

Gesichtspunkte der Informationsverarbeitung bei der Gestaltung von Fahrer кабинен.

Von Gerhard Jahns, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:331.827:62-784:62-51:629.1.05

Werden Maschinen und Geräte im Rahmen eines Arbeitsprozesses überwacht oder gesteuert, so übt der damit beschäftigte Mensch Teilfunktionen eines Regelkreises aus. Die Leistung eines solchen Systems hängt infolgedessen auch von der Leistungsfähigkeit des Menschen ab. Eine Anpassung der Maschine an die Eigenschaften des Menschen dient daher nicht nur einer menschenwürdigeren Gestaltung des Arbeitsplatzes oder der Erfüllung gesetzlicher Forderungen, sondern führt auch zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität und der Betriebssicherheit.

1. Einleitung

Die Benutzung von Maschinen und Geräten ist dem Menschen nur möglich aufgrund seiner Fähigkeit, Informationen zu erfassen, zu verarbeiten und entsprechend zu agieren. Für die Dauer der Benutzung bilden Mensch und Maschine ein System, im technischen Sinne einen Regelkreis, der auch als Handregelkreis [1] bezeichnet wird. Das Autofahren, allgemein das Lenken von Fahrzeugen oder das Nachführen von landwirtschaftlichen Geräten entlang an Pflanzenreihen sind Beispiele für solche Handregelkreise.

Die Leistungsfähigkeit solcher Systeme hängt nicht zuletzt von den Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen ab. Letztere können in starkem Maße durch Störgrößen beeinträchtigt werden. Störgrößen, die einmal aus der Arbeitsumwelt und zum anderen aus dem Arbeitsablauf selbst resultieren.

Durch die Verwendung von Fahrer кабинен auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen lassen sich, wie in den vorangegangenen Beiträgen [2 bis 5] gezeigt wurde, die umweltbedingten Störgrößen herabsetzen oder vermindern. Doch hat die Verwendung und Gestaltung der Kabine selbst wiederum Einfluß auf den Arbeitsablauf, vor allem auf den Informationsfluß zum oder vom Fahrer. In der folgenden Übersicht werden daher ergonomische Gesichtspunkte aufgezeigt, deren Berücksichtigung bei der Gestaltung von Fahrer кабинен zu einer Verringerung der durch den Arbeitsablauf bedingten Belastungen beitragen können.

*) Dipl.-Ing. Gerhard Jahns ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

2. Der Mensch in einem Regelkreis

Versuche haben gezeigt, daß auf die menschlichen Fähigkeiten gut abgestimmte Systeme von völlig ungeschulten Personen vergleichsweise besser beherrscht werden als schlecht angepaßte von trainierten Personen. Es ist daher erforderlich, die Maschinen den Eigenschaften und der Leistungsfähigkeit des Menschen anzupassen. Gelingt es, das regelungstechnische Übertragungsverhalten des Menschen durch ein Modell zu beschreiben, dann ist es mit den Hilfsmitteln der Regelungstechnik möglich, die Maschine — im vorliegenden Fall eine fahrende landwirtschaftliche Arbeitsmaschine — optimal an den Menschen anzupassen und so den gesamten Regelkreis zu optimieren. Dadurch könnte die Leistungsfähigkeit der Maschine voll ausgeschöpft werden, ohne den Menschen zu überlasten.

Eine allgemeingültige modellmäßige Beschreibung des Menschen als Regler ist bisher noch nicht gelungen. Der Grund liegt darin, daß sich der Mensch nicht durch eine einzige Übertragungsfunktion beschreiben läßt. Beispielsweise kann er sein Übertragungsverhalten der jeweiligen Regelstrecke weitgehend anpassen, um ein optimales Verhalten des Gesamtsystems zu erzielen. Optimierungskriterium scheint dabei die Minimierung des mittleren Fehlerquadrates zu sein [6]. In dieser Fähigkeit des Menschen zur Anpassung an die jeweilige Regelaufgabe liegt seine Überlegenheit, verglichen mit einfachen technischen Reglern. Aber auch nach erfolgter Anpassung ist das Übertragungsverhalten des Menschen zeitlich nicht konstant. Motivationen, physische und psychische Belastungen beeinflussen und ändern das Übertragungsverhalten des Menschen ständig. Darüber hinaus bestehen z.T. erhebliche individuelle Unterschiede von Mensch zu Mensch, die zu einem bedeutenden Teil durch Erfahrungen aber auch durch andere Faktoren determiniert sein können.

Wenn es auch nicht möglich ist, eine allgemeine modellmäßige Beschreibung des Menschen als Regler zu geben, so lassen sich doch die Übertragungsfunktionen des Menschen für spezielle Handregelkreise recht gut ermitteln. Untersuchungen dieser Art stammen vor allem aus dem militärischen Bereich und der Luftfahrttechnik, da dort oft hohe Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Schnelligkeit und Genauigkeit gestellt werden.

Eine häufige Aufgabe des Menschen besteht darin, eine Maschine entsprechend einem vorgegebenen Wert zu führen. Das Führen einer fahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschine entlang einer Pflanzenreihe ist eine solche Aufgabe. Einen ersten Einblick in die Eigenschaften des Menschen, als Folgeregler zu wirken, liefert ein einfacher Versuch: Stellt man einer Versuchsperson die Aufgabe, beispielsweise einer Führungsgröße w möglichst genau zu folgen, so erhält man das im Bild 1 wiedergegebene Resultat.

Der Mensch ist demnach nur in der Lage, einem unvorhergesehenen Ereignis, Sprung der Führungsgröße w , mit einer zeitlichen Verzögerung zu folgen. Untersuchungen zeigen, daß diese zeitliche Verzögerung, oft auch als Reaktionszeit bezeichnet, aus drei Anteilen besteht:

1. der Zeit für die Wahrnehmung des Eingangssignales,
2. der Zeit für die Verarbeitung der Information und
3. der Zeit für die Ausführung des Stellvorganges.

Diese drei Zeiten sind ihrerseits wiederum von vielen Faktoren abhängig.

