

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
	<i>Heiner Bubb</i>	
1.1	Aktuelle Hauptentwicklungslinien des Automobils	2
1.2	Kurzer historischer Überblick über die Fahrzeugentwicklung aus Nutzersicht	8
1.2.1	Entwicklung der Fahrfunktionen	8
1.2.2	Entwicklung des Cockpits	13
1.3	Die Bedeutung der Ergonomie für die Automobilentwicklung	16
1.3.1	Kurzer Abriss der Entwicklung der Ergonomie	16
1.3.2	Ergonomie und Arbeitswissenschaft (Micro Ergonomics und Macro Ergonomics)	17
1.3.3	Teilgebiet der Ergonomie	17
1.3.4	Anwendungsgebiete der Ergonomie	19
1.4	Hierarchie der Fahraufgabe	20
1.4.1	Primäre Aufgabe	20
1.4.2	Sekundäre Aufgaben	22
1.4.3	Tertiäre Aufgaben	23
1.5	Informationsflüsse im Verkehr	24
	Literatur	25
<b>2</b>	<b>Das Regelkreisparadigma der Ergonomie</b>	<b>27</b>
	<i>Heiner Bubb</i>	
2.1	Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	28
2.1.1	Der Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis	28
2.1.2	Folge- und Kompensationsaufgabe	30
2.1.3	Qualität und Leistung	31
2.1.4	Qualität bei der Querdynamik	31
2.1.5	Qualität bei der Längsdynamik	32
2.2	Grundbegriffe der Systemtechnik	33
2.3	Systemdynamik	37
2.3.1	Übergangsfunktionen und Frequenzgang	37
2.3.2	Übergangsfunktion	38
2.3.3	Frequenzgang	40
2.4	Vom Fahrer geregelte Größen	46
2.4.1	Querdynamik	46
2.4.2	Längsdynamik	51
2.5	Die primäre Fahraufgabe aus regelungstechnischer Sicht	53
2.6	Systemzuverlässigkeit	56
2.6.1	Sicherheit, Risiko, Grenzkrisiko und Schutz	56
2.6.2	Zuverlässigkeit, Fehler und Sicherheit	57
2.6.3	Menschlicher Fehler und Unfallwahrscheinlichkeit	60
2.6.4	Ableitung von Maßnahmen aus den Fehlerbaumanalysen	61
	Literatur	64

<b>3</b>	<b>Der Mensch als Fahrer</b> .....	<b>67</b>
	<i>Heiner Bubb, unter Mitwirkung von Mark Vollrath, Klaus Reinprecht, Erhard Mayer, Moritz Körber</i>	
3.1	<b>Der Mensch als Information verarbeitendes System</b> .....	<b>68</b>
3.1.1	Systemtechnisches Modell des Fahrers .....	68
3.1.2	Anatomisch-funktionales Modell .....	68
3.1.3	Funktionell-neurophysiologisches Modell .....	73
3.2	<b>Elemente des Information verarbeitenden Menschen</b> .....	<b>81</b>
3.2.1	Informationsaufnahme .....	81
3.2.2	Informationsverarbeitung .....	105
3.2.3	Informationsumsetzung .....	122
3.3	<b>Informationsverarbeitung beim Autofahren</b> .....	<b>126</b>
3.3.1	Das Gefühl für die Zeit .....	126
3.3.2	Blickverhalten des Menschen beim Führen eines PKWs .....	126
3.3.3	Blickverhalten und innere Modelle .....	144
3.3.4	Komfort und Diskomfort .....	146
3.3.5	Belastung und Beanspruchung .....	149
3.4	<b>Fahrfehler</b> .....	<b>151</b>
3.4.1	Menschliche Zuverlässigkeit und Fahrfehler .....	151
3.4.2	Ursachen menschlicher Fehler .....	153
	Literatur .....	158
<b>4</b>	<b>Anatomische und anthropometrische Eigenschaften des Fahrers</b> .....	<b>163</b>
	<i>Rainer E. Grünen, Fabian Günzkofer, Heiner Bubb</i>	
4.1	<b>Anatomische Grundlagen</b> .....	<b>164</b>
4.1.1	Der Bewegungsapparat .....	164
4.1.2	Muskulatur .....	173
4.2	<b>Anthropometrie</b> .....	<b>179</b>
4.2.1	Längen- und Umfangsmaße .....	179
4.2.2	Gewicht .....	197
4.2.3	Kräfte .....	199
4.2.4	Beweglichkeit .....	208
	Literatur .....	216
<b>5</b>	<b>Menschmodelle</b> .....	<b>221</b>
	<i>Heiner Bubb</i>	
5.1	<b>Kognitive Menschmodelle</b> .....	<b>222</b>
5.1.1	Regelungstechnische Modelle .....	222
5.1.2	Der Nutzen regelungstechnischer Menschmodelle .....	230
5.1.3	Kognitive Fahrermodelle .....	231
5.2	<b>Anthropometrische Menschmodelle</b> .....	<b>238</b>
5.2.1	Zeichenschablonen .....	238
5.2.2	Digitale Menschmodelle .....	240
5.3	<b>Zusammenfassende Würdigung des Nutzens von Menschmodellierung</b> .....	<b>253</b>
	Literatur .....	253

