

Anthropometrische Komfortbewertung des Fahrzeuginnenraums

K. Nagel

Einleitung

Die Bewertung des Komforts als Aspekt der Produktqualität gewinnt im Bewußtsein des Kunden und damit auch in der Fahrzeuginnenraumgestaltung zunehmend an Bedeutung. Die Anforderungen an moderne Fahrzeuge gehen weit über die reine Transportfunktion hinaus. Aspekte wie Insassenschutz, Komfort und Wirtschaftlichkeit tragen erheblich zum Kaufentscheid bei. Aus der Sicht der Industrieanthropologie ist das Fahrzeug jedoch nicht nur ein Konsumgut oder ein Transportmittel, sondern zuerst einmal ein Arbeitsplatz im ergonomischen Sinn. Daher muß auch die Gestaltung dieses Arbeitsplatzes an den Anforderungen der späteren Nutzer ausgerichtet sein. Über die rein ergonomisch sinnvolle Gestaltung hinaus steigert eine komfortable Gestaltung die Käuferzufriedenheit und Akzeptanz.

In der Fahrzeugindustrie lassen sich zunehmend kürzere Entwicklungszyklen beobachten. Der Entwicklungsprozess erfordert daher effiziente und zuverlässige Tools, die bereits in frühen Entwicklungsphasen mit reduziertem Datenstand aussagekräftige Beurteilungen der ergonomischen Qualität des Innenraums zulassen. Der Einsatz von Versuchspersonen zur Bewertung von Gestaltungen ist sehr wertvoll und läßt sich auch durch leistungsfähige Tools nicht gänzlich ersetzen. Ihr Einsatz bleibt aber zumeist auf spezielle Fragestellungen beschränkt, da sowohl der finanzielle als auch der logistische Aufwand beim Bau von 1:1 Modellen sehr groß sind. Bewertungstools dagegen lassen eine Einschätzung der ergonomischen Qualität in fast jeder Entwicklungsphase zu und können so eine wertvolle Unterstützung in der Entscheidung zwischen zwei Gestaltungsalternativen geben.

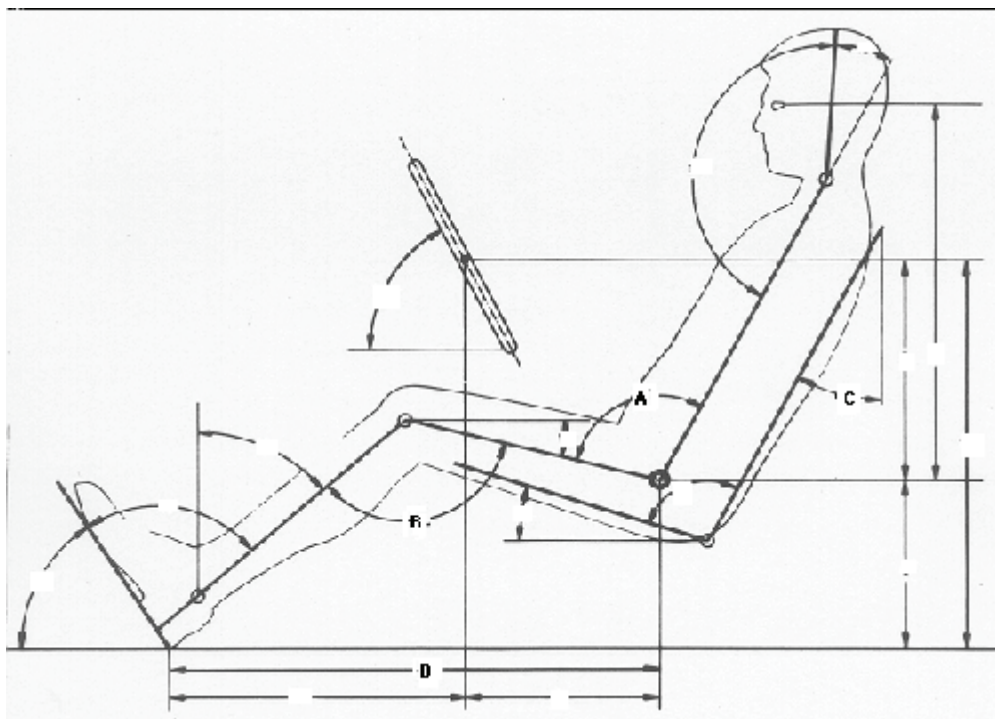
In der vorliegenden Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit ein Bewertungssystem speziell für Kleinstwagen erarbeitet, mit dem Ziel der ergonomisch-anthropometrische Bewertung des Fahrzeuginnenraums. Der Begriff Komfort ist subjektiv geprägt und basiert auf individuellen sensorischen Wahrnehmungen des Menschen. Für die praktische Anwendung dieses theoretischen Konstruktes in der ergonomischen Gestaltung ist ein größeres Maß an Objektivität notwendig. Der Gesamtkomfort wird daher unterteilt in einzelne Aspekte, wie Haltung, Sitzen, Bedienen, Klima, Akustik, Vibrationen, Olfaktorik und Haptik. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Schwerpunkt auf die Betrachtung des Haltungs-, und Sitzkomfort gelegt. Komfort kann nicht direkt gemessen werden, daher müssen geeignete Kriterien gefunden werden (z. B. Körperwinkel, Sitzgeometrie). Für jedes Kriterium wird dann eine messbare Einheit definiert, die eine Bewertung und einen Vergleich ermöglicht (z. B. Grenzen von Komfortwinkeln).