So ist beispielsweise die Wahrnehmungszeit der einzelnen Sinnesorgane unterschiedlich [7,8,9] und auch von der Art des Signales abhängig. Bei optischen Signalen ist die Wahrnehmungszeit z.B. um so kürzer, je heller und größer das Signal ist. Signale im zentralen Sehfeld werden schneller wahrgenommen als solche im peripheren. Das heißt aber, gute Beleuchtung und richtig platzierte Anzeigeelemente verkürzen die Wahrnehmungszeit.

Die Zeit zur Verarbeitung der Information, die Entscheidungszeit, ist abhängig von der Zahl der zu fällenden Entscheidungen. Für ein einzelnes Signal nimmt die Entscheidungszeit mit dem Logarithmus der Zahl der Entscheidungsmöglichkeiten zu (im Bild 1 ist diese Zahl gleich 1). Da die Entscheidung durch Vergleich mit Erfahrungen erfolgt, die im Bewußten oder Unbewußten gespeichert sind, sollen Anzeigeelemente und Betätigungsteile so ausgeführt sein, daß sie unseren täglichen Erfahrungen (Bedienungstereotypen) entsprechen. Lage, Funktion und Betätigungsart sollen einem möglichst schnellen Lernen und leichten Behalten entgegenkommen. Sie sollen für sich und in der Zuordnung zueinander sinnfälliger sein [10 bis 14].

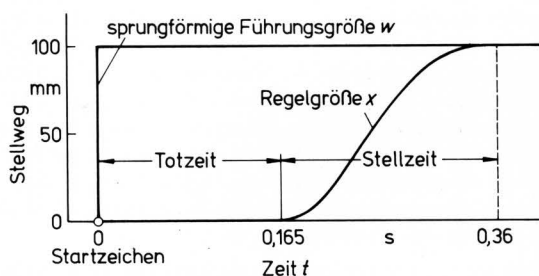


Bild 1. Folgerverhalten des Menschen bei Vorgabe einer sprunghaft ansteigenden Führungsgröße w , nach *Küpfmüller* [7].

Dem gleichen Ziel, einer Verkürzung der Entscheidungszeit sowie der Verringerung der Gefahr von Bedienungsfehlern, dient die Verwendung von Symbolen und Kennfarben anstelle einer Beschriftung. Derartige Symbole sind auch international verständlich. Sie erfüllen ihren Zweck jedoch nur, wenn sie eindeutig und zweifelsfrei verständlich sind. Dort wo das nicht der Fall ist, sollte eine möglichst knappe verbale Kennzeichnung bevorzugt werden. Symbole und Beschriftungen müssen aus der zugehörigen Arbeitsposition heraus gut lesbar sein. Es gelten hier die gleichen Kriterien, wie für die Gestaltung und Beschriftung von Anzeigegeräten.

Für komplexe Signale sind die Zusammenhänge nicht so einfach darstellbar wie für Entscheidungen aufgrund einzelner Signale. Die Zusammenhänge sind jedoch im Grundsatz ähnlich. So wird verständlich, warum ein Fahrer bei verschmutzten oder beschlagenen Scheiben, bei Spiegelungen in denselben oder bei Blendung langsamer reagiert. Er hat in solchen Fällen in einem sehr komplexen Entscheidungsprozeß zwei Bilder voneinander zu trennen, nämlich die störende Information von der für seine Tätigkeit relevanten Information. Daß diese Einflüsse nicht nur zu einer Verlängerung der Entscheidungszeit führen, sondern den Fahrer auch in anderer Weise in seinen Handlungen beeinträchtigen, zeigte *Müller-Limmroth* [9] am Beispiel der Blendung.

Aber nicht nur der Umfang der aufzunehmenden Information, sondern auch die Art ihrer Verarbeitung hat auf die Entscheidungs-

zeit einen wesentlichen Einfluß. Regelaufgaben, die umfangreiche Rechenoperationen verlangen, verlaufen langsamer. Läßt sich beispielsweise die Funktion des nachgeführten Werkzeuges nicht parallaxenfrei beobachten oder ist das Regelverhalten der Regelstrecke nicht proportional, sondern integral oder weist die Regelstrecke Nichtlinearitäten beispielsweise Gelenkspiele auf, so ist der Regler Mensch zwar in der Lage sich an diese Besonderheiten in gewissen Umfange anzupassen, jedoch geschieht dies auf Kosten der Ausführungsgeschwindigkeit und -genauigkeit [15]. Daraus folgt, daß die Regelstrecke eines Handregelkreises so auszulegen ist, daß sie nach Möglichkeit ein proportionales Verhalten aufweist und damit auch von dem Regler Mensch nur ein einfaches, proportionales Verhalten gefordert wird. Je besser diese Forderung erfüllt wird, um so schneller, sicherer und genauer arbeitet der Mensch als Regler und um so weniger anstrengend ist seine Tätigkeit.

Der dritte Anteil der zeitlichen Verzögerung resultiert aus der Zeit für die Ausführung des Stellvorganges und hängt vom Stellweg, von der aufzuwendenden Stellkraft und der geforderten Geschwindigkeit und Genauigkeit ab. Das Betätigen eines Druckknopfes dauert beispielsweise nur wenige Hundertstel Sekunden, ein Positionieren entsprechend Bild 1 dagegen einige Zehntel Sekunden [7,8].

Natürlich lassen sich mit einfachen Nachführversuchen wie dem vorangegangenen Beispiel nur erste, allgemeine Aussagen über das Übertragungsverhalten des Menschen machen. Um einen genaueren Einblick in das Übertragungsverhalten des Menschen zu erlangen, sind verfeinerte Untersuchungen erforderlich. Sie wurden, wie bereits erwähnt, vor allem im Bereich der wehrtechnischen und luftfahrttechnischen Forschung und Entwicklung durchgeführt. Die umfassendste Darstellung des Menschen als Regler findet sich in dem Buch von *Kelley* [16]. Ebenfalls einen Überblick über dieses Gebiet gibt *Schmidlein* [17]. Lineare und nicht-lineare Modelle für das Übertragungsverhalten des Menschen behandeln *Gaines* [18], *Marienfeld* [6] und *Kreil* [19]. *Bekey* [20] untersucht vor allem das Verhalten des Menschen als Abtastregler, während *Schweizer* [21,22] die Fähigkeiten des Menschen als Mehrgrößenregler untersucht. Darüber hinaus wird dieser Problembereich in allen Büchern über Ergonomie mehr oder weniger eingehend behandelt [8,23,24]. Eine Darstellung einfacher Modelle für den Regler Mensch und Gesichtspunkte im Hinblick auf landtechnische Arbeitsprozesse gibt *Hesse* [15]. Da die Eigenschaften des Menschen als Regler unmittelbaren Einfluß auf die Frage haben, in welcher Art dem Menschen Informationen mit Hilfe von anzeigenden Instrumenten dargestellt werden sollen, werden auch in diesem Zusammenhang Reglermodelle des Menschen behandelt [25,26,27]. Die Arbeit von *Küpfmüller* [7] zeichnet sich vor allem durch die Angabe von Zahlenwerten über die Informationsverarbeitung einschließlich der Informationsaufnahme und -abgabe durch den Menschen aus.

