bedienelementen und die Sicht durch Scheiben und Spiegel überprüft werden kann. Dafür wird ein digitales Menschenmodell mit Restriktionen versehen und so in den digitalen Sitz bzw. in das Auto positioniert. Auf Grund unterschiedlicher Haltungsmodelle, wie dem Wahrscheinlichkeits- oder dem Krafthaltungsmodell, kann allerdings auch die Sitzhaltung mit niedrigstem Haltungsdiskomfort berechnet und so die optimalen Positionen

für Sitz und Lenkrad bestimmt werden. Hierzu ist als bedeutende Erweiterung die Komponente „**RAMSIS-Sitzt**“ (in der Entwicklung) zu erwähnen.

Um auch klimatische Einflüsse in die Sitzkomfortbe trachtungen einbeziehen zu können, gibt es außerdem eine Klimakammer am LfE. Diese Einrichtung ermöglicht das Einstellen und Halten klimatischer Bedingungen von -30 bis +60 Grad. Mit den Parametern Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und der mittleren Strahlungstemperatur (bzw. Bestrahlungs stärke) können beliebige Atmosphären simuliert werden. Im Zusammenhang mit dem Sitzkomfort kommt diese Einrichtung vor allem beim Thema Mikroklima zum Tragen.



Abb. 5 RAMSIS

### 3.1 Programm zur Diskomfortbewertung der Sitzdruckverteilung BMXPress

Um während der Messung von Druckverteilungen auf dem Sitz eine objektive Diskomfortbewertung zu erhalten wurde ein Programm zur Echtzeitauswertung entwickelt (Abbildung 6).

Die Bewertung beruht dabei auf den Untersuchungen von Hartung (2006) und Mergl (2006). Das Programm BMXpress von Severina Popova, Stephan Lorenz und Weihao Wu basiert auf einer Berechnung und Bewertung folgender Parameter: Lastverteilung, maximaler Druck und Gradient. Diese Parameter werden für die einzelnen Körperteile einer BodyMap (nach Hartung 2006) in Echtzeit berechnet. Dazu wird die BodyMap durch Eingabe der anthropometrischen Maße wie Sitztiefe und Schulterhöhe sowie relevanter Sitzmaßen an den jeweiligen Probanden und Sitz angepasst. Die Parameter der Lastverteilung werden über einen Abgleich mit den Optimalwerten (nach Mergl, 2006) hinsichtlich des Sitzkomforts bewertet. Die Ergebnisse lassen sich zum einen bezogen auf die BodyMap anzeigen. Zum anderen werden die Bereiche, mit einer Überschreitung der Grenzwerte, direkt auf einem Bild des Sitzes dargestellt, um in der Entwicklung gezielt auf die kritischen Stellen des Sitzes hinzuweisen.



Abb. 6  
Sitzdruckmess-  
matten und  
Druckbild

### 3.2 Sitzhaltung und -positionen in Abhängigkeit vom Fahrzeugpackage

Der Autositze ist zentrales Element der Schnittstelle zwischen Mensch und Fahrzeug. Mit den bereitgestellten Einstellmöglichkeiten richtet sich der Insasse die Sitzposition nach seinen individuellen Bedürfnissen ein. Die gewählte Sitzposition hängt dabei stark vom Fahrzeugtyp und Fahrer ab.

In der Konzeptentwicklung wird mit der Position des Sitzverstellfeldes im Fahrzeug der Bereich möglicher Sitzpositionen für den Insassen definiert. Durch die Einstellung der Sitzposition legt der Insasse Sitzkomfort und die anthropometrischen Bedingungen für die Betätigung der primären und sekundären Bedienelemente fest. Auch beruht die Perspektive, aus der das Fahrzeug und die Umgebung wahrgenommen werden, auf der eingestellten Sitzposition. Für eine anthropometrisch und visuell günstige konzeptionelle Auslegung eines Fahrzeugs spielt die Prognose der Sitz-

position demnach eine wichtige Rolle.

In der frühen Phase des Pro-

Abb. 7a RAMSIS Analyse-  
möglichkeiten

duktprozesses werden Fahrzeuge mit Hilfe von modernen, computergestützten Methoden ausgelegt. Um für möglichst viele Personen eine komfortable Sitzposition zu ermöglichen ist für die Fahrzeugauslegung eine korrekte Positionierung mit digitalen Menschmodellen in der Simulationsumgebung (RAMSIS) von besonderer Bedeutung (Abbildung 7a, b). Erkenntnisse über detaillierte Einflüsse auf die Wahl der Sitzposition von Fahrern ermöglicht die Festlegung einer Auslegungsrichtlinie. Dadurch werden klare ergonomische Randbedingungen geschaffen und somit die Basis für die Fahrerplatzgestaltung festgelegt.



Abb. 7b RAMSIS  
Analysemöglich-  
keiten

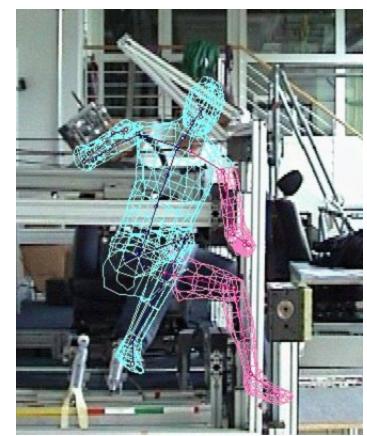


Abb. 8 PC-Man zur  
Ansitzanpassung

### 3.3 Ansitzkomfort

In vergangenen Untersuchungen konnte bereits bestimmt werden, welche Sitzeigenschaften den ersten Komforteindruck beim Ansitzen beeinflussen (Romano, 2003).

Um dies im Fahrzeug bestimmen zu können, werden gezielt Ein- und Ausstieguntersuchungen durchgeführt bei denen die Sitzoberfläche manipuliert und dabei die dynamische Veränderung der Sitzdruckverteilungen betrachtet wurde. Zusätzlich werden die Haltungen (mittels PC-Man, Abbildung 8) ermittelt, um über inverse Kinematik auf die vom Menschen eingeleiteten Kräfte auf den Sitz rückrechnen zu können.



### 3.4 Sitzambiente und Wertigkeit

Gefallensaspekte gehen besonders im Zusammenhang mit der allgemeinen Fahrzeugwertigkeit einher. Hierbei werden aktuell verschiedene Themen am LfE untersucht. Beginnend mit dem Sitzbedienkomfort, bei dem die Funktion der Sitzverstellung anhand der Form und Ort der Bedienelemente optimiert wird. Des Weiteren rücken altersspezifische Aspekte bei der Sitz- und Fahrzeuginnenraumgestaltung in den Vordergrund.

Abb. 9 Fahrzeugfond  
mit Wellnesssitz

Auch situationsgerechter Sitzkomfort, der beispielsweise von der Straßenart abhängt, ist von Bedeutung. Schließlich sind das Raumgefühl oder der Charakter eines Fahrzeugfonds weitere komfortrelevante Aspekte. Hierbei ist es wichtig, Aspekte welche für ein angenehmes Ambiente unabdingbar sind, klar herauszuarbeiten.

## 4 Zusammenfassung

Die Untersuchung des Sitzkomfort ist am Lehrstuhl bereits seit längerem ein großer Themenschwerpunkt. Die dargestellte Themenvielfalt vom allgemeinen Haltungskomfort bis hin zum sitzspezifischen Druckverteilungskomfort zeigt die wissenschaftliche Tiefe die bereits erreicht wurde. Die im Laufe der Zeit entwickelten Forschungsmethoden und Werkzeuge (Hard- und Software) für die Verbesserung des Sitzkomforts werden stets in ihrer Anwenderfreundlichkeit und der De-

tailgenauigkeit optimiert. Dies wiederum ermöglicht tiefe Einblick und Erkenntnisse zur Optimierung dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Immer größerer Wert wird darauf gelegt die allgemeinen Sitzkomfort-Erkenntnisse, welche im Wesentlichen für den Fahrerarbeitsplatz im Automobil erforscht wurden, auf andere Sitz-Szenarien zu übertragen, wie beispielsweise allg. Sitzkomfort für Passagiere (Fahrzeugfond, Bus, Zug, Flugzeug,...) oder auch für den Bereich des Bürostuhlarbeitsplatzes.

#### Literatur:

Hartung, J.: Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz, Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2005.

Mergl, Ch.: Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen, Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2006.

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

Romano, L.: Experimentelle Untersuchung von Parametern, die den Ansitzkomfort in Fahrzeugsitzen beeinflussen, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2003

## Eigenschaftsentwicklung für Fahrerassistenzsysteme mittels eines innovativen und durchgängigen Entwicklungsprozesses

<sup>1</sup>Strasser, Benedikt; <sup>2</sup>Bock, Thomas; <sup>2</sup>Siedersberger, Karl-Heinz; <sup>2</sup>Duba, Georg-Peter; <sup>3</sup>Maurer, Markus; <sup>1</sup>Bubb, Heiner

### 1. Motivation

Die Steigerung der Mobilität hat zu einem steten Wachstum des Verkehrsaufkommens auf Autobahnen und Landstraßen geführt. Auch in Zukunft ist mit einem Fortschreiten dieses Trends zu rechnen, was unter anderem zur Folge haben wird, dass der Fahrzeugführer eine vermehrte Anzahl unterschiedlicher Handlungen in immer kürzeren Abständen oder sogar gleichzeitig durchführen muss. Deshalb erhalten heute Fahrerassistenzsysteme (FAS), die die Fahrumgebung wahrnehmen und aktiv in die Fahrzeugführung eingreifen, um den Fahrer in seiner eigentlichen Fahraufgabe unterstützen zu können, zunehmend Bedeutung.

Adaptive cruise control (ACC) erfasst beispielsweise mit Hilfe eines Long Range Radar (76,5 GHz) im Bug des Fahrzeugs vorausfahrende Fahrzeuge. Die Elektronik ermittelt deren Abstand, Winkellage und Relativgeschwindigkeit zum eigenen Fahrzeug, berechnet den vorraussichtlichen Weg des eigenen Fahrzeugs (den sogenannten Fahrschlauch) und bestimmt daraus den einzuhaltenden Sollabstand. Um diesen einregeln zu können muss ACC unter anderem die Motor-, Getriebe- und Bremsenelektronik aktiv ansteuern.

Die stimmige Integration dieser Fahrerassistenzsysteme in das Fahrzeug ist aber noch mit großen Herausforderungen verbunden. So müssen die Systeme auch bei zunehmender Komplexität für den Menschen beherrschbar bleiben. Außerdem sind Wechselwirkungen zwischen Einzelsystemen bis heute nur wenig erforscht und im Unterschied zu vielen anderen Fahrzeugsystemen ist der Mensch eng in den Regelkreis eingebunden. So genügt es in diesem Zusammenhang nicht, das Fahrzeug isoliert zu betrachten, sondern es müssen, wie in Bild 1 dargestellt, die

Wechselbeziehungen zwischen der Trias Fahrer, Fahrzeug und Umwelt bzw. sogar in einem weiteren Schritt zwischen Fahrer, Fahrzeug, Umwelt und Fahrerassistenzsystem berücksichtigt werden (vgl. [1], [2] und [3]).

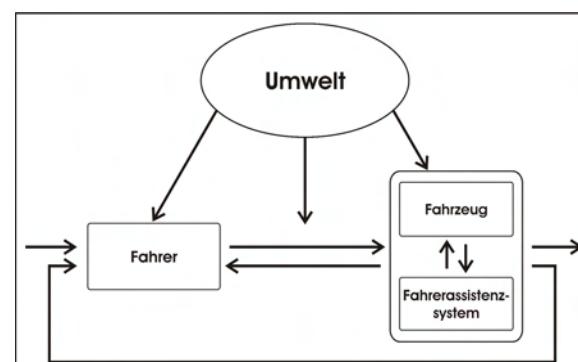


Bild 1: Mensch-Maschine-System bei Fahrerassistenzsystemen im Kraftfahrzeug

Durch diese ganzheitliche Betrachtung entstehen nicht nur Neuerungen, die den Komfort des Fahrers steigern, sondern auch die Sicherheit der Personen aktiv erhöhen. Jedoch erfordert dies Anpassungen bzw. Veränderungen am Entwicklungsprozess sowie den dabei eingesetzten Hilfsmitteln.

### 2. Test- und Simulationswerkzeuge für Fahrerassistenzsysteme

Da moderne Fahrerassistenzsysteme teilweise auch ohne explizite Handlung des Fahrers in die Fahrdynamik eines Fahrzeugs eingreifen, sind die Anforderun-

gen an die Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit der Einzelsysteme sowie deren Interaktion mit bereits bestehenden Fahrzeugsystemen besonders hoch. Diese Komplexität der Fahrerassistenzsysteme formuliert auch die Anforderung an die bis zur Entwicklung der Serienreife benötigten Test- und Simulationswerkzeuge. Die Verfügbarkeit und Qualität von Simulationsmethoden und deren Prozessintegration wird damit zu einer unabdingbaren Bedingung und außerdem zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor (vgl. [4]).

Im Folgenden werden deshalb die vier Test- und Simulationswerkzeuge Software in the Loop, Hardware in the Loop, Vehicle in the Loop und der Realtest kurz vorgestellt. Hierbei orientiert sich der funktionale Aufbau, der in Bild 2 dargestellt ist, an der allgemeinen Struktur eines Mensch-Maschine-Systems (vgl. [5] und Bild 1), wobei folgende Einschränkung zu berücksichtigen ist: Es wird jeweils nur eine Funktion bzw. nur ein Steuergerät (z.B. ACC) getestet. Anhand der farblichen Kodierung wird verdeutlicht, welche Anteile des Regelkreises real (schwarz) oder simuliert (grau) sind

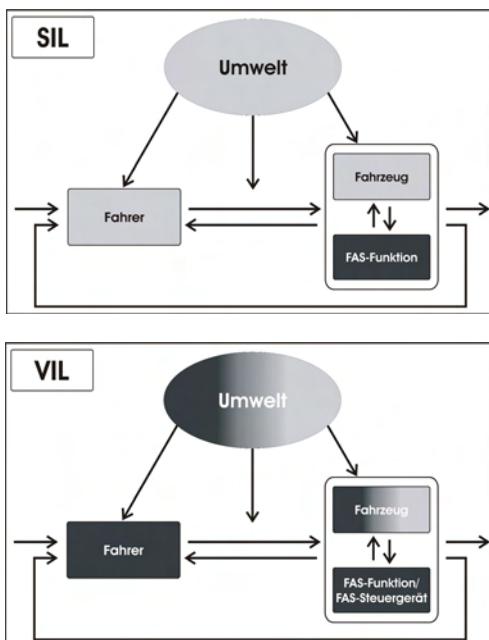


Bild 2: Übersicht der funktionalen Aufbauten der Test- und Simulationswerkzeuge

### Software in the Loop (SIL)

Bei einem Software in the Loop Prüfaufbau wird die Fahrerassistenzfunktion zum Zeitpunkt des Tests auf einem Entwicklungsrechner ausgeführt. Dies ermöglicht in bereits frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses zu testen, wodurch Funktionslücken einfach, schnell und kostengünstig aufgedeckt werden können. Die Ausführung des Codes erfolgt in speziellen Entwicklungsumgebungen wie z.B. ADTF [6] oder MATLAB/Simulink. Da der gesamte Testprozess simuliert abgearbeitet wird, müssen alle restlichen Elemente (Umwelt mit Fremdverkehr, Fahrer und Fahrzeug) in Form von Modellen vorhanden sein.

### Hardware in the Loop (HIL)

Im Fall eines Hardware in the Loop Prüfaufbaus handelt es sich beim Testobjekt um das reale Steuergerät (hier ACC Steuergerät), wobei je nach Aufbau und Aufgabe auch die Möglichkeit besteht, mehrere Hardware-

komponenten (z.B. Bremse, Antriebsstrang und/oder Kombiinstrument) real zu vernetzen. Alle anderen Elemente müssen wieder in Form von Modellen verfügbar sein.

### Vehicle in the Loop (VIL)

Anders als bei der SIL und HIL Prüfung, befindet man sich beim Vehicle in the Loop direkt im Versuchsfahrzeug zur Entwicklung und Erprobung neuer Fahrerassistenzsysteme. Lediglich der für die Fahrerassistenzsysteme relevante Fremdverkehr sowie dessen Wahrnehmung durch die jeweilige Sensorik wird simuliert (vgl. Bild 3).



Bild 3: Augmented Reality Darstellung im VIL

Mit der VIL Simulation hat Audi eine Test- und Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme entwickelt, welche die Vorteile eines realen Versuchsfahrzeugs mit der Sicherheit und Reproduzierbarkeit von Fahrsimulatoren kombiniert. Virtueller Fremdverkehr oder weitere Verkehrsteilnehmer, wie z.B. Fußgänger, werden durch ein „Optical see through Head Mounted Display“ während der Fahrt realitätsnah und kontaktanalog für den Fahrer eingeblendet. Durch die Anwendung der Augmented Reality Technologie bleibt für den Fahrer die reale Umwelt (z.B. Fahrbahn, Straßenbebauung) weiterhin voll sichtbar. Der Vehicle in the Loop Prüfaufbau ermöglicht somit eine Funktionserprobung von Fahrerassistenzsystemen direkt in einem Fahrzeug, welches sich allerdings nicht im realen Verkehr bewegt, sondern auf Freiflächen oder abgesperrten Straßen, wie z.B. auf einem Prüfgelände. Neben einer Augmented Reality Lösung ist auch eine Virtual Reality Variante möglich, bei der der Fahrer die Umgebung nicht mehr wahrnehmen kann und somit zusätzlich die gesamte Umwelt virtuell dargestellt werden muss. Besonders für die Erprobung aktiver Sicherheitssysteme eröffnen sich durch das Konzept des virtuellen Fremdverkehrs bzw. Fußgängers im realen Versuchsfahrzeug neue Möglichkeiten. Weitere Informationen zum Vehicle in the Loop sind z.B. in [7] und [8] zu finden.

**Realtest**  
Bei Realtests ist keinerlei Simulation notwendig. So muss hier die Regelung immer auf reale Objekte erfolgen.

Dies hat zur Folge, dass im öffentlichen Straßenverkehr nur Systeme abgetestet werden können, die kein Gefährdungspotential für andere Verkehrsteilnehmer besitzen. Daher werden zusätzlich zum Fahrversuch mit realen Verkehrsteilnehmern in verschiedenen Forschungsvorhaben unterschiedliche Alternativen wie Schaumstoffwürfel und -fahrzeuge, Fahrzeuge mit Auslegern oder Versuchsfahrzeugen entwickelt und bewertet (vgl. u. a. [9] und [10]).

### 3. Erstellung einer Fahrerassistenzsystem-Eigenschaftsspinne am Beispiel von ACC

Der state of the art bei der Analyse der Eigenschaften eines Fahrzeugs ist das menschliche Empfinden. So können auch die meisten Fahrerassistenzsysteme nur subjektiv bewertet werden (z.B. ACC Annäherungsverhalten). Ziel eines innovativen und durchgängigen Entwicklungsprozesses muss jedoch die einheitliche und objektive Bewertung der Systemeigenschaften und so der Fahrzeugeigenschaften sein.

Dadurch ergeben sich zwei wesentliche Vorteile: Zum einen können auf diese Weise unterschiedliche Systemausprägungen objektiv verglichen werden, zum anderen kann durch diese Methode die Fahrerassistenzfunktion anhand der oben vorgestellten Entwicklungswerzeuge (SIL, HIL, VIL) in der Simulation bewertet oder das zukünftige Systemverhalten prognostiziert werden.

Bild 4 zeigt das im Weiteren betrachtete Vorgehen zur Erstellung der Fahrerassistenz-Eigenschaftsspinne auf, welches sich am Bewertungsprozess zur klassischen Fahrdynamik orientiert (vgl. [11]).

ausfiltern zu können wurden deshalb die Messfahrten der Studie von Freyer (52 Probanden fahren ca. 1 Stunde ohne Fahrerassistenzsysteme auf Autobahnen; vgl. [12]) neu analysiert. Ziel war es hierbei herauszufinden, welche für ACC relevanten Situationen überhaupt und in welcher Häufigkeit auf der Autobahn vorkommen. Bild 5 gibt einen kleinen Überblick der Ergebnisse.

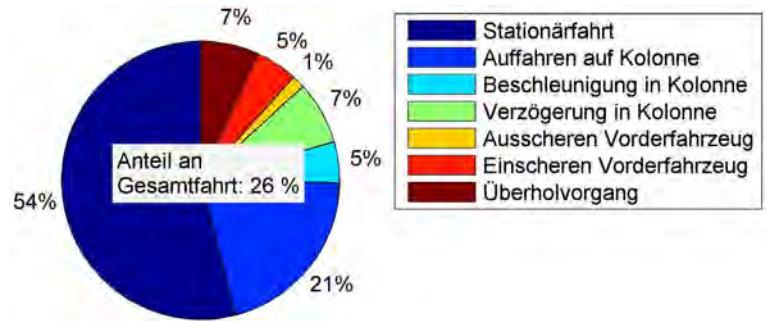


Bild 5: Potentielle Szenarien mit relativer Häufigkeit

❷ Eine weitere Herausforderung beim Realtest ist die messtechnische Erfassung der fahrphysikalischen Kennwerte. Hierfür musste ein Referenzsystem aufgebaut werden, das unter Anderem aus einer hochgenauen DGPS-Inertialsensorplattform, einem PC, sowie einer Spannungsversorgung besteht. Die kompakte Integration dieser Komponenten erlaubt eine einfache Installation der Messtechnik anstelle des Beifahrersitzes (vgl. Bild 6 rechts) und ermöglicht somit eine kurze Zeit der Inbetriebnahme. Durch die Ausstattung jedes am Testszenario beteiligten Fahrzeuges mit einem dieser Systeme können so Größen der Eigendynamik und der Umwelt wie der exakte Abstand, Relativgeschwindigkeiten oder -beschleunigungen hochpräzise erfasst werden. Über eine WLAN-Verbindung der Messsysteme können bereits während der Versuchsdurchführung die Messergebnisse in den Versuchsfahrzeugen betrachtet und analysiert werden. Damit die durchgeführten Fahrmanöver zusätzlich standardisiert und reproduzierbar hergestellt werden können, muss das Zielfahrzeug mit einem Lenk- und Bremsrobotersystem ausgestattet werden.