<b>6</b>	<b>Systemergonomie des Fahrzeugs</b> .....	<b>259</b>
	<i>Heiner Bubb, unter Mitarbeit von Klaus Bengler, Jurek Breuninger, Christian Gold, Magnus Helmbrecht</i>	
6.1	Allgemeine systemergonomische Gestaltungsrichtlinien .....	260
6.1.1	Funktion .....	263
6.1.2	Rückmeldung .....	269
6.1.3	Kompatibilität .....	269
6.2	Mensch – Maschine – Interaktion .....	272
6.2.1	Anzeigen .....	275
6.2.2	Bedienelemente .....	291
6.3	Systemergonomische Empfehlungen für die jeweiligen Fahraufgabenniveaus .....	303
6.3.1	Primäre Fahraufgabe .....	303
6.3.2	Sekundäre Fahraufgabe .....	309
6.3.3	Tertiäre Aufgaben .....	310
6.4	Gestaltung der fahrrelevanten Eigenschaften .....	312
6.4.1	Querdynamik: Das Lenkgefühl .....	313
6.4.2	Längsdynamik .....	328
6.4.3	X-by-Wire .....	333
	Literatur .....	340
<b>7</b>	<b>Anthropometrische Fahrzeuggestaltung</b> .....	<b>345</b>
	<i>Heiner Bubb, Rainer E. Grünen, unter Mitarbeit von Wolfram Remlinger</i>	
7.1	Fahrzeugpackaging .....	347
7.1.1	Zielsetzung des anthropometrischen Package .....	347
7.1.2	PKW-Maßkonzeption nach SAE .....	350
7.1.3	Arbeitsfelder der anthropometrischen Ergonomie .....	354
7.2	Sitzen .....	360
7.2.1	Berücksichtigung unterschiedlicher Anthropometrien .....	360
7.2.2	Fahrer .....	363
7.2.3	Rechtslenkerproblematik .....	386
7.2.4	Beifahrer .....	393
7.2.5	Fahrzeugfond .....	393
7.3	Sicht .....	396
7.3.1	Direkte Sicht .....	396
7.3.2	Indirekte Sicht .....	408
7.3.3	Sicht auf Bedien- und Anzeigekomponenten .....	410
7.3.4	Reflexionen .....	413
7.4	Bedien- und Anzeigekomponenten .....	418
7.4.1	Bestimmung der Erreichbarkeitsflächen nach SAE .....	418
7.4.2	Funktionale Greifräume .....	419
7.4.3	Berücksichtigung spezieller Bedienanforderungen .....	420
7.5	Raumbedarf .....	423
7.5.1	Statischer und dynamischer Raumbedarf .....	423
7.5.2	Ablagen .....	425
7.5.3	Raumgefühl .....	426

7.6	<b>Ein- und Ausstieg</b> .....	428
7.6.1	Türkonzepte .....	428
7.6.2	Bewegungsstrategien .....	432
7.6.3	Bewertungsmethoden .....	439
7.6.4	Zugang zur 2. und 3. Sitzreihe .....	450
7.7	<b>Beladen</b> .....	452
7.7.1	Geometrie .....	452
7.7.2	Bedienbarkeit .....	454
7.8	<b>Berücksichtigung spezifischer Nutzergruppen</b> .....	455
7.8.1	Ältere Fahrzeugnutzer .....	455
7.8.2	Kinder .....	462
7.9	<b>Handwerklichkeit</b> .....	463
	Literatur .....	467
<b>8</b>	<b>Gestaltung der Konditionssicherheit</b> .....	471
	<i>Heiner Bubb</i>	
8.1	<b>Beleuchtung</b> .....	472
8.1.1	Lichttechnische Maße .....	472
8.1.2	Außenbeleuchtung .....	474
8.1.3	Innenbeleuchtung .....	475
8.2	<b>Schall</b> .....	478
8.2.1	Fahrgeräusche .....	478
8.2.2	Kleine Geräusche .....	483
8.2.3	Nutzsignale .....	485
8.3	<b>Schwingungen</b> .....	486
8.3.1	Schwingungsphänomene .....	486
8.3.2	Wahrnehmung von Schwingungen .....	487
8.3.3	Schwingungsbewertung .....	488
8.3.4	Komfort und Fahrsicherheit .....	492
8.3.5	Kinetose .....	496
8.4	<b>Klima</b> .....	497
8.4.1	Klima, Leistungsfähigkeit und Komfort .....	497
8.4.2	Klimatische Behaglichkeit .....	498
8.4.3	Umweltbedingungen .....	503
8.4.4	Anforderungen an die Technik .....	505
8.5	<b>Geruch</b> .....	518
	Literatur .....	520
<b>9</b>	<b>Fahrerassistenz</b> .....	525
	<i>Heiner Bubb, unter Mitarbeit von Klaus Bengler</i>	
9.1	<b>Was ist Assistenz?</b> .....	526
9.2	<b>Fahrerassistenz und Fahraufgabe</b> .....	528
9.2.1	Heute verfügbare Fahrerassistenzsysteme für die primäre Fahraufgabe .....	529
9.2.2	Kategorisierung der Fahrerassistenzsysteme für die primäre Fahraufgabe .....	557
9.2.3	Müdigkeitswarner .....	562
9.3	<b>Beitrag der Fahrerassistenzsysteme zur Fahrsicherheit</b> .....	566

