



## EDITORIAL

Liebe Kolleginnen und Kollegen,  
sehr geehrte Leserinnen und Leser,  
liebe Freunde der Ergonomie,

nachdem ich zum 1. Mai 2009 die Nachfolge  
von Professor Bubb auf den Lehrstuhl für Ergo-  
nomie angetreten habe, setzt sich mit dieser  
Ausgabe von Ergonomie aktuell eine Tradition  
fort.

Die Zeitschrift erscheint mit dieser Sonderaus-  
gabe wieder in gewohnter Form und wird auch  
in Zukunft ein wichtiges Kommunikationsme-  
dium des Lehrstuhls bleiben, in dem über aktuelle Forschungsergebnisse und  
Projekte berichtet wird.



Die bisherigen Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls für Ergonomie — Anthro-  
pometrie, Systemergonomie und Menschliche Zuverlässigkeit — sind seit dem  
1. Juni 2009 um das Extraordinariat von Prof. Veit Senner, „Sportgeräte und Mate-  
rialien“ erweitert. Es ist erfreulich, dass damit das Spektrum des Lehrstuhls nicht  
nur ergänzt, sondern vor allem im Bereich der Biomechanik deutlich verstärkt wird.

Vor allem freut es mich, Ihnen einen Rückblick meiner Vorgänger Professor  
Dr. Heinz Schmidtknecht und Professor Dr. Heiner Bubb anzukündigen, in dem sie die  
Genese der „Münchner Ergonomie“ beschreiben, die ich als Nachfolger nun fort-  
schreiben kann.

Trotz seines Ruhestandes hat Prof. Bubb im vergangenen Jahr – in bekannter  
Weise – noch maßgeblich zu vielen Publikationen und erfolgreich abgeschlossenen  
Promotionen beigetragen, die auch an dieser Stelle Erwähnung finden.

Vor allem für diese Vorarbeit bedanke ich mich an dieser Stelle ausdrücklich bei  
meinen Vorgängern.

Mich und meine Mitarbeiter würde es freuen, wenn diese Ausgabe von Ergonomie  
aktuell Sie neugierig macht und wir Sie in Zukunft am Lehrstuhl begrüßen können.

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Ihr

Klaus Bengler

## „Münchner Ergonomie im Aufbruch“

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Editorial	1
„Münchner Ergonomie“ Prof. i.R. Dr. rer. nat. habil. Heiner Bubb Prof. Dr. rer. nat. Heinz Schmidtknecht	2
Die Ergonomie in München im Aufbruch Prof. Dr. phil. Klaus Bengler	13
Sporttechnologie - Spielfeld und Herausforderung für die Ergonomie Prof. Dr.-Ing. Veit Senner	17
Lehrerbildung am Lehrstuhl für Ergonomie Dr.-Ing. Herbert Rausch	21
Impressum	24

## 1 Persönliche Vorbemerkung

In dem vorliegenden Beitrag möchte ich aus einer ganz persönlichen Sicht den Werdegang der Münchner Ergonomie schildern. Diese eigene Sicht beginnt mit dem 1. August 1968, als ich als wissenschaftliche Hilfskraft am damaligen Institut für Ergonomie bei Prof. Dr. H. Schmidtke angefangen habe. Sie ist naturgemäß durch meinen Blick auf die Entwicklung des Lehrstuhls geprägt. Meine erste Tätigkeit bestand darin, am damals ganz nagelneuen Analogrechner ein sog. Trackingprogramm zur Erforschung menschlicher Reglerleistung zu erstellen. Obwohl ich dann im Rahmen meiner Dissertation die Aufgabe übernahm, für Kraftfahrzeuge ein Bremsweganzeigergerät zu entwickeln (1975), blieb ich der Regelungstätigkeit treu, was sich auch in meiner Habilitationsschrift 1979 niederschlug. Ich hatte das Glück, dass in der 1980 zur Universität avancierten Katholischen Universität Eichstätt (vorher Kirchliche Gesamthochschule Eichstätt) kurz später eine Professur für Arbeitswissenschaft ausgeschrieben war, auf die ich mich bewarb.

Am 1. April 1986 konnte ich dort meinen Dienst antreten. Während der Jahre in Eichstätt blieb ich in der Forschung dank der großzügigen Möglichkeiten, die mir Prof. Schmidtke bot, immer dem Lehrstuhl verbunden. Zum 1. April 1993 durfte ich dann dem Ruf an die Technische Universität München folgen. Bis zu meiner Pensionierung am 1. Oktober 2008 leitete ich den Lehrstuhl für Ergonomie. Ich blicke also auf ziemlich exakt 40 Jahre aktiver Forschung in der Ergonomie zurück.

## 2 Etwas zur Geschichte des Lehrstuhls

Im Zuge der Tendenzen zu einer „Humanisierung der Arbeit“, durch welche die 60er und 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts gekennzeichnet waren, wurde wie in vielen anderen Hochschulen Deutschlands auch an der damaligen Technischen Hochschule München die Arbeitswissenschaft etabliert, indem 1962 in der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften das Institut für Arbeitspsychologie und Arbeitspädagogik unter Leitung des vom Max-Planck Institut für Arbeitsphysiologie kommenden **Prof. Dr. rer. nat. H. Schmidtke** und zwei Jahre später in der Fakultät für Maschinenwesen das Institut für Arbeitsphysiologie unter Leitung von **Prof. Dr. med. Müller-Limmroth** zunächst primär für den Studiengang „Arbeits- und Wirtschaftswissenschaftliches Aufbaustudium“ eingerichtet wurde. Schon kurze Zeit später beantragte Prof. Schmidtke die Umbenennung in „Institut für Ergonomie“ und berücksichtigte so die von ihm favorisierte Forschungsintention. Nach der Emeritierung von Prof. Müller-Limmroth wurde 1988 das Aufgabengebiet und die verbliebenen Mitarbeiter der Arbeitsphysiologie in den von Prof. Schmidtke geleiteten Lehrstuhl übergeführt und der so geschaffene Lehrstuhl für Ergonomie (LFE) im Institut für Produktionstechnik der Fakultät für Maschinenwesen integriert.

Wiewohl die Arbeitswissenschaft alle Aspekte menschlicher Arbeit zum Gegenstand der Forschung hat, angefangen von dem weiten Feld gesellschaftlicher über die betriebsorganisatorische Aspekte bis hin zur unmittelbaren Arbeitsorganisation (sog. Macro-Ergonomics), beschäftigt sich der Lehrstuhl für Ergonomie ganz bewusst mit der engeren Interaktion zwischen dem Menschen und der Maschine (sog. Micro-Ergonomics) mit der Zielsetzung, Regeln und Vorschläge zu entwickeln, die diese Interaktion sowohl im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Systems als auch im Hinblick auf die Ansprüche an Zufriedenheit und Komfort des Nutzers optimiert. Wesentlicher Grundgedanke ist das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Die Belastung durch Aufgabe, Umwelt und technische Bedingungen beschreibt dabei die gestaltbaren Größen. Diese führen aufgrund der individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten zu der personenbezogenen Beanspruchung. Die drei genannten Gebiete Ergonomie der Aufgabengestaltung, der Umweltergonomie und des Menschmaschinensystems, sowohl was die anthropometrische als auch was die informationstechnische Gestaltung anlangt, sind dann auch die hauptsächlichen Forschungsgebiete des Lehrstuhls.

Als technisch Vorgebildeten hat mich dieser von Prof. Schmidtke konsequent verfolgte Forschungsansatz fasziniert, der „harte“ technische Vorgaben anstrebte, durch deren Beachtung menschliche Eigenschaften und Fähigkeiten in der Arbeit im technischen Umfeld berücksichtigt werden sollten. In besonders konsequenter Weise wurden die Ergebnisse dieses Ansatzes in der „Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen (EBA)“ (1976) zusammengetragen, das im Wesentlichen Datenblätter nach dem Schema „technisch messbarer Belastungshöhe und Belastungszeit“ enthält. Dieses Konzept wurde in der Folgezeit immer mehr verfeinert und detailliert und schließlich als ein computerbasiertes Datenbanksystem (EDS, Ergonomische Datenbank System mit rechnergestütztem Prüfverfahren, 1982) angeboten. Neben der ständigen Erweiterung der Prüfpositionen war ein zusätzlicher Entwicklungsschritt die Übertragung in englische und zurzeit in japanische und chinesische Sprache. Aus namensrechtlichen Gründen steht das System heute als EKIDES (Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System, 2000) zur Verfügung. Es stellt eine Belastungsanalyse dar, die auf - nach Möglichkeit messtechnisch erfassbare - Daten zurückgreift. Natürlich wurden die Daten, die für dieses System aus der Literatur zusammengetragen worden sind, auch durch eigene Untersuchungen ergänzt. Erwähnt sei hier nur das groß angelegte Projekt des BMBF, in dem für Körperkräfte ein ähnlicher Perzentilkatalog angelegt werden konnte, wie er weltweit für die geometrischen anthropometrischen Daten üblich ist (Rüthmann und Schmidtke, 1991). Die Dissertation von **Michael Schwabe** (1991) entstand in diesem Zusammenhang.

Mit dem unermüdlichen Arbeitseinsatz von Prof. Schmidtke und der geduligen Umsetzung durch Frau Dr. I. Fraczek wird EKIDES auch heute noch stetig weiterentwickelt und auf den neuesten Stand des Wissens erweitert.

### 3 Schlüsselerlebnisse

Der grundsätzliche Forschungsansatz des Lehrstuhls leitet sich von der aller technischen Forschung zugrunde liegenden Vorstellung ab, dass bezüglich des zu gestaltenden Objektes bzw. der Einflüsse auf das zu gestaltende Objekt Modellvorstellungen vorhanden sein müssen, die in gewissem Rahmen eine Vorhersage des Verhaltens erlauben.

Die in den 70er Jahren unter Leitung von Prof. H. W. Jürgens entwickelte „Körperumrisschablone für Sitzarbeitsplätze nach DIN E 33 408“, die sog. „Kieler Puppe“ war für mich hierfür ein einzigartiges Vorbild.

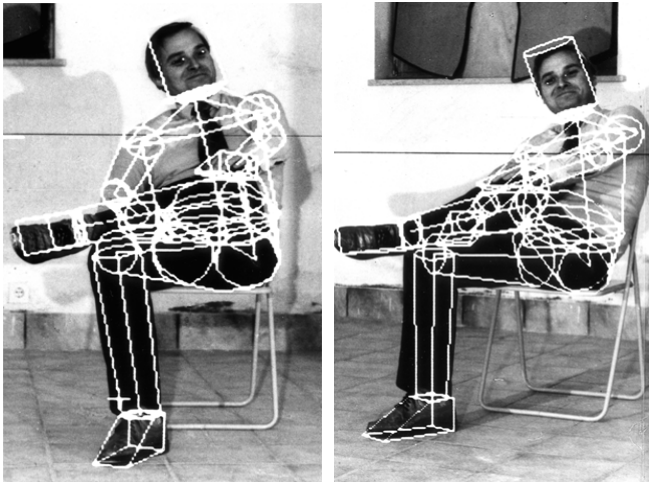


Abb.1: Erstes dreidimensionales Menschmodell des LfE zur Überlagerung von Personen, die durch Stereographie aufgenommen wurden.

Sie ist nicht nur geeignet, die geometrische Gestaltung von Arbeitsplätzen an den anthropometrischen Bedingungen des Menschen zu orientieren, sondern sie kann auch als Messwerkzeug dienen, die Körperhaltung von realen Menschen zu objektivieren (Bubb und Kain, 1986).

Mit den aufkommenden Möglichkeiten der Rechner-technologie lag es nahe, die zweidimensionale Körperumrisschablone durch dreidimensionale Modelle des Menschen zu ersetzen. Einen ersten Ansatz in diese Richtung haben wir durch die Diplomarbeit von Dieter Weiß (1985) versucht, für die der unvergessene, leider

schon verstorbene Dr. Michael Schwabe ein einfaches, im Rechner existierendes Menschmodell programmierte, das den stereogrammetrisch aufgenommenen Fotos von der zu untersuchenden Person überlagert werden konnte (siehe Abb. 1).

Damit war prinzipiell sowohl eine Objektivie-

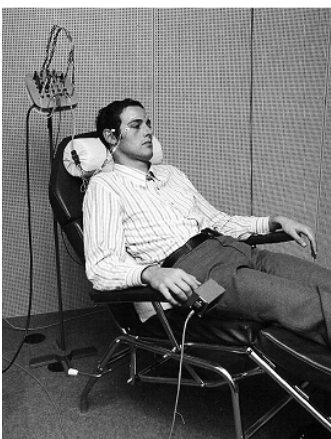


Abb.3: Versuchsanordnung in der elektrostatisch abgeschirmten Kammer für die EEG-Untersuchungen

rung der Haltung als auch der Bewegung - als eine Folge von Haltungen – möglich. Mit diesem Ansatz konnten wir die Aufmerksamkeit in dem FAT-Projekt „Softdummy“ erreichen, was letztlich zum Anteil des LfE an der 1986 begonnen Entwicklung des digitalen Menschmodells RAMSIS führte. Parallel dazu hatte



Abb.2: Messapparatur für Kräfte im Schultergelenk

Prof. Dr. Peter Schäfer eine komplexe Apparatur für die mehrdimensionale Messung der Drehmomente im Schultergelenk entwickelt (siehe Abb. 2), die die Grundlage für die später Einbindung von Kräften in das Menschmodell RAMSIS ermöglichte, welche heute noch Anwendung findet.

Ein allgemeingültiges Modell für die verschiedenartigen Arbeitstätigkeiten sowie für die mentalen Aspekte, wie sie bei der Mensch-Maschine-Interaktion auftreten, ist gegenüber der vergleichsweise übersichtlichen anthropometrischen Modellierung ungleich komplexer. Deshalb betrachte ich die Aktivitäten, die zu diesen Bereichen am Lehrstuhl stattfanden, als Puzzlebausteine, die zum großen Teil noch der Integration in ein Modell harren. Als jungen Mitarbeiter haben mich diesbezüglich zunächst einmal besonders die Arbeiten von **Horst Böttge** und **Jürgen Holoch** (1972) beeindruckt, die in aufwendigen Versuchen herausfanden, dass man durchaus unterschiedliche psychische Beanspruchungszustände aus den Signalen des Elektroenzephalogramms (EEG) herausfiltern kann (siehe Abb. 3). Relativiert wurden diese Erkenntnisse durch die Nachfolgearbeiten von **Richard Hecker** und **Hubert Wegener** (1978), die zwar zu den gleichen Ergebnissen kamen, aber zugleich zeigen konnten, dass die dafür relevanten Signale immer andere sind. Diese Ergebnisse zusammen mit vielen anderen Erfahrungen in Experimenten des Lehrstuhls haben die hier vorherrschende Skepsis gegenüber physiologischen Messgrößen (Pulsfrequenz, Pulsarrhythmie, Hautwiderstand, Flimmerverschmelzungsfrequenz u.v.a.m.), die objektive Auskunft für psychische Zustände geben sollen, verfestigt. Es zeigte sich immer wieder, dass diese Größen gute Indikatoren für Änderungen in dem Erleben sind, aber keine Rückschlüsse auf die erlebte Intensität zulassen.

Mein Bild von Untersuchungen zum Mensch-Maschine-System wurde wesentlich geprägt durch die Untersuchungen von **Peter Schmucker** und **Armin Pretsch** (1969) zu der Frage, ob sich für Ortungsaufgaben auf einem Bildschirm, wie sie z.B. von Fluglotsen zu erledigen sind, besser mit dem Radar-Gerätetyp „Vorausanzeige“ oder „True Motion“ einerseits und mit einem Rollball, einem Joystick oder einem Stift andererseits zu erledigen sind. **Friedrich Seibt** (1971) hat sich damit befasst, inwieweit Coulombsche Reibung im Bedienelement den Regelvorgang beim Einstellen von Daten beeinflusst und schließlich hat mein Bruder **Peter Bubb** (1978) untersucht, welchen Ein-



fluss unterschiedliche Dynamiken der Maschine auf die Regelleistung haben. Diese Arbeit lief zusammen mit der Dissertation von **Heinz-Peter Rühmann** (1978), der den Einfluss verschiedener mechanischer Eigenschaften des hier als Joystick ausgebildeten Bedienelements untersuchte.



Abb. 4: Simulator zur Erzeugung von Rollschwingungen, der in verschiedenen regelungstechnischen Untersuchungen Anwendung fand

Die beiden zuletzt genannten Untersuchungen von Rühmann und P. Bubb sind aber schon verbunden

mit den Aktivitäten am Lehrstuhl zu Fragen der Umweltergonomie, denn sie wurden unter dem Einfluss von Rollschwingungen durchgeführt, die mittels eines einfachen Simulators erzeugt wurden (siehe Abb. 4). Peter Rühmann konstruierte damals parallel zu seinen Aktivitäten für die Promotion einen aufwändigen, äußerst leistungsfähigen Zweiachsensimulator für Rotationsschwingungen, der dann selbst wieder Träger für



Abb. 5: Zweiachsrotationsschwingungssimulator des LfE, der auch noch nach dem Umzug nach Garching im Einsatz war.

grundlegende Untersuchungen zu dem Umweltfaktor „Schwingungen“ wurde (Abb 5).