Haltungskomfort

Der Fahrerarbeitsplatz ist ein komplexes System einzelner Komponenten mit vielfältigen Interdependenzen der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Eine komfortable Gestaltung des Fahrzeuginnenraums soll es dem Fahrer ermöglichen, die Fahraufgabe sicher zu erfüllen, ohne mentale oder körperliche Beeinträchtigung zu erleiden. Die meßbaren Größen des Arbeitsplatzes Fahrzeug lassen sich unterscheiden in menschenbezogene und fahrzeugbezogene Elemente.

Diese systematische Struktur erlaubt eine Betrachtung von Einzelaspekten, aber eine Bewertung sollte immer unter Berücksichtigung der einflussnehmenden Parameter vorgenommen werden. Darüber hinaus unterscheidet Pieper (1983) Komponenten die eher funktional beeinflusst sind und solche, die eher individuellen Verhaltensmustern folgen. Die Position der oberen Extremitäten ist dabei mehr von individuellen Vorgaben beeinflusst.

Funktionale Maße dagegen hängen eher von der Gestaltung des Fahrzeug ab, ein Beispiele dafür ist die durch den Innenraum induzierte Haltung der unteren Extremitäten, abgebildet über die Distanz Ferspunkt-Hüftpunkt (Abbildung 1).



- A Hüftwinkel
- B Kniewinkel
- C Torsoneigung
- D Ferspunkt-Hüftpunkt-Distanz

Abb. 1: Fahrerarbeitsplatz

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit diesen funktionalen Maßen. Um den Haltungskomfort der sitzenden Person zu bewerten, wurden aussagekräftige Körperwinkel ausgewählt. Die Position des Oberkörpers wird dabei über den Hüftwinkel beurteilt, der ebenso wie der Kniewinkel zur Beurteilung der Beinhaltung herangezogen wird. Die Bewertung der Körpergelenkwinkel folgt den Empfehlungen von Jürgens (1982) und der DIN 33 408 (1987).

A- Standardisierte Bewertung

Method

In einer Benschmarkuntersuchung wurden 14 Fahrzeuge verschiedener Hersteller untersucht. Die Bewertung der menschenbezogenen Maße wurde durch die Einführung relevanter Fahrzeugmaße erweitert.

