

Aufzeichnen von Arbeitsbewegungen mit einem Tastsensor- und einem Videogerät

Von Walter Ihle, Wilfried Hammer und Udo Schmalz,
Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.5:331.015.14:681.772.7:681.32

Ergonomische Untersuchungen dienen u.a. dem Ziel, den Arbeitsplatz besser zu gestalten und die Arbeitssicherheit zu erhöhen. Oft ist es dabei notwendig, die Körperhaltung und -bewegung des arbeitenden Menschen zu beobachten und entsprechende Daten zu erfassen. Dazu kann eine meßtechnische Anlage eingesetzt werden, die synchron zwei Arten von Daten aufzeichnet:

- a) Bildreihen werden mit Videokamera und -recorder aufgenommen bzw. gespeichert,
- b) elektromechanisch und elektrophysiologisch erfaßbare Größen werden digital registriert und einem Rechner zugeleitet.

Zur Synchronisierung beider Prozesse werden Codes zur Versuchs-, Ablauf- und Zeitkennung ins Videobild eingebildet. Beide Informationsträger sind unabhängig voneinander anwendbar.

1. Einleitung

Zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung und zur Minderung der Gefährdung bei der Arbeit können neben anderen Methoden Bewegungsstudien angewendet werden. Im allgemeinen verfolgt man dabei zwei Gruppen von Zielen:

1. qualitative: Die gewonnenen Informationen dienen
 - dem Kenntniserwerb über die Bewegungen selbst,
 - als Interpretationshilfe für andere Daten über den untersuchten Arbeitsvorgang und
 - als Anschauungs- und Lehrmittel.
2. quantitative: Ortsveränderungen über der Zeit sollen festgestellt werden, um die Bewegungen verschiedener Körperpunkte, Körperteile oder des ganzen Körpers sowie deren Zuordnung zur Arbeitsumgebung (Arbeitsraum, -mittel und -gegenstand) ermitteln zu können. Dazu werden Richtung, Strecke und Zeit der Bewegung sowie Winkel zwischen Gliedmaßen gemessen. Je nach Aufnahmeverfahren ist es möglich, die Lage im Raum zwei- oder dreidimensional zu beschreiben.

Vorhaben innerhalb des vom BMFT geförderten HdA-Verbundprojektes "Arbeitssicherheit in der Landwirtschaft"

*) Herr W. Ihle ist technischer, Prof. Dr. agr. W. Hammer und Dipl.-Wirtsch.-Ing. U. Schmalz sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Betriebstechnik (Leiter: Prof. Dr. H. Schön) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

2. Bisher übliche Verfahren des Bewegungsstudiums

Eine umfassende Schilderung aller dem Bewegungsstudium dienenden Verfahren ist wegen ihrer Vielzahl an dieser Stelle nicht möglich. Für einen Gesamtüberblick wird vor allem auf Baum [1, 2, 3] verwiesen. — In diesem Beitrag beschränken wir uns darauf, einige photo-, film- und videotechnische Verfahren in Anlehnung an eine Systematik von Wortmann [4] zu skizzieren.

2.1 Chronophotographie

Das unbewegte Filmmaterial in der Photokamera wird entweder durch wiederholtes Öffnen des Objektivs oder bei offenem Verschluss mit Hilfe eines Serienblitzgerätes mehrfach belichtet. Dabei wird eine bestimmte, der Bewegungsgeschwindigkeit angemessene Frequenz gewählt. So entsteht vom Bewegungsvorgang eine Abbildung, die das Objekt in den aufeinanderfolgenden Stadien wiedergibt. Aus diesem Bild können für die Zeitpunkte, die durch die Belichtungsfrequenz vorgegeben sind, die x- und y-Koordinaten abgegriffen und damit die Ortsveränderung über der Zeit errechnet werden.

2.2 Spurphotographie, insbesondere Motografie nach Baum [1, 2, 3]

An den Körperstellen, deren Beobachtung wesentlich ist, werden punktförmige, lichtstarke Leuchten befestigt. Durch einen netzunabhängigen, quartzesteuerten Impulsgeber kann man diese mit exakter und beliebiger Frequenz blinken lassen. Die so entstehenden Lichtimpulse werden bei dauernd geöffnetem Kameraverschluss als aneinandergereihte Lichtpunkte auf dem stehenden Filmmaterial abgebildet. Dem Betrachter erscheinen sie als Leuchtspuren.