Die elektronische Ansteuerung und die notwendige Sicherheitseinrichtung besorgte **Wilhelm Ilgmann** (1979), der dann an dieser Einrichtung erste Untersuchungen zur Belastung durch Rollschwingungen machte. Von P. Rühmann selbst wurde er genutzt, um die für eine zuverlässige Bedienung nötige Tastengröße unter dem Einfluss von Bewegung zu untersuchen (1984). **Herbert Rausch** (1990) befasste sich dann an diesem Simulator mit dem Zusammenhang des Empfindens von Roll-, Nick- und Translationschwingungen. Auch der Einfluss mechanischer Schwingungen auf die Sehleistung war Gegenstand einer Dissertation (**Norbert May**, 1979). Überhaupt waren die Untersuchungen zur Umwelt geprägt durch kombinatorische Belastungen.

**Peter Schäfer** (1976) befasste sich mit der akustischen Belastung, die auf den Autofahrer beim Zünden des Airbags zukommt. Seine Erfahrungen auf diesem Gebiet weitete er dann im Rahmen seiner Habilitationsschrift zu einem umfassenden Lärmbewertungsverfahren aus. **Eckehard Behr** (1970) fand in seiner Dissertation, dass leichte körperlicher Arbeit gleichzei-

tig zu erbringende kognitive Leistung durchaus fördert. Damit war die Verbindung zu körperlicher Arbeit bereits gelegt. Mit Interesse verfolgte ich die Arbeiten von **Hilmar Brödler** (1990) und **Carin Moroff** (1991), die grundlegende Untersuchungen zu der Beanspruchung durch konzentrische und exzentrische dynamische Muskelarbeit machten. Ihre Ergebnisse waren Grundlage für einige Modellierungsansätze, die wir später bei der Kraftsimulation für RAMSIS benötigten. Wie breit aber das Untersuchungsfeld unter Prof. Schmidtke angelegt war, zeigt die Promotionsschrift von **Werner Kusch** (1992), der aus pädagogischer Sicht zwei CNC Ausbildungskonzepte verglich.

#### 4 Forschungsrichtungen

Als ich nach der Habilitation zunächst als Universitätsdozent und dann aufgrund der gerade wirksam gewordenen Hochschulreform als C2-Professor ab 1980 selbst Dissertationen betreuen durfte, sah ich dafür natürlich das oben skizzierte bisherige Spektrum. Dabei ergab sich – auch aufgrund der Finanzierungsmöglichkeiten – letztlich eine Hinwendung zur Produktergonomie. In meiner ganzen Tätigkeit war es mir nur einmal möglich, eine Arbeit im Bereich der Produktionsergonomie zu betreuen, nämlich die von **Sandro Lang** (2000), der sich mit den Problemen der Gruppenarbeit in hoch automatisierten Prozessen auseinandersetzte. Außerdem wurde unter der Leitung von Prof. Schäfer von **Wolfgang Schwarz** (2005) eine vergleichende Untersuchung zu unterschiedlichen Bewertungsverfahren körperlicher Industriearbeit erstellt. In dieser Arbeit wurden darüber hinaus bereits die messtechnischen Grundlagen für eine Kraftmodellierung von anthropometrischen Menschmodellen gelegt.

Ansonsten sah ich zunächst ein lohnendes Forschungsgebiet in der Umweltergonomie. Zu den ersten von mir betreuten Doktoranden zähle ich **Ehrhard Mayer** (1984), der am Fraunhoferinstitut für Bauphysik in Holzkirchen ein spezielles Messverfahren entwick-

#### Resultant Surface Temperature - RST

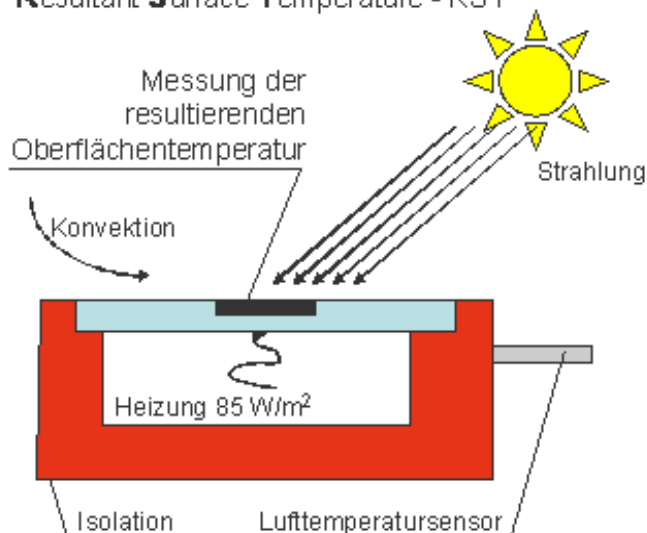


Abb. 6: Prinzip des RST-Meters (Resultant Surface Temperature) von Ehrhard Mayer (1983)

kelte, mit dem der energetische Aufwand auf der Hautoberfläche zum Erreichen einer Komforttemperatur bestimmt werden kann, was zu einer neuartigen Bewertung von Raumtemperaturen führte, die heute z.B.

in der Klimamessung im Kraftfahrzeug Anwendung findet (Abb. 6).

Für weitere Untersuchungen auf dem Gebiet der Umweltergonomie fanden sich dann leider keine Geldgeber, sodass dieser eigentlich wichtige Bereich zunächst lediglich in den Vorlesungen behandelt wurde und dann zuletzt eigentlich nur noch durch einige Versuche im ergonomischen Praktikum.

Ganz anders sah es mit dem wesentlich der Produkt-ergonomie zuzuordnenden Mensch-Maschine-System, mit den Zweigen Systemergonomie und Anthropometrie aus.

#### 4.1. Systemergonomie

Die Systemergonomie befasst sich mit dem Informationsfluss im Mensch-Maschine-System. Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet werden heute häufig auch als Informationsergonomie bzw. kognitive Ergonomie bezeichnet (siehe auch Stein, 2008).

Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine bezieht sich dabei auf Anzeige und Bedienelement. Nach diesen Gesichtspunkten lassen sich die Forschungsaktivitäten des Lehrstuhls grob gliedern.

##### 4.1.3. Anzeigen

Mein eigener Einstieg in die Systemergonomie war durch meine Dissertation gegeben. Im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens baute ich in der Folge dann gemeinsam mit **Ernst Assmann** ein kontaktanaloges Head-Up-Display (HUD) für die Anzeige eines Brems- bzw. Sicherheitsabstandes auf (Abb. 7).

Assmann zeigte in seiner Dissertation (1984) die Wirkung dieser Anzeige auf das Fahrerverhalten. Erst 2008 gelang es dann **Markus Schneid** mit modernen Methoden ein solches HUD wieder in einem PKW auf-



Abb. 7: Kontaktanaloges HUD in einem BMW 2000, fertig gestellt 1980.

zubauen und zu erproben. Aber das HUD war Anlass, mit ausgedehnten Blickuntersuchungen den Unterschied zu konventionellen Anzeigen herauszuarbeiten. **Rolf Gengenbach** (1997) fand dabei eindrucksvoll, dass der Fahrer im Mittel bereit ist, 2 sec und länger den Blick von der Fahrbahn abzulenken. Er entwarf im Rahmen seiner Arbeit das eigene Blickerfassungssystem „Janus“, das sich im weiteren Verlauf, besonders forciert durch das Engagement von Christian Lange

und Martin Wohlfarter, zu dem heute vielfach eingesetzten System Dikablis mauserte.

Mit Blickuntersuchungen im Auto befasste sich auch **Manfred Schweigert** (2003), der bezüglich der Aufmerksamkeit das sog. Zwiebelschalenmodell entwickelte, wonach sich geringe Belastung durch die Fahraufgabe dadurch zeigt, dass der Fahrer seinen Blick auch auf fahrirrelevanten Objekten herum schweifen lässt, während er in schwierigen Situationen nur noch den Blick auf fahrtechnisch unbedingt notwendiges richtet. **Theodor Egger** (1990) hat unter der Betreuung von Prof. Rühmann eine sehr akribische Untersuchung zu Rückspiegeln im Auto gemacht. Er konnte zeigen, dass die heute üblichen verkleinernden konvexen Spiegel ein korrektes Entfernungsschätzen erheblich erschweren. 2006 schloss **Michael Herler** seine Dissertation ab, die in ihren Anfängen eine der ersten Untersuchungen zu bildschirmbasierten Bedienung war und **Christian Doisl** (2008) entwickelte innovative Anzeigen zur Unterstützung des Einparkvorgangs. Unter der Betreuung von Prof. Rühmann hat sich **Daniel Dreyer** (2006) mit dem notwendigen Kontrast befasst, wie er vor allem in Flugzeugen unter der wechselnden Einstrahlung des Sonnenlichtes für das sichere Ablesen von Instrumenten von Bedeutung ist.

Nicht direkt dem Bereich „Anzeigen“ ist die Dissertation von **Michael Braun** (1997) zuzuordnen, aber dennoch den Eindruck betreffend, den die Umgebung auf den Menschen macht. Er baute zum ersten Mal einen sog. Ergonomieprüfstand auf, der einen vom CAD gesteuerten variablen Innenraum eines Fahrzeugs realisieren lässt, ein Versuchstand, der in unterschiedlicher Ausprägung heute von allen Automobilfirmen genutzt wird. In seiner Arbeit konnte er zeigen, dass das dort empfundene Raumgefühl mit dem der entsprechenden realen Fahrzeuge hinreichend gut übereinstimmt.

**Jan Hofmann** (2001) hat sich mit einer ähnlichen Thematik in Verbindung mit der im Rahmen der sog. CAVE möglichen virtuellen Repräsentation von CAD-Daten auseinandergesetzt und dafür, gerade was die dafür notwendige Rechengeschwindigkeit anlangt, grundlegende Erkenntnisse gewonnen.

**Till Voß** (2008) hat sich ebenso mit der virtuellen Darstellung von Fahrzeuginnerräumen beschäftigt, allerdings nicht dargestellt in einer CAVE, sondern durch ein sog. Helm Mounted Display (HMD). Er konnte in seiner Arbeit finden, welche Genauigkeitsforderungen an die Übereinstimmung von visueller und haptischer Information zu stellen sind.

##### 4.1.3. Bedienelemente

Den Anfang für den Zweig „Bedienelement“ machte die eher Grundlagenorientierte Dissertation von **Anton Mayer** (1987). Er zeigte, dass man auch schwieriger zu beherrschende Dynamiken der Maschine „in den Griff bekommen kann“, wenn man die zu steuernde Regelgröße mittels eines sog. Aktiven Bedienelements haptisch zurückmeldet. **Gordon Gillett** (1999) konnte zeigen, dass man mit einer sechsdimensionalen Ausführung eines solchen aktiven Bedienelements (Abb. 8) einen Roboter ferngesteuert so feinfühlig handhaben kann, wie wenn man die entsprechende Aktion direkt von Hand aus durchführen würde.





Abb. 8: Sechsdimensionales aktives Bedienelement, genannt „Spinne“

schen Rückmeldung zu untersuchen. **Lutz Eckstein** (2000) griff bei Daimler-Chrysler diese Idee auf. Er realisierte und untersuchte eine derartige Steuerung in verschiedenen realen Fahrzeugen. Die endgültige Fassung wurde in einem Mercedes 500 SL präsentiert (Abb. 10).

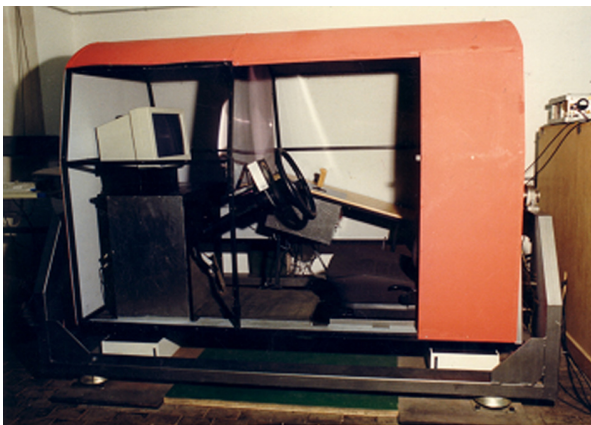


Abb. 9: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Steuerung eines Fahrzeugs mittels des Aktiven Bedienelements (1991)

Die sich dort zeigenden Vorteile einer solchen neuen Steuerung gerade in Verbindung mit neuartigen Assistenzsystemen zur Spurführung und Abstandshaltung wurde am Fahrzeugsimulator des Lehrstuhls von **Andreas Penka** (2001) genauer untersucht und dafür grundlegende Erkenntnisse gewonnen.

In einer sehr tief gründenden Arbeit hat sich **Pei-Shih Huang** (2003) dann noch einmal insbesondere mit den regelungstechnischen Aspekten der Nutzung des Aktiven Bedienelements zur Fahrzeugsteuerung befasst. Mit der konventionellen Lenkung und ihrer Wirkung auf das Lenkgefühl hat sich **Hagen Wolf** (2009) auseinandergesetzt. Er hat sich dabei nicht nur auf die haptische Rückmeldung bezogen, sondern den gesamten Regelkreis Fahrer-Fahrzeug betrachtet. Insbesondere was die Wahrnehmung des optischen Flusses bei Kurvenfahrt anlangt, hat er in seiner Arbeit grundlegend neues gefunden. **Matthias Götz** (2007) untersuchte ganz allgemein den Aufforderungscharakter, der von einem Bedienelement ausgeht und hat damit einen wesentlichen Beitrag zur sog. „Selbsterklärungsfähigkeit“ der Auslegung einer Maschine geleistet.

**Uwe Bolte** (1991) wendete das Prinzip des Aktiven Bedienelements für die Steuerung eines Kraftfahrzeugs an, wobei er den schon erwähnten einfachen Schwingungssimulator des Lehrstuhls (Abb. 9) nutzte, um die mögliche Interferenz der haptischen mit der kinästheti-

**Jörg Reisinger** (2008) hat sich ganz genau mit der Botschaft, die durch die haptische Rückmeldung vermittelt wird, befasst. Er konnte eindrucksvoll zeigen, dass wir das Bedienelement wie einen verlängerten Fühler unserer Extremitäten nutzen und damit Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der hinter dem Bedienelement steckenden Mechanik ziehen.

**Marco Schell** (2002) hat die Regeln und Vorschläge, die aus der Systemergonomie gewonnen werden kön-



Abb. 10: Mittels als Joystick realisiertem Aktiven Bedienelement zu lenkender Mercedes 500 SL (Eckstein, 2000)

nen, auf das Motorrad angewandt und dafür eine ganz neuartige Bedienung entwickelt, deren Vorteile in einer Simulatorstudie auch nachgewiesen werden konnten (Abb. 11).

Von ganz anderer Art war die von Prof. Rühmann betreute Arbeit von **Christian Namberger** (1999), der sich um eine ergonomische Optimierung von Orgelspielanlagen kümmerte.



Abb. 11: Nach systemergonomischen Prinzipien gestaltete Bedienelement für die Steuerung eines Motorrads (M. Schell, 2002)

#### 4.1.3. Mensch-Maschine Interaktion

Unter systemergonomischem Aspekt ist es natürlich nicht ganz korrekt, scharf zwischen Anzeige und Bedienelement zu unterscheiden, da es immer auf die Integration des Menschen in das gesamte Mensch-Maschine-System ankommt. Dieser Aspekt spielte natürlich bei den oben erwähnten Arbeiten immer auch eine entscheidende Rolle. Die im Folgenden aufgeführten Dissertationen haben sich aber in besonderer Weise genau um diesen Aspekt der Einbindung des Menschen gekümmert.

**Marcus Weinberger** (2001) untersuchte schon zu einer Zeit, als dieses System noch gar nicht auf dem Markt war, wie sich der Fahrstil durch die Verwendung des ACC (Active Cruise Control, sog. Abstandsautomat) bei längerer Gewöhnung ändert. **Robert Rassl** (2004) konnte in einer ausgedehnten Realfahrzeugstudie zeigen, dass die systemergonomischen Regeln, angewendet auf sog. tertiäre Fahraufgaben (Aufgaben im Auto, die mit dem eigentlichen Fahren nichts zu tun

haben), sehr gute Vorhersagen über die kognitive Bindung und somit die damit verbundene Ablenkung ermöglichen.

**Stephan Hummel** (2007) hat für solche tertiären Aufgaben genauer untersucht, wie es gerade bei sog. multimodaler Bedienung um die Akzeptanz seitens des Nutzers steht.

**Heike Sacher** (2008) untersuchte das tatsächliche Nutzungsprofil von damit vertrauten Fahrern aller Helfer- und Assistenzsystemen in modern ausgerüsteten High-end-Fahrzeugen und fand dabei gerade für den Fahrzeugentwickler wichtige Daten.

**Christian Lange** (2008) verknüpfte schließlich in einer Untersuchung verschiedene Varianten der Kombination von HUD und aktiven Gaspedal (das Überschreiten von Geschwindigkeitsvorschriften oder das Unterschreiten des Sicherheitsabstandes wird durch eine zusätzliche Widerstandskraft anzeigt) im Kontext von Assistenzsystemen miteinander. Das Ergebnis seiner Untersuchung kann mit der einfachen Regel zusammengefasst werden: Der Fahrer sollte haptisch vermittelt bekommen, was er tun soll und optisch, warum er es tun soll. Weiterhin sind automatisierte Funktionen so zu gestalten, dass ihr Bedienaufwand nicht größer ist, als die entsprechende unmittelbare Bedienung von Hand.