Das hier entwickelte ergonomische Bewertungssystem besteht aus drei Hauptkomponenten

1. Innenraumkonzept- Geometrie
2. Körperunterstützendes System- Sitz
3. Transversale Freiräume- Raum

1. Innenraumkonzept

Für die Laboruntersuchungen wurden Versuchspersonen der Grenzperzentile ausgewählt. Zwei Gruppen, jeweils mit Vertretern der Körperhöhe 5. Perzentil und 95. Perzentil wurden ausgewählt. Die Grenzperzentile wurden ausgewählt, da sie als die extremen Vertreter der Zielpopulation zuerst unter Mängeln in der Innenraumauslegung zu leiden haben. Besonders aussagekräftige Ergebnisse bezüglich ergonomisch kritischer Punkte könne also hier erwartet werden. Die Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung des Prinzips des limitierenden Nutzers, d.h. derjenige Nutzer, der die größten Einschränkungen erfahren wird, wird als Maßstab für die Auslegung herangezogen. Die Bewertung für die Größengruppe 5. und 95. Perzentil wird getrennt nach den gleichen Kriterien vorgenommen. Im ersten Schritt wird der zur Verfügung stehende Beinraum über die Betrachtung der Distanz Ferspunkt-Hüftpunkt beurteilt. Die Bewertung des Knie- und Hüftwinkels gehen hier ein. Die Körpergelenkwinkel werden als physiologisch optimal, physiologisch sinnvoll, akzeptabel oder inakzeptabel bewertet.

2. Körperunterstützendes System

Stellt man ein hierarchisches System für die Elemente des Fahrer Arbeitsplatzes auf, so folgt dem Element Innenraumkonzept nachrangig das Element Körperunterstützendes System. In dieser Kategorie werden die Eigenschaften Sitzlänge, Sitzbreite und Freiraum über Kopf bewertet. Die Sitzeigenschaften werden dabei in einen direkten Bezug zu den relevanten anthropometrischen Maßen gesetzt. Die Körpermaße und die dazugehörigen Definitionen sind bei Jürgens (1989) entnommen. Die Bewertung des Körperunterstützenden Systems erfolgt in einer vierstufigen Skala, die die Berücksichtigung der anthropometrischen Eigenschaften der Zielpopulation abbildet.

1. Berücksichtigung bis zum 95. Perzentils (Note 1)
2. Berücksichtigung bis zum 50. Perzentil (Note 2)
3. Berücksichtigung bis zum 5. Perzentil (Note 3)
4. Das 5. Perzentil wird nicht berücksichtigt (Note 4)

Bei den meisten Maßen ist der größte Wert ausschlaggebend, zumeist also das 95. Perzentil. Werden die Anforderungen des 95. Perzentils erfüllt, schließt dies in diesem Fall auch die Erfüllung der Anforderungen der niedrigeren Perzentile mit ein.

3. Transversale Freiräume

Die Kategorie Transversale Freiräume folgt in der Hierarchie der Elemente auf das Körperunterstützende System. In dieser Kategorie werden die Breitenmaße des Fahrzeugs,

insbesondere auf Höhe der Ellbogen, der Schultern und der Knie betrachtet. Die Bewertung erfolgt entsprechend der Bewertung des Körperunterstützenden Systems.

Gewichtungen

Die Ergebnisse der Bewertung werden nach der Stellung im Hierarchischen System Fahrerarbeitsplatz betrachtet. Demzufolge hat das Innenraumkonzept die höchste Priorität, gefolgt von dem Element Körperunterstützendes System und den Transversalen Freiräumen.

Ergebnisse

Die Bewertung der Kategorie Innenraumkonzept ergab unterschiedliche Anforderungen für die kleinen und großen Nutzer. Die Ergebnisse für die großen und kleinen Personen waren in vielen Fällen für das gleiche Fahrzeug vollkommen unterschiedlich. Nur in 17 % der Fälle aller getesteten Fahrzeuge ergaben sich ähnliche Ergebnisse für beide Perzentilgruppen. Insgesamt war in 50 % der Fälle das Design besser an die großen angepaßt, in 33 % war es sehr gut an die Bedürfnisse der kleinen Personen angepaßt.

Der für die Beine zur Verfügung stehende Raum wird vor allem durch den sagittalen Freiraum begrenzt. Die Resultierende wurde als Indikator für diese Eigenschaft definiert. Die Resultierende beschreibt die Diagonale zwischen der Ferspunkt-Hüftpunkt Distanz und der Sitzhöhe (s. Abb. 1). Eine längere Resultierende erhält hier eine höhere Bewertung, da das Raumangebot im Beinbereich größer ist. Dieses Maß kann jedoch nur auf das 95. Perzentil angewandt werden und der Einsatz bleibt auf die besondere Thematik der Kleinstwagen beschränkt.