Dabei darf der Film jedoch von der Umfeldbeleuchtung nicht belichtet werden. Deshalb sind drei Maßnahmen notwendig:

1. Der gesamte Raum wird verdunkelt.
2. Um trotzdem genügend Helligkeit zur normalen Arbeitsausführung zu bieten, wird der Raum mit monochromatischem gelbem Licht aus einer Natriumdampf-Niederdruck-Lampe beleuchtet.
3. Auch dieses schmalbandige Licht darf nicht in die Kamera dringen. Es wird deshalb mit einem Bandabsorptionsfilter vor dem Objektiv abgeschirmt.

Somit gelangt nur das Licht der o.g. Punktlichter an den ausgewählten Körperstellen auf den Schwarz-Weiß- oder Farbfilm.

2.3 Filmtechnische Verfahren der Serienphotographie

Für diese Verfahren verwendet man einerseits Photokameras, bei denen der Film durch motorischen Antrieb in schneller und gleichmäßiger Folge transportiert wird. So sind bis zu fünf Aufnahmen je Sekunde möglich. — Andererseits kommen auch Filmkameras mit wesentlich höherer Bildfrequenz in Frage.

Zur Auswertung sind Projektoren mit Einzelbildschaltung notwendig. Damit werden die aufeinanderfolgenden Bilder deckungsgleich auf speziellen Projektionstischen wiedergegeben. Von Hand können so die jeweils interessierenden Punkte und ihre Veränderung auf transparentes Papier aufgezeichnet werden.

2.4 Videomeßtechnisches Verfahren

Hagerer u. Köbsell [5] haben ein Verfahren und entsprechende Geräte entwickelt, bei dem synchron Videobilder und verschiedene Meßwerte aufgezeichnet werden. Diese extern erfaßten Meßwerte werden in das Videobild eingebildet und auf dem Magnetband als Bildzeichen gespeichert. Bei der Auswertung können diese Zeichen identifiziert, entnommen und als digitale Daten der Verarbeitung in Rechnern zugeleitet werden.

3. Kritik der bisherigen Verfahren und daraus abgeleitete Aufgabe

Mit der Anwendung der in Abschn. 2 geschilderten Verfahren sind verschiedene Einschränkungen und Schwierigkeiten verbunden:

- Das Auswerten der Bilder durch Vermessen der Bildpunkte mit ihren x-, y- und ggf. z-Koordinaten sowie die nachfolgende Eingabe auf einen Datenträger zur weiteren Verarbeitung sind sehr zeit- und/oder kostenaufwendig.
- Die gewonnenen Informationen reichen zumeist nicht aus, um den biomechanischen und ergonomischen Prozeß ausreichend zu beschreiben. Im Sinne einer vielseitigen Beobachtung und Analyse sollten deshalb zusätzlich zur Bild-Information charakteristische Größen des Prozesses gemessen und registriert werden können.

Daraus wurde folgende Aufgabe abgeleitet:

1. Entwickeln eines Verfahrens, bei dem mehrere und je nach Aufgabenstellung unterschiedlich kombinierte Merkmale gleichzeitig erfaßt, miteinander verknüpft und sich gegenseitig ergänzend betrachtet, analysiert und verwertet werden können. Diese Merkmale können mehreren Bereichen zugeordnet werden:
 - Zeitpunkte zur Feststellung von bestimmten Ereignissen und Stadien des Arbeitsablaufs mit deren Dauer
 - Biomechanische Größen zur Beschreibung von Körperbewegungen mit ihren Kräften und Krafrichtungen sowie
 - Technische Größen des Arbeits- und Produktionsprozesses vor allem zur Beschreibung der Belastung des Menschen am Arbeitsplatz
 - Arbeitsphysiologische Größen (z.B. Herzschlag- und Atemfrequenz, Körpertemperatur) als Indikatoren für die Beanspruchung des arbeitenden Menschen.
2. Ein möglichst hoher Anteil dieser Größen sollte auf elektromechanischem oder elektrophysiologischem Wege mit Hilfe entsprechender Sensoren automatisch erfaßt und auf Datenträger aufgezeichnet werden, um den Arbeitsaufwand für die Datenerfassung und -auswertung wesentlich zu senken.
3. Soweit aus den Bildspeichern (Photo, Film oder Video-Magnetband) Daten im einzelnen mit menschlicher Hilfe abgelesen und registriert werden sollen, müssen sie den übrigen Meßreihen inhaltlich und zeitlich korrekt zugeordnet werden können.
4. Die Daten sollen unmittelbar nach ihrer Erfassung verdichtet und/oder unter bestimmten Gesichtspunkten ausgewählt werden können; denn die Menge der Daten, die bei diesem mehrere Größen registrierenden Verfahren anfallen, ist vielfach so hoch, daß ein zu hoher Speicher- und Verarbeitungsaufwand entsteht. Außerdem ist die ursprüngliche Datendichte zumeist unnötig, um die gewünschten interpretationsfähigen Auskünfte zu erzielen.