Außerhalb der vorgenannten Untersuchungen, die das Fahrzeug als zu bedienende Maschine zum Gegenstand hatten, befasste sich **Elke Deubzer** (2003) ganz allgemein damit, wie wir uns in einer technischen Welt zurechtfinden und welche Erwartungen wir daran haben. Sie konnte zeigen, dass wir aufgrund der zu erledigenden Aufgaben eine gewisse Ordnung im Kopf haben, wobei der Umgang mit der technischen Außenwelt umso leichter fällt, je besser diese innere Ordnung mit den äußeren Gegebenheiten übereinstimmt.

**Rolf Zöllner** (2008) befasste sich damit, wie Suchmaschinen im Inter- bzw. Intranet zu gestalten sind, damit die Effizienz besonders hoch ist. Er konnte zeigen, dass unsere Präferenz für räumliche Repräsentation einen guten Background für die Oberflächengestaltung solcher Suchmaschinen liefert.

**Ryoko Fukuda** (2003) hat sich schließlich mit der Nutzung des Internets durch junge und ältere Menschen befasst. Ihr Ergebnis kann vereinfacht in folgender Formel zusammengefasst werden: abgesehen davon, dass ältere Menschen für ihre Aktivitäten etwas mehr Zeit benötigen, besteht kein Unterschied im Bedienvverhalten. Ältere Menschen haben aber wegen der Alterssichtigkeit mit der Anzeige Probleme, wenn die Zeichen zu klein sind und sie haben mit der Feinmotorik bei der Bedienung der Maus Probleme.

#### **4.1.3. Menschliche Zuverlässigkeit**

Anfang der 80er Jahre entstand das Handbuch der Technischen Zuverlässigkeit des VDI. Zusammen mit Günther Reichart, der zu der Zeit bei der GRS (Gesellschaft für Reaktorsicherheit) in Garching tätig war und sich dort um den Einfluss des Human Factors (HF) auf die Sicherheit von Kernkraftwerken kümmerte, erhielt ich den Auftrag, für dieses Handbuch ein VDI-Richtlinienblatt „Ergonomische Eignung und menschliche Zuverlässigkeit“ zu erarbeiten. In der Folge dieser Tätigkeit wurde der VDI-Arbeitskreis „Menschliche Zuver-

lässigkeit“ gegründet, dessen Obmann ich bis zu meiner Pensionierung war und der bis heute tätig ist. Die Frage der Menschlichen Zuverlässigkeit ist quasi ein Teilgebiet der Systemergonomie. Während es bei der üblichen Betrachtung darum geht, die Einflussfaktoren auf die Leistung des Mensch-Maschine-Systems zu untersuchen, wobei im Wesentlichen die Gedankenwelt bzw. Philosophie der Regelungstechnik Anwendung findet, ein Gedanke der letztlich auch den oben erwähnten Dissertationen zugrunde liegt, geht es bei der Zuverlässigkeit um die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls eines Systemelements, also speziell bei der Menschlichen Zuverlässigkeit um die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Fehlers, der zu einem Systemversagen führen kann.

Die erste Dissertation, die mit dieser Blickrichtung entstanden ist, wurde von **Birgit Spanner** (1993) erarbeitet. Sie beschäftigte sich mit dem Einfluss der Kompatibilität auf solche Fehler. Der Nachfolger von Reichart bei der GRS **Oliver Sträter** (1996) entwickelte das spezielle Softwaresystem CAHR, das eine anonymisierte Erfassung von Vorkommnissen gemäß des Mensch-Maschine-Interaktionsschemas ermöglicht und das, gefüttert mit einer Vielzahl von Fällen, vielfältige Analysen angefangen von Fehlerwahrscheinlichkeiten bis hin zu hauptsächlichen Einflüssen dafür erlaubt.

Um das von ihm entwickelte System einer breiteren Anwendung zuzuführen, entwickelte **Bernd Linsenmaier** (2006) ein Programmsystem, das eine einfachere Übertragung von in Prosa geschilderten Ereignissen in das CAHR-System ermöglichen sollte.

**Günther Reichart** (1999) hat, nachdem er zu BMW gewechselt war, seine Kenntnisse über die Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit auf das Führen von Kraftfahrzeugen angewendet und in vielen zusätzlichen eigenen Versuchen herausgefunden, dass man aus einer theoretischen Abschätzung dieser Fehler mit guter Genauigkeit auf die tatsächlich beobachtete Unfallhäufigkeit schließen kann. Damit ermöglichte er eine sehr präzise Methode, diese positiv zu beeinflussen. Gerade im Hinblick auf die zukünftig in Verbindung mit Assistenzsystemen immer mehr Anwendung findende elektronische Steuerung von Fahrzeugen ist die Frage von Bedeutung, inwieweit Fahrer, wenn sie unter Termindruck stehen, die Warnung, dass etwas damit nicht in Ordnung ist, auch akzeptieren.

**Irina Theis** (2002) hat sich mit dieser Frage experimentell auseinander gesetzt. Und zum Schluss hat **Volker Hönsch** (2006), der ein Berufsleben lang bis in höchste Verantwortung hinein im Kernkraftbereich tätig war, sein gesamtes erworbenes Wissen um Fehler und den Einfluss der Organisation darauf in seiner Dissertation zusammengefasst.

#### **4.2. Anthropometrie**

Wie bereits eingangs erwähnt, setzte das FAT-Projekt „Softdummy“, in dem der Lehrstuhl in Kooperation mit der Firma Tecmath in Kaiserlautern ein neuartiges im Rechner erzeugtes Menschmodell für die Verbesserung von sog. Packagingaufgaben in der Fahrzeugkonzeption und -konstruktion entwickeln sollte, den Anfang für eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der Anthropometrie.





Abb. 12: Das Menschmodell RAMSIS

Andreas Seidl entwickelte zusammen mit Hartwich Geuß die Struktur und das äußere Aussehen des Menschmodells (Abb. 12), dem der damalige Leiter des Projektes bei Tecmath, der leider viel zu früh verstorbene Dr. Hartmut Speyer den Namen RAMSIS (**R**echnerunterstütztes **A**nthropometrisch-**M**athematisches **S**ystem zur **I**nsassen-**S**imulation) gab.

**Andreas Seidl** (1993) entwickelte in einer Vielzahl von eigens dafür entwickelten Versuchen ein Haltungsmodell, das aus der beobachteten Verteilung der Gelenkwinkelwerte in Abhängigkeit von äußeren Bedingungen, die wahrscheinlichste Körperhaltung berechnet. Dieses Modell hat sich in der Zwischenzeit vielfältig bewährt und ist heute noch zentraler Gegenstand des Menschmodells RAMSIS.

**Hartwich Geuß** (1994) hat mit den Daten von Frau Prof. Holle Greil und eigenen mit dem Superpositionierverfahren gewonnenen Daten eine Modellierung der anthropometrischen Eigenschaften in Form eines Anthropometriewürfels (Abb. 13) entwickelt, die bis heute Bestand hat.

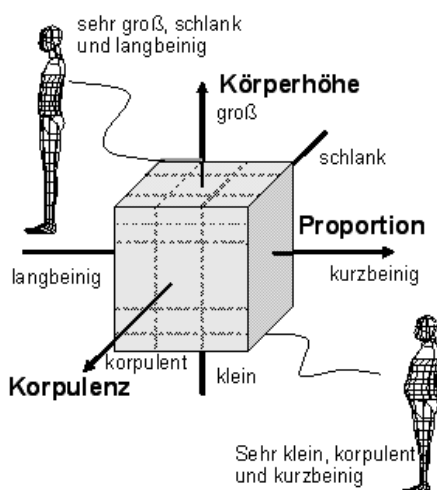


Abb. 12: Das Menschmodell RAMSIS

ten an, die nun unterschiedliche Richtungen von Fragestellungen zu beantworten versuchten.

**Joachim Kolling** (1998) hat die Haltungsdaten in realen Fahrversuchen validiert und dazu noch ein erstes Modell für die Haltung von Motorradfahrern entworfen. **Stefan Estermann** (1999) hat sich ebenfalls in realen Fahrversuchen noch einmal intensiv mit dem Komfort insbesondere mit dem Langzeitkomfort auseinandergesetzt. **Jörg Hudelmaier** (2003) hat den Einfluss von Sehaufgaben, insbesondere die Rückwärtsicht auf die Körperhaltung untersucht und modelliert.

Einen anderen Zweig der Entwicklung hat BMW durch das Projekt RAMSIS-dynamisch initiiert. **Frank Arlt** (1999) hat dafür Bewegungsversuche durchgeführt und mit seiner Entdeckung der sog. „Führenden Körperteile“ für viele weitere Untersuchungen eine wesentliche Grundlage geschaffen. Für die Berechnung beliebiger Körperhaltungen ist die Kenntnis von Kraftwerten notwendig, für die im Rahmen einer Untersuchung von Prof. Schäfer erste Daten gewonnen worden sind. Muskeln zeigen aber auch ein natürliches Rückstellmoment, das für solche Berechnungen berücksichtigt werden muss. **Armin Marach** (1999) hat dafür Daten gewonnen. Mit diesen Arbeiten war die Grundlage für die Modellierung auch komplexerer Bewegungen geschaffen. **Stefan Riegel** (2005) hat Grundtypen des Einsteigverhaltens in einen Pkw gefunden und ein Messprinzip zur mathematischen Erfassung davon erarbeitet. Davon ausgehend hat **Alexander Cherednichenko** (2005) die Idee von Arlt aufgegriffen und auch für den komplexen Einsteigvorgang führende Körperteile und deren Bewegungsverhalten in Abhängigkeit von äußeren Bedingungen definiert, sowie die übrige Körperhaltung auf der Grundlage der Gleichgewichtsbedingungen berechnet.

All den erwähnten Versuchen ist eigen, dass Bewegungen realer Personen RAMSIS-konform gemessen werden müssen. Bisher geschieht dies immer unter Zuhilfenahme von Markern. **Thomas Seitz** (2004) hat die Grundlage für ein markerloses Messverfahren geschaffen, das nun im Rahmen eines DFG-Projektes (MeMoMan) weiter ausgebaut und verfeinert wird. In seiner Anwendung sitzt RAMSIS aber vornehmlich. Ein Ziel muss es also sein, den Kontakt zwischen dem Menschmodell und einem Sitz zu berechnen und zu bewerten.

Eine Grundlage dafür schuf **Jochen Balzulat** (2000), indem er den Forschungsstuhl FS 2000 aufbaute und darauf erste Messungen durchführte. Im Rahmen eines FAT-Projektes fand **Jürgen Hartung** (2006) mit Hilfe dieses Stuhls, aber auch mit realen Autositzen eine ideale Sitzdruckverteilung, die zu minimalem Diskomfort beim Sitzen führt. **Christian Mergl** (2006) konnte diese Verteilung in realen Fahrversuchen und insbesondere in Langzeitversuchen (über drei Stunden Fahrt) bestätigen und verfeinern. **Raphael Zenk** (2008) nutzte diese Verteilung, um eine automatische Sitzeinstellung zu entwickeln. In einem aufsehenerregenden Versuch, bei dem ein Proband sich freiwillig unter Beobachtung der Ethikkommission in Berlin temporär Drucksensoren in die Bandscheiben einoperieren ließ, konnte er einerseits nachweisen, dass die

**Renate Krist** (1994) hat die von den Versuchspersonen bei den Haltungsversuchen geäußerten Aussagen zu einem Diskomfortmodell verarbeitet, das ebenfalls im Standardprogramm von RAMSIS enthalten ist. Diesen drei Kerndissertationen für das RAMSIS-Programm schlossen sich eine Reihe von weiteren Arbei-



optimale Druckverteilung in der Sitzfläche auch zu minimalen Bandscheibendrücken führt und andererseits, dass eine solche automatische Einstellung notwendig ist, da man die richtige Einstellung durch einfaches „Fühlen“ nicht finden kann.

Diese Verteilung hat **Christian Knoll** (2006) dann auch für ein Experiment mit Bürostühlen genutzt. Er konnte dabei den enormen Einfluss des durch Design erregten Gefallens auf das Komfortempfinden nachweisen.

Menschmodelle sind für die verschiedenartigsten Anwendungen heranzuziehen. **Anna Bauch** (2003) hat gezeigt, dass es damit möglich ist, das Verhalten von Menschen bei der Evakuierung von Flugzeugen zu simulieren und gute Vorhersagen dafür zu treffen, die gegebenenfalls die aufwendigen und mit vielen Verletzungen verbundenen Realversuche zur Zulassung eines Flugszeugs ersetzen könnten.

## 5 Schlussbemerkung

In der obigen Aufstellung habe ich nur die Dissertationen, die am Lehrstuhl bis zum gegenwärtigen Datum abgeschlossen worden sind, dargestellt, denn sie stellen die wesentliche Forschungsleistung des Lehrstuhls dar. Alle Forschungsprojekte, die nicht unmittelbar in eine Promotion mündeten, blieben bei dieser Darstellung außen vor. Trotzdem möchte ich an dieser Stelle anfügen, dass der Lehrstuhl viele ausländische Gastforscher beherbergen konnte, die gerade an den Forschungsaktivitäten zu den Promotionen partizipierten und so etwas von der Münchner Ergonomie in die Welt trugen. Herr *Aernout Oudenhuijzen* von TNO in den Niederlanden hat am Lehrstuhl von November 2003 bis April 2004 an den Arbeiten zur Anthropometrie mitgewirkt und zugleich die weite Erfahrung von TNO eingebracht. Von September 2004 bis August 2005 war *Prof. Dr.-Ing. Jae-Woo Yoo* von der Kagnam Universität in Korea am Lehrstuhl. Er war in unsere Forschung zur Interaktion Fahrer-Fahrzeug eingebunden.

*Prof. Dr.-Ing. Tai-Fa Young* von der National Sun Yat-sen University, Kaohsiung in Korea hat sich vom Juni bis zum September 2005 mit unseren Aktivitäten auf dem Gebiet der Menschlichen Zuverlässigkeit befasst. *Prof. Dr. Wuhong Wang* vom China Beijing Institute of Technologie hat sich mit uns vom Dezember 2005 bis zum November 2007 mit der Modellierung der Sicherheit im Kolonnenverkehr auseinandergesetzt. Ebenfalls unsere Kompetenz in der Fahrzeugsicherheit hat *Prof. Balendra Nath Lahiri* und *Dr. Debalmalya Banerjee* von der Jadavpur Universität in Kolkata (Calcutta), Indien nach München gezogen. Sie waren von November und Dezember 2006 bei uns. *Dr. Debalmalya Banerjee* ist dann sogar noch einmal von Januar bis Juni 2007 bei uns gewesen. *Associate Professor Mitsunori Kubo* von der Chiba Universität Tokyo, Japan hat sich im Januar und Februar 2007 besonders mit unseren Methoden der anthropometrischen Menschmodellierung auseinandergesetzt. Frau *Dr. Tülin Cengiz* von der Bursa Uludag Universität in der Türkei war von Januar 2008 bis Mai 2008 bei uns und hat mit Hilfe unserer Daten eine neue Konzeption der Modellierung der Form des menschlichen Körpers entwickelt und Frau *Chung Meng-Jung M. Sc.* von der Tsing Hua Universität in Hsinchu, Taiwan hat sich bei uns von September

2007 bis August 2008 in besonderer Weise mit den Laufgewohnheiten bei unterschiedlicher Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und ethnischen Einflüssen befasst. *Yordan Rodriguez Ruiz* aus Havanna, Kuba war von April bis Juni 2008 bei uns, um alles, was „moderne Ergonomie“ ausmacht aufzunehmen und so Verbesserungen der Arbeitsbedingungen in seinem Land zu bewirken.

Natürlich ist mit den im Kapitel zuvor beschriebenen Dissertationen die Forschung nicht zu Ende. Ganz im Gegenteil: auf allen angesprochen Gebieten wird kräftig weiter gearbeitet. So stellt meine Pensionierung nur ein Interrupt für mich persönlich dar, nicht aber für die Arbeiten, die am Lehrstuhl zum Teil auch noch kurz vor Ende meiner offiziellen Tätigkeit begonnen worden sind.