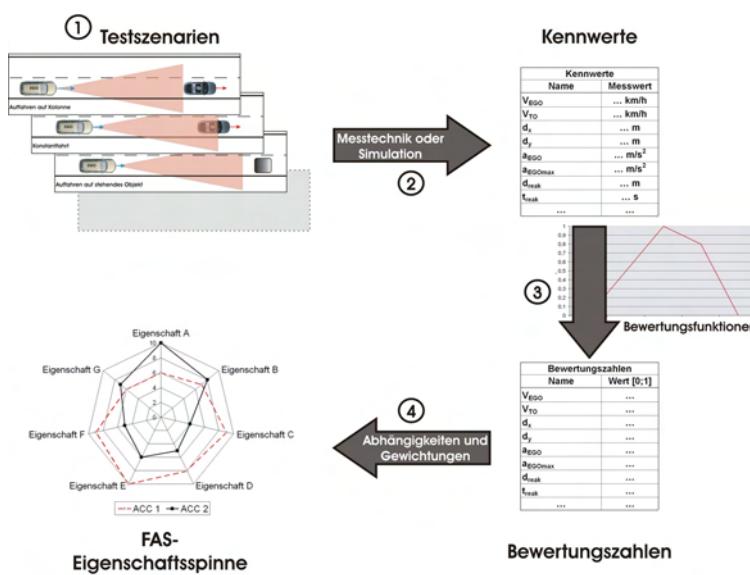


Bild 4: Bewertungsprozess für Fahrerassistenzsysteme

Hierbei werden in verschiedenen Testszenarien (vgl. 1) objektive Kennwerte ermittelt (vgl. 2), diese anschließend normiert (vgl. 3) und zu Fahrzeugeigenschaften zusammengefasst (vgl. 4). Im Folgenden werden diese vier Prozessschritte näher vorgestellt:

❶ Die Auswahl geeigneter Testszenarien (Fahrmanöver) ist für die Güte der Bewertung von entscheidender Bedeutung. Um die relevanten Fahrmanöver aus der Vielzahl möglicher Situationen im Straßenverkehr her-



Bild 6:  
Beispielhafter  
Messaufbau

❸ Um aus den so ermittelten Ergebnissen die Fahrzeugeigenschaften berechnen zu können, wird jeder Kennwert über eine Bewertungsfunktion in eine dimensionslose Bewertungszahl überführt. Die Bewertungsfunktion stellt hierbei das jeweilige Sollverhalten dar, welches durch Studien im Vorfeld festgelegt werden muss.

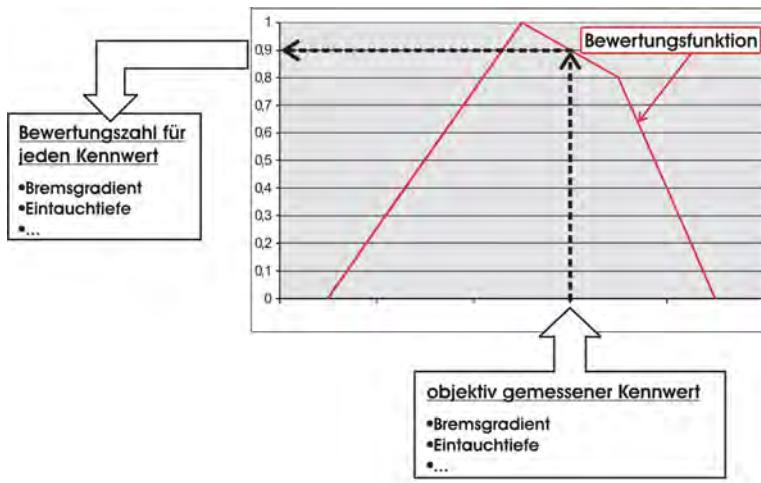


Bild 7: Beispielhafte Bewertungsfunktion

❹ Über Abhängigkeiten und Gewichtungen der Bewertungszahlen werden abschließend die Eigenschaften und so die Fahrerassistenzsystem-Eigenschaftsspinne ermittelt. Dies ermöglicht die geforderte objektive Bewertung der untersuchten Systeme bzw. Systemausprägungen.

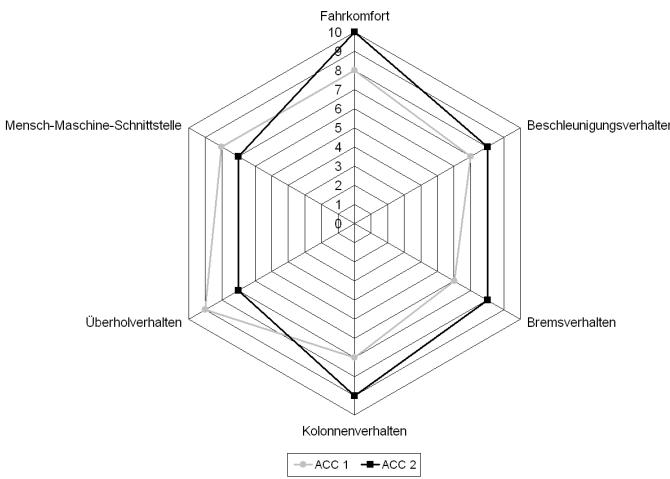


Bild 8: Beispielhafte Fahrerassistenzsystem-Eigenschaftsspinne

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen wurden die eingesetzten Hilfsmittel vorgestellt. Diese sind die bekannten Test- und Simulationswerkzeuge Software in the Loop, Hardware in the Loop, Vehicle in the Loop und Realtest. Außerdem wurde kurz auf den Prozess zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen am Beispiel von ACC eingegangen.

Es wird deutlich, dass es zwar eine Vielzahl an Tools für die Entwicklung von FAS gibt, deren Anwendungsmöglichkeiten aber noch bei weitem nicht ausgereizt

sind. Außerdem sind sie bisher kaum aufeinander abgestimmt. So muss in der Praxis ein erheblicher Aufwand betrieben werden, um sie bei der Entwicklung neuer Fahrerassistenzfunktionen anwenden zu können.

Um die Komplexität im Automobilbau beherrschbar zu gestalten, sollten die Test- und Simulationswerkzeuge erweitert und optimal auf den Produktionsentstehungsprozess abgestimmt werden. Daher ist es wichtig, bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen eine durchgängige Toolkette zur Verfügung zu stellen, deren Einzelkomponenten perfekt aufeinander abgestimmt, deren Einsatzspektren aber auch klar von einander abgegrenzt sind (vgl. Bild 9). So führen z.B. eine Verwendung der gleichen Verkehrsflusssimulation in allen virtuellen Werkzeugen (SIL, HIL und VIL), sowie eine Auswertung der Messdaten im gesamten Entwicklungsprozess anhand derselben Größen zu einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

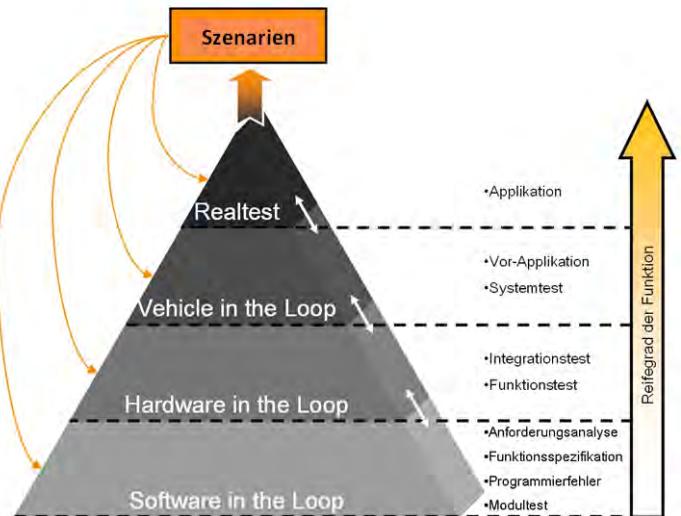


Bild 9: Übersicht der Zielsetzung

Außerdem kann durch die Integration der definierten Fahrmanöver in die oben beschriebene Toolkette, eine Funktionsbewertung anhand der Fahrerassistenzsystem-Eigenschaftsspinne bereits zu einem frühen Entwicklungszeitpunkt erfolgen. Für die Entwicklung neuer Fahrerassistenzsysteme bedeutet dies, dass eventuelle Funktionslücken frühzeitig durch die Simulationen im Labor identifiziert werden können. Somit kann der zeitaufwendige Erprobungs- und Applikationsaufwand und damit die teure Prototypennutzung reduziert werden.

Ferner erleichtert ein definiertes Soll-Systemverhalten die Systemübernahme bereits existierender Funktionen in neue Fahrzeugprojekte.

Abschließend bietet dieser innovative und durchgängige Entwicklungsprozess bei Fahrerassistenzsystemen auch Vorteile, welche die Kundenakzeptanz betreffen, da auf diese Weise eine einheitliche, systemübergreifende Ausprägung der Einzelsysteme ermöglicht wird.

## Literatur

- [1] Buld, S.; Krüger, H.-P.: Wirkung von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit. Projekt: EMPHASIS. Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen. Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften (IZVW) an der Universität Würzburg, Würzburg, 2002.
- [2] Ehmanss, D.; Wallentowitz, H.; Gelau, C.; Nicklisch, F.: Zukünftige Entwicklungen von Fahrerassistenzsystemen und Methoden zu deren Bewertung. In: Wallentowitz, H.; Pischinger, S. (Hg.): 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motoren-technik. Aachen, 2000.
- [3] Maurer, M.: Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug. Materialien zur Vorlesung, Technische Universität München, Garching b. München, 2006.
- [4] Bock, T.; Maurer, M.; van Meel, F.; Müller, T.: Vehicle in the Loop - Ein innovativer Ansatz zur Kopplung virtueller mit realer Erprobung. In: Automobil-technische Zeitschrift (ATZ), Jg. 110, H. 01, 2008.
- [5] Bubb, H.; Schmidtke, H.: Systemstruktur. In: Schmidtke, H. (Hg.): Ergonomie. 2. Aufl. München, S. 305–333, 1993.
- [6] Voigtländer, P.: ADTF: Framework for Driver Assistance and Safety Systems. In: Association of German Engineers (VDI) (Hg.): FISITA 2008 World Auto-motive Congress. Wiesbaden, 2008.
- [7] Bock, T.; Maurer, M.; Färber, G.: Validation of the Vehi-cle in the Loop (VIL); A milestone for the simula-tion of driver assistance systems. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hg.): IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Istanbul, 2007.
- [8] Seifert, U.; Rainer, G. (Hg.): Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz. Prozesse, Komponenten, Beispiele aus der Praxis. Wies-baden, 2008.
- [9] Bock, T.; Siedersberger, K.-H.; Zavrel, M.; Breu, A.; Maurer, M.: Simulations- und Test-umgebung für Fahrerassistenzsysteme. Vehicle in the Loop (VIL). In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Ver-kehrstechnik (Hg.): Erprobung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung. Düsseldorf, 2005.
- [10] Hoffmann, J.; Winner, H.: EVITA - Die Prüfmethode für Antikollisionssysteme. In: Maurer, M.; Stiller, C. (Hg.): 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme. FAS2008. Karlsruhe, S. 116–130, 2008.
- [11] Heißing, B.; Brandl, H. J.: Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens. 1. Aufl. Würzburg, 2002.
- [12] Feyer, J.: Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen zur Verbesserung des Spurwech-selverhaltens von ACC. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier Verlag (Audi Dissertationsreihe, 9), 2008.
- [13] Fastenmeier, W. (Hg.): Autofahrer und Verkehrssitu-ation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrs-systeme. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1995.
- [14] Filzek, B.: Abstandsverhalten auf Autobahnen – Fahrer und ACC im Vergleich. Dissertation. Darmstadt. Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, 2002.

1 Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München;

2 AUDI AG, Ingolstadt;

3 Institut für Regelungstechnik, Technische Universität Braunschweig

## Herausforderungen für die Gestaltung von Überwachungs - Arbeitsplätzen

Iwona Jastrzebska-Fraczek, Dino Bortot, Severina Popova, Klaus Bengler

### 1. Ausgangssituation/Rahmenbedingungen

Im Zuge der Neuplanung der Verkehrsleitzentrale der Autobahndirektion Südbayern wurde ein interdisziplinäres Projekt ins Leben gerufen, das von vielfältigen Anforderungen, formuliert durch Ergonomen, Architekten, Arbeitsplaner und Gebäudetechniker geprägt ist. Möglichst platzsparende Lösungen sind bei der Auslegung des Operatorraumes für die Architekten besonders wichtig, um die Dimensionen des größten Arbeitsraumes bei dem Projektentwurf zu berücksichtigen.

Ausgehend von den Tätigkeitsbeschreibungen der Mitarbeiter benötigen verschiedene Arbeitsplatztypen (Abbildung 1) unterschiedliche Ausstattungen, die sich insbesondere in der Größe der Monitore unterscheiden.

den. Für den Arbeitsplatz der Verkehrsregelung ist wichtig, einen großen Teil der Autobahn auf einen Blick betrachten zu können, weswegen Bildschirme mit einer Diagonale von 24 Zoll notwendig sind. Für die Arbeitsplatztypen „Tunnelüberwachung“ und „Standstreifenregelung“ reichen kleinere Geräte aus. Diese Forderung des Ausstattungsmanagements kann einen Zielkonflikt mit Vorgaben bzgl. der maximalen Höhe des Arbeitsplatzes produzieren, die von der Ergonomie gemacht werden. Eine ergonomische Auslegung des Arbeitsplatzes sieht außerdem entsprechende Freiräume hinter den Mitarbeitern vor. Diese wiederum führen zu erhöhten Platzbedarfen - ein weiterer Zielkonflikt mit den Anforderungen aus der Architektur. In der Entwicklungsphase dieses Projektes wird vor allem die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Ergo-

nomie und Architektur deutlich. Ein wichtiges Gestaltungsmerkmal für eine gelungene Gesamtlösung ist das Softwarekonzept und die damit verbundene Hardware-Entscheidung.



Abb. 1: Arbeitsplatztypen und deren Eigenschaften und Anforderungen

## 2. Anforderungen an den zu gestaltenden Arbeitsplatz

Die Anforderungen an die Gestaltung von Überwachungsarbeitsplätzen werden für den Überwachungsarbeitsplatz für Tunnelanlagen formuliert, da an diesem Arbeitsplatz den höchsten Belastungen ausgesetzt sind. Während sie zu großen Anteilen ihrer Arbeitszeit lediglich monitive Aufgaben mit geringen Belastungen übernehmen, steigen die Anforderungen an die Operatoren beim Eintreten kritischer Notfälle in kürzester Zeit erheblich (bspw. bei Unfällen in Tunnels). Überfluss an dargestellter Information, hoher Zeitdruck sowie große Verantwortung für die im Verkehrsgeschehen beteiligten Personen charakterisieren diese Tätigkeit. Eine ergonomisch optimal ausgelegte Arbeitsumgebung ist unbedingt erforderlich, um die Arbeitsbelastungen sowie das Stressempfinden der Operatoren und somit die Fehlerwahrscheinlichkeit einerseits zu senken, andererseits die Dauertätigkeit ohne Beeinträchtigung wahrnehmen zu können.

Zielsetzung der nachfolgend dargestellten, interdisziplinären Untersuchungen mit Anforderungen aus der Architektur, der Datentechnik, dem Ausstattungsmanagement und der Ergonomie ist die Spezifikation von Tunnelüberwachungsarbeitsplätzen im Operatorraum einer Verkehrsüberwachung im südbayerischen Raum. Wie bereits aus Abbildung 1 ersichtlich wurde, ist die Hauptaufgabe der Tunnelüberwachung die Überwachung der Verkehrssituation in den Tunnels über die Bildschirme (entspricht in etwa 70% des Gesamtumfangs der Aufgaben). Die restlichen 30% des Gesamtarbeitsumfangs sind gefüllt mit Nebentätigkeiten wie Wetterwarnungen, regelmäßigen Prüfungen der technischen Systeme, Baustellen-Management, Überwachung von Schwertransporten, Kommunikation mit Tunneltechnikern und der Polizei. Um Ausfallzeiten zu vermeiden und einen Parallelbetrieb an einem Arbeits-

platz durch zwei Mitarbeiter in Krisensituationen zu ermöglichen, werden jeweils zwei Eingabegeräte pro Arbeitsplatz vorgesehen. Außerdem ist auf dem Tisch ausreichend Platz für eine Kamerasteuerung und die entsprechenden analogen Medien/Unterlagen (Notfallpläne u. Ä.) einzuplanen.

## 3. Die Arbeitsplatzauslegung

Eine gründliche Ist-Analyse bereits existierender Überwachungsarbeitsplätze sowie die Befragung der aktuellen Anlagennutzer dienen als Grundlage zur Neugestaltung der Arbeitsplätze, indem momentan vorhandene Schwächen und unzureichend gelöste Probleme aufgedeckt werden. Sowohl die Besichtigung der Arbeitsplätze in der Verkehrsleitzentrale als auch die Durchführung ergonomischer Checklisten mit EKIDES (Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System) haben eine erhebliche Mängelliste in den Bereichen Umwelt, Prozessbeobachtung, Gestaltung des Sehraumes u. Ä. ergeben. Ergonomische Anforderungen, sowohl an Überwachungsarbeitsplätze als auch an Bildschirmarbeitsplätze wurden aus dem Katalog des EKIDES entnommen und illustriert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestimmen die Anforderungen, die an die zukünftigen Arbeitsplätze gestellt werden. Anschließend werden unterschiedliche Varianten hinsichtlich ihrer ergonomischen Eignung überprüft.

Die Überwachung der aktuellen Verkehrssituation beinhaltet im Wesentlichen das Erkennen und Bewältigen von kritischen Situationen. Entsprechend dieser Aufgabenverteilung werden pro Tunnel jeweils zwei Bildschirme für die Videobilder aus dem Tunnel und ein Bildschirm zur Bedienung der Steuerungs- und Notfallsysteme sowie zur Erledigung der Nebentätigkeiten benötigt. In Zukunft sollen an einem Arbeitsplatz bis zu sechs Tunnelanlagen überwacht werden, wodurch sich eine Anzahl von 18 Bildschirmen pro Arbeitsplatz ergibt.

### Berechnung der Abmessungen des Arbeitsplatzes

Die ermittelten Anforderungen führen zu mehreren Arbeitsplatzvarianten, die sich bzgl. der Tischbreite und der Höhe der Bildschirmwand unterscheiden.

Die Breite des Arbeitsplatzes hängt von zwei Faktoren ab:

- Einerseits ist die benötigte Tischbreite ausschlaggebend, um ausreichend Platz für die Steuerung und die Unterlagen zu bieten,
- andererseits bestimmt die vertikale Anordnung der Bildschirme (2-reihig oder 3-reihig) die Breitenabmessungen des Arbeitsplatzes. Bei einer Bildschirmanordnung in zwei Reihen ist die Breite der Bildschirmwand entscheidend, da insgesamt neun Monitore pro Reihe nebeneinander angebracht werden müssen. Bei einer Monitorgröße von 17" beträgt die Arbeitsplatzbreite somit ca. 378 cm. Werden nur sechs Bildschirme nebeneinander (und dementsprechend jeweils drei übereinander) positioniert, ist die benötigte Arbeitstischfläche mit einer Breite von 300 cm der limitierende Faktor.

von anthropometrischen Daten soll unbedingt bezüglich der Gesichts-, Blick- und Umblicksfelder ergänzend überprüft werden (Abbildung2).

Diese Daten stellen allgemeine, ergonomische Grundlagen für die optimale ergonomische Gestaltung der Sehbedingungen am Arbeitsplatz dar. Besonders dort, wo die Genauigkeit des Beobachtens eine wichtige Rolle spielt (visuelle Kontrolle der Tätigkeit, Anzeigeeinrichtungen) müssen drei Felder, die zur Festlegung der Sehbedingungen wichtig sind, in Betracht kommen:

- **Gesichtsfeld:** Gesamtheit der Objektpunkte, die bei ruhendem Kopf und ruhendem Auge wahrgenommen werden können. Der Bereich des optimalen Gesichtsfeldes beträgt ca. 30° zirkular und der des peripheren Sehens ca. 170° horizontal und ca. 113° vertikal.
- **Optimal nutzbares Gesichtsfeld:** Positionierung von zentralen Warnanzeigen und Anordnung von Informationsmitteln zur häufigen Informationsaufnahme: ±15°
- **Optimal nutzbares Blick-Gesichtsfeld:** Anordnung von Warnanzeigen und Informationsmitteln zur gelegentlichen Informationsaufnahme: ±25°

Durch die Beachtung der Position der normalen Sehachse bei entspanntem Kopf (10-15 Grad gegenüber der Horizontalen nach unten geneigt) und Augen (25-35 Grad von der Horizontale) können Zwangshaltungen und dadurch Schmerzen in Schulter, Hals und Augen reduziert werden.

Eine zentrale Aufgabe ist, die Grenzwerte für die Auslegung des Sehraumes zu bestimmen. Hierbei soll berücksichtigt werden, dass mindestens ein Arbeitsplatz auch Rollstuhlfahrern zur Verfügung gestellt werden soll.