9.4	<b>Ergonomische Gestaltung</b> .....	571
9.4.1	Bedienung und Anzeige .....	571
9.4.2	Unterscheidbarkeit der Modi eines Fahrerassistenzsystems .....	575
	Literatur .....	578
<b>10</b>	<b>Methoden der ergonomischen Fahrzeugentwicklung</b> .....	583
	<i>Heiner Bubb</i>	
10.1	Ergonomie im Fahrzeugentwicklungsprozess .....	584
10.2	Virtual Reality .....	588
10.3	Simulation anthropometrischer Bedingungen .....	590
10.3.1	Sitzkiste .....	590
10.3.2	Variabler Ergonomieprüfstand .....	591
10.3.3	Anwendung von Virtual Reality .....	592
10.4	Simulation fahr- und verkehrsdynamischer Aspekte .....	598
10.4.1	Motivation für Fahrsimulatoren und deren technische Herausforderung .....	598
10.4.2	Simulatortechniken .....	600
10.4.3	Aussagekraft von Fahrsimulatoren unterschiedlichen Niveaus .....	606
10.4.4	Nutzung von Augmented Reality im Realfahrzeug .....	609
10.5	Versuche im Realfahrzeug .....	611
10.5.1	Versuche auf abgesperrtem Gelände .....	611
10.5.2	Versuche im öffentlichen Straßenverkehr .....	613
10.5.3	Kundenrückmeldungen .....	614
	Literatur .....	615
<b>11</b>	<b>Messmethoden</b> .....	617
	<i>Heiner Bubb, Klaus Bengler, Christian Lange, Carmen Aringer, Nicole Trübswetter, unter Mitarbeit von Antonia Conti, Markus Zimmermann</i>	
11.1	<b>Notwendigkeit von Versuchen</b> .....	618
11.1.1	Wissenschaftliche Anforderungen an Versuche .....	618
11.1.2	Bewertung der Gebrauchstauglichkeit – Usability .....	619
11.1.3	Versuchsplanung .....	620
11.2	<b>Objektive Messungen</b> .....	621
11.2.1	Erfassung der individuellen Anthropometrie .....	621
11.2.2	Erfassung von Körperhaltung und -bewegung .....	623
11.2.3	Erfassen von Kontaktkräften .....	626
11.2.4	Blickbewegung .....	630
11.2.5	Leistungsmessungen .....	637
11.2.6	Physiologische Parameter .....	641
11.3	<b>Subjektive Messungen</b> .....	644
11.3.1	Psychophysik .....	644
11.3.2	Interview .....	649
11.3.3	Standardisierte Fragebögen .....	657
	Literatur .....	659

**12      Statistische Methoden .....663**  
*Mark Vollrath*

12.1    **Grundlegende Fragestellungen – Verteilung vs. Unterschiedsprüfung.....664**

12.2    **Ausprägung von Merkmalen – Vertrauensintervalle .....664**

12.2.1    **Methodik – Stichprobenziehung .....664**

12.2.2    **Statistik – Bestimmung von Kenngrößen .....666**

12.3    **Unterschiede zwischen Bedingungen – Signifikanztests.....669**

12.3.1    **Methodik – Versuchspläne .....669**

12.3.2    **Statistik – Signifikanztests .....673**

12.3.3    **Statistik – Darstellung der Ergebnisse.....679**

12.4    **Externe und interne Validität .....682**

**Literatur .....684**

  

**13      Ausblick .....685**  
*Klaus Bengler, Heiner Bubb*

13.1    **Elektromobilität.....686**

13.2    **Automation .....687**

13.3    **Mobilitätsverhalten .....688**

**Literatur .....688**

  

**Anhang .....691**

**Sachwortverzeichnis .....692**