Im Bereich der **Systemergonomie** geht es mit der Forschung bezüglich der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion weiter: *Ulrich Bergmeier* steht kurz vor der Beendigung seiner Arbeit, in der er die sich von Grund auf mit den psychologischen Aspekten der Wahrnehmung im kontaktanalogen HUD und der Anwendung für die Night-Vision auseinandergesetzt hat. *Boris Israel* arbeitet weiter an der Aufgabe, ein kontaktanalogenes HUD in ein Fahrzeug zu integrieren, wobei bereits Aspekte einer Serienfertigung berücksichtigt werden sollen. Weiterhin befasst er sich damit, welche Information dort wie anzuzeigen ist. Im Rahmen des H-Mode-Projektes, das gemeinsam mit der DLR durch die DFG gefördert wird, wird unter Nutzung des Aktiven Bedienelements untersucht, wie ein kontinuierlicher Übergang zwischen (weitgehend) vollautomatischem Fahren und ganz traditioneller Handsteuerung geschaffen werden kann. In dieses Projekt sind *Daniel Damböck* und *Martin Kienle* eingebunden. *Stephan Müller* erarbeitet eine allgemeine Zusammenstellung, welche Bedienelemente sich für welchen Zweck im Fahrzeug eignen und *Roland Spies* versucht sich an einer neuartigen Interaktion, die die Vorteile eines Touch Screens mit denen einer unter anthropometrischen Gesichtspunkten optimalen Trennung von Anzeige und Bedienelement vereinen soll. *Günter Horna* untersucht das Verhalten und die Fehler bei Bedienschwierigkeiten von tertiären Fahraufgaben, um daraus sinnvolle Unterstützungsmaßnahmen abzuleiten.

*Manuel Kühner* setzt die Arbeiten von J. Reisinger fort und ergründet neue Facetten der haptischen Rückmeldung an Bedienelementen. *Benedikt Strasser* untersucht mit einem speziellen Verfahren unterschiedliche Auslegungsvarianten des ACC und will objektive Maßstäbe für deren Auslegung entwerfen, die aber an menschliche Erwartungen orientiert sind. *Mehdi Farid* hat sich mit dem Zeitaspekt beim Hinterherfahren und beim Spurwechsel auseinandergesetzt, wobei die Aufmerksamkeit des Fahrers als intervenierende Variable ins Spiel kommt, und *Darya Popiv* untersucht ergonomische Anzeigen, wie man dem Fahrer das sehr frühzeitige Reagieren beim vorausschauenden Fahren nahe legen könnte, das nicht nur die Verkehrssicherheit erhöhen würde, sondern insbesondere den Energiekonsum reduzieren könnte. Bei alledem spielen die sog. inneren Modelle in unserem Kopf, die durch äußere Reize angeregt erst ein inneres Bild der Außenwelt ermöglichen, eine ganz wichtige Rolle. Sie

steuern letztlich, wo wir hinsehen und was wir als relevant für unsere Reaktionen halten. *Martin Wohlfarter* versucht sich davon aus der Erfassung von Blickbewegungen ein Bild zu machen. *Marina Plavsic* will diese Sichtweise auf das Verständnis komplexer Verkehrssituationen, wie sie an Kreuzungen vorkommen anwenden. *Florian Friesdorf* arbeitet daran, wie man diese Sichtweise auch auf andere Aufgaben des Menschen im Bereich von Produktion oder auch des Hospitalwesens anwenden kann. *Carsten Dlugosch* möchte es Schwerbehinderten ermöglichen, mit der Blickerfassung selbständig Manipulationen ihrer Umwelt vorzunehmen. *Helmut Riedl* setzt die bisherigen Arbeiten im Bereich der Nutzung des VR fort.

Für den Bereich **Menschlicher Zuverlässigkeit** hat sich mit dem SamSys-Projekt eine neue erfreuliche Forschungsmöglichkeit ergeben. *Andreas Haslbeck* wird sich in diesem Rahmen mit dem Einfluss von Pilotenfehlern auf die Flugsicherheit befassen.

Aber auch auf dem Gebiet der **Anthropometrie** geht die Forschung weiter. *Florian Fitzsche* hat sich in seiner nun fast fertigen Dissertation mit der Modellierung von Bewegung unter Berücksichtigung der dafür nötigen Kräfte beschäftigt. *Florian Engstler* und *Fabian Günzkofer* erweitern im Rahmen des EU-Projektes DHErgo die bisherige Kraftmodellierung in RAMSIS erheblich und nutzen diese, um auch für unterschiedliche Bewegungsaufgaben Vorhersagen zu treffen. *Christine Fröhmel* hat sich mit der Frage, ob nicht auch die statische Haltung wesentlich durch eine Optimierung des Kraftaufwandes zustande kommt, in ihrer nun fast fertigen Dissertation auseinandergesetzt.

*Olaf Sabbah* hat sich noch einmal genauer mit dem Ein- und Aussteigvorgang befasst und u.a. in diesem Zusammenhang den Vorschlag einer Anpassung des Sitzes erarbeitet, um auch älteren Personen das Nutzen eines attraktiven Sportwagens zu ermöglichen. Bei alledem vervollkommen er die Modellierung der Bewegungssimulation des Einsteigens. *Stephan Lorenz* erforscht erneut die automatische Anpassung des Sitzes an unterschiedliche Nutzer, wobei die am Lehrstuhl erarbeitete ideale Sitzdruckverteilung eine grundlegende Rolle spielt. *Syariza Abu Bakar* wendet diese ideale Sitzdruckverteilung auf den Entwurf eines einfachen, auch in Drittländern nutzbaren Arbeitsstuhls an. *Uwe Herbst* versucht herauszufinden, wie man die ideale Sitzdruckverteilung auch ohne „High-Tech-Aufwand“ in preisgünstigen Fahrzeugen erreichen könnte. *Ümit Kilincsoy* will sich von der wissenschaftliche Seite mit dem Rücksitz im Auto befassen, der diesbezüglich bisher ein eher stiefmütterliches Dasein fristete. *Domingo Rodrigues-Flick* hat sich in seiner fast fertigen Dissertation mit der Anwendung von digitalen Menschmodellen für die Gestaltung von Arbeitsplätzen im Produktionsbereich gerade unter dem Aspekt feinmotorischer Tätigkeiten auseinandergesetzt.

Mittlerweile wachsen die beiden Forschungsgebiete Systemergonomie und Anthropometrie immer mehr zusammen. Viele gegenwärtige Arbeiten sind dann auch praktisch beiden Bereich zuzuordnen. *Severina Popova* kümmert sich momentan darum, ein umfassendes ergonomisches Konzept für fahrbare Arbeitsmaschinen (hier Kehrmaschinen) zu erarbeiten.

*David Lorenz* will die kognitiven Einflussfaktoren, wel-

che die Körperhaltung in Fahrzeugen bestimmen, genauer herausarbeiten. *Martin Brenner* untersucht, welches die Ansprüche älterer Nutzer an ein Fahrzeug sind und wie man diese konstruktiv berücksichtigen kann. *Wolfram Remlinger* verleiht dem RAMSIS in Form einer sehr genauen Simulation der Eigenschaften der visuellen Informationsaufnahme erste kognitive Aspekte.

Alle diese Projekte helfen, den Traum eines integrierten Menschmodells, das als virtuelle Versuchsperson für die menschengerechte Gestaltung von Maschinen eingesetzt werden kann, ein Stück weiter zu verwirklichen.

Die beiden Arbeitsgebiete Systemergonomie und Anthropometrie sind durch die Fragen, die an den Lehrstuhl über all die Jahre gestellt worden sind und die sich damit eröffnenden Forschungsmöglichkeiten gewachsen und immer umfangreicher geworden.

Mit meinem Nachfolger *Prof. Dr. phil. Klaus Bengler* verbindet mich die jahrelange gemeinsame Erfahrung in dem Forschungsprojekt TUMMIC, das dem Gebiet der Systemergonomie zuzuordnen ist. In seiner Tätigkeit in der Forschungsabteilung der BMW-Technik-GmbH, wo er für den Bereich Mensch-Maschine-System zuständig war, hat er neben dem selbstverständlichen Anspruch an die Gestaltung kognitiver Aufgaben die Herausforderung der anthropometrischen Gestaltung immer wieder erfahren. Er wird deshalb diese beiden Forschungsgebiete auch in Zukunft fördern, wobei er natürlich, was seine Aufgabe ist, neue Akzente und Schwerpunkte setzen wird. Ich wünsche ihm für diese Aufgabe eine glückliche Hand, viel Erfolg und hoffe, dass er an der ergonomischen Forschung in der Vielfalt, wie sie sich in der Vergangenheit zeigte, die gleiche Freude und Erfüllung erleben wird, wie sie mir zuteil geworden ist.

## 6 Literatur

- Rühmann H., Schmidtke H. (1991): Körperkräfte des Menschen. Dokumentation Arbeitswissenschaft. Band 31.
- Schmidtke, H. 1976: „Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen (EBA)“, Hanser Verlag
- Bubb, H.; Kain, V. (1986) Untersuchung über die realitätsbezogene Handhabung von Zeichenschablonen der menschlichen Gestalt; Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 40 1986/2; 97-108; Dr. Otto Schmid KG, Köln.

## Dissertations- und Habilitationsschriften:

- Arlt, Frank (1999): Untersuchung zielgerichteter Bewegungen zur Simulation mit einem CAD-Menschmodell
- Assmann, E. (1985): Untersuchung über den Einfluss einer Bremsweganzeige auf das Fahrerverhalten.
- Balzulat, Jochen (2000): Ein holistischer Versuchsansatz zum Sitzverhalten.
- Bauch, Anna Elisabeth (2003): Die virtuelle Flugzeugevakuierungsanalyse.

- Behr, Eckehard (1970): Beitrag zur Untersuchung der mentalen Leistungsfähigkeit bei definierter physischer Beanspruchung.
- Bolte, Uwe (1991): Das Aktive Stellteil - eine ergonomisches Bedienkonzept
- Böttge, Horst (1972): Beitrag zur Theorie und Praxis der Analyse des spontanen Elektroenzephalogramms.
- Braun, M. (1997): Entwicklung eines variablen Ergonomie-Prüfstandes mit CAD-Anbindung und Validierung einer Arbeitsmethodik
- Brödler, Hilmar (1990): Untersuchung der Ausdauer bei konzentrisch- und exzentrisch-dynamischer Muskelarbeit.
- Bubb, Heiner (1975): Untersuchung über die Anzeige des Bremsweges im Kraftfahrzeug
- Bubb, Heiner (1977): Ergonomie des Mensch-Maschine-Systems
- Bubb, Peter (1978): Untersuchung über den Einfluss stochastischer Rollschwingungen auf die Steuerleistung des Menschen bei Regelstrecken unterschiedlichen Ordnungsgrades.
- Cherednichenko, Alexander (2007): Funktionales Modell der Einstiegsbewegung in einen PKW.
- Deubzer, Elke Maria (2002): Die Ordnung im Kopf - Begriffliche Wissensstrukturen zur Entwicklung benutzerorientierter Anordnungen von Funktionen im Raum.
- Doisl, Christian (2008): Systemergonomische Analyse von Anzeige- und Bedienkonzepten zur Unterstützung des Parkvorganges.
- Dreyer, Daniel (2006): Kontrastschwellensimulation für Sichtbarkeitsuntersuchungen an Displays
- Eckstein, Lutz (2000): Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit aktivem Sidestick
- Egger, Theodor (1990): Berechnungen und experimentelle Untersuchungen zur indirekten Sicht aus Kraftfahrzeugen
- Estermann, Stefan (1999): Komfortprognose für ein CAD-Menschmodell auf der Basis realer Fahrversuche.
- Fukuda, Ryoko (2003): Ergonomische Gestaltung der Webauftitte - Analyse des menschlichen Verhaltens bei der Webnutzung und darauf basierende nutzerspezifische Vorschläge.
- Gengenbach, Rolf (1997): Fahrverhalten im PKW mit Head-Up-Display.
- Geuß, Hartwich (1994): Entwicklung eines anthropometrischen Meßverfahrens für das CAD-Menschmodell RAMSIS.
- Gillet, Gordon (1999): Ergonomische Optimierung eines Aktiven Stellteils.
- Götz, Matthias (2007): Die Gestaltung von Bedienelementen unter dem Aspekt ihrer kommunikativen Funktion.
- Hartung, Jürgen (2006): Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz.
- Hecker, Richard (1978): Varianz und zeitliches Verhalten des menschlichen Wach-EEG in Zuständen unterschiedlicher physischer Beanspruchung.
- Herrler, Michael (2006): Systemergonomie und Usability-Tests bei bildschirmbasierten Bedienoberflächen im Automobil.
- Hoensch, Volker (2006): Sicherheitsgerichtetes Leistungsverhalten in Kernkraftwerken.
- Hofmann, Jan (2001): Präsenz und Raumwahrnehmung in virtuellen Umgebungen. Dissertation TU-München
- Holoch, Jürgen (1972): Wachsamkeitsprognose mittels Computeranalyse des spontanen Elektroenzephalogramms.
- Huang, Pei-shih (2003): Regelkonzepte zur Fahrzeugführung unter Einbeziehung der Bedienelementeigenschaften.
- Hudelmaier, Jörg (2003): Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika.
- Hummel, Stephan (2008): Akzeptanzentwicklung bei multimedialen Bedienkonzepten.
- Ilgmann, Wilhelm (1979): Ergonomische Untersuchung über die Einwirkung rotatorischer Schwingungen (FBWT).
- Knoll, Christian M. (2006): Einfluss des visuellen Urteils auf den physisch erlebten Komfort am Beispiel von Sitzen.
- Kolling, Joachim (1998): Validierung und Weiterentwicklung eines CAD-Menschmodells für die Fahrzeuggestaltung.
- Krist, Renate (1994): Modellierung des Sitzkomforts - Eine experimentelle Studie.
- Kusch, Werner (1992): Vergleichende Bewertung von zwei CNC-Ausbildungskonzepten.
- Lang, Sandro (2000): Auswirkungen von Gruppenarbeit in einem hochautomatisierten Fertigungsbereich in der Automobilindustrie.
- Lange, Christian (2008): Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades.
- Linsenmaier, Bernd (2006): Systemische Erfassung von unerwünschten Ereignissen bei Mensch-Maschine-Interaktionen.
- Marach, Amin (1999): CAD-fähiges Prognosemodell für statische Körperhaltungen des Menschen.
- May, Norbert (1979): Untersuchung über den Einfluss sinusförmiger und stochastischer Ganzkörperschwingungen auf die Sehschärfe im freijugigen Sehen.
- Mayer, Anton (1987): Untersuchung über den Einfluß eines aktiven Bedienelements auf die menschliche Regelungsleistung.
- Mayer, Erhard (1983): Entwicklung eines Messgerätes zur getrennten und integrativen Erfassung der Raumklimakomponenten.
- Mergl, Christian (2006): Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen.
- Schwabe, Michael (1991): Körperkräfte des Menschen – Perzentilierung isometrischer Maximalkräfte
- Moroff, Carin (1991): Körperkräfte des Menschen - Beanspruchung bei konzentrischer und exzentrischer dynamischer Ganzkörperarbeit.
- Namberger, Christian (1999): Untersuchung zur ergonomischen Optimierung von Orgelspielanlagen
- Penka, Andreas (2001): Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen.
- Pretzsch, Armin (1969): Ein digitales Simulationssystem zur ergonomischen Untersuchung von Radarbeobachtungsproblemen.
- Rassl, Robert (2004): Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw - Systemergonomische Analyse und Prognose.
- Rausch, Herbert (1990): Entwicklung eines Bewertungsverfahrens für rotatorische Schwingungsbelastung.
- Reichart, Günter (2000): Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen - Möglichkeiten der Analyse und Bewertung.
- Reisinger, Jörg (2008): Parametrisierung der Haptik von handbetätigten Stellteilen
- Rigel, Stefan (2005): Entwicklung und Validierung einer Methode zur quantitativen Untersuchung der Ein- und Ausstiegsbewegung in einem Pkw.
- Rühmann, Heinzpeter (1978): Untersuchung über den Einfluss der mechanischen Eigenschaften von Bedienelementen auf die Steuerleistung des Menschen bei stochastischen Schwingungen.



- Rühmann, Heinzpeter (1984): Die Schwingungsbelastung in Mensch-Maschine-Systemen. Experimentelle Untersuchungen zur Bewegungsgenauigkeit bei stochastischen Roll- und Nickschwingungen
- Sacher, Heike (2009): Gesamtheitliche Analyse des Bedienverhaltens von Fahrzeugfunktionen in der täglichen Nutzung.
- Schaefer, Peter (1976): Luftkissenrettungssystem und Mensch - Eine Belastungsanalyse.
- Schaefer, Peter (1984): Entwurf eines umfassenden Lärmbewertungsverfahrens.
- Schell, Marco (2002): Untersuchungen zur Mensch-Maschine-Schnittstelle am motorisierten Zweirad.
- Schmucker, Peter (1969): Ergonomische Untersuchung über den Einfluss verschiedener Parameter auf die Ortschaftsleistung des Radarbeobachters bei Aufgaben des Fluglotsen
- Schneid, Marcus (2009): Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head-Up-Displays im Fahrzeug.
- Schwabe, Michael (1991): Körperkräfte des Menschen - Prozentilierung isometrischer Maximalkräfte.
- Schwarz, Wolfgang (1997): 3D-Video-Belastungsanalyse. Ein neuer Ansatz zur Kraft- und Haltungsanalyse.
- Schweigert, Manfred (2003) Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben.
- Seibt, Friedrich (1971): Steuerleistung in Abhängigkeit vom Übersetzungsverhältnis und von Coulombscher Reibung im Bedienelement
- Seidl, Andreas (1993): Das Menschmodell RAMSIS – Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen.
- Seitz, Thomas (2003): Videobasierte Messung menschlicher Bewegungen konform zum Menschmodell RAMSIS.
- Spanner, Birgit (1993): Einfluss der Kompatibilität von Stellteilen auf die menschliche Zuverlässigkeit.
- Stein, Michael (2008): Informationsergonomie – Ergonomische Analyse, Bewertung und Gestaltung von Informationssystemen. Habilitationsschrift
- Sträter, Oliver (1996): Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung.
- Theis, Irina (2002): Das Steer-by-Wire System im Kraftfahrzeug - Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit.
- Voß, Till (2008) Untersuchungen zur Beurteilungs- und Entscheidungssicherheit in virtuellen Umgebungen.
- Wegener, Hubert (1978) Validität spektraler EEG-Parameter als Indikatoren zur Unterscheidung von Bewußtseinszuständen.
- Weinberger, Markus (2000): Der Einfluß von Adaptive Cruise Control Systemen auf das Fahrerverhalten.
- Weiß, Dieter (1985): Entwicklung eines Systems zur Analyse menschlicher Bewegung. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der TUM
- Wolf, Hagen (2009): Ergonomische Untersuchung des Lenkgefühls von Personenkraftwagen
- Zenk, Raphael (2008): Objektivierung des Sitzkomforts und seine automatische Anpassung.
- Zöllner, Rolf (2008): Ein Verhaltensmodell für Informationsselektionsaufgaben bei suchmaschinengenerierten Fundstellen.