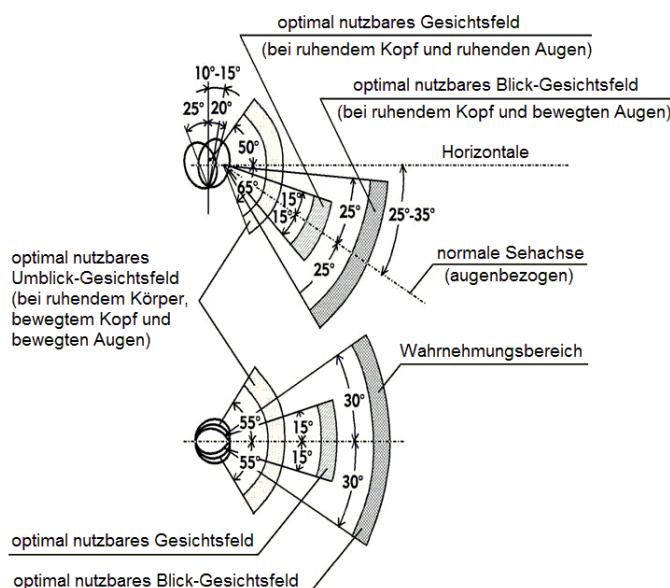


Abb. 2: Gesichts-, Blick- und Umblick-Gesichtsfeld. Quelle: LfE, Ergo. Praktikum, WS 1992/93

Die Werte aus drei verschiedenen Quellen sind in Tabelle 1 dargestellt. Es ist zu betonen, dass sowohl in DIN 33403-2, 2005, in der Studie SizeGERMANY als auch in ISO 7250 die „Augenhöhe, sitzend“ als vertika-

ler Abstand von einer horizontalen Sitzfläche zum äußeren Augenwinkel definiert ist. Die „Augenhöhe, stehend“ dagegen wird als vertikaler Abstand von der Standfläche zum äußeren Augenwinkel definiert.

Die Studie "Size Germany", bei der deutschlandweit über 13 000 Männer, Frauen und Kinder mit einem Ganzkörperscanner vermessen wurden, ist 2009 abgeschlossen worden. Die Studie wurde durch Human Solutions in Kaiserslautern und die auf Bekleidungsforschung spezialisierten Hohenstein Institute durchgeführt.

Die internationale Norm DIN EN ISO 14738, 2009 legt die Grundlagen zur Ableitung von Abmessungen aus anthropometrischen Maßen und ihrer Anwendung bei der Gestaltung stationärer Maschinenarbeitsplätze fest.

Im Gegensatz zu der Norm DIN 33403-2, 2005 und den Daten aus SizeGermany werden die Daten in DIN EN ISO 14738 nur in Werten für das 5.Perzentil und das 95.Perzentil angegeben ohne Beachtung von Geschlecht und Alter.

Tabelle 1: Augenbezugspunkt im Sitzen - Werte und Bereiche

DIN 33403-2, 2005	SizeGERMANY 2009 (Grenzwerte)	DIN EN ISO 14738, 2009, Europäische Werte, ohne Angabe des Alter und Geschlechtes
5.Perzentil Frau Altersgruppe 18-65 Jahre (375mm+705mm) 1080 mm	1.Perzentil Frau Altersgruppe 66... Jahre (357mm+643mm) 1000 mm	5.Perzentil (340mm+680mm) 1020 mm
95.Perzentil Mann Altersgruppe 18-65 Jahre (490mm+855mm) 1375 mm	97.5 Perzentil Mann Altersgruppe 36-45 Jahre (528mm+896mm) 1424 mm-	95.Perzentil (505mm+870mm) 1375 mm
Differenz: 295 mm	Differenz: 424 mm	Differenz: 355 mm

Die Höhe des Augenbezugspunktes im Sitzen in Tabelle 1 wird als Summe der Sitzflächenhöhe und Augenhöhe sitzend berechnet. Es wird deutlich, dass ein Vergleich der Werte nicht möglich ist. In der ersten Spalte sind die Werte für die Breite Bevölkerungsgruppe (18-65 Jahre) dargestellt, die mittlere Spalte gibt die Grenzwerte an, die Daten in der dritten Spalte, berücksichtigen die Alters und Geschlechtsunterschiede nicht. Während die Werte aus den Tabellen von SizeGermany eine Differenz zwischen Mann und Frau von 424 mm aufweisen, ist die Differenz aus der DIN für die Altersgruppe 18 bis 65 Jahre 295 mm. Die Werte aus der DIN EN ISO, 2009 ohne Angabe des Alters und des Geschlechtes stellen den Unterschied zwischen dem 95.Perzentil und 5.Perzentil im Bereich von 355 mm dar.

#### 4. Übersicht über verschiedene Arbeitsplatz-Varianten

Um die Arbeitsplätze der Tunnelüberwachung für möglichst viele Benutzer optimal auszulegen, werden die beiden klassischen Grenztypologien, das 5.Perzentil Frau und das 95.Perzentil Mann, ausgewählt (siehe Tabelle 2), wobei ein Zuschlag von 10% gewählt wurde. Aus der Literatur (DIN EN ISO 14738, 2009) sind Zuschläge und zusätzliche Maße zu entnehmen: z.B. 30 mm Zuschlag für die Schuhe, 130 mm Zuschlag für Schuhe und Fußbewegungen. „Wo immer

möglich, sollten die Freiräumemaße erweitert und die Reichweitemaße vermindert werden“ wird in der Norm DIN EN ISO 14738, 2009 angegeben.

Tabelle 2: Berechnung des Augenbezugspunktes für das 5. Perzentil Frau und das 95. Perzentil Mann (Werte aus der DIN 33403-2, 2005)

	Sitzflächenhöhe	Augenhöhe im Sitzen	Augenhöhe vom Fußboden	10%iger Aufschlag	Augenbezugspunkt im Sitzen
5.Perzentil Frau	375 mm	705 mm	1080 mm	108 mm	1188 mm
95.Perzentil Mann	490 mm	855 mm	1345 mm	134,5 mm	1497,5 mm

Betrachten wir jedoch die Werte für Rollstuhlfahrer, sind die Berechnungen aus Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Berechnung des Augenbezugspunktes (Werte aus SizeGermany) für Rollstuhlfahrer mit einer Sitzhöhe von 420-540mm

Rollstuhlsitzhöhe	Augenhöhe im Sitzen	Augenhöhe vom Fußboden	Aufschlag	Augenbezugspunkt im Sitzen
420 mm	643 mm	1063 mm	30-130 mm	1093-1193 mm
540 mm	896 mm	1436 mm	30-130 mm	1466-1566 mm

Abbildung 3 gibt den Überblick über die im Folgenden untersuchten Arbeitsplatz-Varianten.

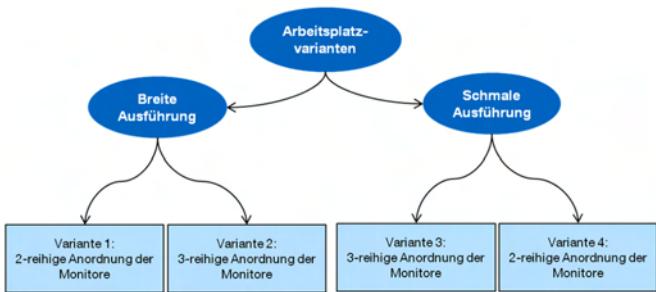


Abbildung 3: Übersicht über die Arbeitsplatz-Varianten

Die maximale Höhe des Arbeitsplatzes hängt von zwei entscheidenden Größen ab:

- dem Augenbezugspunkt und
- den optimalen Sehbereichen des Menschen.

### Ermittlung der maximalen Arbeitshöhe durch Be- rücksichtigung der Sehbereiche bezogen auf den Augenbezugspunkt

Ende des optimal nutzbaren Gesichtsfeldes bei:

- 5.Perzentil Frau: 1188mm – 181mm = 1007mm
- 95.Perzentil Mann: 1479,5 mm – 181 mm = 1298,5 mm

Ende des optimal nutzbaren Blick-Gesichtsfeldes bei:

- 5.Perzentil Frau: 1188,0 mm – 61mm = 1127,0 mm
- 95.Perzentil Mann: 1479,5 mm – 61 mm = 1418,5 mm

### Berechnung der minimalen Breite des Arbeitsplatzes

Um die Breite des Arbeitsplatzes zu bestimmen, müssen zwei Größen betrachtet werden:

- die benötigte Ablagefläche für Unterlagen auf dem Arbeitstisch (radiale Nutzungsdistanz a bei häufigem Gebrauch und bei gelegentlicher

Distanz (Abbildung 4))

- sowie die aus der horizontalen Aneinanderreihung von mehreren Bildschirmen resultierende Breite.

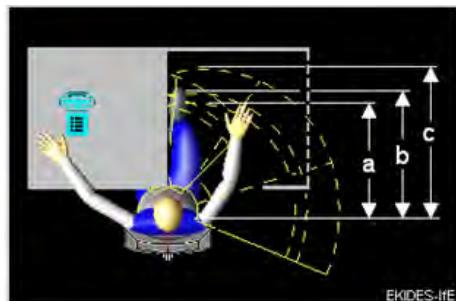


Abbildung 4: Radiale Nutzungs-distanz bei häufigem (a), gelegentlichen (b) seltenem Gebrauch (c)

### Berechnung des Freiraums hinter dem Arbeitstisch

Nach dem Prinzip des dynamischen Sitzens sollen unterschiedliche Sitzpositionen während der Arbeit eingenommen werden können. Für die Auslegung des Raumes hinter dem Mitarbeiter ist eine zurückgelehnte Arbeitshaltung in der hinteren Sitzposition anzunehmen (bspw. bei der Beobachtung einer im Raum zentral montierten Medienwand). Es ist notwendig, für den Abstand der Rückenlehne des Stuhls bis zur vorderen Sitzkante 1 m anzusetzen. Zusätzlich zu dieser Entfernung ist ein Mindestabstand von 1 m im Rücken des Mitarbeiters (bei Durchgängen und Türen hinter dem Arbeitsplatz 2 m) einzuhalten. Daraus ergibt sich ein Freiraum hinter der Arbeitsfläche von mindestens 2 m (bei Türen = 3 m).

### 5. Abmessungen der Arbeitsplatz-Varianten

Von einer 3-reihigen Bildschirmanordnung wird grundsätzlich abgeraten. Selbst eine Verringerung der Höhe der Oberkante durch den Gebrauch von Widescreens bewirkt keine ausreichende Verbesserung – die dritte Monitorreihe bleibt in einer aus ergonomischer Sicht sehr ungünstigen Position.

Bei einer 2-reihigen Anordnung der Bildschirme spielt die Größe der Monitore eine entscheidende Rolle: Die Verwendung von Monitoren im Standard-Format 5:4 führt zu einer ergonomisch ungünstigen Position der zweiten Monitorreihe für das 5.Perzentil Frau. Die Reduktion der Höhe der Monitore durch den Gebrauch von Widescreens (16:9) bewirkt eine verbesserte Sicht auf die zweite Reihe.

Demzufolge wird eine 2-reihige Anordnung von Widescreen-Monitoren im Format 16:9 empfohlen (Arbeitsplatz-Variante 4). Die Umsetzung der Arbeitsplatz-Variante 4 setzt sich durch eine gute Erreichbarkeit aller auf dem Tisch befindlichen Gegenstände, dank eines geringen Platzbedarfes und ausreichend guter Sichtbedingungen im Vergleich zu den anderen Varianten durch.

Ausgehend von der benötigten Anzahl an Bildschirmen (17 bzw. 18) ergibt sich die Mindestbreite des Arbeitsplatzes zu 300 cm. Um die Anzahl an Bildschirmen um sechs Stück zu reduzieren und gleichzeitig den Erhalt des Informationsgehaltes zu gewährleisten, sollten neue Anzeigekonzepte in Planung gebracht werden.



Abb. 5: Splitscreen-Modus zur Darstellung der beiden Video Bilder einer Tunnelanlage

Durch die softwaretechnische Kombination der beiden Videobilder auf einem Bildschirm im Splitscreen-Modus, die zu jeweils einem Tunnel gehören, ließe sich eine solche Reduktion problemlos umsetzen (Abbildung 5).

## 6. Gestaltungshinweise zum barrierefreien Bauen

Bauliche Anlagen sind dann für alle Menschen barrierefrei nutzbar, wenn die Nutzer bei ihrer Benutzung von fremder Hilfe weitgehend unabhängig sein können.

Das gilt insbesondere für:

- Rollstuhlbenutzer – auch mit Oberkörperbehinderung,
- Blinde und Sehbehinderte,
- Gehörlose und Hörgeschädigte,
- Gehbehinderte,
- Menschen mit sonstigen Behinderungen,
- ältere Menschen,
- Kinder, klein- und großwüchsige Menschen.

### Bewegungsflächen

Die Bewegungsflächen in der DIN 18024/2, 1996 sind nach dem Mindestplatzbedarf der Rollstuhlbenutzer bemessen. Sie werden definiert als die zur Bewegung mit dem Rollstuhl notwendigen Flächen. Bestimmend für die Auslegung sind dabei die in Abbildung 6 ersichtlichen Abmessungen eines Elektro-Rollstuhls (ca. 70 cm breit und ca. 120 cm lang).

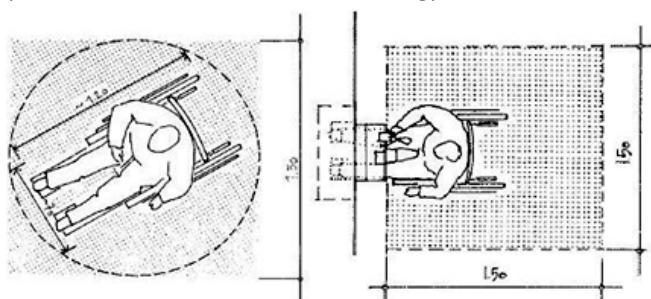


Abb. 6: Bewegungsflächen

Die Größe der Bewegungsflächen ist bestimmt durch:

- Die Abmessungen des Elektro-Rollstuhls,
- Die Ellenbogen und die Hände des Benutzers, die auch beim Selbstfahrer seitlich über den Rollstuhl hinausragen,
- Den möglichen Bewegungsfluss und die Zielge-

nauigkeit, die je nach dem individuellen Vermögen des einzelnen Rollstuhlbenutzers unterschiedlich sind. Bewegungsflächen dürfen nicht in ihrer Funktion eingeschränkt sein, z.B. durch Rohrleitungen, Mauervorsprünge oder Einrichtungen, insbesondere auch in geöffnetem Zustand. Bewegliche Geräte und Einrichtungen an Arbeitsplätzen dürfen die Bewegungsflächen nicht einschränken.

Bewegungsflächen an Arbeitsplätzen sind in etwa vergleichbar mit Bewegungsflächen vor Fernsprechzellen und öffentlichen Fernsprechern (Abbildung 6).

Die obige Auslegung der Überwachungsarbeitsplätze sieht einen Freiraum hinter der Tischvorderkante von mindestens 2 m vor, in der Breite sind die Arbeitsplätze aufgrund der großen Anzahl an Bildschirmen auf (knapp) 4 m bemessen. Demzufolge ergeben sich durch die Berücksichtigung des barrierefreien Bauens in diesem Fall keine weiteren Anforderungen.

### Gestaltung des Arbeitstisches

Zur rollstuhlgerechten Nutzung sollte die Höhe eines Arbeitstisches 85 cm betragen.

Bei mehreren gleichartigen Einrichtungen ist mindestens ein Element in dieser Höhe anzordnen und unterfahrbar auszubilden. Kniefreiheit muss in 30 cm Tiefe und in mindestens 67 cm Höhe gegeben sein.

### Bodenbeläge

Bodenbeläge müssen nach ZH 1/571 rutschhemmend, rollstuhlgerecht und fest verlegt sein; sie dürfen sich nicht elektrostatisch aufladen.

Es sind grundsätzlich alle üblichen, glatten und ebenen Beläge möglich, jedoch ist der Behandlung der Böden (mit Pflegemitteln, Wachs, etc.) besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Insbesondere ist die Verfälschung der Eigenschaften eines ansonsten geeigneten Belags durch Nässe zu bedenken.

Zusätzlich hängt das sichere Begehen und Befahren der Beläge stark von nicht-baulichen Faktoren ab, wie z.B. Material und Profilierung von Schuhwerk bzw. Rollstuhlräifen.

Materialwechsel zwischen großflächigen und kleinformativen Belägen sollen nicht ausschließlich aus gestalterischen Gründen geplant werden, sondern der Orientierung dienen, wie z.B. Aufmerksamkeitsfelder an Beginn und Ende von verkehrsberuhigten Bereichen oder Leitstreifen für Schlechtsehende und Blinde. Beläge unterschiedlicher Formate dürfen sich im Laufe der Benutzung nicht unterschiedlich setzen, weil sonst gefährliche Höhenunterschiede entstehen.

Oben aufgeführte Angaben entstammen dem „Leitfaden für Architekten, Fachingenieuren, Bauherren zur DIN 18024 Teil 2, Ausgabe November 1996 – Barrierefreies Bauen“. Darin enthalten sind u.a. weiterführende Informationen zu:

- Türen,
- Stufenlose Erreichbarkeit, untere Türanschlüsse und –schwellen, Aufzug, Rampe,
- Wände und Decken,
- Sanitärräume,

- Bedienungsvorrichtungen,
- Orientierungshilfen, Beschilderung.

## 7. Arbeitsumgebung für Überwachungsarbeitsplätze

Bei der Auslegung des Operatorraumes müssen neben den oben beschriebenen Anforderungen weitere Vorgaben beachtet werden. Diese beziehen sich insbesondere auf die Beleuchtung des Raumes, auf die akustische Arbeitsplatzgestaltung und auf die Lüftung und Klimatisierung des Raumes

### Vorgaben bzgl. der Beleuchtung des Arbeitsraumes

Bei der Installation der Beleuchtung im Arbeitsraum sind einige ergonomische Anforderungen zu beachten:

- Beleuchtungsstärke  $E$  (in Räumen mit Bildschirmen):  $300 \leq E \leq 600 \text{ lx}$
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke:  $E_{\min} : E \geq 0,6$
- Direktblendung kleiner als Grenzleuchtdichte Gütekategorie 1 nach DIN 5035/7, 2004
- Abschirmwinkel  $> 30^\circ$

### Vorgaben bzgl. der Akustik des Arbeitsraumes

Um eine ergonomisch einwandfreie Akustik des Arbeitsraumes zu gewährleisten, müssen u.a. folgende Vorgaben eingehalten werden:

- Beurteilungspegel bei überwiegend kognitiven Arbeiten  $\leq 55 \text{ dB(A)}$
- Schalldruckpegel von Klimaanlagen  $\leq 45 \text{ dB(A)}$
- Störgeräusche von außen bei hohen Konzentrationsanforderungen  $< 30 \text{ dB(A)}$ , bei geringen Konzentrationsanforderungen  $< 35 \text{ dB(A)}$
- Schalldämmmaß der Türen  $> 30 \text{ dB(A)}$

### Vorgaben bzgl. des Raumklimas

Hinsichtlich des Raumklimas sind folgende Vorgaben durch die Ergonomie definiert:

- Raumtemperatur  $t: 20^\circ \text{ C} \leq t \leq 26^\circ \text{ C}$
- Relative Luftfeuchtigkeit bei einer Trockentemperatur der Raumluft  $\geq 22^\circ \text{ C}$ : mind. 30%, max. 55%
- Anordnung von Ansaug- und Ausblasöffnungen so, dass Rezirkulation ausgeschlossen wird
- Luftgeschwindigkeit ( $v$ ) 1000 mm über Boden im Umkreis mit Radius 1 m unter Luftaustrittsöffnung in jeder Richtung bei Trockentemperatur  $< 25^\circ \text{ C}$ :  $\leq 0,2 \text{ m/s}$
- Vertikale Temperaturdifferenz im Aufenthaltsbereich  $\leq 3 \text{ K}$

## 8. Raumgestaltung

Der Operatorraum beinhaltet zwölf einzelne Arbeitsplätze vor einer Großleinwand, auf der ein Überblick des momentanen Verkehrsgeschehens dargestellt wird. Dieser Raum ist das Herzstück der neuen Verkehrsleitzentrale in Südbayern. Ein erster Entwurf des Architekturbüros Schmidt-Schicketanz aus München ist in Abbildung 7 dargestellt.

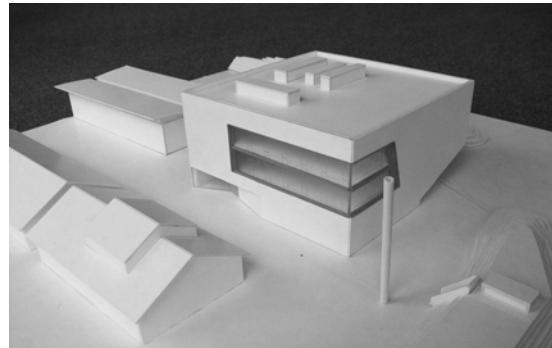


Abb. 7: Erster Entwurf der Verkehrsleitzentrale

## Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt das Vorgehen und Ergebnis einer gelungenen interdisziplinären Kooperation am Beispiel einer komplexen Arbeitsplatzgestaltung. Die Auslegung konnte durch die Nutzung aktueller anthropometrischer Daten (SizeGermany) sehr zukunftsorientiert vorgenommen werden - im Fall von Investitionsgütern eine außerordentlich wichtige Anforderung. Dabei fanden Aspekte des universal design durchaus Berücksichtigung.

Interessant scheint die beschriebene Lösung auch, weil es gelungen ist, durch die gezielte Gestaltung der Nutzersoftware (Splitscreen) einen positiven Einfluss auf die Hardwareanordnung und somit die Arbeitsplatzgestaltung zu erzielen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht nun in einer softwareergonomischen Betrachtung der verwendeten Anwendersoftware, da auch hier sehr extreme Anforderungen (Monitoring vs. Troubleshooting) abgedeckt werden müssen.