3. Informationserfassung durch den Menschen

Die Sinneswahrnehmungen sind aktive Leistungen, was auch dadurch deutlich wird, daß man seine Aufmerksamkeit auf einen Wahrnehmungsgegenstand konzentrieren kann (Leistungswille) und daß eine derartige Tätigkeit anstrengend und ermüdend ist [28]. Es würde jedoch den Umfang dieses Beitrages sprengen, auf die Darstellung der Eigenschaften und Funktionen der einzelnen Sinnesorgane sowie auf ihre Leistungsfähigkeit, bedingt durch ihr Zusammenspiel mit dem Nervensystem, näher einzugehen. Auch dürfte das Schrifttum aus dem Bereich der Biologie und Medizin nur dann von Interesse sein, wenn es für den vorliegenden Problembereich zugeschnitten wurde, wie beispielsweise der Beitrag von *Müller-Limmroth* [9], *Steinbuch* [29] oder die entsprechenden Abschnitte in den bereits genannten Fachbüchern der Ergonomie [8, 23, 24, 30]. Erwähnt sei nochmals der Beitrag von *Küpfmüller* [7] und das Buch von *Dröschner* [31], das allgemein auf Sinnesorgane und Sinneswahrnehmungen in der Natur eingeht.

Im Vergleich zu menschlichen Sinnesorganen sind technische Sensoren in der Lage, einzelne physikalische Größen, wie Wege, Kräfte, Drehzahlen u.ä. sehr genau, schnell und ermüdungsfrei zu messen. Der Mensch kann dies nur beschränkt. Für viele physikalische Größen hat er überhaupt kein Sinnesorgan. Man wird daher die Messung derartiger Größen besser mit technischen Meßgeräten ausführen. Änderungen einiger physikalischer Größen, wie beispielsweise Beschleunigungsänderungen, Helligkeitsänderungen und Lautstärkeänderungen nimmt der Mensch, sofern sie bestimmte Schwellwerte überschreiten, recht gut wahr. Die Überlegenheit des Menschen gegenüber allen bisherigen technischen Systemen zeigt sich bei der Analyse komplexer Signale oder Objekte. Dies gilt besonders, wenn letztere vorher nicht genau definiert wurden, sich vom Hintergrund nur wenig abheben oder teilweise von anderen Signalen überlagert oder Objekten überdeckt sind. Diese Fähigkeit ist auf die den Sinnesorganen nachfolgende Verarbeitung der Information im Nervensystem sowie auf seine ausgeprägte Lernfähigkeit zurückzuführen [9, 31, 32].

3.1 Optische Informationen

Der optische Informationskanal ist sowohl hinsichtlich der Zahl der Rezeptoren, Bild 2, als auch in Bezug auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit der leistungsfähigste und für das Führen von Fahrzeugen der wichtigste. Daraus ergibt sich die Bedeutung direkter Sicht und allgemein guter Sichtverhältnisse. Durch Bauteile der Kabine oder des Fahrzeuges kann aber die Sicht des Fahrers eingeschränkt werden. Aus der Reaktionszeit des Menschen (s. Bild 1) läßt sich für das Nachführen von Werkzeugen an Pflanzenreihen bei gegebenen Sichtverhältnissen beispielsweise die maximale Fahrgeschwindigkeit ermitteln [15], oder es lassen sich für eine gewünschte Fahrgeschwindigkeit die erforderlichen Sichtverhältnisse ableiten.

Beim Aufbau einer Kabine ist die verbleibende Sichtfläche verglast, um den Fahrer vor klimatischen Belastungen zu schützen [2]. Verschmutzt, beschlägt oder vereist die Verglasung oder bilden sich Spiegelungen darin, so werden dem Auge, soweit die Sichtbehinderung nicht total ist, zwei Bilder angeboten. Der Mensch ist zwar in der Lage, diese Bilder, die Störgrößen und die für ihn relevante Information, zu trennen, doch verlängert sich dabei seine Reaktionszeit, die Ausführung der eigentlichen Tätigkeit wird anstrengender und führt früher zu Ermüdungen. Da die motorischen, sensiblen und sensorischen Funktionen im Nervensystem eng miteinander verknüpft sind, kommt es außerdem auch zu einer Erhöhung des Muskeltonus, woraus Störungen der Feineinstellung der Bewegung resultieren, d.h. die Leistung und Ausführungsgenauigkeit wird beeinträchtigt. Ähnliche Auswirkungen haben auch Belastungen des Fahrers durch Lärm, Blendung, Erwartungssituationen und geistige Tätigkeit [9].

Spiegelungen lassen sich durch geeignete Wahl der Blickwinkel zu den Scheiben und Instrumenten [8, 24, 33], durch die Verwendung dunkler, besser mattschwarzer Farbe anstelle heller und verchrom-

ter Teile im Inneren der Kabine – Widerspruch zu Forderungen aus der Sicht der Klimagegestaltung –, durch regelbare Instrumentenbeleuchtung und durch saubere Scheiben weitgehend vermeiden. Das Beschlagen und Vereisen der Scheiben läßt sich durch eine entsprechende Klimatisierung und Luftführung in der Kabine verhindern. Die Verglasung sollte darüber hinaus so gestaltet sein, daß eine Verschmutzung weitgehend ausgeschlossen bzw. eine gute Reinigungsmöglichkeit gegeben ist, beispielsweise durch eine Scheibenwisch- und -waschanlage. Scheiben, die nicht leicht gereinigt werden können, sind für eine Reihe von Einsatzbedingungen wertlos. Überflüssige Verglasungen sollten aber unter dem Gesichtspunkt der Schallsollierung und Klimatisierung der Kabine vermieden werden.