# Die Ergonomie in München im Aufbruch

Univ.- Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

## Einführung

Die Ergonomie hat in ihrer mittlerweile 150-jährigen Geschichte stetig an Reife und Bedeutung gewonnen. Zunächst stand die Bewahrung des Menschen vor Schädigung und die Erhöhung der Effizienz des Nutzers zum Beispiel im Produktionsprozess oder im militärischen Kontext im Zentrum. Sehr bald wurden weitere Anwendungsfelder betrachtet und die Fragestellungen erweitert um Fragen der Akzeptanz und „Pleasure with Products“.

Waren also anfangs Arbeitsprozesse und Arbeitsplatzgestaltung in industriellen Umgebungen im Vordergrund, kommen mittlerweile immer mehr Fragestellungen rund um die Interaktion mit Dingen des täglichen Gebrauchs wie Mobiltelefonen, Hausgeräten und Medizingeräten hinzu. Diese werden zudem in verschiedensten Kontexten genutzt.

Welche Tragweite diese Entwicklung hat, wird spätestens klar, wenn nicht nur das Mobiltelefon, sondern beispielsweise auch das Automobil als sehr anspruchsvolles Konsumgerät verstanden wird.

Der Reifegrad der einzelnen Produkte aber auch die Ergonomie als Disziplin haben sich in Wechselwirkung weiterentwickelt. Damit ist auch die Erwartungshaltung der Verbraucher an die Benutzerfreundlichkeit von Maschinen und Geräten deutlich gestiegen. Mangelnde Benutzbarkeit oder zu wenig „Freude an der Benutzung“ sind zu einem gewichtigen „Nicht-Kaufgrund“ geworden. Positiv formuliert zeigt zum Beispiel Apple's iPod Produktfamilie, dass in der Kundenwahrnehmung bessere Benutzbarkeit und Ergonomie den geringeren Funktionsumfang des Geräts überwiegen.

Der Bedeutungszuwachs der Ergonomie wird anhalten, da neben anderen Faktoren vor allem die veränderten demografischen Bedingungen in den Industrienationen aber auch die Erschließung neuer Märkte weitere Fragestellungen aufwerfen. Es kommt hinzu, dass durch innovative Interaktionstechnologien neue Potenziale für die Mensch-Maschine-Interaktion erschlossen werden können, die wiederum die bisherige ergonomische Betrachtung erweitern. Spracherkennung und sensierende Touchoberflächen sind inzwischen etabliert. In Zukunft wird zudem die Körperbewegung des Nutzers als Eingabemodalität dienen können.

Die Ergonomie als interdisziplinär geprägte Wissenschaft erfreut sich also immer stärkerer Berücksichtigung im Produktentstehungsprozess; andererseits ist auch die Verbindlichkeit gestiegen, mit der ergonomische Untersuchungen und Messungen beurteilt werden. Dieser Tatsache kommt eine besondere Bedeutung zu, da ergonomische Forschung immer wieder Probandenversuche beinhaltet.

Zusammenfassend lässt sich anhand der beschriebenen Entwicklungen leicht erkennen,

- dass eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Disziplin gefordert ist, um Interaktionskonzepte darzustellen, die sich an den demografischen und technologischen Entwicklungen orientieren.
- dass die Messwerkzeuge der Ergonomie ergänzt und präzisiert werden müssen, um auch in Zukunft einer verbindlichen Diskussion standzuhalten.
- dass dazu die bisherige interdisziplinäre Ausrichtung beibehalten, unter Umständen sogar noch erweitert werden sollte.

## Ausgangspunkt - Die Münchner Ergonomie

Vor dem Hintergrund dieser Thesen kommt dem weit-sichtigen Konzept der „Münchner Ergonomie“ besondere Bedeutung zu, das von Prof. Dr. H. Schmidtke in den frühen 70er Jahren formuliert wurde und von Prof. Dr. H. Bubb in der Folge weiterentwickelt wurde (Bubb 1995). Die grundlegenden Verallgemeinerungen wurden bereits damals formuliert und besitzen bis heute Gültigkeit:

So ist ein ergonomisches Problem immer zu verstehen als ein Zusammenwirken von Mensch – Maschine – Organisation.

Bekannte Beispiele sind „Fahrer – Fahrzeug – Verkehrssystem“, „Operator – Leitstand – Kraftwerk“.

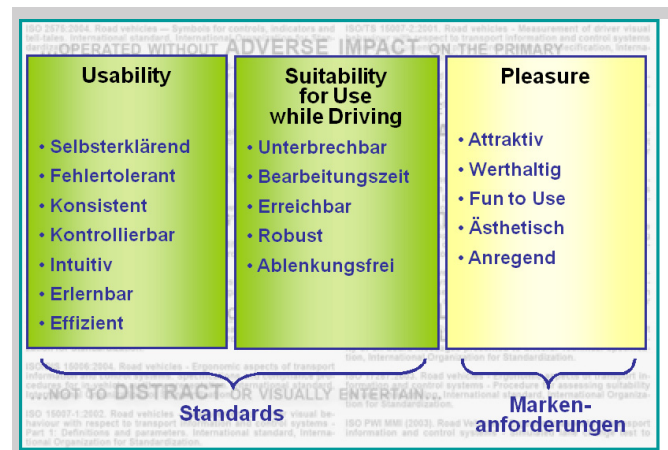


Abb. 1: Ergonomische Anforderungen im Automobil HMI - Standards und Eigenschaften

Regelmäßigkeiten und Invarianten in diesem Zusammenwirken werden für Forschung und vor allem industrielle Anwendung nutzbar, indem sie in gesetzmäßigen Zusammenhängen und Modellen formuliert werden. Einem interdisziplinären Ansatz folgend entstammen die Grundlagen hierfür den Natur- und Gesellschaftswissenschaften.

Dieses Wissen ist mittlerweile in Tabellenwerken, Gesetzmäßigkeiten bis hin zu internationalen Normen und Standards verankert.

Ergonomische Erkenntnisse haben also zunehmend Einfluss auf die Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung, aber auch auf Meßverfahren- und Meßmittel für die entwicklungsbegleitende Bewertung.

Vor allem die Gestaltung und Bewertung der Tertiär-interaktion im Automobil (siehe Abb.1) liefern hier unter anderem die jüngsten Beispiele: Produkteigenschaften von Fahrerinformationssystemen wie z.B. die *usability* wurden über Methoden wie die systemergonomische Analyse oder international die Norm ISO 15008 zur Lesbarkeit von Displayschriften operationalisiert.

Eigenschaften der *suitability for use while driving* mit Meßmethoden belegt. Hier sind die ISO Normen 15007 zur Blickbewegungsmessung oder ISO 16673 zur Messung der visuellen Beanspruchung und Unterbrechbarkeit zu nennen.

Gerade der Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie und das Blickbewegungsmesssystem DIKABLIS werden in diesem Kontext eingesetzt (Wohlfarter & Lange 2008).

Diese Beispiele sind nur stellvertretend für eine lange Liste ergonomischer Standards auf hohem Niveau, die einerseits Produktqualität sicherstellen, andererseits die Arbeit des Entwicklers fokussieren und beschleunigen können.

Nachdem diese bedeutenden Fortschritte in der Modellierung psychophysischer und anthropometrischer Inhalte gemacht wurden, treten nun bei der Bearbeitung aktueller ergonomischer Probleme zunehmend kognitive und auch motivationale Fragestellungen auf den Plan, die vor allem auch zu den Markeneigenschaften eines Produkts beitragen.

Die erkennbaren Umwälzungen in Gesellschaft, Arbeitswelt und Technologie inspirieren diese neuen Forschungsfragen. Als Beispiele sind neben anderen Faktoren vor allem die veränderten demografischen Bedingungen in den Industrienationen und die sich bietenden Potenziale durch innovative Interaktionstechnologien zu nennen.

### Funktionale Veränderungen und Erweiterungen

Maschinen werden zunehmend assistierend und automatisiert agieren, unter vielen anderen wird sich durch die konsequente Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen der Assistenzcharakter des Automobils verändern (Freyman 2006).

In Anlehnung an die ADASE II Roadmap ist das automatisierte Einparken inzwischen produktreif – automatisiertes Fahren im Stau bereits in Entwicklung.

Ebenso wird auch im Produktionsumfeld die Verflechtung von Mensch und Maschine enger werden. Hier sind Ansätze des Trainierens der Maschine durch „Vor-machen“ und Cobotik als Ansätze zu nennen, welche Antworten aus der Ergonomie erfordern. Hinzu kommt, dass diese Mensch-Technik Interaktion nach wie vor sicher und zunehmend auch effizient –

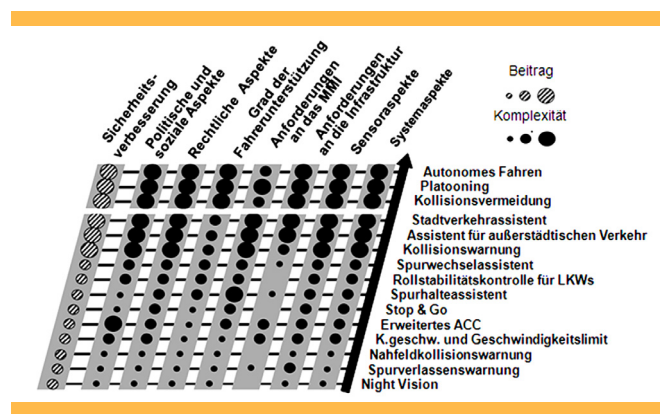


Abb. 2: Entwicklung der Fahrerassistenz hin zum autonomen Fahren. (Quelle: Projekt ADASE II - Advanced Driver Assistance Systems in Europe)

vor allen Dingen energieeffizient - erfolgen soll.

Nun aber nicht mehr nur aus ökonomischen Gesichtspunkten. Ökologische Gesichtspunkte eröffnen Zielfelder für Fahrerassistenzsysteme („Vorausschauendes Fahren unterstützt durch FAS“) bzw. neue Antriebsformen wie die Elektromobilität erfordern eine Änderung des Nutzungsverhaltens und einen bewussteren Umgang mit der „Energie an Bord“.

Daraus ergeben sich Forschungsfragen, die in den Bereich der Handlungsstrategien und Planungshilfen reichen. An der Beantwortung dieser Fragen hat die Ergonomie einen erheblichen Anteil.

### Interaktionstechnologien und -konzepte entwickeln sich weiter

Entsprechend wird der Mensch zunehmend mit stark vernetzten *embedded systems* interagieren. In der Konsequenz lautet die Frage des Nutzers nicht mehr nur: „Wie gut kann ich das Display dieses Gerätes ablesen?“, sondern auch „Auf welchem Display in meiner Umgebung wird die Information zu dieser Funktion gerade angezeigt?“. Vor allem im Bereich stark vernetzter Geräte löst sich die Einheit von Funktion und Bedienung/Anzeige zunehmend auf. Zahlreiche Beispiele liefern die Haustechnik, aber wiederum das Au-



Abb. 3: Multimodale Interaktion - Interaktionsformen

tomobil.

Hinzu kommt, dass durch extreme Vernetzung eine Verschiebung der Fragestellungen stattgefunden hat. Die Antwortzeit der größten Datenbank *google* liegt weit unter einer Sekunde. Damit tritt im Fall der Systemreaktion die Antwortzeit als klassisches ergonomisches Kriterium in den Hintergrund und die Präsentation eines Überangebotes, nur teilweise zuverlässiger Information in den Vordergrund.



Des Weiteren werden in Ergänzung zu haptisch mechanischen Interaktionsformen (Taster, Schalter, Knebel) zunehmend Erkennertechnologien (Spracherkennung, Handschrifterkennung, Gestikerkennung) eingesetzt, nachdem sie entsprechende Reifegrade erreicht haben (Bengler 2005). Allerdings wird in diesem Umfeld nach wie vor mit sehr speziellen Interaktionsphänomenen zu rechnen sein, die der Ergonomie aber nicht fremd sind.

So sind die Intuitivität und Erlernbarkeit gerade in diesem Fall eine besondere Herausforderung (Bechstedt et al 2005). Hinzu kommt die Tatsache, dass trotz aller Leistungen nach wie vor ein „Restrisiko“ für Fehlerkennungen bestehen wird.

## Demografische Entwicklungen – Mehr als Altern

Die beschriebenen technologischen Entwicklungen spielen sich vor dem Hintergrund zweier demografischer Entwicklungen ab, die wiederum wichtige Impulse für die ergonomische Arbeit geben. Zum Einen nimmt das Durchschnittsalter in den Industrienationen stetig zu und damit der Anteil älterer Nutzer. Hier war ergonomisches Wissen auch bisher im wahrsten Sinn des Wortes „gefragt“, um vorhersehbare Veränderungen vor allem im Bewegungsapparat und Wahrnehmungssystem in der Produkt- und Ar-

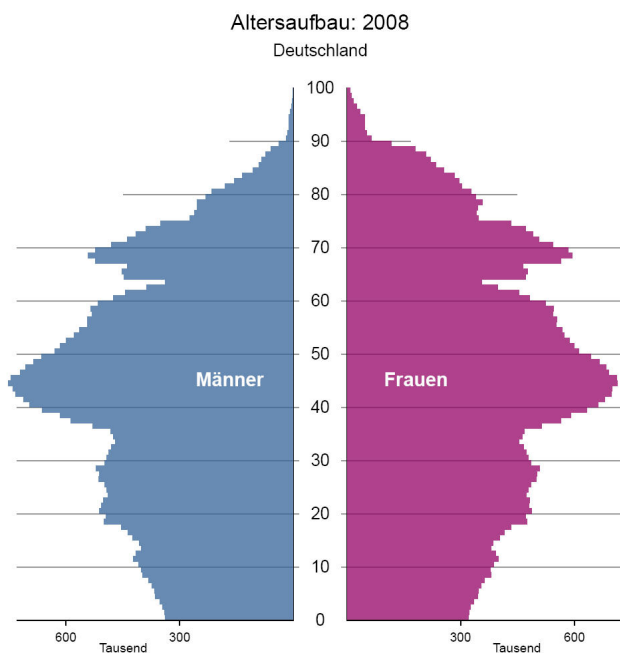


Abb. 4: Altersaufbau Deutschland Stand 2008  
(Quelle: Statistisches Bundesamt).

beitsplatzgestaltung zu berücksichtigen. Diese Tatsache ist hinlänglich bekannt.

Es wäre aber grundsätzlich falsch, Altern und Altersprozesse nur als „defizitär“ zu betrachten und das weite Feld der Reifungs- und Lernprozesse ausser Acht zu lassen. Es stellt sich also zunehmend die Frage, wie Produkte und Prozesse sowohl innovativ gestaltet werden können, andererseits aber vor allem erfahrenen Nutzern die Möglichkeit bieten, Nutzungsstrategien und hochgradig trainierte Abläufe zum Ein-

satz zu bringen, die häufig mit dem Vorgängergerät gesammelt wurden.

Eine zweite sehr bedeutende Entwicklung lässt sich mit einem ebenso populären Schlagwort charakterisieren: „Globalisierung“. Wieder ist offensichtlich, dass der Erfolg einer Entwicklung nicht mehr nur von einem unter Umständen zu kleinen Markt abhängen darf. Au-



Abb. 5: Menüansichten eines Infotainment-Systems zweisprachig, deutsch vs. chinesisch (Quelle: Continental Automotive GmbH)

tomobile, Telefone, Organizer und vor allem Softwareprodukte werden in verschiedensten Märkten platziert. Hier kommt auf den Entwickler die Aufgabe zu, ergonomische Randbedingungen hoher Bandbreite sehr früh in der Produktentstehung zu berücksichtigen. Neben den bekannten klimatischen, kulturellen Lokalisierungsfaktoren werden zunehmend auch kognitive Aspekte wichtig, was sich in einer Änderung der Bedienlogik und Gewichtung von Funktionen niederschlägt.

Einen weiteren Punkt stellt die Aufgabe dar, dass häufig zwar lokal entwickelt wird, letztendlich aber Nutzungskonzepte global vor Ort, zum Beispiel in usability Studien, mit erheblichen Aufwänden abgesichert werden müssen (Wisselmann et al 2004).