## Literatur

1. Engstler, F., Brandl, B., & Bubb, H. 2008, Entwicklung eines Ramsis-Haltungsmodells für Bürostühle. In: Produkt- und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer. Bericht zum 54. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. GfA-Press, Dortmund.
2. Jastrzebska-Fraczek, I., Schmidtke, H., Bubb, H., Karwowski W. (2006) Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System (EKIDES) - Software Tool for Design, Assessment and Ergonomics Teaching in International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition, 2006 edited by W. Karwowski, Taylor & Francis p. 1613-1625
3. Jürgens, H.W. 1999, Vorrangige Körpermaße. In: Handbuch der Ergonomie. BWB, Koblenz, B-1.1.3 – B-1.1.4.
4. Schmidtke, H. 1993, Ergonomie. Hanser, München, 3. Auflage.
5. Schmidtke, H. 2005, Arbeitstische für sitzende Tätigkeit. In: Handbuch der Ergonomie. BWB, Koblenz, C-4.1.3.
6. DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht. Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen. Beuth Berlin, 2004
7. DIN 18024 Teil 2 Barrierefreies Bauen. Teil 2: Öffentlich zugängige Gebäude und Arbeitsstätten, Planungsgrundlagen. Beuth Berlin 1996
8. DIN 33402 Teil.2, Körpermaße des Menschen; Werte. Beuth, Berlin 2005
9. DIN EN ISO 14738 Sicherheit von Maschinen - Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen. Beuth, Berlin 2009
10. BGR 181 (ZH 1/571) Fußböden in Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr Schmidt, Köln 2003
11. HUMAN SOLUTIONS GmbH: SizeGERMANY, Die deutsche Reihenmessung: <http://www.sizegermany.de/>

# Erste Verleihung des Walter Rohmert Forschungspreis an junge Wissenschaftler.

Dr.-Ing. Nicole Jochems und Dr.-Ing. Ulrich Bergmeier auf der GfA2010 geehrt

Laudatio zur Dissertation von U. Bergmeier mit freundlicher Genehmigung des Laudators Prof. i.R. H. Bubb

Zitat:

„ Laudatio zur Überreichung des Walter-Rohmert-Forschungspreis an Ulrich Bergmeier für seine Dissertationsschrift

## Kontaktanalog markierendes Nachtsichtsystem

Entwicklung und experimentelle Absicherung

Die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion ist ein exzellentes Beispiel für Anwendung ergonomischer Kenntnis und die Notwendigkeit neuer Forschung, denn

- teilweise müssen erst die in diesem Zusammenhang relevanten Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen mit den Methoden der Psychophysik untersucht werden und dann
- dieses neu erworbene spezifische Wissen zusammen mit bekannten Kenntnissen genutzt werden, um technische Lösungen zu finden, die menschliche Unzulänglichkeiten auffangen, ohne den menschlichen Operateur zu bevormunden und ohne seine zweifellos vorhandenen kreativen Fähigkeiten für die Lösung eines ad hoc auftretenden Problems ungenutzt zu lassen.

All diese Anforderungen hat Herr Dr. Bergmeier in hervorragender Weise bearbeitet und zudem einen völlig neuartigen und zugleich realisierbaren konkreten Lösungsvorschlag erarbeitet und dessen Tragfähigkeit im Experiment nach allen Regeln der Kunst, angefangen bei der Versuchsplanung bis hin zur korrekten statistischen Auswertung und Interpretation nachgewiesen.

Die Zielsetzung der Arbeit bestand in der Entwicklung eines in sich konsistenten Assistenzkonzeptes zur idealen Unterstützung der visuellen Wahrnehmung des Fahrers bei nacht- und witterungsbedingter Sichtreduktion, welches lichttechnische und infrarotbasierte Systeme zusammenfasst. Unter methodischem Gesichtspunkt mussten zunächst einerseits der Assistenzbedarf objektiviert und anderseits auf der Grundlage des Stands der Technik die Potenziale und Grenzen von sichtverbessernden Assistenzsystemen herausgearbeitet werden. Es waren einerseits Grundlagen für ein kontaktanaloges Head-Up-Display (kHUD) zu schaffen und anderseits der Effekt von Bird-View-Anzeigen zu untersuchen. Diese beiden Aspekte stellen die Grundlage für die Entwicklung von konkreten HMI-Lösungskonzepten dar. Diese werden sodann experimentell evaluiert. Aus den Ergebnissen leitet sich ein Assistenzkonzept für nacht- und witterungsbedingte Sichtreduktion ab.

Das Konzept besteht in

- einem lichtbasierten Assistenzsystem mit Stadtabbblendlicht und Abbiegelicht für den Stadtbereich,
- einem infrarotbasierten Nachtsichtsystem, dessen Information bei niedrigen Geschwindigkeiten im richtungsorientierten LED-Arrays dargestellt wird und bei höheren

Geschwindigkeiten im kontaktanalogen HUD. Letzteres wird integriert mit

- einem innovativen „kontinuierlichen Fernlicht“ und dem „Kurvenlicht“.
- Bei extrem schlechten Witterungsbedingungen wird das System durch eine kontaktanaloge Darstellung des Straßenverlaufs ergänzt, dessen Information aus hochauflösender Straßentextur im Navigationssystem in Verbindung mit einem hochgenauen GPS (z. B. durch GALILEO) gewonnen wird.

Für die Bewertung der Arbeit von Herrn Bergmeier ist hervorzuheben, dass die Ideen zu diesem Konzept, die versuchstechnische Absicherung und die prototypische Entwicklung der zugehörigen Technologien alle von ihm selbst initiiert und durchgeführt worden sind. Dies weist auf sein sehr vielfältiges Talent in unterschiedlichen Bereichen hin.

Darüber hinaus findet sich in der Arbeit eine Vielzahl von Einzelergebnissen, die auch für andere Anwendungszwecke von grundlegender Bedeutung sind.

Die umfassende Arbeit von Herrn Bergmeier repräsentiert somit in hervorragender Weise den besonderen Anspruch



Walter Rohmert Preis 2010  
von links nach rechts: Ralph Bruder, Ulrich Bergmeier, Nicole Jochems, Christopher Schlick, Heiner Bubb, Gert Zülch

der Produktergonomie, nämlich technische Systeme zu entwickeln, die an die Eigenschaften des Menschen optimal angepasst sind und diesen dadurch zu einer größeren Leistungsentfaltung befähigen.“

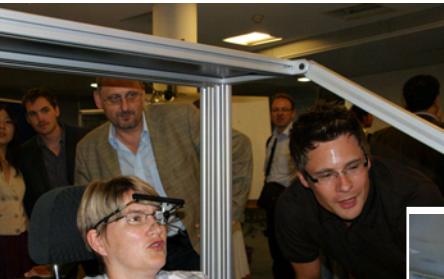
Zitat-Ende.

Herzlichen Glückwunsch zur Auszeichnung vom ganzen Lehrstuhl.

# Kleine Sommerfest-2009-Nachlese

Werner Zopf

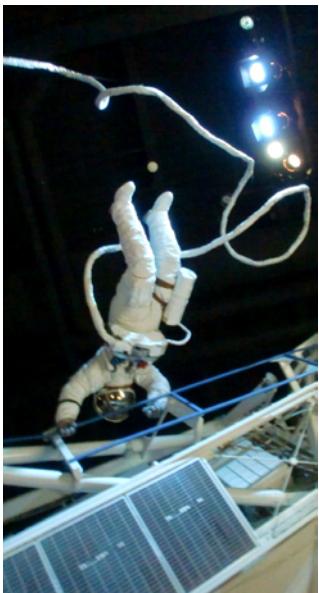
Gerne erinnern wir uns an die gelungene Verbindung, Traditionelles und Neues mit und für den Lehrstuhl zu einem motivierten Ganzen zusammenzufügen. Die vielfältigen Beiträge und die ausführlichen Präsentationen werden Ihnen, geehrte Leser und Teilnehmer sicher wieder in Erinnerung gerufen mit der kleinen Bilderauswahl des letztjährigen Sommerfestes.



# Gastaufenthalt bei der NASA

Olaf Sabbah

„Houston- we have a problem“



Im Zeitraum vom 26. Januar 2010 bis zum 26. März 2010 (2 Monate) wurde ich eingeladen als Gastwissenschaftler (visiting scientist) an das Lyndon B. Johnson Space Center (JSC) der NASA (National Aeronautics and Space Administration) in Houston/USA zu kommen.

Die Einladung erfolgte durch Dr. Sudhakar Rajulu, Technical Manager der Abteilung ABF (Anthropometry and Biomechanics Facility). Vorausgegangen ist ein Treffen von Dr. Rajulu auf der DHM-Konferenz (Digital Human Modelling) der SAE

(Society of Automotive Engineering) in Pittsburgh/USA in 2008 und der IEA-Konferenz (International Ergonomics Association) in Peking/China 2009. Dort wurde bereits festgestellt, dass sich die Forschungsthemen des wissenschaftlich orientierten ABF-Labors mit denen des Lehrstuhls für Ergonomie (LfE) der Technischen Universität München (TUM) und insbesondere mit den Inhalten meiner Promotion (Doktorvater: Prof. i.R. Dr. rer nat. Heiner Bubb) gut ergänzen.

Dieser Aufenthalt sollte neben der persönlichen Auslandserfahrung auch einen gastwissenschaftlichen Aufenthalt von Dr. Sudhakar Rajulu am LfE vorbereiten und damit den LfE und die TUM als internationale Partner der NASA etablieren.

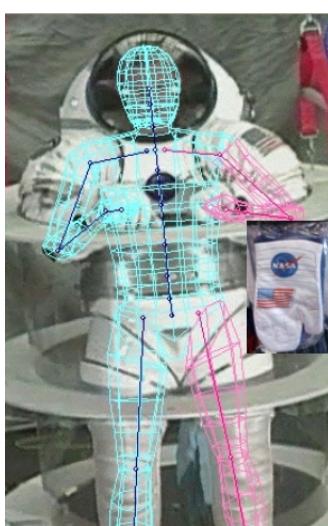
Während des Aufenthaltes bei der NASA durfte ich einen Einblick in zahlreiche laufende Untersuchungen bekommen. Darunter waren unter anderem Ein- und Ausstieguntersuchungen zur Definition und Gewährleistung von Mindestfreiräumen sowie Sitzhaltungsuntersuchungen für die Erreichbarkeit von Instrumenten in einer Raumfähre (CEV – Crew Exploration Vehicle).



Abb.  
Mars-Mobil

Auch zahlreiche Evaluierungen zur Beweglichkeit in Raumanzügen, ausgelegt sowohl für verschiedene große Astronautentypologien (1.- 99. Perzentil bezogen auf alle Körpermaße) sowie für die verschiedenen Einsatzumgebungen, wurden durchgeführt. Diese sind für Starts und Landungen (Druck- und Sicherheitsanzüge), für Außeneinsätze in der Mikrogravitationsumgebung der ISS (International Space Station) und Mond- bzw. Marsumgebungen besonders wichtig,

Die messtechnische Ausstattung für die Untersuchungen entsprach dabei in weiten Teilen der des LfE. Zur Bestimmung von allgemeinen Körpermaßen wird beispielsweise ebenso neben dem klassischen Anthropometer zusätzlich noch ein Vitos-BodyScanner verwendet. Auch für geometrische 3D-Messungen wird ebenfalls ein 3D-Messarm von FARO verwendet und schließlich wird für die Bewegungsanalysen (Motion Tracking) das VICON-System verwendet. Daher bedurfte es kaum einer Einarbeitung in den verschiedenen Untersuchungen mitwirken zu können. Außerdem konnten direkt die Ergebnisse mit Untersuchungen am LfE verglichen und diskutiert werden.



Ein wichtiger Teil des gastwissenschaftlichen Austausches, war auch, eigene Expertise auf den Gebieten der Anthropometrie und der Bewegungsmodellierung einzubringen. Dazu habe ich die wissenschaftlichen Methoden des LfE präsentiert und diese parallel zu den NASA-eigenen Untersuchungen angewandt.

Abb. Space-Suite mit  
PCMAN

Dazu wurde beispielsweise die vollflexible und markerlose Haltungs- bzw. Bewegungserfassungsmethode mit dem lehrstuhligeinen Tool PCMAN angewendet, um Ausstiegsszenarien aus einem CEV zu simulieren.

Diese Methode hatte dadurch überzeugt, dass diese Messmethode ohne schwere Hardware (Pay-Load) auch für den Einsatz in Mikrogravitation (z.B. auf der ISS) anwendbar ist. Auch die weitere Simulationsarbeit mit dem am LfE und der Firma Human Solution GmbH entwickelten Digitalen Menschmodell RAMSIS wurde hierzu vorgestellt. Von beiden Software-Tools hat die NASA nun eine Testlizenz erhalten und will laut eigenen Aussagen diese auch vollständig erwerben.



Bedingt durch eine derzeitige Budget-Knappheit der US-Regierung, wurde offiziell die Finanzierung des Mondprogramms der NASA stark eingeschränkt.



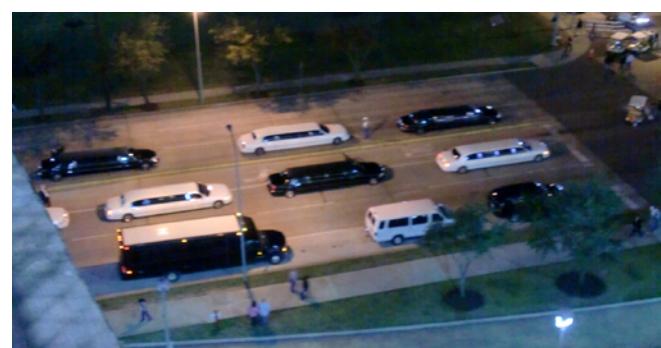
Dies hat dazu geführt, dass die NASA, insbesondere die Abteilungen die sich mit Grundlagenforschung (wie die ABF) befassen, an vertieften Kooperationen mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen interessiert sind.

Da der LfE ein Pendant zur ABF an der TUM darstellt, wurde hierzu ein erhöhtes Interesse einer internationalen Zusammenarbeit geäußert. Darunter wurde auch in Erwägung gezogen, die TUM (zusammen mit dem DLR Mission Control in Oberpfaffenhofen) als eine weitere Station des NASA-internen Rotationsprogramms zu etablieren. Auch wurde von der NASA der Wunsch geäußert weitere wissenschaftliche Mitarbeiter und evtl. auch Studenten der TUM (für Praktika oder Studienarbeiten) für einen Auslandsaufenthalt einzuladen.

Im Allgemeinen befindet sich die NASA Einrichtung des JSC an der im süd-osten viergrößten Stadt der USA Houston im Bundesstaat Texas.

Als Fazit kann ich jedem Mitarbeiter des Lehrstuhls einen vergleichbaren Aufenthalt empfehlen. Neben der wissenschaftlichen und sprachlichen Erfahrung ist auch die menschliche und kulturelle Erfahrung außerordentlich wertvoll.

Dank der nun vertieften Beziehungen zwischen der ABF und dem LfE besteht die Möglichkeit den Austausch sowie die Zusammenarbeit auszubauen.

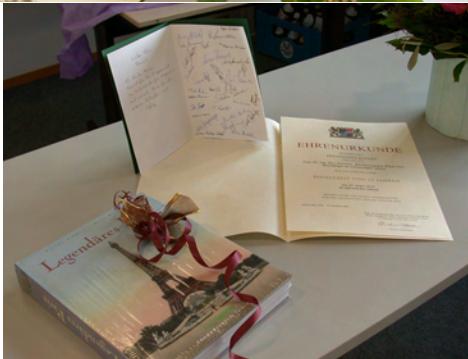


# 25 jähriges Dienstjubiläum

Werner Zopf

Unser besonderer Glückwunsch zur Verleihung der Ehrenurkunde zur Vollendung einer Dienstzeit von 25 Jahren im öffentlichen Dienst richtet sich an Frau Dr.-Ing. I. Jastrzebska-Fraczek. Sie erhielt bei einer Feierstunde die von Staatsministerin Christine Haderthauer verliehene Urkunde im Kollegenkreis am Lehrstuhl.

Wir gratulieren!



## Erfolgreiche Doktorprüfung: Dr.-Ing. Christin Fröhmel

Werner Zopf

### Validierung des RAMSIS-Krafthaltungsmodells

Durch die äußerst großen interindividuellen anthropometrischen Unterschiede ergeben sich Anforderungen an die Innengestaltung von Fahrzeugen, die derzeit durch den Einsatz digitaler Menschmodelle im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Im Bereich der Fahrzeugindustrie wird zu diesem Zweck größtenteils das Menschmodell und Entwicklungswerkzeug RAMSIS erfolgreich eingesetzt. Mittels RAMSIS können typische Fahrerhaltungen in gegebenen Fahrzeuginnenräumen mit hoher Präzision in der frühen Phase vorhergesagt werden. Allerdings gilt diese Aussage bisher nicht für Haltungen, die sich aus der „normalen“ Sitzhaltung entfernen. Mittels eines validierten Krafthaltungsmodells (KHM) sollen nun auch diese Vorhersagen ermöglicht werden.



# Analyse des Blickverhaltens an Kreuzungen als Grundlage für die Gestaltung von Assistenzsystemen

Marina Plavšić

## Einleitung

Ein Fahrerassistenzsystem, welches den Fahrer beim Durchfahren einer Kreuzung unterstützt, bietet ein hohes Potenzial für die Erhöhung der Verkehrssicherheit und Mobilität. Unfälle an Kreuzungen machen in den EU-Ländern zwischen 30% und 60% aller Unfälle aus (Fuerstenberg, 2007). Im Jahr 2008 gab es allein in Deutschland ungefähr 180.000 Unfälle in Kreuzungsbereichen (Statistisches Bundesamt, 2009).

Eine Zahl, die über die letzten Jahre konstant auf diesem hohen Niveau geblieben ist. Zusätzlicher Druck auf die Entwicklung von Methoden und Technologien für Kreuzungsassistenzsysteme entsteht auch durch die stetige Zunahme des innerstädtischen Verkehrs, durch eine immer älter werdende Gesellschaft und durch das teilweise ausgeschöpfte Potential für Systeme der aktiven Sicherheit für den Längsverkehr.

## Motivation und Ziel

Aufkommende Sensor- und Kommunikationstechnologien, wie Car2Car (C2C) und Car2Infrastruktur (C2I), ermöglichen schon jetzt eine zuverlässige Auslegung der Kreuzungsassistenzsysteme (Klanner, 2008). Allerdings haben Benutzerstudien gezeigt, dass Effizienz und Akzeptanz der Kreuzungsassistenzsysteme (KAS), welche nur auf realisierbaren Technologien basieren, sehr niedrig ausfallen (Benmimoun, 2007). Die Bestimmung der Funktionalität von KAS stellt ein komplexeres Problem dar als lediglich die Sensorfusion und die Technologieentwicklung, weil der Mensch als ein extrem variabler Faktor einzbezogen werden muss.

Die bisherigen Ansätze für das Design von Kreuzungsassistenzsystemen waren meist warnungsbasierte Lösungen. Solche Lösungen haben sich leider als ineffizient gezeigt, weil für einige Kreuzungsmanöver, z.B. beim Linksabbiegen, das sogenannte „Warnidilemma“ nicht beherrschbar ist (Meitinger, 2006). Das bedeutet, dass wegen der großen individuellen Unterschiede im Fahrerverhalten, ein optimaler Warnzeitpunkt nicht existiert. Der Fahrer wird in meisten Fällen entweder zu spät oder zu früh gewarnt werden. Abbildung 1 visualisiert diesen Fall. In Abbildung 1(a) sind die Spanne der möglichen Einlenkpunkte und die Größe der Konfliktzone dargestellt und in Abbildung 1(b) anhand von Linksabbiegetrajektorien auf einer Kreuzung in München visualisiert.

Die Alternative für die Vermeidung der Kreuzungsunfälle könnte eine autonome Notbremsung sein. Ein solches System würde aber hohe Investitionskosten und Zulassungsfragen verursachen.

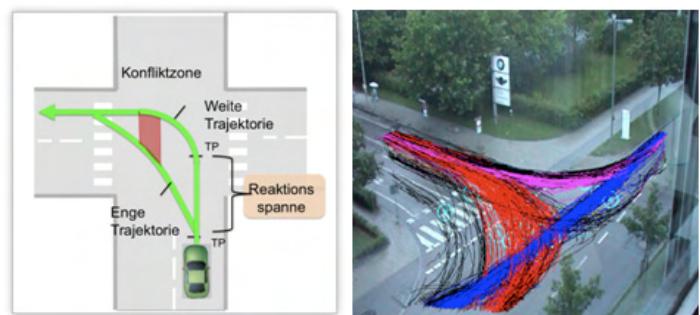


Abb. 1. Linksabbiegen (a) Spanne der möglichen Einlenkpunkten und die Größe der Konfliktzone, (b) Augmentierte Linksabbiegetrajektorien auf einer münchener Kreuzung (Klanner, 2008)

Der systemergonomische Ansatz, auf welchem diese Arbeit basiert, schlägt die Entwicklung eines Informati-onssystems vor, welches dem Fahrer die nötige Informationen zum richtigen Zeitpunkt anbietet. Allerdings benötigt ein solches System umfassende Kenntnisse über die Verkehrssituation und basiert auf einem normativen Fahrermodell. Dabei soll überprüft werden, ob die Informationen so gefiltert und präsentiert werden können, dass sie den Fahrer nicht überfordern und nur relevante Information weitergegeben werden. Der erste Schritt ist die Diskrepanz zwischen idealem und tatsächlichem Fahrerverhalten und dessen Variabilität zu untersuchen. Dadurch soll systematisches Fehlverhalten identifiziert werden, welches in seltenen Fällen zu Unfällen führen kann..