5. Die auf Bildträger gespeicherten Informationen sollen wiederholt angesehen werden können, um als qualitative Interpretationshilfe der unter Punkt 1 genannten Merkmale zu dienen.

4. Beschreibung des eigenen Verfahrens

4.1 Tastsensorgerät zum Aufzeichnen der Zeitabschnitte, während denen Hände und Füße Arbeitsmittel oder -gegenstände berühren

Grundsätzlich ist das entwickelte Gerät für das Erfassen mehrerer und verschiedenartiger Meßwerte geeignet, die bei ergonomischen Untersuchungen gebraucht werden. Einige Beispiele für derartige Größen wurden im Abschn. 3 unter Punkt 1 genannt. Wegen des im folgenden erläuterten spezifischen Untersuchungszwecks wurde z.Z. jedoch nur die im folgenden beschriebene Teilaufgabe gelöst:

Der Bewegungsablauf einer Versuchsperson sollte z.B. beim Besteigen von Leitern, landwirtschaftlichen Fahrzeugen oder Arbeitsmaschinen untersucht werden. Dazu ist es notwendig zu wissen, während welcher Ablaufabschnitte die einzelnen Hände greifen und die Füße auftreten bzw. wann sie zwischen den Handgriffen oder Stufen wechseln und sich deshalb frei bewegen. Dafür ist eine Meßeinrichtung erforderlich, die geeignete Signale jedesmal dann liefert, wenn die einzelnen Extremitäten den zu besteigenden Gegenstand berühren. Diese Meßeinrichtung muß in der Lage sein, auf unterschiedliche Materialien wie z.B. Metall, Holz und Kunststoff anzusprechen. Ferner darf sie die Bewegungsfreiheit der Versuchsperson nicht wesentlich einschränken.

Diese Aufgabe wurde mit einem vielseitig nutzbaren allgemeinen Konzept, Bild 1, und mit einer Gruppe von Geräten, Bild 2, gelöst.

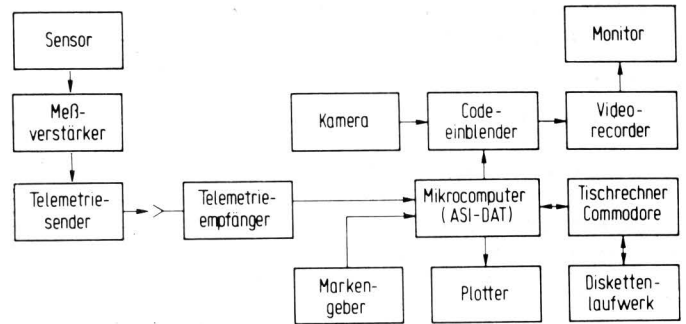


Bild 1. Blockschaltbild einer Einrichtung zur Untersuchung von Arbeitsabläufen durch Aufnahme von Bildern und Meßdaten; die zeitliche Zuordnung zwischen den Daten der beiden Informationsträger wird durch Eingabe von Codes in das Videobild sichergestellt.