## Ausblick

Nachdem einige der wichtigsten Entwicklungen skizziert wurden, stellt sich die Frage, welche Herausforderungen sich aus diesen für die Forschungsthemen der Münchner Ergonomie ergeben?

Im Bereich der Bewertungsmethoden ist es erforderlich, geeignete Versuchskonzepte und Messwerkzeuge zu entwickeln, die es erlauben, die Qualität erkennerbasierter und multimodaler Interaktion verlässlich zu quantifizieren und dabei deutlich über das Stadium von „wizard of oz“ Versuchen hinausgehen.

Darüberhinaus sollen wie bereits im Fall haptisch/mechanischer Interaktion die Minimalanforderungen an multimodale Interaktion klar operationalisiert werden, um durch den gezielten Einsatz von Multimodalität eine wirkliche Reduktion der Interaktionskomplexität zu erreichen. Da beispielsweise im Fall von Spracherkennung die rein körperliche Aktivität zur Beurteilung nicht mehr ausreicht, ist absehbar, dass die objektive und kontinuierliche Messung von *workload* über die etablierte Befragung hinaus weiterentwickelt werden muss um neben der reinen Beanspruchung auch die emotionale Qualität (*Freude an Benutzung*) der Interaktion zu erfassen. Die bisher genutzte Blickbewegungsmessung und vor allem Pupillometrie stellen hier

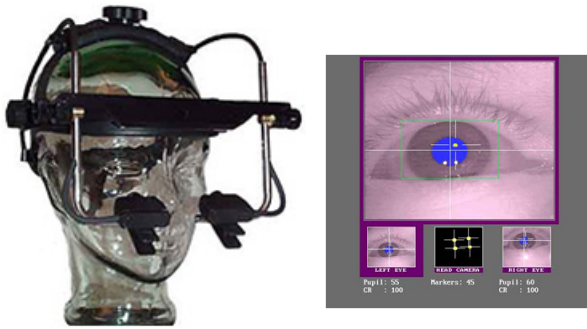


Abb. 6: Anordnung zur Messung der Pupillendilatation (Schwalm et al. 2008)

neben der klassischen Messung physiologischer Parameter, vielversprechende Kandidaten dar.

Die beschriebenen demografischen Entwicklungen werden zu einer erheblichen Zunahme an Streuung in den Nutzeranforderungen und Nutzerfähigkeiten führen, die ein Produkt und Nutzungskonzept abdecken muss. Somit stellt sich die für die Ergonomie die Frage, welche Konzepte es dem Nutzer ermöglichen eine Tätigkeit, einen Arbeitsplatz ein Produkt an individuelle Gewohnheiten und Bedarfe aktiv anzupassen, ohne in einer Flut von Optionen zu versinken. Kooperative und adaptive Systeme versprechen hier zunächst automatisierte Abhilfe, bergen aber in sich wiederum das Risikopotential der unakzeptablen Fehlanspassung und Fremdsteuerung (Engström et al 2004).

Welche Richtung nimmt also der im Titel erwähnte Aufbruch?

Basierend auf dem bisherigen grundlegenden Konzept, ist es notwendig die Arbeitsweisen und Grundlagen der Ergonomie so weiterzuentwickeln, dass sie kognitiven Aspekten der Gestaltung und Bewertung stärker Rechnung tragen.

Gleichzeitig und vor allem im Zusammenhang mit kognitiven Fragestellungen ist es notwendig, ergonomische Messungen und Maßnahmen im Sinn einer Kosten-Nutzen Betrachtung quantifizieren zu können. Also eine objektive Antwort auf die Frage geben zu können: Welches Risiko, welche Kosten würden Zugeständnisse an die ergonomische Qualität verursachen?

Vor allem werden anhand von Prototypen innovative Konzepte dargestellt werden, die vor allem die Interaktion mit kooperativen und die Informationsdarstellung in stark vernetzten Systemen adressieren.

## Literatur:

- Bechstedt, U. Bengler, K., Thüring, M. (2005). Randbedingungen für die Entwicklung eines idealen Nutzermodells mit Hilfe von GOMS für die Eingabe von alphanumerischen Zeichen im Fahrzeug. 6. Berliner Werkstatt MMS – „Zustandserkennung und Systemgestaltung“
- Bengler, K. (2005). Potenzial von MMK-Technologien für zukünftige Fahrzeug-Bedienkonzepte. In: Fastl, H.; Fruhmann, M. (Wiss. Hrsg.): Fortschritte der Akustik: Tagungsband und CD-ROM der 31. Deutschen Jahrestagung für Akustik, DAGA 2005, München, Band I und II. Berlin: DEGA, 2005.
- Bubb, H. (1995). Ergonomie: Herausforderung einer technischen Welt. Zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. H. Schmidtke. Pabst Science Publishers.
- Engström, J., Arfwidsson, J., Amditis, A., Andreone, L., Bengler, K., Cacciabue, P.C., Eschler, J., Nathan, F., Janssen W. (2004). Meeting The Challenges of Future Automotive HMI Design: An Overview of the AIDE Integrated Project. Proc. ITS Congress, Budapest, 24 May 2004.
- Freyman R. (2006). HMI: A Fascinating and Challenging Task. In: IEA Triennial Conference, Proceedings/Symposium: Vehicle Ergonomics, Maastricht, 10–14 July 2006.
- Road vehicles – Ergonomic aspects of transportation information and control systems – Occlusion method to assess visual demand due to the use of in-vehicle systems, ISO 16673-2007(E).
- Road vehicles – Ergonomic aspects of transportation information and control systems – Specifications and compliance procedures for in-vehicle visual presentation, ISO 15008-2009 (E).
- Road vehicles – Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems – Part 1: Definition and parameters, ISO 15007-1-2002(E).
- Road vehicles – Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems – Part 2: Equipment and Procedures, ISO 15007-2-2001(E).
- Schwalm, M., Keinath, A., & Zimmer, H., (2008). Pupillometry as a method for measuring mental workload within a simulated driving task. In D. de Waard, F.O. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid, & K.A. Brookhuis (Eds.), Human Factors for assistance and automation (pp. 1 - 13). Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing.
- Wisselmann, D., Gresser, K., Spannheimer, H., Bengler, K., Huesmann, A. (2004). ConnectedDrive – ein methodischer Ansatz für die Entwicklung zukünftiger Fahrerassistenzsysteme. VDI Tagung Garching. Proceedings.
- Wohlfarter, M. & Lange, C. (2008). Fahrsimulator-Forschungsumgebungen am Lehrstuhl für Ergonomie. Ergonomie aktuell 009.

# Sporttechnologie- Spielfeld und Herausforderung für die Ergonomie

Prof. Dr.-Ing. Veit Senner

Seit Juni 2009 ist das Extraordinariat SPORTGERÄTE UND –MATERIALIEN bislang der Fakultät Sportwissenschaft zugehörig an den Lehrstuhl für Ergonomie angegliedert.

Wird die Ergonomie damit einfach nur „sportlicher“ oder gibt es sinnvolle Anknüpfungspunkte zwischen den beiden Einrichtungen?

Wie positionieren sich Sportartikel im Umfeld der Ergonomie?

Welche Synergieeffekte sind für die Forschung zu erwarten?

Diese und einige damit verbundene Fragen will der vorliegende Artikel beantworten.

## Was macht Sportartikel so besonders?

Der Schwede Ingemar Stenmark, der in seiner aktiven Zeit von 1973 bis 1989 insgesamt 86 Weltcup-Siege erzielte, ist nach wie vor der erfolgreichste alpine Skirennläufer seit der Einführung des Ski-Weltcups. *Stenmark war ein absoluter Ausnahmekönner unter den alpinen Ski-Athleten. Neben einer exzellenten Körperbeherrschung und einem extrem ausgeprägten intuitiven Ski- und Schnee-Gefühl zeichnete ihn eine phänomenale Balance aus* (aus Wikipedia, Zugriff 12.07.2009). In Insiderkreisen war er aber auch als Tüftler bekannt, was die Abstimmung des von ihm verwendeten Skimaterials betrifft. So testete er penibel und in ständigem Dialog mit seinem Skiausrüster die Effekte auch nur minimaler Veränderungen im Aufbau seines Skis. Um der Rennpiste „näher“ zu sein und sie besser spüren zu können, ließ er sich die Sohlen seiner Skischuhe soweit abschleifen, wie es die Anforderungen an Steifigkeit gerade noch erlaubten. Die Interaktion zwischen dem Athleten und dem Sportgerät in Wechselwirkung mit der Umwelt optimal zu gestalten – dies ist eine Herausforderung, welcher sich der Hochleistungssport im Kampf um die Hundertstelsekunden in nahezu allen Sportarten stellen muss.



Abb. 1: Die optimale Anpassung der Ausrüstung an die technischen und körperlichen Voraussetzung jedes einzelnen Sportlers ist eine Domäne des Sports Engineering. Dies gilt sowohl für den Leistungs-, als auch für den Gesundheits- und Breitensport.

So ist es durchaus konsequent, dass das Innenministerium (zuständig für den Leistungssport) das Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) in Berlin subventioniert oder das Bundesinstitut

für Sportwissenschaften dem Autor den Auftrag für die Erstellung einer Expertise zum *Thema High-Tech-Textilien für den Spitzensport zur Trainings- und Wettkampfunterstützung* erteilt hat.

Die optimale Ausrüstung ist aber nicht nur eine Aufgabe für den Hochleistungssport – mit anderen Schwerpunkten ist sie eine zentrale Aufgabe für alle Formen des Gesundheits-, Freizeit- und Breitensports: *Pleasure with Products* wird nur dann erreicht, wenn der Fahrradsattel nicht schmerzt (z.B. Lowe et al., 2004), wenn der Laufschuh zum persönlichen Laufstil passt (z.B. Stacoff, 1998) oder wenn die 3-Lagen Outdoorjacke im Zusammenwirken mit der teuren Funktionsunterbekleidung ein angenehmes Körperklima erzeugt (z.B. Huber, 2009). Die Attraktivität von Sportartikeln determiniert sich aus einer Reihe von Faktoren aus verschiedenen Ebenen (Abb. 2) und erfordert zu ihrer wissenschaftlichen Durchdringung interdisziplinäre Ansätze: Für das Fahrradsattelbeispiel einen engen Schulterschluss zur Orthopädie und Neurologie, für das Laufschuhbeispiel zur Biomechanik und Materialforschung, für die Funktionsjacke eine Verbindung zwischen Leistungsdiagnostik, der Wärme-Stoffübertragung und der Textilchemie. Einflussvariablen sind die konstruktive Ausgestaltung, die physikalischen Eigenschaften der verwendeten Materialien, deren Anordnung und insbesondere deren Anpassung an das Individuum. Dies allein wäre Herausforderung genug, ist aber im Fall von Sportartikeln für Erfolg oder Misserfolg des Produktes immer noch nicht ausreichend.

Münchener Attraktivitätsmodell

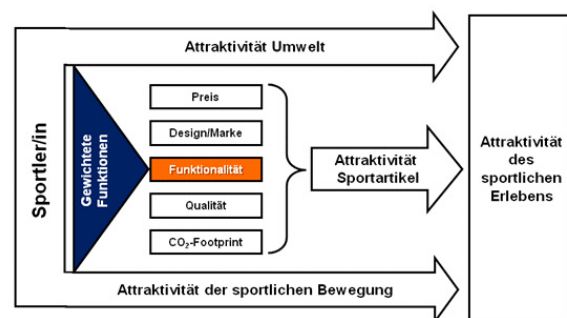


Abb. 2: Sportartikel leisten einen wesentlichen Beitrag zur Attraktivität des sportlichen Erlebens, wenn sie selbst attraktiv sind. In wie weit letzteres zutrifft, determinieren fünf Faktoren, wobei sich der Faktor Funktionalität wiederum als gewichtete Summe von Einzelfunktionen darstellt (aus: Ebert 2009).

Die besonders schwierige und alles entscheidende Designvariable ist natürlich das Gewicht. Aber kaum weniger bedeutsam ist das Design (hier taucht Design in zwei Bedeutungen auf: Designvariable und Design), welches bei derart emotionalen Produkten, wie sie Sport- und Freizeitgerät darstellen, eine entscheidende Rolle spielt. Der extrem leichte, gleichzeitig besonders steife und sichere Fahrradrahmen, mit einem Design, das den vorgesehen Einsatzzweck und seine Zielgruppe ideal repräsentiert, stellt in der Unvereinbarkeit der Designparameter einen erheblichen Zielkonflikt



dar. Damit bestehen bei vielen Sportartikeln technologische Herausforderungen, welche durchaus mit denen des Automobilbaus vergleichbar sind – auch in Hinsicht auf den bestehenden Preisdruck, die ständig kürzer werdenden Innovationszyklen und die Verschiedenheit der Märkte<sup>1</sup>. *‘Eine derzeit an der TUM entstehende Dissertation (Müller, 2009) widmet sich u.a. ausführlich einem Vergleich dieser beiden Technologiefelder.*

## Der Faktor Mensch in der Entwicklung von Sporttechnologie

Die Untersuchung und das Quantifizieren der Funktionalität von Sportartikeln ist eine komplexe Aufgabe und muss Kompetenzen aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen nutzen. Dies deshalb, weil sich der Funktionsbegriff an Konstrukten festmacht, deren operationale Definition und wissenschaftliche Durchdringung schwierig ist. So erfordern viele Funktionsmerkmale, wie z.B. *Handhabung, Komfort, Design und Spaß* sozialempirische Methoden um sie objektiv, reliabel und valide messen zu können. Selbst die vergleichsweise simple Funktion *Schutzwirkung-Sicherheit* (zentrales Kriterium für den gesamten Bereich der persönlichen Schutzausrüstung) erfordert erhebliches Wissen in den Bereichen Epidemiologie, Biomechanik und Rechtsmedizin, um diese wissenschaftlich sauber quantifizieren zu können. So wird es in sehr vielen Fällen nicht ausreichen physikalische Eigenschaften des Endproduktes oder von dessen Einzelkomponenten zu erfassen. Denn was nützt die Kenntnis der Torsionssteifigkeit eines Skis, solange nicht klar ist, ob höhere Werte mit besseren Bewertungen des Fahrgefühls einher gehen? Somit ist Sports Engineering immer wieder mit der Frage konfrontiert, wie weit die Physik, also die mit objektiven Methoden (z.B. in Prüfvorrichtungen) ermittelten Messwerte, mit subjektiven Bewertungen korrelieren.

Damit dürfte gut nachvollziehbar sein, dass der Anwender befragt werden muss, der Mensch als „Messgerät“ also unmittelbar in den Entwicklungsprozess von Sportprodukten einbezogen ist. Aus dieser Sachlage ergeben einige grundsätzliche Fragen:

*Wie relevant sind messtechnisch vielleicht noch nachweisbare Unterschiede - sind sie für den Sportler überhaupt noch spürbar?*

Die Beantwortung dieser Frage ist vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Produktentwicklung von Bedeutung, denn nur das, was für den Anwender eine wirklich merkbare Verbesserung darstellt, wird sich längerfristig auf dem Markt durchsetzen. Es gibt eine Vielzahl von Beispielen im Sportartikelbereich, bei denen mit großem Marketingaufwand vermeintliche Innovationen auf dem Markt etabliert wurden, die dann aber nach sehr kurzer Zeit – ohne die gewünschten Renditen erzielt zu haben – wieder verschwanden (Beispiele: Kneissl's *Glide Technologie*, Head's *Intelligence System*, Lowa's *Biomex*).

Weitere – in gleicher Weise auch für die Ergonomie bedeutsame Fragen drehen sich um die Eignung des „Messgerätes Mensch“.

*Wie gut kann er Unterschiede detektieren, wie sensibel reagiert er auf Manipulationen,*

*wie lässt sich herausfinden, wer sich für das Testen von Sportprodukten eignet?*

Eine erste Untersuchung (Sprick 2007), die genau diese Fragen zum Thema hatte, offenbarte Interessantes: die technischen Fertigkeiten in der betreffenden Sportart scheinen nicht unbedingt maßgeblich für die Differenzierungsfähigkeit zu sein. Und (was zu erwarten war): Blinde verfügen über eine deutlich bessere Sensibilität, vorgenommene Materialmanipulationen erkennen zu können.

Für die Hersteller von Sportprodukten, die mehr Sicherheit für Entscheidungen im Rahmen der Entwicklung und Vermarktung seiner Produkte benötigen, zeigt sich, welche große Bedeutung die Auswahl ihrer Produkttester hat. Für die Wissenschaft öffnet sich hier ein noch wenig bearbeitetes Forschungsfeld, welches auf die Kurzform „Test-der-Tester“ gebracht werden kann.

Vor diesem Hintergrund ist es konsequent, dass das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie eines unserer Forschungsprojekte fördert, welches das Ziel hat, spezifische Testverfahren und Testumgebungen für die produktvergleichende Funktionsprüfung von Sporttechnologie zu entwickeln.