Dafür wurde in diese Arbeit das kognitive Fahrverhalten auf der Führungsebene beim Durchfahren verschiedener Kreuzungen experimentell untersucht.

## Methode

Um die Kreuzungssituationen auszuwählen, wurde eine umfassende theoretische Analyse der wichtigsten Einflussgrößen auf die Fahraufgabe an einer Kreuzung durchgeführt (Plavsic, 2009). Dabei ist eine Versuchsstrecke entstanden, die aus 10 Kreuzungssituationen besteht. Dazu wurden das Manöver (links, rechts und links), die Vorfahrtsegelung (Vorfahrt haben, Vorfahrt gewähren, Stopp-Schild und Rechts-vor-links) und die Präsenz eines vorausfahrenden Fahrzeugs variiert. Durch die Identifikation der wichtigsten Einflussgrößen auf die Fahraufgabe an einer Kreuzung ist die Aufgabenbeschwerdigkeit in jeder Situation bewertet worden. Die untersuchte Kreuzungs-Situationen und deren Bewertung sind in Abbildung 2 skizziert.

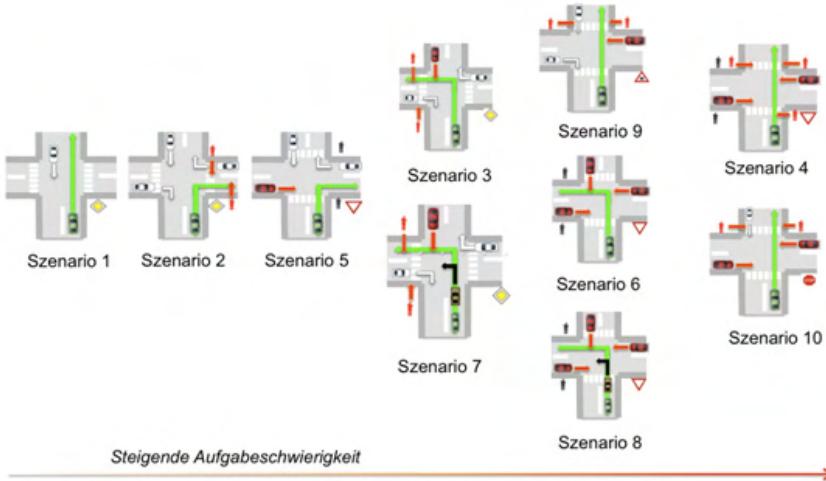


Abb. 2. Übersicht untersuchten Kreuzungsszenarien und Rangierung auf Basis der geschätzten Aufgabenschwierigkeit

Für jedes Kreuzungsszenario wurde eine Aufgabenanalyse durchgeführt. Die Erstellung eines kognitiven Fahrermodells und die Definition eines idealen Fahrverhaltens waren die Grundlagen für diese Analyse.

Das kognitive Modell wurde zusätzlich in einer simulationsfähigen Form spezifiziert (Plavsic, 2010). Generell, kann ideales Fahrverhalten als Verhalten beschrieben werden, welches gesetzlich reguliert ist. Für jede Verkehrssituation gibt es eine Spannweite des korrekten Verhaltens. In Kreuzungssituationen muss der Fahrer viele unabhängige Aufgaben erledigen und dadurch ist die Spanne des idealen Verhaltens verkleinert. Das ermöglicht eine erste Beschreibung des idealen Kreuzungsverhaltens.

Dafür wurde der Kreuzungsbereich in fünf Phasen unterteilt: Annährung, Verzögerung, Durchfahren, Abbiegen und Verlassen der Kreuzung. Für jeden Bereich ist eine regelbasierte Entscheidung nötig. So-wohl die Entscheidungen als auch die Aufgaben und deren Wichtigkeit wurden für jede Kreuzung und jeden Bereich bestimmt. Eine Fehleranalyse ist durch Vergleich zwischen definiertem und tatsächlichem Fahrverhalten durchgeführt. Zusätzlich wurden mittels Blickfassung folgende Werte analysiert: Blickdauer, Blickfrequenz, Zeitanteil und maximale Blickdauer auf 16 vordefinierten Area of Interest (AoI).

### Versuchsbeschreibung

Der Versuch wurde im statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie durchgeführt. An dem Versuch haben 28 Versuchspersonen teilgenommen (vier Personen haben den Versuch wegen Simulatorkrankheit abgebrochen). Das Alter der Versuchspersonen war zwischen 21 und 63 Jahren ( $mi=27$ ,  $SD=8.7$ ) (21 Männer / drei Frauen).

Der Versuch bestand aus zwei Durchläufen: beim zweitem Durchlauf wurde bei den Versuchspersonen Zeitdruck in Form eines Wettbewerbs erzeugt. Das

Verhalten wurde im Simulator aufgenommen und nach jedem Durchlauf waren die Fahrer mit eigenem Verhalten konfrontiert und haben spezifisch gestellte Fragebögen ausgefüllt. Das Blickverhalten wurde dabei durch das Blickerfassungssystem DIKABLIS aufgenommen.

### Ergebnisse

Die Präsenz anderer Verkehrsteilnehmer war der stärkste Performance Shaping Factor (PFS) des visuellen Fahrverhaltens. Wenn mehr als vier Objekte in der Szene anwesend waren, war das visuelle Fahrverhalten fast komplett durch die Objekte in der Szene (bottom-up Prozesse) gesteuert. Dieses Blickverhalten war unabhängig von dem ausgeführten Manöver oder der Vorfahrtsregelung. Die Konsequenz war, dass in komplexen Szenarien, die Blicke in vorfahrtberechtigte Richtungen oft ausgelassen wurden. In Abbildung 3 ist der Unterschied der Blicksequenzen ohne Fremdverkehr und mit Fremdverkehr skizziert.

Im Gegensatz dazu ist das top-down gesteuerte Blickverhalten, welches durch eine aktive Suche charakterisiert ist, von Kreuzungsmerkmalen abhängig. Dabei hatte das Manöver stärkeren Einfluss als die Vorfahrtsregelung.

Nennenswert ist auch die Tatsache, dass meistens die gleichen Versuchspersonen den gleichen Fehlertyp begangen haben, sei es die Fokussierung der Verkehrszeichen, das Auslassen von wichtigen Teilaufgaben oder die typische Anzahl von Blicken in bestimmten Phasen. Das unterstützt die Hypothese, dass ein hoher Anteil der Fehler systematischer Natur ist und deswegen auch verhindert werden könnte.

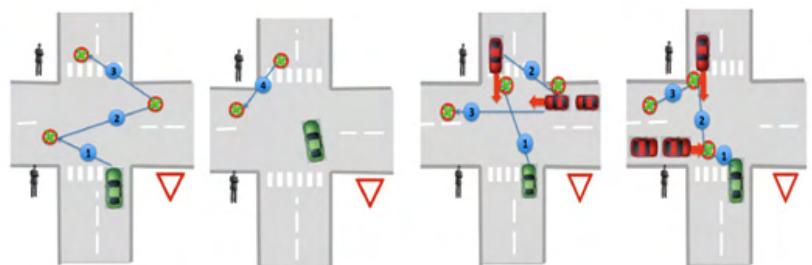


Abb. 3. Typische Blicksequenz in Szenario 6 für (a) Durchfahren und Abbiegen wenn keine andere Verkehrsteilnehmer anwesend sind, (b) Durchfahren mit entgegenkommenden Verkehr und Verkehr von Recht (VP 18), (c) Durchfahren mit entgegenkommenden Verkehr und Verkehr von Recht (VP 20)

Eine erste Beschreibung der wichtigsten Ergebnisse pro Segment wird im Folgenden dargestellt. Detaillierte Ergebnisse sind in (Plavsic, 2010) dargestellt.

**Annäherungsphase.** In der Annäherungsphase fokussieren die Fahrer meistens einen mittleren (1-2s) oder weiten (>2s) Fahrschlauch und in ca. 60% der Fälle war der Fokus nur auf die rechte Seite der Fahrbahn gerichtet. Die wichtigste Aufgaben in Annäherungsphase sind antizipatorische Aufgaben. Dabei hat die Wahrnehmung der Verkehrszeichen und entsprechende Anpassung des Fahrverhaltens die höchste Priorität. Allerdings haben nur ca. 60% der Versuchspersonen das regulative Verkehrszeichen foveal fokussiert, mit Ausnahme des Stopp-Schildes. Der gravierendste Fehler war jedoch die nicht angepasste Geschwindigkeit.

**Verzögerungsphase.** Die Unfälle die sich in der dritten und der vierten Phase ereignet haben, waren meistens schon durch begangene Fehler in der Verzögerungsphase gekennzeichnet. Die Diskrepanz zwischen idealem und tatsächlichem Verhalten war in dieser Phase sehr hoch. Die schwerwiegendsten Fehler waren das Auslassen von Blicken in Richtung schwächerer Verkehrsteilnehmer. Nur 15% der Versuchspersonen haben sich vergewissert dass der vorfahrtspflichtige Fremdverkehr die Vorfahrtsregelung einhält. Der Einfluss von Zeitdruck war in dieser Phase am stärksten, was oft zum Auslassen der wichtigsten Aufgaben geführt hat.

**Abbiege Phase.** Das Blickverhalten in dieser Phase ist, durch die Fokussierung des Punktes charakterisiert, der sich in der Mitte der Fahrbahn (Ankerpunkt) befindet. Die Fokussierung auf diesen Punkt dient der besseren Stabilisierung des Fahrzeugs während des Abbiegemanövers. Die typische Blicksequenz bei Rechtsabbiegen war ein kurzer Blick nach links und dann ein Blick nach rechts. In 40% der Fälle war auch ein Blick in die entgegenkommende Richtung vorhanden. Die typische Blicksequenz beim Linksabbiegen war ein Blick nach links, nach rechts, dann in die entgegenkommende Richtung und dann wieder nach links. Wenn die Probanden Vorfahrt hatten, war der erste Blick nur in ca. 25% Fällen vorhanden. Der Einfluss der anderen Verkehrsteilnehmer war sehr stark in diesem Segment und häufig haben die Fahrer die falschen Blicksequenzen durchgeführt. Dies resultierte oft in einem Übersehen des vorfahrtberechtigten Verkehrs.

**Verlassen der Kreuzung.** Die in diesem Segment begangene Fehler waren nicht so kritisch wie die in den anderen Phasen.

## Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Fahrer am meisten von einem Assistenzsystem profitieren können, welches in der Verzögerungsphase geeignete Unterstützung gibt. Ein einfaches System mit hohem Potenzial würde dem Fahrer eine geeignete Geschwindigkeit bereits in der Verzögerungsphase anzeigen.

Eine andere Unterstützungsmöglichkeit ist die Reduzierung der Belastung durch die Unterstützung in den anspruchvollsten Teilaufgaben. Das sind beispielweise die Kenntnis über die momentane Verkehrsregelung, vor allem in kritischen Momenten und in Situationen

mit einer großen Anzahl von Fremdverkehrsfahrzeugen. Deshalb würde ein Assistenzsystem, welches dem Fahrer in kritischen Momenten die Vorfahrtsregelung anzeigt, den Fahrer deutlich entlasten. Diese Visualisierung könnte z.B. im Head-Up Display erfolgen. Auf diese Weise ist die Priorisierung der relevantesten Informationen für den Fahrer bereits erfolgt.

Damit ist gezeigt dass bereits die im Fahrzeug vorhandenen Sensoren und Karteninformationen die nötigen Informationen liefern können, um die gefährlichsten Fehler bei Fahrmanövern im Kreuzungsbereich zu reduzieren. Solche Systeme fördern die Fahrerkompetenz und haben einen kooperativen Charakter. Die Ausführung der Aktion bleibt dem Fahrer überlassen. Im Vergleich zu vorhandenen Warnungssystemen kann ein solcher Ansatz die Akzeptanz des Nutzers erhöhen und wäre zudem kosteneffizient. Dieses Potenzial soll in weiteren Experimenten untersucht werden.

## Literatur

Benmimoun, A., Chen, J. C., and Suzuki, T. Design and Practical Evaluation of an Intersection Assistant in Real World Tests. In Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium , Istanbul, Turkey, 2007

Fuerstenberg, K. INTERSAFE, Final Report, Project Evaluation and Effectiveness of the Intersection Safety System. Technical report, PReVENT project, 2007.

Klanner, F., Thoma, S., und Winner, H. Fahrverhaltensuntersuchungen und Mensch Maschine-Interaktionskonzepte für die Kreuzungsassistenz, In Tagung: Aktive Sicherheit, München, 2008

Meitinger, K., Heißing, B., und Ehmans, D. Linksabbiegeassistenz–Beispiel für die Top-Down-Entwicklung eines Aktiven Sicherheitssystems. In Tagung: Aktive Sicherheit, München, 2006

Plavsic, M. Analysis and Modeling of Driver Behavior for Assistance Systems at Road Intersections, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, 2010 (in publishing)

Statistisches Bundesamt: Verkehr. Verkehrsunfälle, Wiesbaden, 2008

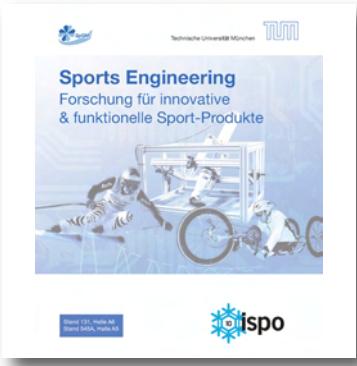
# Internationale Messe-Präsentation der TUM auf der ISPO 2010

Veit Senner

Auch in diesem Jahr – bereits zum achten Mal – war das Fachgebiet „Sportgeräte und –materialien“ auf der im Februar 2010 stattgefundenen ispo München, der größten Sportartikelmesse der Welt, vertreten.

Die traditionell guten Beziehungen zwischen der TUM und der Messe München GmbH sind in einem Kooperationsvertrag festgeschrieben und dieser ermöglicht, nicht nur dem Lehrstuhl für Ergonomie und dem Extraordinariat, sondern auch anderen Einrichtungen der TUM ihre Leistungsfähigkeit im Bereich Sporttechnologie auf einem kostenlosen Messestand zu präsentieren.

In diesem Jahr stand unser Messeauftritt unter dem Leitbegriff „Sports Engineering - Forschung für innovative & funktionelle Sport- Produkte“.



Acht innovative Produkte bzw. Projekte aus unserer und der Arbeit des TUM Lehrstuhls „Industrial Design“ (Prof. Frenkler) waren als Exponate für den Messestand ausgewählt worden. Eine in Deutsch und Englisch verfasste Broschüre half den Messebesuchern, sich über diese Exponate ausführlicher zu informieren.

Die Frage, ob der nicht unerhebliche finanzielle und personelle Aufwand eines solchen Messeauftritts einen unmittelbaren Nutzen hat, ist schwer zu beantworten. Sicher ist jedoch, dass Sporttechnologie heute mehr denn je enorme Herausforderungen an die Entwicklungsabteilungen, das Marketing und den Fachhandel



stellt. Die Kunden werden immer kritischer und sind immer besser informiert. Die Produkte vereinen immer mehr – teilweise sehr komplexe – Funktionen. Verbesserte Materialien oder neue Materialkombinationen drängen auf den Markt.



Um hier das Risiko von teuren Fehlentwicklungen zu vermeiden, kann die Wissenschaft unterstützend zur Seite stehen.

Um dies der Sportartikelbranche bewusst zu machen, anhand konkreter Beispiele zu demonstrieren und die TUM als kompetente Partner anzubieten – diese mittelfristigen Ziele werden durch derartige Messeauftritte vorangetrieben.

Die Fahreigenschaften und das Design der Skimodelle der jeweils neuen Saison beschäftigen das TUM Fachgebiet Sportgeräte und –materialien bereits seit 2005.

Auch in diesem Jahr war unser Team als wissenschaftliche Kontrollinstanz bei Europas größtem Skivergleichstest im schweizerischen St. Moritz präsent. Im Auftrag der Brinkmann Heinrich Medien GmbH, die u.a. auch das bei den Skifahrern bekannte „Skimagazin“ herausbringt, wurden insgesamt 75 Modelle der Saison 2010/11 auf Herz und Nieren getestet, wobei eine über 50 Seiten umfassende, von uns entwickelte Testvorgehensweise akribisch abgearbeitet wird. Ein Notar und die Vertreter der insgesamt 12 am Test beteiligten Skifirmen überwachen das ganze Geschehen, denn schließlich geht es schlussendlich um Verkaufszahlen und Markenimage. Die Ergebnisse des Tests werden in Deutschland der Zeitschrift Skimagazin, aber auch in entsprechend Ski- und Wintersportzeitschriften in Italien, Holland, Tschechien und Polen veröffentlicht.



Bild 1: Skivergleichstest 2010/11 in St. Moritz. Die freiwilligen Skitester, die Vertreter der Skifirmen, das Verlags- und das Testteam umfassen insgesamt weit mehr als 100 Personen.

wertungen auf einer 6-stufigen Ratingskala abgegeben und auch Retests durchgeführt werden.

Nachdem Ski aber nicht nur nach deren Eigenschaften, sondern oft auch „nur“ nach dem Aussehen verkauft werden, entwickelten wir auch eine systematische Vorgehensweise zur Bewertung des Designs. Dabei werden in einer ersten Bewertungsrounde zunächst aus der Gesamtheit die „Top-5“-Modelle ausgewählt. In der zweiten Runde kommt dann ein Verfahren zum Einsatz, welches in der Psychologie mit dem Begriff „Dominanz-Paarvergleich“ bekannt ist. Vorteil dieses Verfahrens: Aus der zunächst einfachen Rangreihung erhält man eine metrisch skalierte Rangreihe, d.h. auch Informationen über die echte Größe der Abstände der Modelle zueinander. Details dieses Verfahrens haben wir in einer englischsprachigen Publikation (Böhm, Krämer, Senner, 2008), beschrieben.

Insgesamt betrachtet ist ein Skitest, durchgeführt nach wissenschaftlichen Kriterien, also durchaus als „Arbeit“ zu bezeichnen. Zweifellos ist es aber eine der angenehmsten und in einer der schönsten Umgebungen.



Bild 2b: Ein Teil der Damen-Testergruppe bei der Designbewertung.

Bild 2a: Die fünf in Bezug auf das Aussehen am besten bewerteten Skimodelle in der Kategorie Performance Medium Turn. Ganz interessant: Die Farbe „weiß“ scheint gut anzukommen, die ursprüngliche Gesamtauswahl umfasste nämlich 11 Modelle ganz unterschiedlicher Farben.

Die insgesamt 82 Lesertester und Skilehrer, die sich als Testfahrer beworben haben, sind allesamt gute bis sehr gute Skifahrer. Sie müssen hohe Anforderungen hinsichtlich körperlicher Fitness und Konzentration erfüllen, denn das tägliche Einfahren und dann zwei Abfahrten à knapp 400 Höhenmeter für jedes zu bewertende Modell summieren sich bei 10 Modellen zu immerhin 8800 HM pro Tag – also einmal vom Mount Everest bis ans Meer.

Damit die Bewertung möglichst objektiv und reliabel ist, sind die Abfahrten in einzelne Sektionen aufgeteilt und an jeder der insgesamt 8 Sektionen sind – abhängig von der zu testenden Skikategorie – bestimmte Fahraufgaben genau vorgegeben. Auch die zu bewertenden Skieigenschaften sind nicht willkürlich, sondern eindeutig festgelegt. So müssen pro Skimodell 10 Be-

## Literatur

Böhm H., Krämer C., Senner V. (2008) Subjective evaluation of sport equipment - deriving preference values from pairwise comparison matrices, The Engineering of Sport 7, Brisson P., Estivalet M., (Eds.), Springer, 2, 127-133.

# SaMSys: Ergonomie und Flugsicherheit

Andreas Haslbeck

Im Forschungsgebiet „Menschliche Zuverlässigkeit“ wird mit SaMSys ein neues Projekt vorgestellt. Hinter dem Kürzel versteckt sich ein Safety Management System zur Verbesserung der Flugsicherheit. Hierbei sollen Pilotenfehler analysiert werden sowie Fehlervermeidungsstrategien entwickelt und überprüft werden.

Der Projektpartner Deutsche Lufthansa ist weltweit als eine sehr sichere Fluglinie bekannt und spricht vor allem auch Kunden in den oberen Preissegmenten an. Im Luftverkehr ist langfristig mit einem global steigenden Aufkommen zu rechnen. Um dabei einen Anstieg von Unfallzahlen zu vermeiden, müssen weitere Sicherheitsverbesserungen die Fehlerwahrscheinlichkeiten in der Luftfahrt weiter reduzieren. Eine grundsätzliche Problematik stellen jedoch die nationalen und internationalen Gesetzgeber dar: während früher vor allem durch Reglementierung der Sicherheitsstandard festgelegt wurde, sind Vorschriften mit der Zeit zurückgedrängt worden. Fluglinien sind seit 2009 durch die europaweite Regelung ICAO DOC 9859 (International Civil Aviation Organization 2009) verpflichtet, ein Safety Management System zu etablieren, welches einen „ausreichenden“ Sicherheitsstandard gewährleistet. Somit wandert die Verantwortung für die Ausgestaltung der Sicherheitskultur vom Gesetzgeber zu den Anbietern im Luftverkehr. Daraus resultiert für Fluglinien ein genereller Handlungsbedarf.