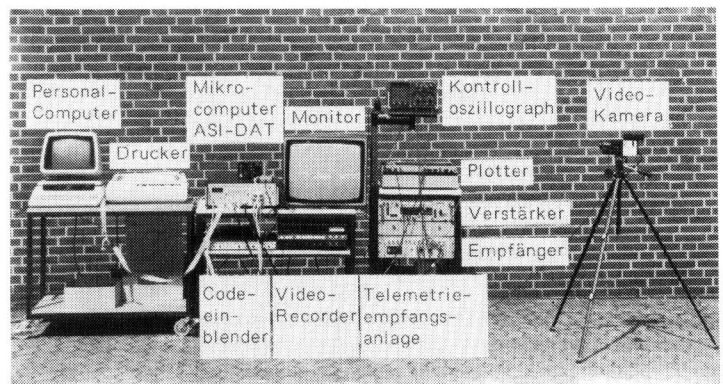


Bild 2. Geräteausstattung für die Aufnahme von Bildern und Meßdaten eines Arbeitsablaufs, Schaltbild in Bild 1.

Innerhalb dieses Gesamtplanes wurde für die spezielle Sensor-Aufgabe eine Oszillatorschaltung vorgesehen, bei der die Rückkopplung über einen Tastsensor beeinflusst wird. Für die Hände besteht dieser aus einem Handschuh, auf dessen Innenfläche vom Handteller bis zum Mittelfinger ein etwa 1–1,5 cm breites hochflexibles Flachbandkabel befestigt ist, Bild 3. Dieses Kabel, bei dem jeweils die Hälfte der Adern parallel geschaltet ist, stellt gegenüber der Hand wie auch gegenüber dem gegriffenen Gegenstand einen Kondensator dar.

Da dieser beim Greifen seine Werte verändert, ist es möglich, mit ihm den nachfolgend beschriebenen Meßverstärker entsprechend zu steuern.

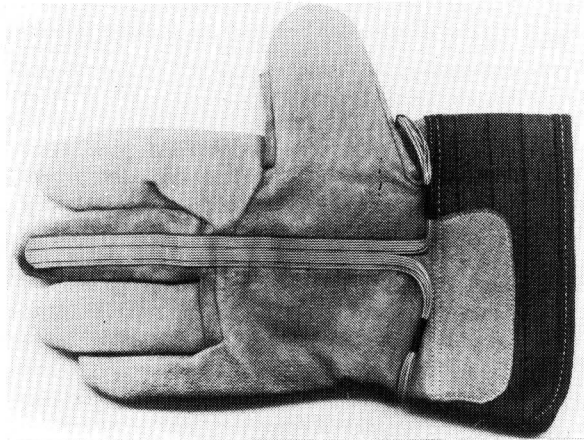


Bild 3. Hand-Tastsensor; Handschuh mit Flachbandkabel, das als Kondensator geschaltet ist.

Der Meßverstärker enthält eine Oszillatorschaltung, Bild 4. Darin sind die beiden Operationsverstärker IC 1 und IC 2 hintereinander geschaltet. Der Ausgang ist über die kleine Kapazität C 1 rückgekoppelt. Dieser Oszillator läßt sich nun über einen weiteren Kondensator, den Tastsensor, welcher im Rückkoppelzweig gegen Masse liegt, bedämpfen. Bei genügender Bedämpfung ist die Schwingfähigkeit nicht mehr gegeben, und die Oszillatorschwingung reißt ab.

Mit Hilfe der Diode D 1 wird im Schwingungsfall eine Gleichspannung erzeugt. Diese fällt bei nicht schwingendem Oszillator auf Null zurück. Hierdurch lassen sich die logischen Zustände "Tastsensor hat Kontakt" und "Tastsensor ist frei" darstellen.

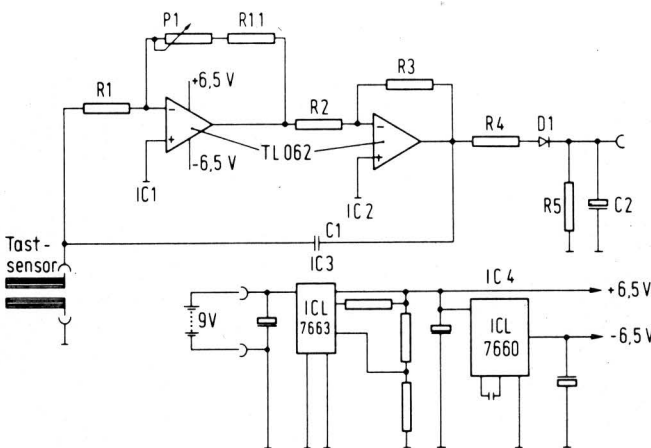


Bild 4. Anschaltung des Hand-Tastsensors an das Meßwertersassungssystem.