## Bedeutung Sportartikelmarkt

Das in der Regel wenig optimistische Organ des deutschen Sportfachhandels, die SAZ schreibt in ihrer Ausgabe vom 11.05. 2009 „Der Einzelhandelsumsatz brach im Januar und Februar um 3,8% ein, doch der Sportfachhandel bewies seine Stärke mit 5,2% Wachstum“ und bezieht sich dabei auf Zahlen des Statistischen Bundesamtes, Wiesbaden. Diese Robustheit des Sportartikelmarktes beruht unter anderem darauf, dass die drei sehr verschiedenartigen Produktlinien, die Sportgeräte (Hardware), die Sportschuhe (Footwear) und die Sportbekleidung (Software) saisonbedingte Absatzschwankungen innerhalb einer Produktlinie insgesamt stets gut kompensieren konnten (Abb. 3).

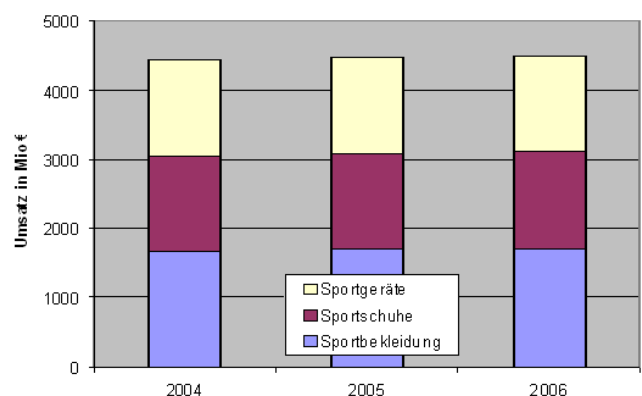


Abb. 1: Sportartikelmarkt in Deutschland (Quelle: Vossen K. und Garske U. Sport – Aktuell Markt und Verbraucher, Jahrgang 2004/2005. Branchenbericht der bbw Marketing, Neuss).

Das Marktvolumen innerhalb Deutschlands liegt demnach bei etwa 4,5 Milliarden und ist im Gegensatz zu vielen anderen Produkten in der Gesamtentwicklung nicht rückläufig. Wie die World Federation of Sporting

Goods Industry (sgi) in ihrem Handbuch zum 25-jährigen Bestehen feststellt, beläuft sich der Weltmarkt auf 92 Mrd. US\$ (inkl. Bekleidung). Für die EU werden überdurchschnittliche Wachstumsraten von über 5% angegeben. Zum insgesamt positiven Bild des Sportartikelmarkts tragen schließlich auch die Prognosen des Branchenverbandes der Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM, 2006) bei: für die Produktgruppe der Mobile Motion Tracking Services – hierzu gehören im weitesten Sinne alle Sportinformationssysteme – wird bei konservativer Analyse bis 2015 ein neues Marktvolumen von 0,65 Milliarden, bei einer positiven Marktentwicklung sogar 4,3 Milliarden Euro erwartet. Die Studie der BITKOM stellt darüber hinaus fest, dass der Sport an den privaten Ausgaben für Freizeitgüter etwa 20% ausmacht. Zum Vergleich: für Reisen geben Deutsche 3,6%, für Möbel und Haushaltsgeräte 6,8% ihres Haushaltseinkommens aus. Der Sport hat sich damit zu einem der bedeutsamsten Segmente in einem insgesamt expandierenden Freizeitmarkt entwickelt.

### Expertise am Extraordinariat Sportgeräte und –materialien

Gegenstand der Forschungsarbeit am Fachgebiet SPORTGERÄTE UND –MATERIALIEN ist die Interaktion Mensch-Sportgerät-Umwelt unter verschiedenen Aspekten wie z.B. Biomechanik, Leistungsphysiologie, Sicherheit, subjektives Erleben. Das Methodenspektrum umfasst sportwissenschaftliche Methoden (Spirometrie, Kraft- und Leistungsdiagnostik, Bewegungsanalyse, EMG), typische sozialwissenschaftliche Methoden (z.B. Befragung), sowie ingenieurwissenschaftliche Methoden wie z.B. Modellierung und Simulation.

Der Computermodellierung und insbesondere der Validierung der entwickelten mathematischen Modelle kommt besondere Bedeutung zu. So entstanden über einen Zeitraum von insgesamt 15 Jahren etliche Mehrkörpermodelle des menschlichen Muskel-Skelettsystems (untere Extremität, Knie, Hand, Schulter-Arm, HWS-Kopf) die mittels Experimenten mit menschlichen Präparaten validiert worden sind (Lehner, 2008). Die Abb. 4 zeigt das von Lehner entwickelte Modell des menschlichen Knies, bei welchem die viskoelastischen Eigenschaften von Knorpel, Bänder, Kapsel und Meniskus ebenso abgebildet sind, wie eine realistische Knochenarchitektur oder die Wirkung der das Knie umfassenden Muskulatur.

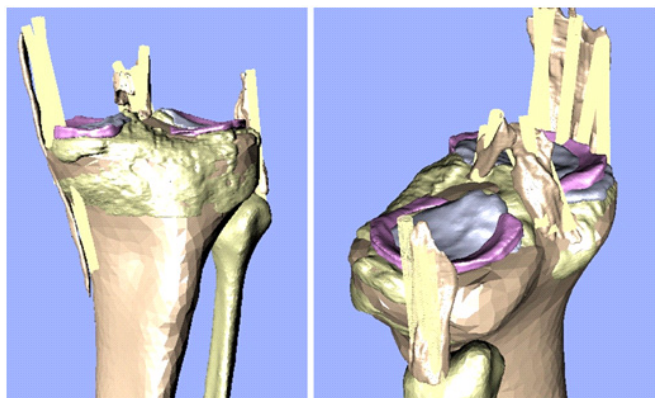


Abb. 4: Durch Vergleich mit Experimenten an menschlichen Präparaten validiertes Mehrkörpermodell des menschlichen Knies (Lehner, 2008).

Typische Anwendungen für die aufgezeigten Methoden sind Produktvergleichstests, die Bewertung (Validierung) vorgenommener konstruktiver Maßnahmen und die Entwicklung neuer Sportprodukte bzw. sportbezogener Informationstechnologien. Zum Gegenstand unserer Forschung gehört auch die Materialseite, z.B. Sporteinlagen für Laufschuhe, Gestaltung von Sportböden oder der große Bereich der Carbonfaser-Verbundwerkstoffe im Hochleistungsfahrradbau.



Abb. 5a: Am Fachgebiet entwickeltes Messfahrrad zur Erfassung der beim Mountainbiken auftretenden Lasten an Lenker, Sattelstütze, Pedalen und Naben. Die ermittelten Betriebslasten fließen ein in eine Dauerfestigkeitsprüfung von Rahmen und Komponenten aus CFK.

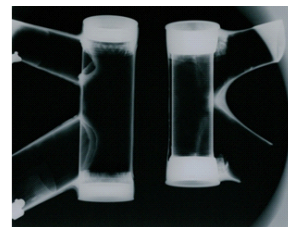


Abb. 5b: Röntgenuntersuchung von Fahrradrahmen aus CFK.

Zu letzterem entstanden in den vergangenen Jahren umfangreiche Mess- und Prüfeinrichtungen (Abb. 5). Die Bayerische Forschungsförderung fördert ein mehrjähriges Forschungsprojekt zu diesem Thema<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Titel des Förderprojekts: Betriebssicherheit von Sportgeräten aus CFK. Projektbeginn war April 2009, Laufzeit 3 Jahre.

### Die Synergien zur Ergonomie und zum Lehrstuhl

In einer jüngst eingereichten Promotion an der Deutschen Sporthochschule Köln (Tofaute 2009) ist zu lesen:

*„Sportergonomie ist ein wissenschaftlicher Ansatz, der sich mit den ergonomischen Aspekten des Sports in Forschung und Anwendung befasst. Die ergonomischen Aspekte betreffen das Zusammenspiel des Menschen mit der Sportausrüstung, der Sportanlage und dem Gesamtsystem, in dem der Sport ausgeübt wird. Ziel der Sportergonomie ist es, das System von Sportler und technischer Umwelt menschengerecht und nach den individuellen Sinngebungen adäquat zu gestalten“.*

Die Forderung Tofautes nach einem eigenen wissenschaftlichen Ansatz einer Sportergonomie ist nicht nachvollziehbar, denn wenn wir in seinem Statement die Begriffe „Sportler“ durch „Mensch“, die „Sportausrüstung“ durch „Maschine“ und die „Sportanlage“ mit „Umwelt“ ersetzen, dann sind wir bei der allbekannten Definition von Ergonomie, die im Begriff *Mensch-Maschine-Systeme* Sportprodukte selbstverständlich (und schon immer) einschließt. Die Erforschung der Ergonomie von Sportprodukten erfordert keine anderen Methoden und sie hat identische Themen zum Gegenstand: Wohlbefinden und Komfort, Bekleidungsphysiologie, Anthropometrie, Körperkräfte oder menschliche Leistungsfähigkeit, dies alles sind auch Themen des Sports Engineering. Ob sie im Umfeld der menschl-

chen Arbeit, im Umfeld von Transport und Verkehr, im Umfeld der Kommunikationsmedien oder eben im Bereich von Sport- und Gesundheit untersucht werden, ist sekundär. Was den Bereich des Sports in diesem Zusammenhang aber vielleicht besonders attraktiv macht, sind die mit ihm verbundenen (meist) positiven Emotionen. Dies hilft bei der medialen Vermarktung der Forschungsergebnisse und bei der Suche nach interessierten Studenten oder Doktoranden. Und sie verschaffen dem Wissenschaftler immer wieder ganz besondere Erlebnisse.

## Literatur

- Ebert C. (2009) Beschreibung und Bewertung der Funktionalität von Sportprodukten. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie an der Technischen Universität München, Fakultät Sportwissenschaft. Eingereicht.
- Huber S. (2009) Einfluss von Material und Gestaltung der körpernahen Bekleidungsschicht auf (Dis)Komfortvariablen und ausgewählte Leistungsparameter bei sportlichen Aktivitäten. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie an der Technischen Universität München, Fakultät Sportwissenschaft.
- Krämer C., Schneider G., Böhm H., Klöpfer I., Senner V. (2009) Effect of different handgrip angles on work distribution during hand cycling at submaximal power levels. *Ergonomics*; angenommen März 2009.
- Lehner St. (2008) Entwicklung und Validierung biomechanischer Computermodele und deren Einsatz in der Sportwissenschaft. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaft, Universität Koblenz, Institut für Sportwissenschaft.
- Lowe B.D., Schrader S.M., Breitenstein M.J. (2004) Effect of bicycle saddle design on the pressure on perineum of the bicyclist. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 6. 1055-1062.
- Müller M. (2009) Enhancing sports – Specific characteristics of sports technology and its evaluation in the design process. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades in den Ingenieurwissenschaften an der Technischen Universität München, Fakultät Maschinenwesen. In Vorbereitung.
- Senner V., Lehner St., Böhm, H. (2009) Equipment development and research for more performance and safety. In: Müller E. Lindinger St., Stöggli T.(Eds.) *Science and Skiing IV*, Meyer & Meyer Sport (UK) Ltd., 111-133.
- Senner V., Schaff P., Ehrlenspiel K., Bubb, H. (1995) Der Rückwärtsfall im alpinen Skilauf. Fallstudie zum Einfluss des Heckspoilers des Skischuhs auf die Muskelaktivität und Kinematik. *Sportverletzung Sportschaden* 9, 109-117.
- Sprick A (2007) Untersuchungen zur Differenzierungsfähigkeit des Menschen als Tester von Sportgeräten – exemplarisch für den Bereich des Alpinen Skilaufs. Diplomarbeit an der Fakultät Sportwissenschaft der Technischen Universität München.
- Stacoff A. (1998) Skeletal lower extremity motions during running. Doctoral Dissertation, University of Calgary, Canada.
- Tofaute K. (2009) Ergonomie in der Sportwissenschaft. Entwicklung eines Konzepts der Sportergonomie am Beispiel des Radfahrens unter besonderer Berücksichtigung von Gesundheit, Wohlbefinden und Komfort. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Sportwissenschaft an der Deutschen Sporthochschule Köln, Begutachtet.



# Lehrerbildung am Lehrstuhl für Ergonomie

Dr.-Ing. Herbert Rausch

Der Lehrstuhl für Ergonomie bietet mittlerweile seit 1964 vielfältige Lehrveranstaltungen für zukünftige Lehrkräfte in zunehmend wichtigen Themenbereichen an. Von der Einführung in die Arbeitswissenschaften, der Berufskunde über die Technik bis hin zur Fachdidaktik für das Fach Arbeit-Wirtschaft-Technik liefern die Arbeitswissenschaft eine breite Basis für die Vermittlung wesentlicher Zusammenhänge aus der Arbeitswelt.

## Bedeutung der Lehrerbildung

Alle Angebote verfolgen das bildungspolitische Ziel, Schülerinnen und Schüler auf das Leben vorzubereiten und ihre individuellen Anlagen bestmöglich zu fördern. Die Ausbildung der Lehrkräfte spielt dabei eine Schlüsselrolle, da diese quasi als Multiplikatoren wirken. Die angestrebte Handlungskompetenz in einer von der Technik geprägten Arbeitswelt ist eine entscheidende Grundlage für das Leben der Schülerinnen und Schüler und für die Arbeit der Lehrkräfte. Laut einem vom VDI beauftragten Gutachten des Deutschen Wirtschaftsinstituts fehlten im Juni 2009 in Deutschland etwa 59.000 Ingenieure. Solche Zahlen weisen auf ein strukturelles Bildungsdefizit der MINT-Fächer an unseren Schulen hin. Der Lehrstuhl wird deshalb weiter verstärkt dazu beitragen, motivierten Nachwuchs für technische Berufe und für die Fakultät anzuwerben, vor allem aber um Interesse an der Technik zu wecken und um Technik als Chance zu begreifen, die selbst gewählten Ziele effektiv zu erreichen.

Im Rahmen der Berufsvorbereitung, z. B. im Aufgabenfeld der Lehrkräfte an beruflichen Schulen, fokussieren arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse ergänzend zu den Erziehungs- und den speziellen Fachwissenschaften die Bedingungen im Arbeitsleben, von der die menschliche Leistung abhängt. Dabei steht der Mensch mit seinen kognitiven und physiologischen Eigenschaften im Zentrum der Betrachtungen, der seine Arbeitsaufgaben im gesellschaftlichen, sozialen und technischen Umfeld bestmöglich bewältigen können soll, das heißt er soll gesund, mit hoher Leistung und zufrieden arbeiten.

So kann eine Berufsentscheidung zur Nachtarbeit individuell mit der physiologischen Tagesrhythmik, mit Untersuchungsergebnissen der Sozialforschung und den gesetzlichen Rahmenbedingungen beurteilt werden. In die Bearbeitungszeitabschätzung bei der Arbeitsplanung fließen unter anderem die Sollzeiten aus einer Multimomentaufnahme, der Systeme vorbestimmter Zeiten und vorausgehender Zeitaufnahmen ein. Das Belastungs-Beanspruchungskonzept hilft in diesem Fall Überbelastung zu vermeiden. Hier nutzt oft schon das Wissen, dass bei mehreren kürzeren Pausen im Vergleich mit einer langen Pause bezogen auf die Pausenzeit eine deutlich bessere Erholung eintritt oder dass die sehr belastende statische Haltearbeit meist

mit geringem Aufwand vermieden werden kann. Die Untersuchungen von *Herzberg* belegen eindrucksvoll, dass eine Gehaltserhöhung nur kurzzeitig motiviert, aber ein erweiterter Entscheidungsfreiraum und die öffentliche Anerkennung nachhaltige Erfolge zeigen. Die Bedingungen und Zusammenhänge eines Arbeitssystems, mit den Komponenten „Aufgabenstellung“, „Mensch“, „eingesetzte Technik“, „Umwelteinflüsse“, „Ergebnis“ und dessen Vergleich mit der Aufgabenstellung („Rückmeldung“), liefern einen systematischen Ansatz für die Gestaltung und Optimierung menschlicher Arbeit aus individueller, betrieblicher und gesellschaftlicher Sicht, um auf Dauer ohne Gesundheitsschäden, erfolgreich und mit hoher Leistung und Zufriedenheit und komfortabel zu arbeiten.

Allgemein (bildend) gelten diese Ziele, wenn sie nicht nur auf die Berufsarbeit bezogen werden, sondern auch das private und das soziale und politische Leben mit einbeziehen und helfen, „die zentralen gegenwärtigen Menschheitsprobleme zu verstehen und kritisch reflektiert zu handeln“.

Wenn Arbeit allgemein als zielgerichtetes Handeln definiert wird, unterstützen die arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse vor allem emanzipiertes Handeln und Entscheiden.