Außer durch die genannten Einschränkungen des Sichtkanals kann dieser auch durch Schwingungen gestört werden, wodurch in ungünstigen Fällen z.B. ein Ablesen von Instrumenten und die Benutzung von Spiegeln unmöglich wird [34]. Ursache sind die durch die Schwingungen verursachten Relativbewegungen zwischen Fahrer und beobachtetem Gegenstand. Die beste Lösung zur Vermeidung von Relativbewegungen zwischen Fahrer und Anzeigegerät ist die Abfederung der gesamten Fahrerkabine [5], wodurch u.a. auch Relativbewegungen zwischen Fahrer und Bedienelementen und damit verbundene Bedienungsfehler [35] vermieden werden. Allgemein verringert eine entsprechende Abfederung des Fahrerplatzes auch die Relativbewegung zwischen Fahrer und Umgebung und verbessert dadurch die Sichtverhältnisse.

Spiegel müssen vibrationsfrei angebracht werden, dabei sollte besonders darauf geachtet werden, daß durch die Schwingungen nicht Winkeländerungen zwischen dem Sehstrahl und der Spiegelfläche auftreten, da diese zu einer Ablenkung des Sehstrahles um den doppelten Drehwinkel führen. Jeder weitere Spiegel im Sehstrahl würde diesen Drehwinkel abermals verdoppeln. Hierin, sieht man einmal von dem Problem der Verschmutzung und Justierung ab, liegt der Grund für die weitgehende Vermeidung von Spiegelsystemen. Großflächige und vom Fahrersitz aus justierbare Spiegel, die gegen Verschmutzen geschützt sind, letzteres muß natürlich auch für die entsprechende Scheibe gelten, durch die der Blick fällt, können dagegen in besonderen Fällen das Gesichtsfeld des Fahrers wirkungsvoll erweitern.

Ist der Mensch nicht in der Lage, die zur Erfüllung seiner Aufgaben notwendige Information zu erhalten, weil beispielsweise konstruktionsbedingt eine Unterbrechung des Informationskanals gegeben ist, die erhaltene Information stark gestört ist oder die betreffende Betriebsgröße nicht direkt durch menschliche Sinnesorgane wahrnehmbar ist, so muß die erforderliche Größe mit technischen Mitteln gemessen und in der Kabine zur Anzeige gebracht werden. Dies gilt nicht nur im Hinblick auf den optischen Informationskanal, sondern beispielsweise auch für akustische und andere Informationen. Bis heute ist es allerdings noch nicht möglich, alle in diesem Zusammenhang interessierenden Größen mit vertretbarem technischem Aufwand zu messen, wie sich besonders deutlich am Beispiel des Mähreschers zeigen läßt [36, 37].

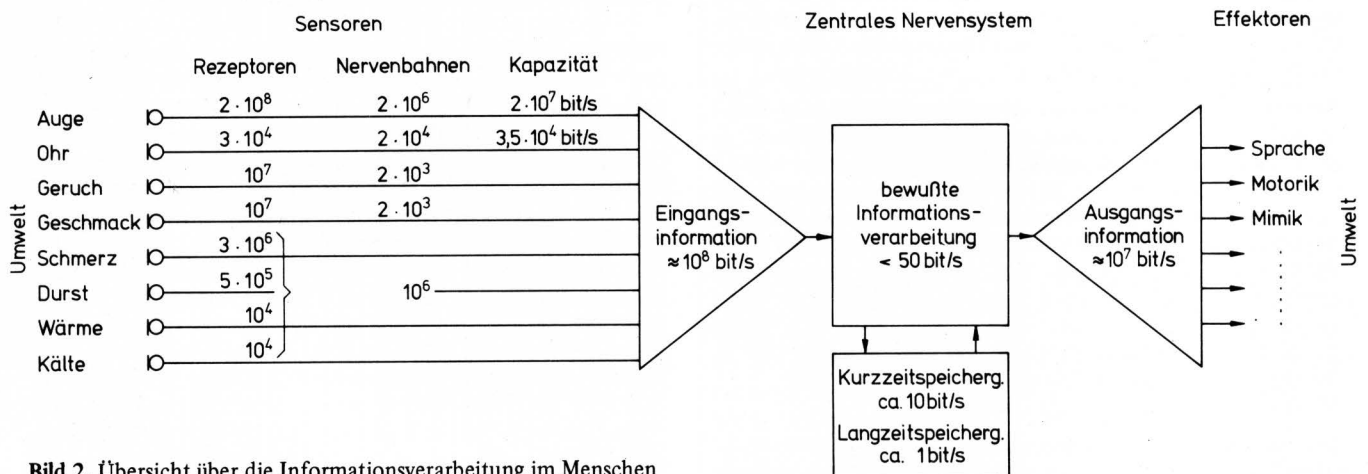


Bild 2. Übersicht über die Informationsverarbeitung im Menschen

Über die Gestaltung der Instrumente liegen umfangreiche Untersuchungen vor allem aus dem militärischen Bereich und der Luftfahrttechnik vor [33]. Aus diesem Bereich kommen auch die Untersuchungen über die Systematik der Anzeige [38]. Die Grundregeln der Gestaltung einzelner Anzeigegeräte finden sich heute in jedem Buch über Ergonomie und Arbeitsplatzgestaltung [8, 23, 24, 30, 39, 40].