Neben dem Lehrstuhl für Ergonomie sind die weiteren Projektpartner auf der Seite der Luftfahrtexperten der Lehrstuhl für Flugsystemdynamik der TU München und das Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr der TU Berlin. Für die Unterstützung seitens der Informatik und für eine spätere Implementierung sind die Firma Cognidata GmbH und das Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH mit im Konsortium. Schließlich ist das Institut für Strategische Unternehmensführung von Frau Prof. Tuschke an der LMU München für die Kommunikation des Projekts innerhalb des Konsortiums und nach außen verantwortlich. Auftraggeber sind die Lufthansa, Projektträger das DLR. Somit steht diesem für die Sicherheitssteigerung in der Luftfahrt wichtigem Projekt ein sehr interdisziplinäres Team an Forschern zur Verfügung, was eine umfassende Betrachtung der Problematik ermöglicht.



Ziel des Projektes ist die Konzeption und prototypische Umsetzung eines methodischen Ansatzes, welcher die wesentlichen Einflussfaktoren der Flugsicherheit ständig beobachtet und dem Piloten ein Werkzeug an die Hand gibt, diese Risiken zu bewerten und dementsprechend zu handeln. Aus Sicht der Ergonomie stellt die Untersuchung der Risikoquellen, insbesondere des menschlichen Verhaltens in Stresssituationen den wichtigsten Teil der Arbeit dar. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist das Festlegen einer begrenzten Anzahl von Betrachtungsfällen. Aus Unfalls- und Vorfallsstatistiken sowie Expertenaussagen geht hervor, dass Trainertheorie, Wetter und Müdigkeit jeweils einen überproportional starken Einfluss auf die menschliche Leistung von Piloten besitzen. Gefährdungen entstehen hierbei oft, wenn diese Faktoren in Flugphasen zum Tragen kommen, bei denen der Pilot nicht auf die Automation zurückgreifen kann. Dies ist bei Landeanflügen mitunter am häufigsten der Fall.

Daher sind Landungen ein Hauptschwerpunkt der Betrachtung, was auch beispielsweise durch die ICAO Unfallstatistik bestätigt wird: 2008 stand fast die Hälfte der Flugunfälle in Zusammenhang mit der Landung. Der Lehrstuhl für Flugsystemdynamik modelliert hierzu den Nominalprozess eines Flugs mit der Stateflow Methodik. Dieses Verfahren unterstützt das Modellieren und daraus folgende Simulation dieser Abläufe. Anschließend ist es möglich, am statischen Flugsimulator der Flugsystemdynamiker den erstellten Prozess ablaufen zu lassen. Ausgehend vom nominalen Verlauf eines Flugs können nun Ereignisse, welche aus Unfall- und Ereignisberichten entnommen werden, in diesem für eine genauere Betrachtung implementiert werden. Dabei soll der Fokus auf Events liegen, die besonders gehäuft auftreten, als deren vorwiegende Ursache der Pilot identifiziert wurde und welche das Potential für gravierende Folgen aufweisen. Bei der Betrachtung dieser Ereignisse ist dann zu erforschen, wo die Gründe für deren Entstehung liegen.

Für den Umgang mit Fehlern in der Luftfahrt gilt, dass ein einzelner Fehler zu keiner Katastrophe führen darf. Bei Vorfällen (kritische Ereignisse) konnte die Fehlerkette rechtzeitig unterbrochen werden, hier wird von „recovery“ gesprochen. Dagegen konnte ein Abbruch der Fehlerkette bei Unfällen nicht erreicht werden. Es hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass nicht ausschließlich die Bediener von Systemen, in diesem Fall die Piloten, für alle begangenen Fehler zur Verantwortung gezogen werden können. Auch in darüber gelegenen Ebenen ereignen sich Fehler (Reason 1990). Diese Ebenen können beispielsweise das Training einer Fluglinie sein, welches die Piloten für alle Gefah-

rensituationen schulen soll. Wenn hierbei systematisch Gefahrenfälle unberücksichtigt bleiben, spricht man von einem unentdeckten Fehler. Dieser kann sehr lange Zeit verborgen bleiben. Wenn diese seltene Situation jedoch auftritt, sind die Cockpitcrews darauf nicht oder nur unzureichend vorbereitet. Noch weiter darüber liegende Ebenen, beispielsweise die Unternehmensphilosophie sowie die Sicherheitskultur, welche das Management vertritt, können verborgene Mängel aufweisen. Somit sind in einem Luftfahrtunternehmen viele Ebenen vorhanden, in welchen Fehler passieren können. Wenn jedoch ein Flugunfall geschieht, ist der Blick immer zuallererst auf die Piloten gerichtet. Doch anhand dieser wenigen Beispiele für übergeordnete Ebenen zeigt sich, dass ein Ansatz zur Verbesserung der Flugsicherheit immer ganzheitlich angewandt werden muss, um echte Verbesserungen zu realisieren.

In den folgenden Projektschritten beginnt zuerst eine Rekonstruktion der Prozesse, welche zum Durchlaufen der Fehlerkette geführt haben. Anhand dieser wird es möglich sein, die Entstehungsgeschichte eines Top Events soweit zu analysieren, dass klar wird, auf welchen Ebenen zum Fehler beitragende Faktoren vorhanden waren. Aus einer Vielzahl dieser Analysen wird es möglich, Schlüsse über die Auftretenswahrscheinlichkeiten der unterschiedlichen Randbedingungen und Fehler zu ziehen. Darüber hinaus können dann auch Fehlervermeidungsstrategien sowie Fehlerkorrekturen zugewiesen und genauer charakterisiert werden.

In einer zukünftigen Simulatorstudie soll der Aspekt der Trainiertheit und dessen Einfluss auf die fliegerische Leistung von Piloten beim manuellen Fliegen untersucht werden. Eine von Luftfahrtexperten derzeit häufiger geäußerte Befürchtung ist, dass die manuellen Flugfertigkeiten von Piloten nicht mehr ausreichend trainiert werden. Die geplante Simulatorstudie soll zeigen, welchen Einfluss die Trainiertheit auf die fliegerischen Fähigkeiten beim manuellen Fliegen besitzt.

Eine für die Projektergebnisse weitere wichtige Rahmenbedingung muss in diesem Zusammenhang auch genannt werden: Da für die Lufthansa als Auftraggeber

verwertbare Ergebnisse nötig sind, was bedeutet, dass diese direkt anwendbar sein sollen, werden ergonomische Verbesserungsmaßnahmen vor allem organisatorische Prozesse und Abläufe, wie beispielsweise das Training, betreffen. Veränderung am Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle in den Flugzeugen können zwar empfohlen, aber nicht unmittelbar umgesetzt werden.

Eine darüber hinaus sehr wichtige Fragestellung wird sein, welche Versuchspersonen dabei zu verwenden sind. Bei frisch ausgeruhten Piloten ist zu vermuten, dass sie einerseits auf von der Simulation dargestellten Herausforderungen sehr gut reagieren und im Gegenzug selbst aber nur sehr wenige Fehler verursachen. Daher wird es notwendig sein, möglichst Piloten als Probanden einzubinden, welche unausgeruht sind, beispielsweise direkt von einem längeren Flug kommen. Unter diesen Bedingungen ist die Leistungsfähigkeit der Piloten eingeschränkt und ein Auftreten von Fehlern am wahrscheinlichsten.

## Literatur

International Air Transport Association (2009). Safety Report 2008. Issued April 2009 (No. 9049-09). Montréal.

International Civil Aviation Organization (2009). Safety Management Manual (No. Doc 9859). Montréal. Retrieved from [www.icao.int](http://www.icao.int).

Reason, J. (1990). Human error. Cambridge: Cambridge University Press.

Sträter, O. (1997). Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung. Dissertation (Vol. 138). Köln: Gesellschaft für Anlagen- u. Reaktorsicherheit (GRS) mbH.

## eCoMove: Optimales Verkehrsmanagement und Verbrauch

Christoph Rommerskirchen

Im EU Projekt eCoMove kooperieren 32 Partnern unter anderem aus den Bereichen der Automobilindustrie, der Logistik und mit verschiedenen Forschungsinstituten und Universitäten.

Das Ziel dieses Projektes ist einerseits die Entwicklung von Systemen, die den Fahrer bei der Verbrauchsreduzierung im Fahrzeug unterstützen und das Verkehrsmanagement verbessern.

Dies soll erreicht werden durch eine Optimierung der Routenplanung, die positive Änderung des Fahrverhaltens und des Verkehrsflusses.



Der Lehrstuhl für Ergonomie konzentriert sich dabei vor allem auf die Entwicklung und Bewertung von MMI-Systemen im Fahrzeug zur Unterstützung einer vorausschauenden Fahrweise bei hoher Akzeptanz der gegebenen Information durch die Fahrer.

# Bewegungsprädiktion zur Steigerung der Effizienz von Mensch-Roboter-Kooperationen

Dino Bortot

Verschiedene Faktoren wie der demografische Wandel oder auch der wachsende Anteil von Kleinserienproduktionen machen es zunehmend attraktiver, Mensch und Roboter in den kommenden Jahren in der Produktion kooperieren zu lassen. Infolgedessen werden von der Ausführung intelligenter Überwachungsaufgaben durch den Menschen bis hin zu seiner aktiven Teilnahme am Produktionsprozess mehrere Formen der räumlichen und zeitlichen Kooperation von Mensch und Roboter denkbar. Die Einbindung des Menschen erfordert die Beachtung gesetzlich festgelegter Sicherheitsanforderungen.

Da das menschliche Bewegungsverhalten innerhalb solcher Kooperationsformen nicht a priori determinierbar ist, muss das System online auf sich verändernde Randbedingungen flexibel reagieren können. Fehlende trennende Schutzeinrichtungen bergen das Gefahrenpotenzial möglicher Kollisionen von Mensch und Produktionsanlage, die den Werker stark verletzen können.

Mensch-Roboter-Kooperationen (MRK) werden im Laufe ihrer Entwicklung nicht nur an ihrer grundsätzlichen Anwendbarkeit, sondern insbesondere auch an ihrer Effizienz gemessen.

Im Forschungsvorhaben **EsIMiP** (Effiziente und sichere Interaktion von Menschen und intelligenten Produktionsanlagen) wird demzufolge versucht, das menschliche Bewegungsverhalten in einer MRK mithilfe von Bewegungsmodellen vorherzusagen, um so mit durch eine rechtzeitige Neuplanung der Robotertrajektorien Systemausfälle zu vermeiden. Eine deutliche Erhöhung der Systemeffizienz ist das Ziel.

Ein redundanter Aufbau der Steuerungsarchitektur des Gesamtsystems hat demnach folgende Funktionen:

- die Erhöhung der Verfügbarkeit und der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems, realisiert durch eine strategische Automatisierungskomponente, die mithilfe eines Optimierungsalgorithmus unsichere, aber möglichst effiziente Trajektorien berechnet
- die Gewährleistung der Einhaltung aller Sicherheitsbestimmungen durch eine operative Automatisierungskomponente, die mithilfe sicherer Sensoriken die Gesamtsicherheit des Systems garantiert.

# viEMA — vernetzte und informationsbasierte Einlern- und Ausführungsstrategien für autonome Montageabläufe

Uwe Herbst

Bedingt durch höhere Variantenvielfalt auf Grund stärkerer Ausrichtung auf spezifische Kundenwünsche ergeben sich neue Herausforderungen für die Gestaltung von Montageprozessen. Davon sind Kleinserien insbesondere betroffen, da hier die üblichen Automatisierungslösungen auf Grund ihrer niedrigen Flexibilität nicht wirtschaftlich genutzt werden können. Weiterhin sind aber auch rein handarbeitliche Montageansätze unzureichend bei möglichen Stückzahlerhöhungen, da diese dann nur noch wenig praktikabel oder wirtschaftlich sind.

Das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte interdisziplinäre Forschungsprojekt **viEMA** (vernetzte und informationsbasierte Einlern- und Ausführungsstrategien für autonome Montageabläufe), mit den Projektpartnern FZI, Robert Bosch GmbH, ISRA Vision AG und Faude Automatisierungstechnik GmbH, verfolgt für diese geänderten Anforderungen den Ansatz eines skalierbaren, roboter- und sensorgesteuerten Montagekonzepts. Dieses Konzept ermöglicht, im Bedarfsfall einer Stückzahlerhöhung, die vorhandenen handar-

beitlichen Montagearbeitsplätze durch eine flexible Montagezelle zu erweitern und somit die Ausbringung zu erhöhen.

Die Kernaufgaben der Ergonomie zur Erhöhung der Flexibilität dieser Montagezellen sind die Vereinfachung der Programmierung durch die Entwicklung von Einlern- und Ausführungsstrategien sowie die Gestaltung eines optimierten Interaktionskonzepts für den Nutzer. Voraussetzung für ein ergonomisches Programmierungskonzepts ist die Untersuchung des Benutzermodells für den spezifischen Anwendungsbereich, welches im Allgemeinen die Komplexität technischer Vorgänge nicht berücksichtigt.

Aufbauend auf dieser systemergonomischen Analyse des Bedienvorgangs kann eine Auswahl von Interaktions- und Rückmeldetechnologien abgeleitet werden, die dann in weiteren Arbeitsschritten implementiert und validiert werden.

# Herzlich Willkommen am Lehrstuhl für Ergonomie

Werner Zopf

Wir stellen Ihnen hier Kolleginnen und Kollegen vor, die wir als neue Mitarbeiter herzlich begrüßen:



Herr **Dipl.-Ing. Martin Brenner** ist seit Juni 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie. Er absolvierte sein Maschinenbaustudium an der TU München mit den Studienschwerpunkten Ergonomie und Fahrzeugtechnik. Im Rahmen seiner Diplomarbeit beschäftigte er sich mit der „Konzeption, Auslegung und Konstruktion einer Kopffreiheitsvorgabe für Fahzeuginnenräume“. In seiner Tätigkeit am Lehrstuhl beschäftigt sich Herr Brenner intensiv im Bereich der Anthropometrie mit dem Thema der „Nutzergruppenspezifischen Ergonomie im Fahrzeug“ und untersucht dabei die Notwendigkeit einer Berücksichtigung der demographischen Entwicklung bei der ergonomischen Auslegung eines Fahrzeugs.



Herr **Dipl.-Ing. Dino Bortot** ist seit Abschluss seines Studiums „Maschinenbau und Management“ im Juni 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am LfE angestellt. Zu den Inhalten seiner Forschungstätigkeiten gehören vielfältige Themen aus der Produktionsergonomie, schwerpunktmäßig die Analyse und Modellierung menschlicher Bewegungen. Das von ihm bearbeitete Forschungsprojekt Esl-MiP (Effiziente und sichere Interaktion von Menschen und intelligenten Produktionsanlagen) versucht, die Inhalte dieser Forschungen zu nutzen, um Mensch-Roboter-Kooperationen nicht nur sicher, sondern auch effektiv zu gestalten.



Seit Februar 2010 ist **Dipl.-Psych. Armin Eichinger** als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl tätig. Er studierte Psychologie an der Universität Regensburg und Informatik an der Fachhochschule Regensburg. Die inhaltlichen Schwerpunkte seines beruflichen Werdegangs liegen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion und deren systematischer Untersuchung.

Er war tätig als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Allgemeine und Angewandte Psychologie der Universität Regensburg, im Bereich Softwareentwicklung und -ergonomie für die Nigeno AG in Regensburg und zuletzt im Rahmen einer Projektzusammenarbeit mit EADS Military Air Systems in Manching.

Aktuell bearbeitet er in Kooperation mit der Bundesanstalt für Straßenwesen ein Projekt zur Untersuchung von langfristigen Wirkungen von Systemen zur Fahrerzustandserkennung.

Diese Systeme sollen helfen, Aufmerksamkeitsdefizite und Ermüdung des Fahrers zu identifizieren und darauf zu

reagieren: von einfacher Warnung des Operateurs bis hin zum Eingreifen in die Fahraufgabe.

Werden diese Systeme vom Fahrer akzeptiert? Wie wird die Rückmeldung eines solchen Systems in den Fahralltag integriert? Baut der Fahrer im Laufe der Zeit Vertrauen in das Urteilsvermögen des Systems auf? Um Fragestellungen mit einer solch langfristigen Perspektive beantworten zu können, wird ein spezifisches methodisches Vorgehen entwickelt, das sich von typischen Untersuchungen unterscheidet, die nur den Proof of Concept eines Systems im Rahmen klassischer Usability-Studien erbringen sollen.



Herr **Dipl. Ing. (FH) Thomas Grund** ist seit September 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Sportgeräte und -materialien. Er studierte an der FH München Feinwerk- und Mikrotechnik mit Schwerpunkt Medizintechnik. In seiner Diplomarbeit beschäftigte er sich mit dem Aufbau eines 3D mehrkörper-Simulationsmodells in SIMPACK für die Untersuchung der Ruderbewegung. Schwerpunkt seiner Arbeit am FG ist das Forschungsprojekt „Fußballschuh und Knieverletzungen“ in dessen Rahmen untersucht wird, ob und wenn ja welchen Einfluss das Stollendesign der Fußballschuhe auf die Belastungen im vorderen Kreuzband hat. Daneben arbeitet er an Fragestellungen zu Kunstrasen im Fußball und der Charakterisierung des Dämpfungsverhaltens von Laufschuhen.



Herr **Dipl.- Tech. Math. Univ. Maximilian Hainz** ist seit 01.10.2009 als wissenschaftlicher Angestellter am Fachgebiet Sportgeräte und -materialien tätig. Er absolvierte sein Technomathematikstudium mit den Schwerpunkten Medizintechnik und Bildverarbeitung. Im Rahmen seiner Diplomarbeit hat er sich mit Blutfluß-Simulation anhand medizinischer Daten befasst. Am Fachgebiet wird er sich mit der Simulation von Skelettmuskulatur sowie Biomechanikmodellen beschäftigen.



Herr **Dipl.-Ing Franz Höchtl** hat an der TU Maschinenwesen studiert und ist nach seinem Abschluss im März 2009 direkt beim Fachgebiet SpGM geblieben. Er betreut schwerpunktmäßig das BFS-Projekt Betriebfestigkeit von Sportgeräten aus CFK und ist darüber hinaus mit allen Aufgabenstellungen rund um das Thema Radfahren betraut.

**bast**



**Herr Dipl. Sportwiss. (Univ.) Marius Janta** ist seit Oktober 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachgebiets Sportgeräte und -materialen am Lehrstuhl für Ergonomie beschäftigt. Sein Hauptengagement gilt, im Rahmen des Projekts „House of Tests“, der Durchführung von Feldstudien in Zusammenarbeit mit der Sportartikelindustrie. Diese integriert heute verstärkt die Meinungen von Kunden in Ihre Produktentwicklungsprozesse, um so zu Durchbruchsinnovationen und bahnbrechenden Neuentwicklungen zu führen. Innovationsmanagement, Feldstudien, Lead User Workshops, Konzepttests und Netnographie sind hier Schwerpunkte seiner Diplomarbeit sowie der Arbeit am Lehrstuhl. Parallel absolviert Herr Janta das Masterstudium Consumer Affairs an der TU München und strebt eine Dissertation im Bereich der Umwelthergonomie mit dem Fokus auf Klimabewertung und -komfort an.



**Herr Dipl.-Ing. Martin Kohlmann** ist ab dem 1. Juni 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie beschäftigt. Bei seinem Maschinenbaustudium an der TU München setzte er die Schwerpunkte auf Leichtbau und Funktionsstrukturen und systematische Produktentwicklung. Seine Diplomarbeit umfasste die Integration eines Peripheral Detection Task zur Messung der mentalen Beanspruchung in ein Gesamtsystem zur Blick- und Verhaltenserfassung. Bei seiner Tätigkeit am LfE wird sich Herr Kohlmann mit dem Kooperationsprojekt SafeDrive beschäftigen.

#### SafeDrive- Sichere Fahrzeug-Infotainmentsysteme



Im Rahmen des Kooperationsprojektes SafeDrive sollen ein allgemeines, herstellerübergreifendes, mobiles Fahrsimulator-Blickerfassungslabor und die zugehörigen Verfahren entwickelt werden, um zukunftsorientiert eine standardisierte Überprüfung von Infotainmentsystemen nach gültigen Normen und Standards durchzuführen. Dabei steht auch die Entwicklung und Validierung von Methoden zur Absicherung neuartiger erkennerbasierter Interaktionsformen wie Sprach- und Gestensteuerung im Fokus. Die Projektpartner sind der Lehrstuhl für Ergonomie und die Ergoneers GmbH. Die Projektleitung am Lehrstuhl für Ergonomie erfolgt durch den wissenschaftlichen Mitarbeiter Martin Kohlmann.

Das Projekt wurde am 1. März 2010 gestartet und wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) mit dem Kooperationsmodul „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) gefördert.

Seit Dezember 2009 ist **Dipl.-Ing. Florian Kremser** als wissenschaftlicher Mitarbeiter neu an Bord. Aber schon während seines Studiums an der TUM verbrachte er jede Menge Zeit am LfE, so verfasste er eine Semesterarbeit zum Thema „Sichtverdeckung durch A-Säulen“ und seine Diplomarbeit „Entwicklung eines sitzintegrierten Druckmesssystems“ hier.

Seine Aufgaben am Lehrstuhl liegen schwerpunktmäßig im Themenfeld der Anthropometrie. Im Rahmen seiner Promotion wird er sich dann jedoch auch mit kognitiven Prozessen und dem Zusammenspiel von Hand und Auge befassen.



**Frau Dipl.-Phil. Simona Chiritescu-Kretsch** kommt aus Rumänien wo sie 7 Jahre als Gymnasiallehrerin in den Fächern Französisch und Rumänisch unterrichtet hat. Sie war von 1991 bis März 2003 am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre an der TU München tätig. Seit April 2003 arbeitet sie zusammen mit Herrn Professor Senner am FG für Sportgeräte und –materialien und ist hier für alle Aufgaben im Sekretariat zuständig. Zusätzlich befasst sie sich am Lehrstuhl für Ergonomie sowohl mit der Bibliotheks- und Prüfungsverwaltung als auch mit der Erfassung der Lehrstuhlsemesterdaten und -veröffentlichungen.