## Die aktuellen Lehrveranstaltungen

Das breite Lehrangebot des Lehrstuhls richtet sich an Studierende für das Lehramt an beruflichen Schulen, das Lehramt an Hauptschulen und das Lehramt an Sonderschulen. Darüber hinaus werden Lehrkräfte aller Schularten mit Fortbildungsveranstaltungen und einem Informationsportal im Internet angesprochen. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Lehrveranstaltungen:

Die zweistündige Vorlesung „**Einführung in die Arbeitswissenschaft / Ergonomics**“ (Prof. Klaus Bengler) thematisiert zunächst die Aufgaben und Ziele der Arbeitswissenschaften. Fachlich ist sie in folgende Teile gegliedert: Die Systemergonomie, die sich mit dem Informationsfluss an der Mensch-Maschine-Schnittstelle befasst, der Anthropometrie, die die Maße und Kräfte des Menschen betrachtet und der Umwelt-ergonomie, die aus den Umweltbelastungen wie Lärm, Licht, Klima usw. auf Beanspruchungen des Menschenschließt. Ergänzend werden die rechtliche Rahmenbedingungen, das Belastungs-Beanspruchungskonzept und die Arbeitsplatzgestaltung vorgestellt. Die Inhalte werden im „**Ergonomischen Praktikum**“ vertieft, in dem Gruppen mit bis zu 6 Studierenden selbständig Beispielaufgaben lösen.

Mit der Vorlesung „**Produktionsergonomie**“ (Dr. Christian Lange) erhalten die Lehramtsstudenten vertiefte Einblicke in die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung.

Die Lehrveranstaltungen „**Technologie**“ und das dazu gehörige Praktikum (Prof. Veit Senner) vermitteln einen systematischen Überblick der Technik und ihre wesentlichen Grundlagen. Es wird aufgezeigt, wie Technik der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse dient und die Erkenntnisse der Naturwissenschaften genutzt werden.

Die Vorlesungen „**Einführung in die Berufskunde**“ und „**Berufswahl und Berufsberatung**“, und die Seminare „**Berufskundliches Seminar**“ und „**Seminar betriebliche Ausbildung**“ (Dr. Karl-Werner Müller) liefern einen Überblick des beruflichen Bildungswesens in Deutschland und die fachlichen Voraussetzungen für einen fundierten Berufswahlunterricht. Neben der Systematik der Berufe und den Berufsanforderungen wird z. B. auf den Arbeitsmarkt, die Berufswahltheorien, das duale System der Berufsausbildung und das berufliche Schulwesen in Bayern eingegangen.

Die Vorlesung „**Berufsbildungs- und Arbeitsrecht**“ (Dr. Karl-Werner Müller, Böttcher) ist für alle Studierenden des Lehramts an beruflichen Schulen verbindlich vorgeschrieben.

Mit der **Vorlesung und den Didaktik-, Methoden-, Praxis- und Prüfungsvorbereitungsseminaren der Fachdidaktik Arbeitslehre** (Dr. Herbert Rausch) werden die Studierenden auf den Unterricht im Unterrichtsfach

Arbeit-Wirtschaft-Technik an Haupt- und Sonderschulen vorbereitet. Es geht um die Frage der verantwortlichen Auswahl geeigneter Inhalte und die Wahl und Anwendung der fachspezifischen Vermittlungs-Methoden. Dabei wird z. B. seit Jahren erfolgreich mit dem nach dem Studium folgenden Studien-seminar kooperiert. Herr Wolfgang Schulz, der Leiter des Studienseminars Freising – Süd, betreut gemeinsam mit dem Dozenten wöchentliche Unterrichtsstunden, die die Studierenden zunächst im Seminar an der Universität und anschließend in Schulklassen der umliegenden Schulen erproben.

Einzelne Projekte, die im Rahmen von Zulassungsarbeiten durchgeführt werden, ergänzen die fachdidaktische Ausbildung. So wurden z.B. Arbeitsplätze für Körperbehinderte bei der Stiftung Pfennigparade optimiert, didaktisch aufbereitetes Informationsmaterial zu Technikthemen für eine Internetplattform erarbeitet und der Einfluss der Lehrkräfte auf den Erfolg der Schüler beim Betriebspraktikum empirisch untersucht.

Im Rahmen der **Lehrerfortbildung** organisiert und veranstaltet der Lehrstuhl für Ergonomie federführend in der Fakultät Maschinenwesen Workshops, die interessierten Lehrkräften erlebnisreiche Einblicke in aktuelle Forschungsprojekte der Maschinenbauer geben. Die Faszination der meist besonders anschaulichen High-Tech- Produkte soll Lehrern helfen, Anwendungs-

und Übungsbeispiele für ihren Unterricht zu finden, die die Bedeutung der an den Schulen vermittelten Grundlagen belegen. Auch „**Nichttechniker**“, wie z. B. Deutsch- und Sozialkullehrkräfte sind eingeladen, um sich über die Möglichkeiten und die Grenzen der modernen Technik zu informieren.

An den Workshops nehmen jährlich etwa 50 Lehrkräfte teil, die zu gleichen Teilen von Gymnasien und aus beruflichen Schulen kommen. Die Veranstaltungen werden durchwegs gut bis sehr gut evaluiert.

## Ausblick

In Zukunft soll die Forschung im Bereich der technischen Bildung durch die Nutzung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse stärker betont werden.

Ein erster Ansatz befasst sich mit der Didaktik im engeren Sinne, mit der Auswahl von Lerninhalten. Für die systemergonomische Gestaltung einer konkreten Mensch-Maschine-Schnittstelle wird der Informationsfluss zwischen Mensch und Maschine zunächst analysiert (Ist-Analyse) und anschließend ein „idealer“ Informationsfluss abgeleitet (Sollanalyse). Die Systemergonomische Analyse liefert quantifizierbare Daten der Kommunikation und stellt ein analytisches Verfahren dar, das detailliert Art und Menge der Informationen, die für den fachgerechten Umgang mit Maschinen

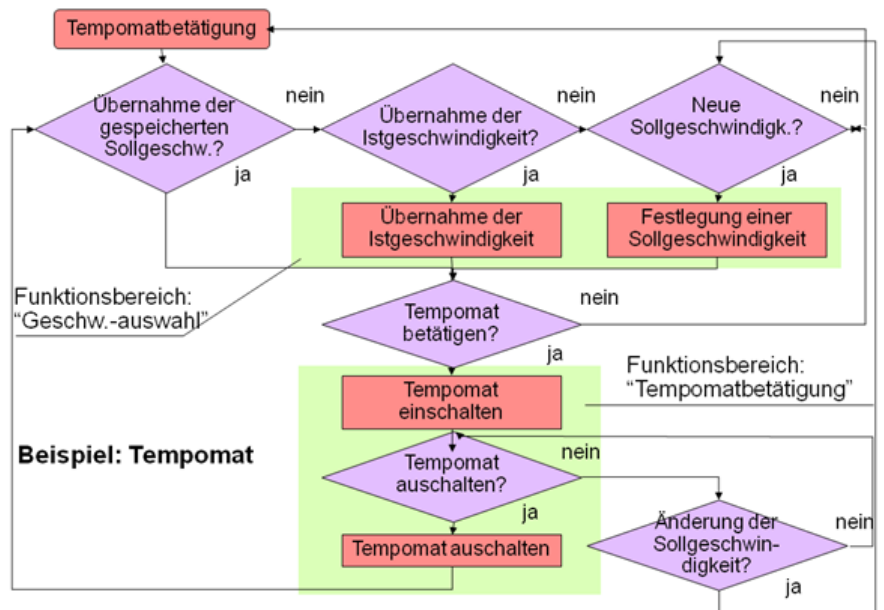


Bild 1: Beispiel der Gliederung in Teilaufgaben einer Systemergonomischen Analyse für die Tempomatbetätigung [aus Bubb: Vorlesung Produktergonomie, 2008]

notwendig sind, auch hinsichtlich ihrer Bedeutung wichtig. Damit lassen sich notwendige Handlungsmuster und Lerninhalte systematisch auch für die Ausbildung erfassen.

Visionär könnte dieses Verfahren die Möglichkeit bieten, im Rahmen von Wissensmanagementsystemen nicht nur einzelne Arbeitsaufgaben sondern auch umfassend die Aufgabenbereiche von Berufen oder von Berufsfeldern zu erschließen. Längsschnittstudien könnten systematisch Veränderungen der Arbeitsinhalte offenlegen und prospektiv Langzeit- und Kurzzeitwissen definieren.

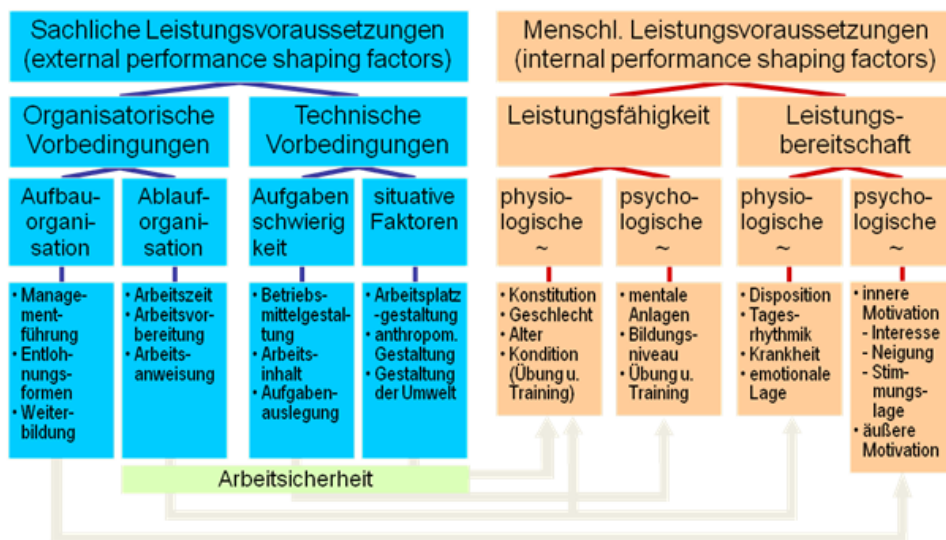


Bild 2: Einflussgrößen menschlicher Arbeitsleistung [Bubb, 1993]

Der zweite Ansatz fokussiert die Methodik, also die Vermittlung der Lerninhalte. In der systemergonomischen Analyse wird jeder einzelne Handlungsschritt bzw. jede Entscheidung hinsichtlich ergonomischer Kriterien überprüft. Sinngemäß kann dieses Verfahren auch auf Lerneinheiten angewandt werden. Auch beim Lernen geht jedem Handlungsschritt eine Entscheidung der Lernenden voraus, die von seinem Informationsstand und seinen Werthaltungen abhängt.

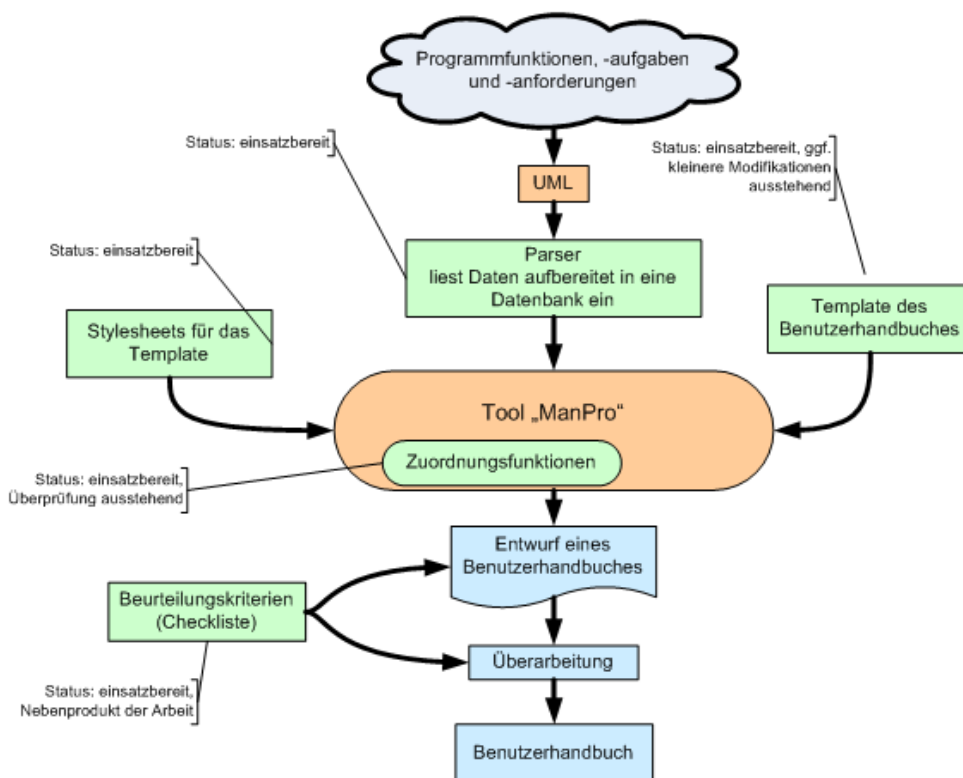


Bild 3: Prozess der Handbuchenstellung im Projekt Venus I [2008]

Bild 1 zeigt für eine sehr enge isolierte Aufgabe die Zerlegung in einzelne Entscheidungen und Handlungsschritte. Lernen erfolgt in einem Arbeitssystem. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ist Lernen Arbeit. Zahlreiche Untersuchung liefern Hinweise auf die Bedingungen menschlicher Arbeitsleistung, die grund-

sätzlich auch für das Lernen gelten (s. Bild 2). Mit der Systematik der menschlichen Leistungsvoraussetzungen und dem Informationsfluss der systemergonomischen Analyse können Entscheidungen modelliert werden, die in der Summe ein Lernsystem bilden, das wesentliche Erkenntnisse menschlichen Lernens abbildet und als Werkzeug für den Entwurf neuer oder zur Optimierung bestehender Lerneinheiten dienen kann. So liefern z. B. arbeitswissenschaftliche Erfahrungen beim halbautomatisierten Entwurf ergonomisch optimierter Bedien-

anleitungen im VenuS -I Projekt (Vorgehen zum effizienten Nachweis der Sicherheit und Benutzbarkeit rechnergestützter Leitechniksysteme, (s. Bild 3) auch aussichtsreiche Grundlagen für die methodische Gestaltung von Lerneinheiten.

In diesem Projekt wurden für Bedienanleitungen selten benutzter Steuersoftware Stylesheets für die formale Gestaltung und Templates für die Auswahl und Anordnung der Inhalte erstellt. Die Basis der Anleitung ist der mittels UML modellierte Informationsfluss einer system-

ergonomischen Analyse. Solche Beispiele eignen sich besonders, weil hier die Kommunikation ausschließlich über definierte Wege (Eingabe- und Ausgabemedien) erfolgt, leicht erfassbar ist und der Handlungsraum der Software mit dem Code bekannt ist.

Ein derartiges Werkzeug kann helfen, formale Regeln und Erkenntnisse und die inhaltliche Vollständigkeit beim Entwurf neuer Lerneinheiten zu gewährleisten. Zudem wird die Lehrkraft von der Routinearbeit des formalen Designs entlastet.

Projekte beginnen mit der Analyse der Gesamtaufgabe im industriellen Umfeld oder komplexer Systeme, die bis zur den Teilaufgaben einzelner Mitarbeiter aufgegliedert werden.

Konkret liefern solche Analysen schließlich den Informationsfluss für Teilentscheidungen und Teilhandlungen bei der Bedienung einer einzelnen Maschine, aus dem etwa Bedienanleitungen abgeleitet werden können. Einfache Bedienanleitungen können schließlich zu Lerneinheiten erweitert werden, die prinzipiell auch nichttechnische Aufgaben betreffen. Die Ergebnisse sind zunächst direkt in den Betrieben und bei deren Kunden nutzbar, sie sollen aber auch über die



betriebliche Ausbildung und den Unterricht an beruflichen Schulen schließlich auch allgemeinbildende Inhalte für alle Schularten umfassen. Damit wird der Bogen von einzelnen Betrieben, der Wirtschaftswelt zu den Schulen und schließlich zu den Universitäten gespannt.

Unsere Demonstratoren ergonomischer Zusammenhänge (hörbare Lärmmaße und Kurven gleicher Lautstärke, sichtbare Perzentile maximaler Muskelkraft, spürbares aktives, federzentriertes und isometrisches Stellteil für Kransteuerungen, erkennbare Einflüsse der Beleuchtungsgrößen) werden weiter ausgebaut. Damit liefern wir Anschauungsmaterial für interessierte Schüler und Studenten. Im Bereich „teach the teacher“ sollen dabei Lernhandlungen erlebbar werden. Mit Standardmessverfahren der Ergonomie können der Verlauf, die Leistung, die Belastungen und die Beanspruchungen während einer Lernhandlung objektiv erfasst werden. Das am Lehrstuhl entwickelte Blickfassungssystem Dikablis zeigt, welche Informationen der Betrachter mit den Augen fixiert, wohin er seine

Aufmerksamkeit richtet, was für die Gestaltung visueller Medien besonders relevant erscheint. Ergonomische Erkenntnisse und Methoden liefern fundierte Hinweise für die Gestaltung effektiver Lernprozesse.

## **Literatur**

- Bubb, H. (1993): Systemergonomische Gestaltung. Kap. 5.3 in Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl., München-Wien: Carl Hanser-Verlag.
- G. Glöe und T. Hadler (2008): Vorgehen zum effizienten Nachweis der Benutzbarkeit und Sicherheit rechnergestützter Leittechniksysteme. Abschlussbericht. Reaktorsicherheitsforschung - Vorhaben-Nr.: 1501282. TÜV NORD. Berichts – Nr.: M.FOR.10.001.00\_1

### **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 und Verarbeitung:  
Printy Digitaldruck&Kopierservice  
80333 München  
ISSN: 1616-7627