Besonders in der Luftfahrt- und Wehrtechnik ist man bestrebt, die Information dem Menschen so umfassend wie erforderlich und so knapp wie möglich darzustellen, um so die Leistungsfähigkeit des Menschen zu steigern. Dies führt dazu, im direkten Sichtbereich nur abnormale Betriebszustände anzuzeigen und solche Betriebsgrößen, die einer kontinuierlichen quantitativen Überwachung bedürfen. Für landwirtschaftliche Fahrzeuge entstünde bei konsequenter Anwendung dieses Prinzips ein zentrales Informationssystem im direkten Sichtbereich des Fahrers. Alle Informationen, die das Verhalten des Fahrers unmittelbar beeinflussen sollen, gehören in den direkten Sichtbereich. Dies sind vor allem die Anzeigen für kritische Betriebszustände, die für Fahrer und Gerät gefährlich werden können, und Betriebswerte, deren kontinuierliche Überwachung für die Funktion der Geräte und eine wirtschaftliche Fahrweise bestimmend sind, wie beispielsweise die Motordrehzahl. Nicht im direkten Sichtbereich sollten dagegen die Instrumente angebracht werden, die nur der routinemäßigen Kontrolle von Betriebsgrößen, wie beispielsweise Motortemperatur, Öldruck o.ä. dienen. Für Personenkraftwagen liegt ein Vorschlag für ein derartig gestaltetes Informationssystem vor [41]. Das Gerät ist bisher nicht auf dem Markt erhältlich und müßte für landwirtschaftliche Zwecke entsprechend abgewandelt werden.

Da bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen die Blickrichtung nach vorn nicht so zwingend festgelegt ist wie bei Personenkraftwagen, erscheint es vorteilhaft, das optische Informationssystem für die Überwachung von Betriebswerten durch ein akustisches zu ergänzen. Akustische Signale haben den Vorteil, daß sie den Fahrer unabhängig von seiner jeweiligen Blickrichtung erreichen. Sie eignen sich aber schlechter als optische dazu, dem Fahrer anzuzeigen, welcher Betriebszustand gestört ist und was zu tun ist. Deshalb ist für diese Aufgabe dem optischen System der Vorzug zu geben.

3.2 Akustische Informationen

Akustische Informationen über Betriebsgrößen eines Fahrzeuges können von geübten Fahrern auch dann noch analysiert werden, wenn sie von störenden und informationslosen Hintergrundgeräuschen fast überdeckt sind, und das selbst dann noch, wenn die zu erkennenden Signale ungenau oder gar nicht definiert waren, wie beispielsweise das "normale" Betriebsgeräusch eines Gerätes. Bei zunehmender Leistungsstärke der Fahrzeuge steigt das informationslose Hintergrundgeräusch so weit an, daß dem Fahrer eine Überwachung von Fahrzeug und Gerät mit Hilfe akustischer Signale nur noch in einigen Ausnahmen möglich ist. Der Fahrer wird durch den überwiegenden Anteil der auf ihn einwirkenden Schallwellen, die keinen relevanten Informationsgehalt für ihn haben, in ähnlicher Weise wie durch schlechte Sichtverhältnisse belastet und in seiner Leistungsfähigkeit beeinträchtigt. Es erscheint daher von einem gewissen Schallpegel der Betriebsgeräusche ab zweckmäßiger, den Fahrer durch eine schallisolierende Kabine vor dem ihn belastenden Lärm zu schützen und auf die bisher akustisch gewonnene Information zu verzichten.

Bei Verwendung schallisolierender Kabinen ist es möglich, durch entsprechende Meßfühler die Betriebsgrößen, deren Überwachung erforderlich oder gewünscht ist, meßtechnisch zu erfassen, dem Fahrer zur Anzeige zu bringen und/oder automatisch zu regeln. Durch derartige Hilfsmittel kann der Fahrer genauer über den Betriebszustand von Fahrzeug und Gerät informiert werden, als ihm dies bisher durch die Kontrolle der Betriebsgeräusche möglich war. Welche Betriebsgrößen im einzelnen überwacht werden sollen und müssen, hängt sowohl von dem jeweiligen Fahrzeug und Gerät, wie von dem Verwendungszweck und dem Sicherheitsbedürfnis des Fahrers ab, ist also nur an konkreten Fahrzeug-Gerätekombinationen

zu diskutieren. Für Mähdrescher ist dies beispielsweise geschehen [36, 37].

Da durch die Schallisolation der akustische Kanal des Fahrers wieder "frei" ist, kann er jetzt gezielt für die Übermittlung von Informationen benutzt werden, wie im Zusammenhang mit dem zentralen Informationssystem bereits dargelegt wurde. Brauchbare Hinweise für die Ausführung eines akustischen Warnsignals, das den Fahrer auf bestimmte Betriebszustände aufmerksam macht oder vor Gefahren warnt, können den bereits mehrfach zitierten Büchern über Ergonomie und dem Normenentwurf [42] entnommen werden.

Warnsignale aus der Nähe des Fahrzeuges oder auch lautes Rufen werden durch die Schallisolation der Kabinen in gleicher Weise gedämpft wie alle übrigen Geräusche. Der Fahrer wird sie daher nur in Ausnahmefällen, d.h. bei besonders großer Lautstärke, wahrnehmen können. Dieses Problem, das auch außerhalb der Landwirtschaft überall dort auftritt, wo Personen durch schallisolierende Kabinen oder durch Gehörschutz vor Lärm geschützt werden, ist Gegenstand eingehender Untersuchungen. Eine befriedigende Lösung gibt es zur Zeit noch nicht. Die geeignetste Lösung nicht nur für dieses spezielle Problem ist, das Entstehen von Störschall überhaupt zu vermeiden oder aber den Störschall bereits an seiner Quelle einzudämmen und so seine Ausbreitung zu verhindern.

3.3 Andere Informationen

Die Fähigkeit, Kräfte zu "messen", nutzt der Mensch beispielsweise beim Lenken von Fahrzeugen. Derartige Lenk-, Brems- und Kupplungskräfte, die dem Fahrer als Rückkopplungssignal dienen, werden durch die Verwendung einer Kabine nicht beeinträchtigt. Anders ist es jedoch mit dem sog. "Fahrgefühl" im Falle einer schwingungsdämpfenden Aufhängung der Kabine. Durch eine derartige Maßnahme, die dem Schutz des Fahrers vor Schwingungsbelastungen gilt, kann das Fahrgefühl verfälscht werden oder verloren gehen. Beispielsweise können Beschleunigungen, die der Mensch dann noch wahrnimmt, sowohl hinsichtlich ihrer Amplitude als auch hinsichtlich ihrer Phase nicht mehr mit der wirklichen Fahrzeugbewegung übereinstimmen. Bis heute ist es noch nicht gelungen, das Fahrgefühl durch objektive Zahlenwerte zu beschreiben. Man ist daher vorläufig auf subjektive Beurteilungen von Fahrzeugen durch den Fahrer angewiesen. Das bedeutet aber, daß ein abschließendes Urteil, ob eine Kabine trotz schwingungsdämpfender Aufhängung dem Fahrer noch ein sicheres Fahren ermöglicht, nur durch einen Versuch und die praktische Erprobung möglich ist. Beim Bau von Personenkraftwagen wurde besonders in letzter Zeit ein guter Kompromiß zwischen einer guten Dämpfung bei Gewährleistung eines nahezu unverfälschten Fahrgefühls erzielt.