Der Tastsensor für die Füße ist etwas anders gestaltet. Weil an den Schuhen nicht so starke Verformungen wie an den Handschuhen auftreten, konnte der Sensor zur Erfassung des Fußdrucks als Kontaktplatte ausgeführt werden, die wie eine schmale Einlegesohle in den Schuh gesteckt wird. Die Kontaktplatte, Bild 5, besteht aus zwei 0,2–0,3 mm dicken, leicht gewölbten Messingblechen, die am Rand durch doppelseitig wirkendes Klebeband isoliert miteinander verbunden sind. Die beiden Bleche stellen somit einen Schalter dar, der bei Belastung schließt. Bei diesem Sensor kann auf den Meßverstärker verzichtet werden. Zur Erzeugung der logischen Signale 0 und 1 wird lediglich ein ohmscher Spannungsteiler benötigt.

Die von den Sensoren und Meßverstärkern gelieferten Meßsignale werden zur größeren Bewegungsfreiheit der Versuchsperson, Bild 6, über eine Telemetrieanlage zu einem Mikrocomputer (ASI-DAT) übertragen.

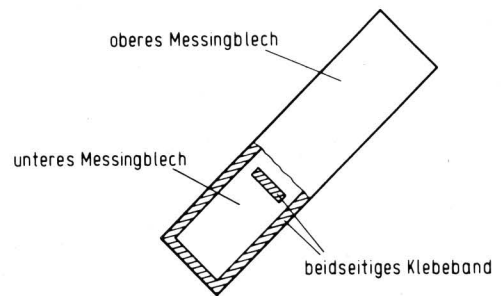


Bild 5. Fuß-Tastsensor; Kontaktplatte, die in den Schuh einzulegen ist.



Bild 6. Versuchsperson mit je einem Tastsensor für Hand und Fuß.

4.2 Videoanlage

Parallel zur Erfassung von Meßdaten über das Tastsensorgerät, Bild 1, werden mit Hilfe einer Videokamera (Hersteller: JVC; Typ: GX-N7E) die Bewegungsabläufe bildlich aufgenommen und auf einem Video-Magnetband aufgezeichnet. Der Videorecorder (Hersteller: JVC; Typ: BR-6400TR) besitzt eine stufenlose Einstellung der Wiedergabegeschwindigkeit vom Standbild bis zur mehrfachen Nenngeschwindigkeit. Über die in das Videobild einblendeten Codes lassen sich die den Bildpassagen entsprechenden aufgezeichneten Meßdaten ausfindig machen.

4.3 Meßwerterfassung und -speicherung auf Diskette

Der bereits genannte Mikrocomputer hat als erstes die Aufgabe, die einlaufenden Meßwerte mit dem Videobild zu synchronisieren. Hierfür wird ein zwischen Kamera und Videorecorder geschalteter Code-Einblender benutzt. Eine im Mikrocomputer eingebaute Echtzeituhr steuert die Datenerfassung. In einer Zykluszeit von 1/1000 Minute (16,6 Hz) werden die Meßwerte abgefragt. Parallel hierzu werden neben einer vom Versuchsleiter zu setzenden Marke die Versuchskennung und die aktuelle Uhrzeit vom Mikrocomputer ausgegeben. Die Marke liefert ein Ereigniszähler, der bei Null beginnt und bei jedem Tastendruck um eins weiterzählt. Über den Code-Einblender werden diese Daten in das aufgezeichnete Videobild eingefügt und so für den Betrachter sichtbar.

Eine weitere Aufgabe für den Mikrocomputer besteht darin, die Meßwerte zu Datensätzen aufzubereiten und über eine IEEE 488-Schnittstelle an einen Tischrechner (Commodore 8296-D) zu übertragen. Dieser speichert die Datensätze über das eingebaute Diskettenlaufwerk auf Diskette ab. Ein Datensatz besteht aus dem Meßwert, der Marke und der Uhrzeit. Die so gespeicherten Daten können zur weiteren Verarbeitung an eine Großrechenanlage übertragen werden.