**Herr Dr. rer. nat. Dipl.-Ing.(FH) Stefan Lehner** ist seit 01.10.2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Sportgeräte- und materialien angestellt. Nach einer Lehre als Feinmechaniker studierte er Medizintechnik an der Fakultät Feinwerk- und Mikrotechnik / Physikalische Technik der Hochschule München.



Anschließend war er 6 Jahre in der Abteilung Biomechanik der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar der TU München und weitere 5 Jahre als geschäftsführender Gesellschafter der Firma BASiS-Angewandte Biomechanik GmbH tätig. Seit 3 Jahren arbeitet er freiberuflich als Consultant in der Medizintechnik sowie als externer Lehrbeauftragter an den Hochschulen München und Deggendorf. Seinen Arbeitsschwerpunkt bildet die Computersimulation mit Mehrkörper-Systemen, die auch Inhalt seiner Dissertation mit dem Thema „Entwicklung und Validierung biomechanischer Computermodelle und deren Einsatz in der Sportwissenschaft“ am Institut für Sportwissenschaft am Fachbereich Mathematik / Naturwissenschaften der Universität Koblenz-Landau war.

**Frau Michaela Nusser, MSc ETH**, ist seit dem 1.12. 2008 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Sportgeräte- und materialien (FG SpGM) angestellt. Sie hat Bewegungswissenschaften und Sport mit dem Schwerpunkt Biomechanik an der ETH



Zürich studiert und absolvierte zusätzlich die Ausbildung zur Biologie- und Sportlehrerin. Am FG SpGM beschäftigt sie sich mit folgenden drei Projekten:

1. Entwicklung und Anwendung eines physikalischen Kniemodells zur Erfassung im Kniegelenk auftretender Lasten unter skitypischen Bedingungen /Verletzungssituationen.
2. Erstellung einer wissenschaftlichen Expertise über Knieverletzungen im Alpinen Skisport im Bezug zum Ski-Bindungs-Schuhkomplex,
3. Testentwicklung und -evaluierung für das HOUSE OF TEST



**Herr Dipl.-Ing. Christoph Rommerskirchen** ist seit 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie beschäftigt. Er absolvierte sein Maschinenbaustudium an der TU München mit den Schwerpunkten Fahrzeugtechnik und Informationstechnik. Im Rahmen seiner Diplomarbeit beschäftigte er sich mit den zeitlichen Anforderungen eines Assistenzsystems zur Unterstützung von vorausschauendem Fahren unter den Gesichtspunkten der Effizienz und der Akzeptanz. Im Rahmen seiner Tätigkeit am LfE wird sich Herr Rommerskirchen schwerpunktmäßig im EU-Projekt eCo-Move einbringen. Es handelt sich hierbei um ein länderübergreifendes Projekt mit 32 Partnern unter anderem aus den Bereichen der Automobilindustrie, der Logistik und mit verschiedenen Forschungsinstituten und Universitäten. Das Ziel dieses Projektes ist einerseits die Entwicklung von Systemen zur Unterstützung des Fahrers zur Verbrauchsreduzierung im Fahrzeug, wie auch eine Verbesserung des Verkehrsmanagements. Dies soll erreicht werden durch eine Optimierung der Routenplanung, des Fahrverhaltens und des Verkehrsflusses. Der Lehrstuhl für Ergonomie konzentriert sich dabei vor allem auf die Entwicklung und Bewertung von MMI-Systemen im Fahrzeug zur Verbrauchsunterstützung des Fahrers.



**Frau Nicole Trübswetter M.A.** ist seit August 2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie. Ihr Studium absolvierte sie an der Universität Regensburg im Fachbereich Informationswissenschaft und Psychologie.

Die inhaltlichen Schwerpunkte ihres beruflichen Werdegangs liegen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion im Kraftfahrzeug. Im Rahmen ihrer Tätigkeit am LfE beschäftigt sich Frau Trübswetter mit der Entwicklung zukünftiger Fahrrassistenzkonzepte unter Berücksichtigung nutzergruppenspezifischer Anforderungen.

**Herr Dipl.-Ing. Andreas Blattner** ist seit dem 14. Juni 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie beschäftigt.



Er studierte Mechatronik und Informationstechnik an der TU München und verfasste bereits seine Diplomarbeit am LfE, in der er sich mit der Entwicklung einer aufgabenorientierten Menüstruktur für Fahrzeuginfotainmentsysteme befasste.

Im Rahmen seiner Promotion setzt er ein INI.TUM-Projekt des LfE fort, bei dem er sich in Kooperation mit der Audi AG mit der Optimierung der MMI-Bedienung beschäftigt, was sowohl die Weiterentwicklung des technischen Konzepts, also des Bedienelements, als auch des Menü-Konzepts beinhaltet.

**Herr Dipl.-Ing. Jurek Breuninger** arbeitet am Lehrstuhl für Ergonomie in Zusammenarbeit mit der Ergoneers GmbH an dem Projekt "Blickgesteuerte Interaktion mit Peripheriegeräten", das vom Bund der Freunde der TU München e.V. mit einem einjährigen Doktorandenstipendium unterstützt wird. Das Projekt startete im Dezember 2009 in direktem Anschluss an seine Diplomarbeit über die Blickerfassungssoftware Dikablis. Er beschäftigte sich bereits während seines Studiums am Lehrstuhl für Ergonomie mit Software-Ergonomie und Usability Engineering.



Seit dem 15.Juli 2010 ist **Dipl.-Ing. Albert Zaindl** als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie angestellt. Durch seine Semesterarbeit „Aufbau eines Mockups mit einer Ein-/Ausstiegssunterstützung für Probandenversuche“ und seine Diplomarbeit „Simulation von Kreuzungskonflikten durch Sichtverdeckungen der A-Säule“ am hat er schon viele Erfahrungen am Lehrstuhl sammeln können. Seine Aufgaben liegen schwerpunktmäßig im DH-Ergo-Projekt.



Für mehrere bewährte Mitarbeiter endete ihre erfolgreiche Zeit am Lehrstuhl und sie konnten sich in Industrie und Wirtschaft neuen Herausforderungen mit den hier erworbenen Fähigkeiten stellen:

**Florian Friesdorf, Christian Lange, Wolfram Remlinger, Christian Rößer, Olaf Sabbah, Marcus Schneid, Roland Spies, Benedikt Strasser, Martin Wohlfarter.**

Für ihre persönliche und berufliche Zukunft wünschen wir allen viel Erfolg!

## Veröffentlichungen 2009 bis 2010

Bruder, R.; Flemisch, F.; Hakuli, S.; Löper, Ch.; Rausch, H.; Winner, H. (2009): **Kooperative Automation**. In: Winner u.a. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Vieweg+Teubner, Wiesbaden

Bubb, H. und Spanner-Ulmer, B.: **Ergonomics & Design**. In Schlick, M. (Hrsg.): Industrial Engineering and Ergonomics, Visions, Concepts, Methods and Tools. Festschrift in Honour of Professor Holger Luczak, Springer, Berlin Heidelberg, 2009

Bubb, H.: **Menschmodelle (digital)**. In Landau, K. und Pressel, G.: Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen, Definitionen – Vorkommen - Arbeitsschutz. p. 674 – 677. Gentner Verlag, Stuttgart, 2009.

Damböck, D.; Kienle, M.; Flemisch, F.O.; Kelsch, J.; Heesen, M.; Schieben, A.; Bengler, K.: **Vom assistierten zum hochautomatisierten Fahren**. In: VDI-Tagung Fahrer im 21. Jahrhundert, Braunschweig, 2009.

Engstler, F.; Bandouch, J.; Bubb, H. (2009): **MeMoMan - model based markerless capturing of human motion**. In: International Ergonomics Association (IEA) (Hg.): 17th World Congress on Ergonomics IEA 2009, Beijing, China.

Engstler, F.; Bubb, H. (2009): **Generation of Percentile Values for Human Joint Torque Characteristics**. In: Vincent G. Duffy (Hg.): Digital Human Modeling: Springer Verlag (Lecture Notes in Computer Science), Bd. 5620, S. 95-104.

Engstler, F.; Sabbah, O.; Cengiz, T. G.; Bubb, H. (2009): **Statistical Approach to a Model-based Anthropometry Description**. In: SAE (Hg.): Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference and Exhibition, June 2009, Gothenburg, SWEDE.

Flemisch, F. O.; Damböck, D.; Schindler, J.; Kelsch, J.; Schieben, A.; Löper, C.; Heesen, M.; Dittrich, J.; Adolf, F.; Lorenz, S.; Casey, J.; Kienle, M.; Bengler, K.: **Kooperative Führung hochautomatisierter Boden- u. Luftfahrzeuge am Beispiel H-Mode Luft / Boden**. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, Braunschweig, 2009.

Friesdorf , F; Plavšić, M.; Bubb, H.: **An Integral System-Ergonomic Approach for IT-based Process Management in Complex Work Environments by Example of Manufacturing and Health Care. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, Volume 19, Issue 1, 78-98, 2009

Friesdorf, F.; Pangercic, D.; Bubb, H.; Beetz, M.: **Mutually Augmented Cognition**. In: Kim, J.-H.; Ge, S.S.; Vadakkepat, P.; Jesse, A.; Al Manum, A.; Puthusserapady, S.K.; Rückert, U.; Wirkowski, U.; Nakatsu, R.; Braunl, T.; Baltes,J.; Wong, Ch.; Verner, I.; Ahlgren, D. (Eds.): Progress in Robotics. Communications in Computer and Information Science, Vol 44. Springer Verlag, Heidelberg, 2009, pp. 152-161

Horna, G., Oel, P., Spies, R.; Bubb, H.: **Untersuchung des Nutzerverhaltens bei Bedienschwierigkeiten während der Interaktion mit einem fahrzeugbasierten Infotainmentsystem**. In: Lichtenstein, A., Stössel, Ch., Clemens, C. (Hrsg.): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22 (29), S. 62-67, VDI-Verlag, Düsseldorf (2009)

Jastrzebska-Fraczek; I., Schmidtke, H. (2009): Verbesserung der Akzeptanz und Anwendung von Ergonomienormen; DIN - ERGONOMIE (nicht veröffentlicht)

Kienle, M., Damböck, D., Kelsch, J., Flemisch, F., Bengler, K.: **Towards an H-Mode for highly automated vehicles: Driving with side sticks**; In: Automotive User Interfaces and Interactive Vezicular Applications, Tagung am 21. u. 22.09.2009 in Essen

Lange C.: **Blickgesteuerte Interaktion mit Peripheriegeräten**; Buchbeitrag in Mensch & Technik, Maßbuse-Verlag, Kasseler Str. 1a, 60486 Frankfurt am Main, 2009

Lange C.; Bubb H.: **Normgerechte Durchführung von Blickerfassungsexperimenten nach ISO/TS 15007-2:2001**, In: Proceedings GfA Gesellschaft für Arbeitswissenschaften Kongress, Dortmund 2009

Lange C.; Wohlfarter M.; Bubb H.: **Automated Analysis of Eye-Tracking data for the Evaluation of Driver Information Systems according to ISO/TS 15007-2:2001**; In: Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction, San Diego 2009

Lange C.; Wohlfarter M.; Bubb H.: **Performance and automated data analysis of Eye-Tracking experiments according to ISO/TS 15007-2:2001**. In: Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics of the International Ergonomics Association (IEA), Beijing 2009

Nestler, S., Popiv, D., Rakic, M., and Klinker, G. (2009). **Concept for visualizing concealed objects to improve the driver's anticipation**. Proc. 17th World Congress on Ergonomics IEA, Beijing, China, August 2009.

Plavšić, M. ; Duschl, M. ; Tönnis, M.; Bubb, H.; Klinker, G.: **Ergonomic Design and Evaluation of Augmented Reality Based Cautionary Warnings for Driving Assistance in Urban Environments**, The 17th World Congress on Ergonomics (International Ergonomics Association, IEA), Beijing, China, Aug. 9 - 14, 2009

Popiv, D.; Rakic, M.; Bengler, K.; Bubb, H. (2009). **Bewertung der Antizipationsleistung des Fahrers bei Annäherungs- und Spurwechselvorgängen auf der Autobahn**. Proc. 1. Automobiltechnisches Kolloquium, München-Garching, Deutschland, April 2009. **39**

Popiv, D.; Rakic, M.; Nestler, S.; Bengler, K.; Bubb, H. (2009). **Timing concept for assistance of anticipatory driving**. Proc. 17th World Congress on Ergonomics IEA, Beijing, China, August 2009.

Rausch, H.: **Technik in allgemeinbildenden Schulen – Lehrerfortbildung in der Fakultät Maschinenwesen.** Im Tagungsband des 100. MNU Kongress 5.-9. April 2009, Regensburg

Remlinger, W.; Bubb, H.; Wirsching, H.-J. (2009): **Analyse der Fahrersicht mit RAMSIS kognitiv.** In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hg.): 5. VDI-Tagung "Der Fahrer im 21. Jahrhundert". Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. 4. und 5. November 2009, DLR Braunschweig. Düsseldorf: VDI-Verlag .

Remlinger, W.; Bubb, H.; Wirsching, H.-J. (2009): **Sight Analysis with 'RAMSIS Cognitive': Step II.** In: SAE (Hg.): Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference and Exhibition, June 2009, Gothenburg, SWEDE

Sabbah, O.; Zaindl, A.; Bubb H.: **Design of a Mock-up for Supported Ingress/Egress Using a DHM;** 12th SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference, SAE Paper No. 09DHM-0025, Göteborg 2009\*

Sabbah, O.; Zaindl, A.; Fischer, M.; Lüth, T.; Bubb H.: **Test of a Device for a Supported Ingress/Egress;** Proceeding at 17th World Congress on Ergonomics IEA, Beijing/China 2009

Scharfenberger, C.; Daniliidis, C.; Fischer, M.; Hellenbrand, D.; Richter, C.; Sabbah, O.; Strolz, M.; Kuhl, P.; Färber, G.: **Multidisziplinäre Entwicklung von neuen Türkonzepten als ein Teil einer ergonomisch optimierten Ein-/Ausstiegsunterstützung;** in VDI-OEM Forum Fahrzeutüren und Klappen, Sindelfingen 2009

Schmidtke, H., Stand und Trend, **Technischer Fortschritt im Spiegel der Ethik,** In: Geisler, Beyerer (Hrsg.), Mensch-Maschine-System, Wissenschaftliches Kolloquium, Fraunhofer IITB, Scientific Publishing, Band 3, 2009, S. 9-13.

Spies, R.; Bubb, H.: **Infotainmentinteraktion der Zukunft - Touchpad mit adaptiv haptisch erfühlbarer Oberfläche.** In: VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.): Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. VDI-Berichte 2085, S. 247-258, VDI-Verlag, Düsseldorf (2009)

Spies, R.; Ablaßmeier, M.; Hamberger, W.; Bubb, H.: **Augmented interaction and visualization in the automotive domain.** In: J.A. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part III, LNCS 5612, pp.211-220, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009)

Spies, R.; Blattner, A.; Horna, G.; Bubb, H.; Hamberger, W.: **Entwicklung einer aufgabenorientierten Menüstruktur zur Infotainmentbedienung während der Fahrt.** In: Lichtenstein, A., Stössel, Ch., Clemens, C. (Hrsg.): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22 (29), S. 411-416, VDI-Verlag, Düsseldorf (2009)

Spies, R.; Peters, A.; Toussaint, C.; Bubb, H. (2009): **Touchpad mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche zur Fahrzeuginfotainmentbedienung.** In: Brau, H., Diefenbach, S., Hassenzahl, M., Kohler, K., Koller, F., Peissner, M., Petrovic, K., Thielsch, M., Ullrich, D. & Zimmermann, D. (Hrsg.). Usability Professionals 2009. Fraunhofer Verlag, Stuttgart

Strasser, B.; Bock, Th.; Siedersberger, K.-H.; Maurer, M.; Bubb, H. (2009): **Vernetzung von Test- und Simulationsmethoden für Fahrerassistenzsysteme.** In: VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (Hg.): Technische Zuverlässigkeit 2009. Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte. Tagung Leonberg, 29. und 30. April 2009. Düsseldorf: VDI-Verlag (VDI-Berichte Nr. 2065), S. 341-346.

Tönnis, M. ; Plavšic, M.; Klinker, G.: **Survey and Classification of Head-Up Display Presentation Principles,** The 17th World Congress on Ergonomics (International Ergonomics Association, IEA), Beijing, China, Aug. 9 - 14, 2009

Fabian Günzkofer; Florian Engster; Heiner Bubb; Klaus Bengler: **Ein methodenbasierter Ansatz zur Messung von Gelenkmomenten;** in: GfA (noch nicht erschienen)

Rühmann, H.-P. und Bubb, H.: **Grundsätze ergonomischer Arbeitsplatz- und Betriebsmittelgestaltung.** In: Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie III, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Band 1, Kleinbeck, U. & Schmidt, K.-H. (Hrsg.): Arbeitspsychologie. Hogrefe, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle, 2010

Popiv, D., Rakic, M., Bengler, K., and Bubb, H.: **Ein Zeitkonzept für die Unterstützung vorausschauenden Fahrens.** Proc. 56th GfA (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft) - Frühjahrskongress 2010, Darmstadt, Germany, March 2010

Popiv, D., Rommerskirchen, C., Rakic, M., Duschl, M., and Bengler, K.: **Effects of assistance of anticipatory driving on driver's behaviour during deceleration situations.** Proc. 2nd European Conference on Human Centred Design of Intelligent Transport Systems (HUMANIST), Berlin, Germany, April 2010

Plavšic, M., Klinker, G., Bubb, H.: **Situation Awareness Assessment in Critical Driving Situations at Intersections by Task and Human Error Analyses.** In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, Volume 20, Issue 3., Warwowski, W. and Salvendy, G. (Ed), May/June 2010

Popova, Severina; Bortot, Dino; Jastrzebska-Fraczek, Iwona; Bengler, Klaus: **Auslegung von Arbeitsplätzen für Tunnelüberwachungsanlagen und Verkehrsleitzentralen.** In: 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft GfA "Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten", S. 269-272, GfA-Press, Dortmund, März 2010

# Aktuelle Forschung am Fachgebiet Sportgeräte- und Materialien

Prof. Dr.-Ing. Dipl. Sportl. Veit Senner



## Zum vorliegenden Artikel

Eine vollständige Aufstellung aller derzeit laufenden Forschungsprojekte am Fachgebiet SpGM würde den Umfang dieses Artikels überschreiten und seine Lesbarkeit gefährden. Das Nachfolgende stellt daher lediglich eine Auswahl dar, um Ihnen einen Einblick in Kernbereiche unserer Forschung zu geben.

Folgende Auswahl haben wir für Sie getroffen:

- I. Betriebsfestigkeit für Bauteile aus CFK im Fahrradbau,
- II. Biomechanische Muskel- und Skelettmodellierung,
- III. Entwicklung mechatronischer Skibindungen,
- IV. Bekleidungsphysiologie – Wirkung von Sportbekleidung.

Darüber hinaus wird der Artikel im abschließenden Abschnitt V einen Ausblick geben, mit welchen weiteren Forschungsthemen sich das Fachgebiet SpGM zukünftig beschäftigen wird.

## I. Betriebsfestigkeit im Fahrradbau

### Ausgangssituation und Forschungsproblem

Dieses in unserem Radsportlabor am TUM Campus Olympiapark laufende 3-Jahres-Projekt wird von der Bayerischen Forschungstiftung gefördert und läuft bis Ende 2012. Im Fokus stehen Carbonfaserverbundwerkstoffe (CFK), die ihr Potential im Sportgerätebau in den letzten Jahren eindrucksvoll bewiesen haben und die in vielen Disziplinen heute nicht mehr wegzudenken sind. Die Entwicklung von Produkten aus CFK erfordert jedoch einen gesteigerten Aufwand im Vergleich zu Produkten aus metallischen Werkstoffen. Die Anisotropie von CFK und das andersartige Verhalten gegenüber Umwelteinflüssen (z.B. bei Steinschlägen) stellen neue Anforderungen an die Entwickler, bei denen die bisher angewandten Methoden und Konstruktionswerkzeuge an ihre Grenzen stoßen. Insbesondere stellt die betriebsfeste Auslegung im Zusammenhang mit der Forderung nach hoher Steifigkeit und niedrigem Gewicht eine besondere Herausforderung dar.

### Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung von Methoden, die eine betriebssichere Konstruktion bzw. Nutzung diverser Sportgeräte gewährleisten können. Es werden daher sowohl Methoden zur robusten Auslegung von Hochleistungsstrukturen bzgl. Ermüdungserscheinungen, als auch zerstörungsfreie Verfahren zur Charakterisierung auftretender Schädigungen entwickelt. Gleichzeitig sollen Impactschäden genauer untersucht

und Möglichkeiten zur Reduzierung dieser Schäden gefunden werden.

### Durchführung

Versuche an Probenkörpern und Teilstrukturen geben Aufschluss über das Materialverhalten von CFK. Die relevanten Parameter zur Charakterisierung von Ermüdungserscheinungen und Impactschäden werden herausgearbeitet und in Berechnungsmodelle übertragen. Bestehende Methoden zur zerstörungsfreien Prüfung und Bewertung werden auf ihre Anwendbarkeit für die spezifischen Bedingungen dünnwandiger Rohrkörper analysiert und ggf. durch neue Verfahren ergänzt. Als Untersuchungsobjekt wird eine Fahrradrahmenstruktur aus CFK herangezogen, die als Beispiel für gegenwärtige Hochleistungsstrukturen im Sportbereich dient.