Neben dem Verhältnis von Sitzhöhe und dem Abstand zu den Pedalen, muß auch das Verhältnis der Sitzhöhe und der Sitzneigung näher betrachtet werden. Die Höhe der Sitzvorderkante spielt für den Sitzkomfort von kleinen Personen eine wichtige Rolle. Das Maß der funktionalen Kniehöhe wird über die Position des Knies über dem Ferspunkt bestimmt. Dieses Maß beschreibt also eine Funktion aus Oberschenkellänge des 5. Perzents in Bezug auf die Sitzhöhe und –neigung. Die Ergebnisse zeigen, dass die funktionale Kniehöhe auf die Beurteilung des Beinraums für kleine Personen angewandt werden kann. Vergrößert sich die funktionale Kniehöhe so verschlechtert sich der Komfortwert des Kniewinkels.

Im Bereich des Körperunterstützenden Systems konnte eine sehr unterschiedliche Berücksichtigung der Größengruppen festgestellt werden. Besondere Defizite wurden bei der Sitztiefe und der Kopffreiheit beobachtet. In der Gesamtbetrachtung waren die Auslegungen lediglich für Personen bis zum 50. Perzentil geeignet, so daß der Großteil der Zielpopulation nicht berücksichtigt wurde.

Im Bereich der Transversalen Freiräume konnten erhebliche Defizite der Fahrzeugbreitenmaße festgestellt werden, vor allem im Bereich der Ellbogen. In den meisten der untersuchten Fahrzeuge war der Freiraum für die Ellenbogen lediglich für das 5. Perzentil ausreichend ausgelegt. Die Mehrheit der Nutzer erfuhr in dieser Kategorie die größten Einschränkungen durch eine nicht angepaßte Innenraumgestaltung.

B-Laborexperimente

In einem zweiten Schritt wurden im Labor fünf Fahrzeuge in ihrer wesentlichen Elementen als Mock-up aufgebaut. Der Einsatz von sechs Versuchspersonen führte zu weiteren Erkenntnissen bezüglich der funktionalen Zusammenhänge zwischen körpermaßlichen Eigenschaften und der individuellen Sitzpositionierung. Die Testpersonen wurden speziell nach ihren körpermaßlichen Eigenschaften als Repräsentanten der Fahrerpopulation ausgewählt. Nach dem Prinzip des limitierenden Nutzers waren

dies Vertreter der Grenzperzentile, also sehr große und sehr kleine Personen. Im Gegensatz zur standardisierten Bewertung im ersten Versuchsteil wurden nun die individuellen Sitzeinstellungen und die individuellen Körpergelenkwinkel untersucht.



Abb. 2: Variabilität der Testpersonen

Jede Versuchsperson hatte die Möglichkeit, sich den Sitz nach individuellen Vorgaben einzustellen. Die Körperhaltung der Testperson wurde an anthropometrischen Meßpunkten mit einem elektromagnetischen Tracking-System erfaßt. Jede Versuchsperson wurde so in den fünf im Mock-up aufgebauten Fahrzeugen untersucht. Zusätzlich wurden die Versuchspersonen gebeten, einen Fragebogen zu ihrer subjektiven Komforteinschätzung auszufüllen, in dem die Themen Gesamtkomfort, Freiräume und erwünschte Designänderungen abgefragt wurden.