Um die Anzahl der Datensätze gering zu halten, werden die Meßwerte und der Markeneingang zwar in Intervallen von 1/1000 Minute abgefragt; ein neuer Datensatz wird aber immer nur dann erfaßt, wenn die aktuelle Abfrage von der vorhergehenden abweicht. Hierdurch läßt sich die Anzahl der Datensätze erheblich reduzieren. Sie werden in einem Zwischenpuffer hinterlegt, der noch während der Aufzeichnung vom Tischrechner ausgelesen wird. Damit ist es möglich, sehr umfangreiche Dateien zu erstellen.

Schließlich ist vorgesehen, die Dateiinhalte vom Tischrechner mit Hilfe eines Plottprogramms im Mikrorechner auf einem angeschlossenen Plotter (X,Y-Schreiber) darzustellen. Dies hat den Vorteil, unmittelbar nach dem Versuch eine erste Kontrolle der Ergebnisse durchführen zu können.

4.4 Beispiel für ein Datenprotokoll

Von einem Versuch über Leitersteigen wird in Bild 7 ein Ausschnitt eines Meßwertprotokolls gezeigt.

Dazu folgende Erläuterungen:

Jedesmal, wenn sich die Berührung einer Hand oder eines Fußes mit der Leiter ändert, wird ein Datensatz digital ausgegeben und gespeichert: So begann im gewählten Beispiel um 10 Uhr 29,082 Minuten (Spalten a bis c) ein Abschnitt im Bewegungsablauf, bei dem nur die rechte Hand (Sp. l) und der rechte Fuß (Sp. n) Kontakt mit der Leiter hatten. Dementsprechend wurde dies dual mit "0 1 0 1" (Sp. g bis j) codiert. Dabei stand der rechte Fuß auf der 2. Stufe (Sp. f) bei der Tätigkeit "Aufsteigen", die der Versuchsleiter extern durch einen Druckknopfschalter mit "1" (Sp. e) kennzeichnete.

In dieser Art kann man frei wählbar z.B. folgendes markieren:

- 0 Tätigkeit vor Beginn des Aufsteigens
- 1 Aufsteigen
- 2 Tätigkeit nach Ende des Aufsteigens
- 3 Absteigen
- 4 Tätigkeit nach Ende des Absteigens.

Nach 0,003 min Dauer (Sp. d) begann um 10 Uhr 29,085 Minuten ein nächster Abschnitt im Bewegungsablauf; denn der linke Fuß (Sp. m) berührte zusätzlich die 3. Stufe (Sp. f). Die neue Dualcodierung lautete: "0 1 1 1" (Sp. g bis j). Ein entsprechender Datensatz wurde ausgegeben.

Die Stützphase beider Füße dauerte jedoch nur 0,001 min (Sp. d); bereits um 10 Uhr 29,086 Minuten hob der rechte Fuß (Sp. n) von der 2. Stufe (Sp. f) ab. Dieser Zustand wurde mit "0 1 1 0" dual codiert (Sp. g bis j).

Ablaufzeit			Dauer des Abschnitts in 1/1000 Minuten	Tätigkeit	lfd. Nr. der Stufe	Berührung von Händen und Füßen mit der Leiter							
Stunde	Minute	1/1000 Minute				Dualcodierung				Balkendiagramm			
						lH	rH	lF	rF	lH	rH	lF	rF
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
10	29	082	3	1	2	0	1	0	1		■		■
10	29	085	1	1	3	0	1	1	1		■	■	■
10	29	086	8	1	3	0	1	1	0		■	■	■
											■	■	■
											■	■	■
											■	■	■
											■	■	■
											■	■	■
10	29	094	2	1	3	1	1	1	0		■	■	■
											■	■	■
10	29	096	1	1	4	1	1	1	1		■	■	■
10	29	097	2	1	4	1	1	0	1		■	■	■
											■	■	■
10	29	099	7	1	4	1	0	0	1		■	■	■
											■	■	■
											■	■	■
											■	■	■
10	29	106	2	1	5	1	0	1	1		■	■	■

Bild 7. Ausschnitt eines Meßwertprotokolls.

Die Dauer der einzelnen Abschnitte im Bewegungsablauf (Sp. d) und die lfd. Nr. der Stufen (Sp. f) werden nicht als Primärdaten von den Geräten erfaßt, sondern durch ein Rechnerprogramm sekundär ermittelt. Das gleiche gilt für die lfd. Nr. der Bewegungszyklen und für die Bestimmung des Fußes, mit dem das Auf- oder Absteigen begonnen wird (nicht im Meßwertprotokoll, Bild 7, enthalten).