Der Gleichgewichtssinn schützt in den meisten Fällen Mensch und Maschine bei Hangarbeiten vor dem Umsturz des Fahrzeuges. Durch Hangausgleichseinrichtungen, sei es nun nur für die Kabine oder für das gesamte Fahrzeug, würde diese Information, soweit sie nicht optisch gewonnen wird, verloren gehen und gefährliche Betriebszustände würden zu spät bemerkt. Maßnahmen zum Hangausgleich sollten daher mit einer Einrichtung verbunden sein, die den Fahrer vor Erreichen des Neigungsgrenzwertes warnt.

4. Informationsabgabe des Menschen an die Maschine

Die Grundregeln für die Gestaltung der Stellteile, ihrer Abmessungen, der Stellwege und -kräfte sowie der Anordnung sind unabhängig von der Verwendung einer Kabine allgemeingültig. In allen bisher genannten Fachbüchern der Ergonomie finden sich zu diesem Thema mehr oder weniger umfangreiche, mit Beispielen belegte Beiträge. Darüber hinaus wird von verschiedenen Autoren im Handbuch der Verkehrsmedizin [43] zu diesem Thema Stellung genommen. Auch in der Normung [12, 13, 44] finden sich Beiträge zu diesem Problemkreis. Auf die spezielle Gestaltung und Anordnung der Stellteile von Mähdreschern geht Zander [36] ausführlich ein.

Es wurde bereits erwähnt, daß durch die Kabine die Feineinstellung der Bewegung günstig beeinflusst werden kann. So wird einerseits durch die allgemeine Belastungsminderung die Motorik des Fahrers positiv beeinflusst, andererseits aber durch evtl. von der Kabine verursachte Störungen der Informationskanäle wie bereits geschildert, beeinträchtigt. Besonders Schwingungen, d.h. Relativbewegungen zwischen Fahrer und Bedienelementen, führen zu einer Beeinträchtigung der Ausführungsgenauigkeit, da die durch die Schwingungen hervorgerufenen Bewegungen den Stellbewegungen unmittelbar additiv überlagert werden.

Der Mensch ist zwar bis zu einem gewissen Grade in der Lage, diese Störgrößen auszuregulieren, jedoch verlängert sich die Reaktionszeit dadurch erheblich, besonders dann, wenn nicht mehr geübte Bewegungen unbewußt ablaufen, sondern zum Ausgleich der Störgröße bewußte Handlungen erforderlich sind. In den Fällen, wo Schwingungen nicht zu vermeiden sind, können Relativbewegungen zwischen Fahrer und Bedienelementen weitgehend dadurch gemildert werden, daß man für Füße und Arme und Hände eine Auflage schafft, je nachdem ob die entsprechende Stellbewegung mit dem Fuß, der Hand oder den Fingern ausgeführt werden soll. Durch eine schwingungsisolierend abgedeckte Kabine, die in gleicher Weise wirkt, läßt sich sowohl bei der Informationsaufnahme als auch bei der Informationsabgabe die psychische Belastung des Fahrers herabsetzen.

In dem Maße, in dem es gelingt, den Geräuschpegel in einer Kabine zu senken, ist Gestängen und Getriebeteilen, die von außen in die Kabine hereingeführt werden und als Körperschalleiter wirken können, erhöhte Aufmerksamkeit hinsichtlich ihrer Schallabstrahlung in der Kabine zu widmen [3]. Dies gilt auch für hand- oder fußbetätigte hydraulische Ventile. Hierbei scheint die Gefahr, daß über die Flüssigkeitssäule Körperschall in die Kabine eindringt, relativ gering, jedoch können die Ventile selbst Geräuschquellen sein.

5. Weitere Maßnahmen zur Entlastung des Menschen – statische Anpassung [45, 46]

Die physische Leistung des Fahrers besteht aus der dynamischen Muskularbeit bei der Betätigung des Lenkrades, der Pedale und der Schalt- und Stellteile sowie aus der statischen Haltearbeit zur Aufrechterhaltung der Körperstellung und der Haltung der Extremitäten. Durch Berücksichtigung der Körpermaße, der Körperhaltung, der Körperkräfte und der Körperbewegungen bei der Konstruktion sollen unnötige Beanspruchungen der Muskeln, Gelenke und Bänder sowie des Herz- und Kreislaufsystems vermieden werden. Die Daten für eine den physischen Eigenschaften des Menschen angepaßte Gestaltung des Arbeitsplatzes werden von der Anthropometrie ("Menschenmeßkunde"), einem Teilgebiet der Ergonomie, erarbeitet. Durchschnittswerte und Verteilungskurven findet man in den Tabellen der Anthropometrie, in denen sie nach Alter, Geschlecht sowie u.U. auch nach geografischen und sozialen Gesichtspunkten differenziert sind. Da das Schrifttum, das sich mit der statischen Anpassung der Maschine an den Menschen beschäftigt, sehr umfangreich ist, und damit die für die Konstruktion wichtigen anthropotechnischen Daten ebenso wie die sich daraus für die Arbeitsplatzgestaltung ableitenden Schlußfolgerungen zur Verfügung stehen, soll im Rahmen dieses Beitrages nur auf einige wichtige Arbeiten auf diesem Gebiet verwiesen werden.