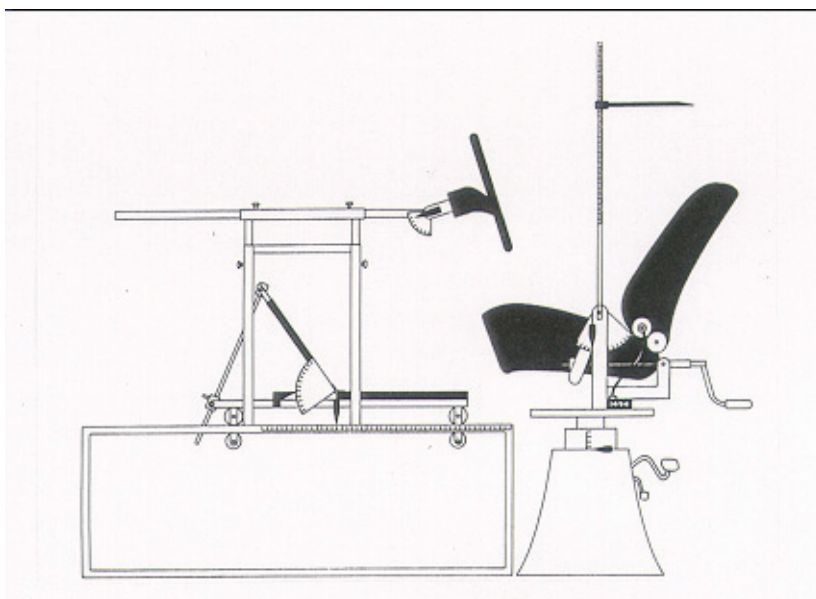


Abb. 3: Mock-up - Prinzipskizze

Die individuelle Sitzhaltung der Probanden wurde schwerpunktmäßig an den drei Hauptkörperwinkeln Torstoneigung, Knie- und Hüftöffnungswinkel betrachtet. Hierüber kann sowohl eine Aussage über den zur Verfügung stehenden Raum als auch über den Komfortwert der Gestaltung gewonnen werden. In den untersuchten Fahrzeugen erreichten kleine Versuchspersonen einen signifikant größeren Hüftwinkel als große Personen (U-test: $p < 0,05$). Bezüglich des Kniewinkels ergaben sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den Größengruppen.

Das Indikatormäß Resultierende läßt eine Aussage bezüglich der ergonomischen Qualität des Beinraums zu. Kleine Versuchspersonen nutzen erwartungsgemäß einen geringeren Bereich des Sitzverstellwegs. Zwischen der individuellen Beinlänge und der Länge der Resultierenden ergab sich eine signifikante Korrelation (Spearman; $r_s = 1$; $p < 0,01$). Probanden mit kürzeren Beinen wählten eine Sitzposition näher zu den Pedalen, solche mit längeren Beinen weiter entfernt. Zwischen der Länge der Resultierenden und dem Kniewinkel ergab sich zudem ein signifikanter Zusammenhang (Spearman; $r_s = 0,9$; $p < 0,2$). Entsprechend vergrößert sich der Kniewinkel bei längerer Resultierenden.

Subjektive Einschätzung

Aus der Befragung der Versuchspersonen konnten weitere Erkenntnisse bezüglich der Qualität der Innenraumgestaltung gewonnen werden. Insbesondere waren hier die erwünschten Änderungen interessant. Die Gesamtmenge der Nennungen unterscheidet sich bei großen und kleinen Personen nicht, jedoch wurden deutliche qualitative Unterschiede gefunden. Die Einschränkungen, die durch die Innenraumgestaltung erfahren werden, resultieren bei kleinen Personen vor allem aus der Position des Lenkrads, während für große Personen eher das gesamte Raumangebot kritisch ist, besonders jedoch die Kopffreiheit. Die Position des Lenkrads ist bei kleinen Personen tendenziell kritisch, weil nicht genügend Freiraum für den Oberkörper vorhanden ist, große Personen dagegen stoßen mit dem Oberschenkel oder Knie an.

Die Position des Lenkrads kann über den Anteil der Strecke Lenkrad-Hüftpunkt an der Gesamtstrecke Fersenpunkt-Hüftpunkt beschrieben werden. Für kleine Probanden ergab sich hier für den Anteil Lenkrad-Hüftpunkt ein Anteil kleiner als 30% an der Gesamtstrecke. Zwischen der Beinlänge und der Distanz Lenkrad-Hüftpunkt konnte eine signifikante Korrelation gefunden werden (Spearman; $r_s = 0,9429$; $p < 0,01$). In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass eine Betrachtung der Körperhöhe als dem charakterisierenden Maß nicht ausreichend ist. Bei der Betrachtung des Fahrerarbeitsplatzes ist es vielmehr wichtig, zusätzlich die Proportionalität des Probanden zu berücksichtigen, also das Verhältnis von Beinlänge zu Stammlänge. Die individuelle Einstellung der Sitzposition erfolgte hier primär nach der Beinlänge als dem funktional wirksamen Maß und nicht nach der Körperhöhe, wie zuvor erwartet.