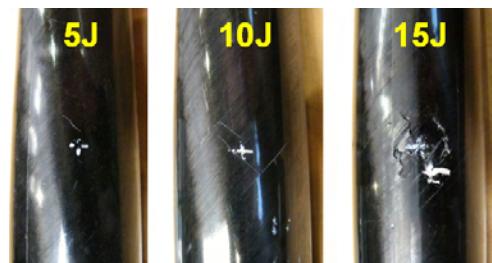


Bild: Visuelle Inspektion durch Impact geschädigter CFK Unterrohrstrukturen

## II. Biomechanische Muskel- und Skelettmodellierung

Die Modellierung von und Simulation mit Mehrkörper-systemen (MKS) unter Verwendung möglichst genauer anatomischer Teilmodelle wird am Fachgebiet weiterhin intensiv betrieben. Für spezifische Fragestellungen entstehen unter Verwendung des Programmpakets SIMPACK detaillierte Modelle der betroffenen Körperregionen.

Um die Realitätsnähe eines Modells und die Zuverlässigkeit der damit erstellten Berechnungen und Aussagen zu gewährleisten, werden die einzelnen Modelle nach Möglichkeit validiert und verifiziert. Die Überprüfung der Modelle, sowohl der isolierten Kraftelemente zur Beschreibung des Materialverhaltens biologischer Strukturen als auch komplexer Modelle einzelner Gelenke oder Körperabschnitte, erfolgt mit Hilfe von *in vitro* Untersuchungen. Zur genauen Kontrolle der mit den MKS-Modellen erzeugten Bewegungen werden Vergleiche mit realen Bewegungen von Versuchspersonen über die Auswertung von Bewegungsanalysen durchgeführt. Auch dynamometrische Messverfahren (Druckverteilung und Kraft) sowie die Elektromyographie (EMG) dienen zur Verifizierung entstandener Teil (Modelle).

Mit der Modellierung erhält man somit ein Instrument, welches unter variierenden Bedingungen bei der Bewegungsausführung zuverlässige Aussagen über die

in den biologischen Strukturen auftretenden Belastungen ermöglicht. Zudem stellt die MKS-Modellierung eine sinnvolle Ergänzung zu der Entwicklung eines modernen digitalen Menschmodells im Projekt DHErgo dar.

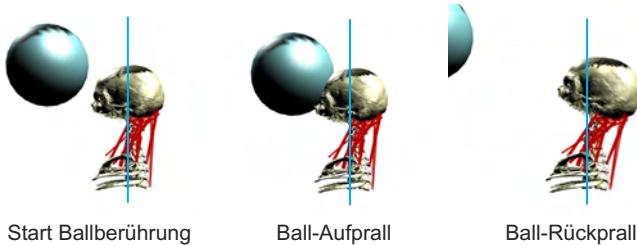
Inzwischen verfügt der Lehrstuhl über eine Netzwerk-installation des Programm Pakets SIMPACK, was nun auch Studenten im Rahmen von Semester-, Bachelor- und Masterarbeiten ermöglicht, an Mehrkörpersystemen zu arbeiten.

Zwei aktuelle Anwendungsbeispiele unserer MKS-Modelle, einmal im Bereich des Sports und zum anderen in der Orthopädie, basieren auf Modellen der Hals- sowie der Lendenwirbelsäule (Lehner, 2008).

Sie sind nachfolgend kurz beschrieben.

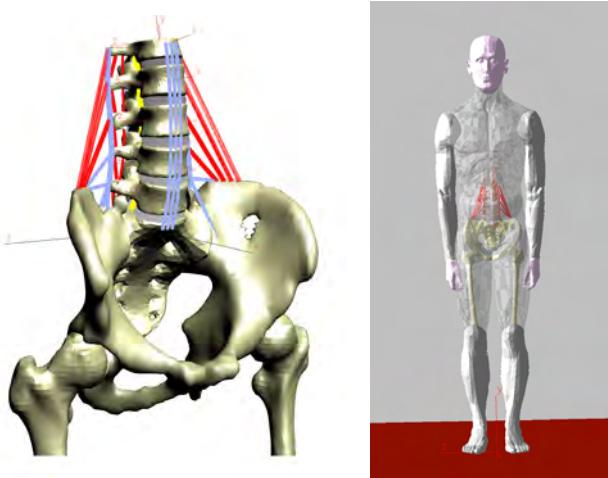
#### *Einfluss eines Kopfschutzes zur Reduzierung der Kopf- bzw. Gehirnbelastung*

Mit dem MKS-Modell Kopf-Halswirbelsäule wurde das Risiko von Kopfverletzungen bei Kopfballsituationen im Fußball unter Verwendung eines kommerziell erhältlichen Kopfschutzes durchgeführt. Dabei konnte mit den untersuchten Ballgeschwindigkeiten keine deutliche Reduzierung des Verletzungsrisikos bei Kopf-Ball-Kontakt durch Verwendung des Kopfschutzes ermittelt werden (Lehner, Wallrapp, Senner, 2010).



#### *Einfluss der Dicke von operativ veränderten Wirbelkörpern auf die in der Zwischenwirbelscheibe entstehenden Kompressionskräfte*

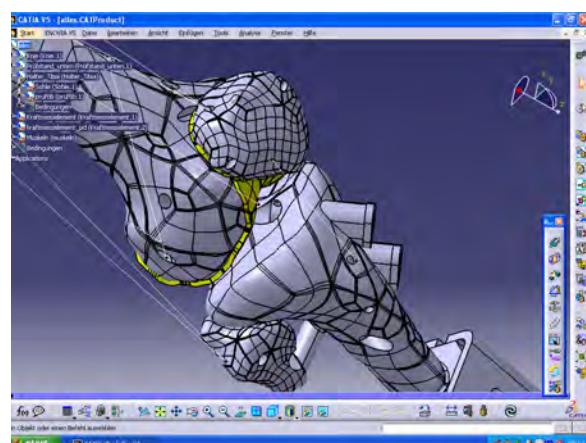
Mit der abgeschlossenen Entwicklung des MKS-Modells der Lendenwirbelsäule sind nun detaillierte Einblicke in Statik und Dynamik der Wirbelsäule und die entstehenden Lasten z.B. zwischen Wirbelkörpern der dazwischen liegenden Bandscheibe möglich. So wurde das Modell u.a. eingesetzt, um eine bestimmte Operationstechnik, die sogenannte Kyphoplastie (ein Ballon wird in den defekten Wirbelkörper eingebracht und anschließend Knochenzement injiziert) hinsichtlich ihrer Wirkung auf die umliegenden Weichteilstrukturen genauer zu untersuchen.



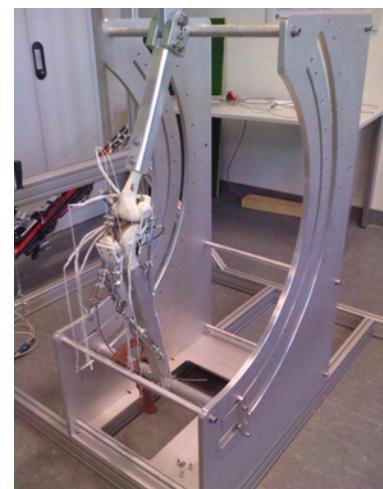
So konnten die Effekte unterschiedlicher Wirbelkörperhöhen auf die resultierende Kompressionskraft in der Zwischenwirbelscheiben und das Dehnungsverhalten der unmittelbar angrenzenden ligamentären Strukturen simuliert werden (Lehner und Bader, 2010).

### **III. Entwicklung mechatronischer Skibindungen**

Obwohl bereits in den frühen Siebzigerjahren die ersten Patentschriften zu elektronischen Skibindungen aufgetaucht sind, gibt es bis heute noch keine derartigen Konzepte auf dem Markt. Angesichts dieser Tatsache und vor dem Hintergrund der rasanten Fortschritte der Technik fragen sich die Skisportler in aller Welt, warum es den Ingenieuren bisher noch nicht gelungen ist, eine Skibindung zu entwickeln, welche in allen kritischen Sturzsituationen das Bein freigibt und damit Verletzungen und insbesondere Verletzungen des Knies vermeidet.



Um dieser Frage nachzugehen hat die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfU) die Erstellung einer Expertise ausgeschrieben. Das Fachgebiet SpGM hat sich unter den Mitbewerbern durchgesetzt und den Zuschlag für diese Standortbestimmung erhalten. Hinter dem Titel *Kniegelenksverletzungen beim alpinen Skifahren im Zusammenhang mit der Präventionswirkung des Schuh-Bindung-Ski-Komplexes* steht die Aufgabe, den Forschungsstand zu den ursächlichen Verletzungsmechanismen zu erheben und diesen in Zusammenhang mit den vorhanden technischen Lösungen, möglichen Lösungsansätzen und der aktuellen Patentsituation zu bringen. Das Projekt läuft noch bis Ende Juli 2010 und bereitet eine internationale Expertenrunde zur Diskussion sinnvoller Maßnahmen vor.



Der bisherige Forschungsstand zum Thema Knieverletzungen im alpinen Skisport hat eines aber bereits deutlich gemacht: die aktuellen rein mechanischen Bindungskonzepte können konstruktionsbedingt – ob-

wohl technisch ausgereift – keinen Schutz für das Kniegelenk bieten. Der Grund ist, dass es Fahr- und Sturzsituationen gibt, bei denen hohe Lasten auf die Bandstrukturen des Gelenkes einwirken, obwohl an der Bindung nur Kräfte und Momente deutlich unter den Bindungsauslösewerten auftreten. Letztere aber einfach abzusenken ist nicht möglich, weil damit das Risiko für Fehlauslösungen (unerwünschte Auslösungen) beim Fahren ansteigt. Daraus leitet sich ab, dass zusätzliche Kriterien gefunden werden müssen, die für eine Auslöseentscheidung herangezogen werden können. Bereits diese Formulierung legt ein mechatronisches Bindungskonzept nahe.

Um die für eine solche Bindung sinnvollen Auslösealgorithmen zu finden und etwaige Bindungskonzepte dann systematisch evaluieren zu können, entsteht am Fachgebiet SpGM ein physikalisches Kniestammmodell mit einer zugehörigen Lastsimulation (Kniestamm).

Die mit Hilfe von Stereolithographie aus vorhandenen Computer-Tomographie (CT) Daten gefertigten knöchernen Strukturen des Kniegelenks sind durch künstliche Bänder (die auch beim Menschen eingesetzt werden) verbunden. Sensoren am Ansatz des „Vorderen Kreuzbandes“ und des „Medialen Seitenbandes“ registrieren die Zugkräfte im Band. Damit das Knie in eine realistische Verspannung durch Muskeln gebracht werden kann, entsteht derzeit die mechanische Nachbildung der wichtigsten, das Knie umfassenden Muskeln. Um auch die Wirkung von sogenannten Knieorthesen untersuchen zu können (sie werden häufig nach Knieoperationen verschrieben, um schädliche Bewegungen des Kniegelenks in der Rehabilitationsphase zu verhindern), soll das gesamte physikalische Modell schließlich in einen Weichteilmantel gebettet werden.

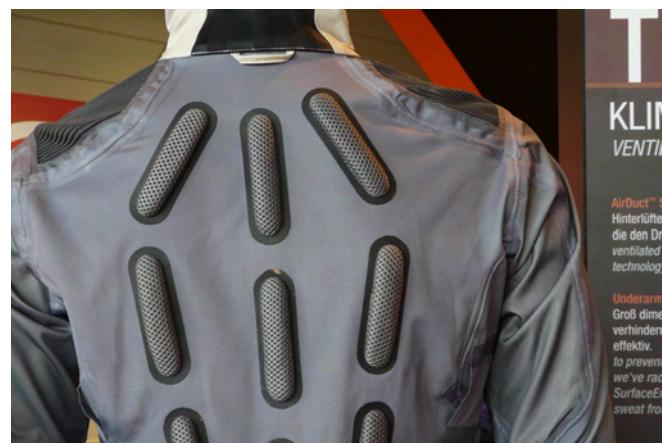
Dieses Forschungsprojekt ist längerfristig angelegt und steht in auch in Zusammenhang mit einem vom Internationalen Skiverband (FIS) initiierten und am Oslo Trauma Research Center (OSTRC) laufenden Forschungsprojekt mit dem Titel *Injury Surveillance System*.

#### **IV. Bekleidungsphysiologie – Wirkung von Sportbekleidung**

##### **Expertise über High-Tech-Textilien zur Trainings- und Wettkampfunterstützung im Leistungssport**

High-Tech – Textilien haben seit einiger Zeit Einzug gehalten im Spitzensport und dieser Sammelbegriff steht u.a. für Kompressionstextilien, Smart Textiles und Wearable Electronics<sup>1</sup>. Sie sollen den Athleten in der Ausübung seiner sportlichen Tätigkeit optimal unterstützen und im Idealfall zu besserer Leistung verhelfen.

Das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) hat an das Fachgebiet SpGM den Auftrag für die Erstellung einer Expertise gegeben, um den derzeitigen Stand und Innovationsgrad der erhältlichen High-Tech-Textilien aufzuzeigen. Hierzu wurden eine eingehende Literaturrecherche und Marktanalyse betrieben, sowie eine Online-Umfrage mit Spitzensportlern (n = 34) und deren Betreuungsstab (n = 26) durchgeführt. Eine dritte Befragung von Experten (n = 7) der Sporttextilin-



dustrie ergänzte die Bestandsaufnahme. Aus den zusammengetragenen Fakten zu den unterschiedlichen Technologien erfolgte dann eine Klassifizierung und Bewertung (i) hinsichtlich des Innovationsgrades, (ii) des Ausmaßes erwarteter Leistungssteigerung und (iii) dem Vorhandensein wissenschaftlicher Absicherung der mit der Technologie verbundenen Aussagen. Die wesentlichen Inhalte der Studie sind bei Nusser und Senner (2010) publiziert.

Es hat sich gezeigt, dass die Wirkung von Kompressionsmaterialien hinsichtlich physiologischer und biomechanischer Leistungssteigerung nach wie vor umstritten ist. Aus diesem Grunde sollten in diesem Bereich weitere Forschungsarbeiten angestrebt werden. Hierbei ist vor allem zu beantworten, zu welchem Zeitpunkt (vor, während oder nach der sportlichen Aktivität) und bei welcher körperlichen Belastung (Ausdauer, Kraft, Schnellkraft, Koordination) Kompressionstextilien zu empfehlen sind. Bei der Versuchsplanung entsprechender Studien muss penibel darauf geachtet werden, dass die Limitierungen der bis dato durchgeführten Studien (zu wenig Kontrolle der Störvariablen, zu kleine Stichproben, keine Kontrollgruppen, keine Placebo-Produkte u.v.m.) beseitigt werden.

Die leistungssteigernde Wirkung von Smart-Textiles ist bislang hauptsächlich in der Optimierung thermophysiological Prozesse der Athleten begründet. Seit den 80er Jahren wurden hierzu aber kaum noch Studien durchgeführt und in Anbetracht der rasanten Materialentwicklung sind diese Studien inzwischen überholt. Die Materialien wurden oftmals nur in den Laboren als Textilprobe untersucht. Da jedoch der aktive, Wärme und Feuchtigkeit produzierende Sportler im Mittelpunkt steht, ist es unumgänglich, die neuen Funktionsmaterialien systematisch über Probandenstudien im Feld und im Labor zu bewerten.

Im Bereich der Verletzungsprävention und der biomechanischen Unterstützung durch Smart Textiles und Wearables sind ebenfalls sinnvolle Ansätze zu erkennen. Obwohl das Forschungspotential in diesem Bereich hoch ist, existieren noch kaum veröffentlichte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten über deren Einsatz im (Leistungs)Sport. Die Pionierarbeiten zur Nutzung von Wearables im Gesundheitssektor und Ar-

##### **Wearable Electronics**

<sup>1</sup> Dieser Begriff steht für Bekleidung, in welche elektronische Komponenten integriert sind (bis hin zu elektrischen Leitungen, die in das Textilgewebe eingewoben sind). Für diese Produkte hat sich auch der Begriff „Wearables“ eingebürgert.

beitsschutz sind dagegen schon geleistet. Die Ergebnisse und Erfahrungen aus diesen Bereichen können teilweise in den Bereich der Sporttextilien übertragen werden. Die vorhandenen technischen Errungenschaften müssen aber derart modifiziert werden, dass sie für den Sportler anwendbar sind (Ergonomie). Extern getragene elektronische Systeme sollten durch textilintegrierte elektronische Baugruppen ersetzt werden. Ein mögliches Einsatzgebiet für die Wearable Technologies im Sport ist z.B. in der Bewegungsdiagnostik. Durch ein geeignetes System könnte die Individualtechnik verbessert und Verletzungen vorgebeugt werden. Weitere Möglichkeiten bestünden in der Entwicklung intelligenter Protektoren.



## V. Die weitere strategische Ausrichtung unserer Forschung

Muskeln berühren sich untereinander und den Knochen und sie verändern beim Kontraktionsvorgang oder bei Änderungen des Gelenkwinkels ihre Form. Weil also u.a. geometrische Randbedingungen vorliegen, ist die aktuelle Muskelkette nicht einfach die Entfernung zwischen Ansatz und Ursprung und die klassischen Ansätze (z.B. Hill-Modell und Verwendung von Kraft-Lägen-Kennlinien) stoßen an ihre Grenzen. Aus diesem Grund arbeiten wir an der Entwicklung von FE-Modellen des Muskels, mit dem Ziel, dessen Kontraktionsverhalten und Rückwirkung auf das Skelett im Mehrkörpersystem realistischer als bisher abbilden zu können. Gleichzeitig dürften sich aus den Simulationen dann auch genauere Aussagen über den Energieverbrauch menschlicher Bewegungen ableiten und damit Optimierungsrechnungen durchführen lassen. Der Frage nach dem „energetisch optimierten“ oder „minimal gelenkbela stenden“ Bewegungsablauf für bestimmte Verrichtungen sollten wir damit deutlich näher kommen.

### Ausweitung in die Arbeitswissenschaft und in die Robotik

Nach mehr als 15 Jahren in der Entwicklung von Muskel-Skelettmodellierung mit den Anwendungsfeldern Sport und Orthopädie möchten wir unsere Erkenntnisse nun auch zunehmend für die Optimierung von Arbeitsplätzen bzw. Arbeitsvorgängen, sowie für die Entwicklung leistungsfähigerer Roboter einbringen. Zu Letzterem gehört ein Antrag, den das Fachgebiet SpGM Ende 2009 gemeinsam mit dem TUM Lehrstuhl für Angewandte Mechanik (Professor Ulbrich) und der Orthopädische Kinderklinik, Aschau (Klinischer Direktor Dr. Döderlein) bei der Deutschen Forschungsmeinschaft eingereicht hat. Titel des Vorhabens: BIOROBICS- Implementierung des Zusammenwirkens von Kokontraktion, mehrgelenkigen Muskeln und komplexer Gelenkkinematik für menschenähnliche Fortbewegung zweibeiniger Roboter.

### Mikroklima und Antidekubitus-Systeme

Die jahrzehntelange Forschung am Lehrstuhl für Ergonomie im Bereich Sitzoptimierung für das Automobil, welche im Wesentlichen Sitzdruckverteilungsmessungen und Diskomfortbewertungen zueinander in Bezug gesetzt hat, kann durch die Ausweitung auf die Komponente des Mikroklimas sinnvoll erweitert werden. Dies erhält zunehmende Bedeutung im Bereich des Elektrofahrzeugs, wo weniger Energie als bisher zum Heizen oder Kühlen zur Verfügung steht. Hier möchte das Fachgebiet SpGM Erkenntnisse aus seinen Studien zum Bereich Bekleidungsphysiologie einbringen. Hier bietet sich an, die Forschung im Bereich der „Druck- und Mikroklimaoptimierung“ auch in den Bereich der Antidekubitus-Systeme einfließen zu lassen. Als Dekubitusprophylaxe werden alle Maßnahmen zur Vorbeugung eines Druckgeschwüres (Dekubitus) bezeichnet. Hierzu zählen u.a. Einlegesohlen -besonders bedeutsam zur Vermeidung oder Versorgung von Geschwüren, wie sie bei Diabetikern an der Fußsohle oft auftreten-, Rollstuhlsitzkissen, aber auch aktive Matratzensysteme (Wechseldrucksysteme). Letztere lagern dauerhaft an das Bett gebundene schwerstkranken Patienten periodisch um und sorgen so für eine zeitweise Entlastung der durch Feuchtigkeit, Reibungs- und Scherkräfte beanspruchten Haut. An dieser Schnittstelle Mensch-Produkt gibt es noch erheblichen Bedarf an Grundlagenforschung. Vielleicht können wir als Ingenieure die messtechnischen Voraussetzungen dafür schaffen, dass man – gemeinsam mit der Medizin und der Biologie – die Entstehung des Dekubitus systematisch erforschen und damit die Antidekubitus-Systeme weiter optimieren kann.

### Literatur

Lehner St. (2008) Entwicklung und Validierung biomechanischer Computermodelle und deren Einsatz in der Sportwissenschaft. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaft, Universität Koblenz, Institut für Sportwissenschaft.

Lehner St., Wallrapp O., Senner V. (2010) Use of headgear in football - A computer simulation of the human head and neck. Procedia Engineering, The Engineering of Sport 8, Volume 2, Elsevier, pp. 3263-3268.

Lehner St., Bader R. (2010) Entwicklung eines Mehr-Körper-Modells zur Berechnung des Einflusses der rekonstruierten Wirbelsegmenthöhe auf die resultierende Kompressionskraft in der Zwischenwirbelscheiben und das Dehnungsverhalten der ligamentären Strukturen. 44. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik und 3-Länder-Tagung D-A-CH. Rostock, 5.-8.10.2010.

Nusser M., Senner V. (2010) High-tech-textiles in competitive sports to endorse and improve performance during practice and competition. Procedia Engineering, The Engineering of Sport 8, Volume 2, Elsevier, pp. 2845–2850.