Besonders das angloamerikanische Schrifttum auf diesem Gebiet ist sehr umfangreich. Zu nennen sind hier vor allem die bereits erwähnten Arbeiten von *Morgan* und *Cook* [8], *Mc Cormick* [23] und *Woodson* [24]. Diese Bücher geben außer anthropometrischen Daten vor allem eine Vielzahl von Ausführungsbeispielen und Regeln zur Gestaltung des Arbeitsplatzes. Anthropometrische Daten für die Bevölkerung der Bundesrepublik finden sich in dem Entwurf zur Norm DIN 33402 [46] und in der Arbeit von *Jürgens* [47] in dem von *Schmidtke* herausgegebenen Buch "Ergonomie". In den beiden letztgenannten wird außer den Körpermaßtabellen auch ein Überblick über die Grundlagen für die Erstellung dieser Tabellen und für ihre Benutzung gegeben. Spezielle anthropometrische Daten der in der Landwirtschaft tätigen Bevölkerung sind bisher

nicht bekannt geworden. Dies vermutlich deshalb, weil bisher keine Notwendigkeit bestand, über die vorliegenden Daten hinaus eine weitere Differenzierung für diese Bevölkerungsgruppe vorzunehmen. Eine weitere deutschsprachige Zusammenstellung von Daten über Körpermaße, Bewegungsräume und Körperkräfte gibt *Glasow* [48]. Auf die Kräfte des Menschen und die Bewegungsräume geht auch *Rohmert* [49] näher ein. Wenn auch die Norm DIN 43802 [39] nur auf elektrische Meßgeräte beschränkt ist, so kann sie doch auch für die Gestaltung anderer Meßgeräte nützliche Anregungen geben. Die Normung der Bedienelemente, Hebel, Drehknöpfe usw. ist Gegenstand des Normentwurfs DIN 33401 [44].

Außer den genannten Quellen dürfte unter anderem auch die VDI-Richtlinie 2782 "Empfehlungen für die Gestaltung von Fahrzeugführersitzen in Kraftfahrzeugen" [50] Anregungen liefern, die auch für den Bereich landwirtschaftlicher Fahrzeuge dienlich sind. Speziell mit der Gestaltung des Arbeitsplatzes auf Mähdreschern befaßt sich die Arbeit von *Zander* [36]. Im Gegensatz dazu versuchen *Matthews* und *Knight* [51] den gesamten Bereich der Gestaltung landwirtschaftlicher Arbeitsplätze zu behandeln. Die Arbeit kann jedoch angesichts der breiten Zielsetzung nur einen kurzen Überblick geben. Abgesehen von den Normen finden sich in allen Quellen weitere z.T. umfangreiche Schrifttumangaben.

6. Schlußbetrachtung

Die vorgelegte Übersicht über das Schrifttum zur Gestaltung von Arbeitsplätzen zeigt, daß umfangreiche anthropometrische Daten für die konstruktive Gestaltung von Fahrerinnen hinsichtlich der statischen Anpassung an den Menschen vorliegen, daß aber für die Gestaltung aus der Sicht der Informationsaufnahme und -verarbeitung (dynamische Anpassung) im wesentlichen nur qualitative Unterlagen vorhanden sind. Die Entwicklung wird sich daher letztlich in diesem Punkt noch auf das Experiment mit dem Menschen abstützen müssen. Die vorhandenen Grundlagen liefern aber eine gute Strategie, um unter Berücksichtigung der bestehenden Wechselbeziehungen die Fahrerinnen optimal auf die Eigenschaften des Menschen abzustimmen.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] DIN 19226 Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Hrsg. Deutscher Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1968.
- [2] *Janssen, Jan*: Klimatische Gesichtspunkte bei der Konstruktion von Fahrerinnen. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 2, S. 35/43.
- [3] *Witte, E.*: Schalltechnische Gesichtspunkte bei der Konstruktion von Fahrerinnen. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 2, S. 43/50.
- [4] *Batel, W.*: Staubbekämpfung am Arbeitsplatz auf fahrenden Arbeitsmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 2, S. 50/55.
- [5] *Graef, M.*: Technische Möglichkeiten zum Senken der Schwingungsbelastung auf fahrenden Arbeitsmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 2, S. 56/63.
- [6] • *Mariensfeld, H.*: Modell für den "Regler Mensch" ein Praktikumsversuch. In: Der Mensch als Regler – Eine Sammlung von Aufsätzen. Hrsg. von *Oppelt/Vossius*. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.
- [7] *Küpfmüller, K.*: Informationsverarbeitung durch den Menschen. NTZ Nachrichtentechn. Zeitschrift Bd. 12 (1959) Nr. 2, S. 68/74.
- [8] • *Morgan, C.T., J.S. Cook, A. Chapanis u. M.W. Lund*: Human Engineering Guide to Equipment Design. New York, Toronto, London: Mc Graw Hill 1963.