Diskussion und Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass Versuchspersonen der Gruppen 5. Perzentil Körperhöhe und 95. Perzentil Körperhöhe deutlich unterschiedliche Anforderungen an die ergonomische Gestaltung des Fahrzeuginnenraums haben. Die untersuchten Fahrzeuge waren in ihren Auslegungen entweder eher an die kleinen oder an die großen Personen angepaßt, selten fand sich jedoch ein tragbarer Kompromiß für beide. Aus diesem Resultat läßt sich ableiten, dass eine Innenraumbewertung getrennt für die Grenzperzentile durchgeführt werden muß, um den unterschiedlichen ergonomischen Anforderungen gerecht werden zu können. Die verbreitete Annahme, daß ein Fahrzeug, in dem große Personen eine komfortable Sitzhaltung einnehmen können damit auch automatisch die kleineren Personen mit einschließt konnte hier widerlegt werden.

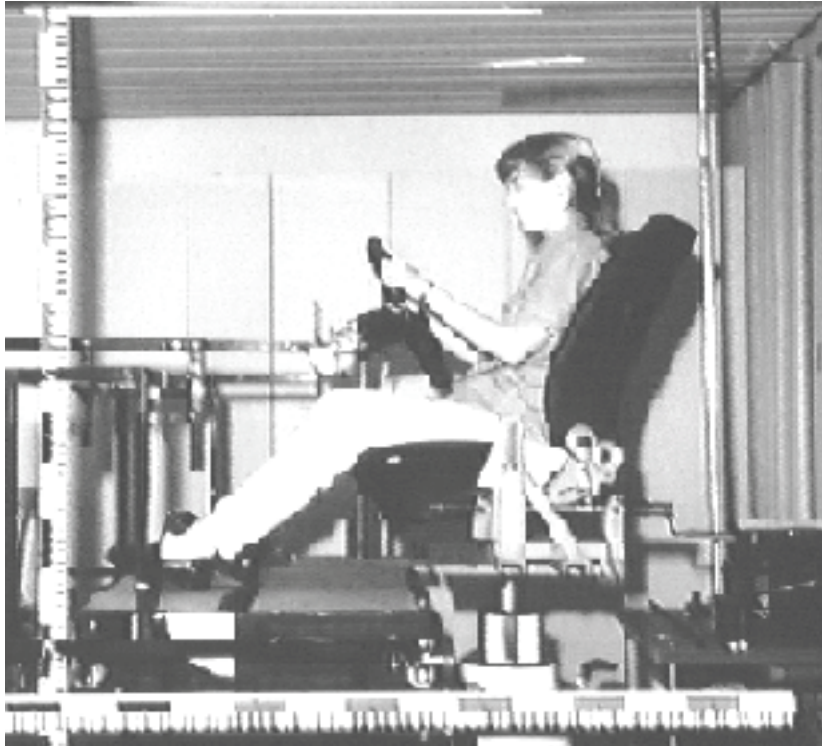


Abb. 4: Der Einfluß der Lenkradposition auf die Sitzhaltung einer kleinen Versuchsperson

Für große Personen ergeben sich tendenziell eher Defizite in der Gestaltung des absoluten Raumangebots. Zur Charakterisierung dieses Zusammenhangs konnte das Indikatormaß Resultierende eingeführt werden. Dieses Maß erlaubt einen direkten Rückschluß auf den Status wichtiger Körpergelenkwinkel und das Raumangebot.

Für kleine Versuchspersonen ist wie erwartet das Raumangebot durchweg ausreichend. Sie erfahren eher Beeinträchtigungen qualitativer Art. Neben der Position der Pedale im Verhältnis zum Lenkrad beeinflusst die Sitzvorderkante den Sitzkomfort der kleinen Personen erheblich. Zur Beschreibung dieses Zusammenhangs wurde das Maß der funktionalen Kniehöhe eingeführt. Dieses Maß definiert sich über die Höhe des Knies über dem Fersenpunkt. Fällt dieses Maß unter die absolute Länge des Unterschenkels, wird der Sitzkomfort erheblich eingeschränkt. Die statistische Analyse ergab folgende Resultate: Die individuelle Sitzeinstellung, die über die Länge der Resultierenden erfaßt wird, korreliert signifikant mit der Beinlänge (Spearman; $r_s=1$; $p<0,01$). Zwischen der Länge der Resultierenden und dem Kniewinkel besteht ein korrelativer Zusammenhang (Spearman; $r_s=0,9$; $p<0,2$).

Die Betrachtung des Bereichs Körperunterstützendes System ergab ein sehr uneinheitliches Bild für die unterschiedlichen Personengruppen. Deutliche Defizite ergaben sich in den Bereichen Sitztiefe und Kopffreiheit. Insgesamt gesehen waren die Gestaltungen hier ausreichend für Personen bis zum 50. Perzentil. Ein Großteil der Zielpopulation wurde also nicht berücksichtigt. Die transversale Auslegung des Innenraums zeigte Mängel vor allem im Bereich des Raumangebots auf Höhe der Ellenbogen, die Fahrzeuge sind also im Schnitt sehr eng gebaut. In den Mehrzahl der untersuchten Fahrzeuge war die Fahrzeugbreite nur für Personen des 5. Perzentils ausreichend, hier hat also die Mehrheit der potentiellen Nutzer mit Einschränkungen zu rechnen. Die in einem Laborversuch eingesetzte Befragung von Probanden ergab ein entsprechendes Bild in der Bewertung der Fahrzeuge.

Aus den vorliegenden Ergebnissen resultieren auch weitere Hinweise auf die Zusammenhänge zwischen Körpermaßen und Fahrzeugeigenschaften. Neben der Körperhöhe, die als Auswahlkriterium herangezogen wurde, spielt auch hier die Proportionalität eine entscheidende Rolle. Das Verhältnis

von Bein- zu Stammlänge ist insbesondere bei der Konzeptionierung der Lenkradposition von großer Bedeutung.

Die vorliegende Untersuchung war auf die Fahrzeuggruppe der Kleinstwagen beschränkt. Auch wenn diese Fahrzeuge sicher einige Besonderheiten aufweisen, die im Bereich der Limousinen keine tragende Rolle spielen, lassen sich an diesem Beispiele doch auch generelle Aussagen gewinnen. Eine eingehendere Untersuchung und weitere Erkenntnisse bezüglich der Interdependenzen am Fahrer Arbeitsplatz sind wünschenswert und notwendig. Der praktische Einsatz dieses Wissens in für den Konstrukteur aufbereiteter Form kann im Entwicklungsprozeß eine entscheidende Hilfestellung leisten.

Literatur

Babirat, D., Küchmeister, G. and Nagel, K. (1998): Körpermaße des Menschen- Komfortbereiche der Gelenkwinkel der Körpergelenke. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 818, BAUA, Dortmund.

Deutsches Insitut für Normung (1987): DIN 33 408: Körperumrißschablonen. Beuth-Verlag, Köln.

Jürgens, H.W. (1982): Die Ermittlung optimaler Körperwinkel in Fahrzeug-Sitzpositionen und die Entwicklung eines Bewertungssystems von Körperwinkeln.

Jürgens, H.W. (1989): Körpermaße, Datenblätter. In BWB (Hrsg.): Handbuch der Ergonomie. Hanser, München.

Nagel, K. (1998): Biomechanik menschlicher Arbeitshaltungen- Ein anthropometrisch-ergonomisches Bewertungssystem für Kleinstwagen. Diplomarbeit, Universität Kiel.

Pieper, U. (1983): Die Bewertung von Mensch- Maschine-Systemen unter anthropometrischem Aspekt. Habilitationsschrift, Universität Kiel.

Anschrift der Autorin:

Katja Nagel
Daimler Chrysler AG
FTK/A, 059-HPC X606
71 059 Sindelfingen
katja.nagel@daimlerchrysler.com