- [9] ● *Müller-Limmroth, W.*: Die Grundlagen zur Beurteilung der Eignung zur Führung von Kraftfahrzeugen. In: Handbuch der Verkehrsmedizin. Hrsg. von *K. Wagner u. H.J. Wagner*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1968, S. 122/74.
- [10] ● *Coermann, R. u. K.H.E. Kroemer*: Ergonomische Gesichtspunkte beim Entwurf von Kraftfahrzeugen. In: Handbuch der Verkehrsmedizin. Hrsg. von *K. Wagner u. H.J. Wagner*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1968, S. 784/818.
- [11] ● *Hoyos, C. Graf*: Kompatibilität. In: Ergonomie II – Gestaltung von Arbeitsplatz und Arbeitsumwelt. Hrsg. von *H. Schmidtke*. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1974, S. 93/112.
- [12] DIN 1410 Bewegungsrichtung und Anordnung der Bedienteile. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1956.
- [13] DIN 43 602 Betätigungssinn und Anordnung von Bedienteilen. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1975.
- [14] DIN 43 605 (Entwurf) Sichtmelder und Druckknöpfe – Kennfarben. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1973.
- [15] *Hesse, H.*: Über den Regelkreis Mensch – Maschine. Grndl. Landtechnik Bd. 17 (1967) Nr. 2, S. 41/47.
- [16] ● *Kelley, Ch.R.*: Manual and automatic control. New York, London, Sydney: John Wiley & Sons 1968.
- [17] *Schmidlein, H.*: Über den Wissensstand auf dem Forschungsgebiet "Regler Mensch". Jahrbuch (1963) der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, S. 484/99.
- [18] *Gaines, B.R.*: Linear and nonlinear models of the human controller. Int. J. Man-Machine Studies Bd. 1 (1969), S. 333/60.
- [19] *Kreil, W. u. G. Schweizer*: Der Mensch als Regler. Regelungstechnik u. Prozeß-Datenverarbeitung Bd. 16 (1968) Nr. 2, S. 49/56.
- [20] *Bekey, G.A.*: Discrete models of the human operator in a control system. Automatic A.Remote Control, 2nd IFAC-Congress (1963) S. 430/38.
- [21] ● *Schweizer, G.*: Probleme und Methoden zur Untersuchung des Regelverhaltens des Menschen. In: Der Mensch als Regler. Hrsg. von *Oppelt/Vossius*. Berlin: VEB Verlag Technik 1970, S. 159/238.
- [22] ● *Schweizer, G.*: Ein Modell für das Verhalten des Menschen als Mehrgrößenregler. In: Kybernetik 1968. München, Wien: Oldenbourg 1968, S. 503/33.
- [23] ● *Mc Cormick u. J. Ernest*: Human Factors Engineering. New York, St. Louis, San Francisco, London, Mexico, Panama, Sydney, Toronto: Mc Graw Hill 3. Aufl. 1970.
- [24] ● *Woodson, W.E. u. D.W. Conover*: Human Engineering guide for equipment designers. Los Angeles, London: Uni. of California Press 1970.
- [25] *Bernotat, R.*: Operation functions in vehicle control – Antropotechnik in der Fahrzeugführung. Ergonomics Bd. 13 (1970) Nr. 3, S. 353/77.
- [26] ● *Bernotat, R., D. Dey u. H. Widlok*: Voranzeige als antropotechnisches Hilfsmittel bei der Führung von Fahrzeugen. Forschungsbericht Nr. 1893 des Landes NRW, Köln/Opladen: Westdeutscher Verlag 1968.
- [27] ● *Bernotat, R.*: Anzeigen. In: Ergonomie II – Gestaltung von Arbeitsplatz und Arbeitsumwelt. Hrsg. *H. Schmidtke*, München, Wien: Carl Hanser Verlag 1974, S. 68/92.
- [28] ● *Müller-Limmroth, W.*: Sinnesorgane. In: Ergonomie I – Grundlagen menschlicher Arbeit und Leistungen. Hrsg. von *H. Schmidtke*. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1973.
- [29] ● *Steinbuch, K.*: Automat und Mensch – Kybernetische Tatsachen und Hypothesen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1965.
- [30] ● *Schmidtke, H. (Hrsg.)*: Ergonomie I – Grundlagen menschlicher Arbeit und Leistung (1973) und Ergonomie II – Gestaltung von Arbeitsplatz und Arbeitsumwelt (1974). München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- [31] ● *Dröscher, Vitus B.*: Magie der Sinne im Tierreich. DTV Nr. 1126. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1975.
- [32] *Schief, A.*: Möglichkeiten und Grenzen der Übernahme menschlicher Sinnesfunktionen durch technische Sensoren. Regelungstechnik u. Prozeß-Datenverarbeitung Bd. 23 (1975) Nr. 11, S. 265/68.
- [33] *Baker, Ch.A. u. W.F. Grether*: Visual presentation of information. WADC (Wright Air Development Center) Technical Report 54-160.
- [34] *Drazin, D.H.*: Factors affecting vision during vibration. Research, Appl. in Industry Bd. 15 (1962) S. 275/80.
- [35] *Pleszcynski, W. u. E. Christ*: Steuerfehler bei Relativbewegungen zwischen Fahrersitz und Lenkrad. Landarbeit Bd. 23 (1972) Nr. 12, S. 93/94.
- [36] *Zander, J.*: Ergonomics in machine design (A Case Study of Self-Propelled Combine Harvester). Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 72-6 (1972).
- [37] *Eimer, M.*: Untersuchungen zur Durchsatzregelung am Mährescher. Habilitationsschrift Göttingen 1973.
- [38] VDI/VDE 2127 Systematik und Terminologie der Fluganzeiger. Hrsg. vom VDI/VDE. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1974.
- [39] DIN 43 802 Blatt 1-6: Skalen und Zeiger für elektrische Meßinstrumente. Berlin, Köln: Beuth Verlag
- [40] ● *Lanc, O.*: Ergonomie – Psychologie der technischen Welt. Urban Taschenbuch Nr. 197, Stuttgart: Kohlhammer 1975.
- [41] *Anonym*: Zentrales Informationssystem. VDO-Firmenschrift 1975.
- [42] DIN 33 404 (Entwurf) Akustische Signale – Gefahrensignale für Arbeitsstätten. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1975.
- [43] ● *Wagner, K. u. H.J. Wagner*: Handbuch der Verkehrsmedizin. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1968.
- [44] DIN 33 401 (Entwurf) Stellteile – Begriffe, Eignung, Anforderungen. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1975.
- [45] DIN 33 400 (Entwurf) Gestalten nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen – Arbeitsablauf, -platz, -mittel, -umgebung, allgemeine Leitsätze. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1975.
- [46] DIN 33 402 (Entwurf) Körpermaße von Erwachsenen – Begriffe, Meßmethoden, Werte. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1975.
- [47] ● *Jürgens, H.W.*: Körpermaße. In: Ergonomie I – Grundlagen menschlicher Arbeit und Leistung. Hrsg. von *H. Schmidtke*. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1973, S. 114/33.
- [48] *Glasow, W.*: Grundlagen für eine Arbeitsplatzgestaltung – Körpermaße, Bewegungsräume, Körperkräfte. DLG Manuskripte März 1973.
- [49] ● *Rohmert, W.*: Kraft im Bewegungsraum. In: Ergonomie I – Grundlagen menschlicher Arbeit und Leistung. Hrsg. von *H. Schmidtke*. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1973, S. 114/33.
- [50] VDI 2782 Empfehlungen für die Gestaltung von Fahrzeugführersitzen in Kraftfahrzeugen.
- [51] *Matthews, J. u. A.A. Knight*: Ergonomics in agricultural equipment design. NIAE Sep. 1971.