Die Ablaufzeit (Sp. a bis c) und die Markierung der Tätigkeit (Sp. e) werden während des Versuchs in die gleichzeitig laufenden Videoaufnahmen eingeblendet, entsprechend der Aufgabenstellung nach Abschn. 3, Punkt 3.

4.5 Kosten der Anlage

Die beschriebene Anlage wurde im eigenen Institut konzipiert, konstruiert und hergestellt. Deshalb können in Tafel 1 sowohl aufgewendete Arbeitszeiten als auch Kosten für zugekaufte Teile (Stand: Oktober 1985) genannt werden.

Außerdem wurden ein x,y-Schreiber und eine Telemetrieanlage verwendet. Diese Bestandteile sind jedoch seit langem im Institut vorhanden, werden vielseitig verwendet und deshalb in obiger Liste nicht aufgeführt.

Arbeitszeitaufwand in Mannwochen	
Konstruktion	4
Herstellung eigener Geräte und Zusammenbau der gesamten Anlage	8
Programmierung des Mikrocomputers und des Tischrechners	8
Summe	20

Kosten für zugekaufte Teile in DM incl. MWST. (siehe dazu Blockschaltbild, Bild 1)	
Mikrocomputer (ASI-DAT); Bauteile u. Gehäuse	2.760
Tischrechner Commodore mit Floppy*)	4.870
Video-Kamera JVC GX-N7E	2.610
Code-Einblender TG-160	4.540
Video-Recorder BR-6400 TR	5.520
Farbmonitor Barco DCD 2240F	1.850
Summe	22.150

*) Dieser Tischrechner wird auch für andere Forschungsvorhaben verwendet. Die hier genannten Gesamtkosten sind demnach nur anteilig anzusetzen.

Tafel 1. Arbeitsaufwand und Kosten zugekaufter Teile für die Anlage zur Untersuchung von Arbeitsabläufen.

5. Erste Erfahrungen bei der Anwendung des Gerätes

Die Auswertung der Videoaufzeichnungen bedarf im allgemeinen des Auges und der Hand eines Menschen. Dabei ist der Aufwand in der Regel sehr hoch und stößt oft an die Grenzen der Ausführbarkeit, Erträglichkeit und Zumutbarkeit. Deshalb sollte ein möglichst hoher Anteil der zu untersuchenden Größen automatisch erfaßt und auf einem eigenen Datenträger unabhängig vom Videobild aufgezeichnet werden. — Inwieweit können dieses Hauptziel und alle anderen in Abschn. 3 genannten Aufgaben nach mehrmonatigem Einsatz des Gerätes als erfüllbar angesehen werden?

5.1 Die gleichzeitige und parallele Erfassung mehrerer verschiedenartiger Merkmale und deren digitale Speicherung ist möglich, soweit entsprechende Sensoren für die zu untersuchenden Größen elektronisch verwertbare Signale liefern. Die Registrierung entspricht dem Stand der Technik und stellt keine neue und eigene Lösung dar. Sie ist in der gewählten Form vielmehr eine Übernahme bekannter Verfahren.

5.2 Da die Daten der ausgewählten Meßgrößen auf einem eigenen Datenträger festgehalten werden, können die Videoaufnahmen auf das unbedingt notwendige Ausmaß zur Beobachtung wichtiger Arbeitsabschnitte eingeschränkt werden. Hierin sehen die Autoren den wesentlichen Unterschied und Vorteil zu dem von *Hagerer u. Köbsell* [5] entwickelten Verfahren.

5.3 Die Zuordnung der Videodaten zu den übrigen Meßwertreihen ist uneingeschränkt möglich durch die ins Videobild eingebendeten Codes zur Versuchs-, Abschnitts- und Zeitkennung.

5.4 Die Daten der erfaßten Meßgrößen lassen sich mit Hilfe des Mikrocomputers und entsprechender Software schon während des Versuchs in angestrebter Weise verdichten.

5.5 Die Videobänder können mit Zeitraffung oder -dehnung bis zur Einzelbildschaltung wiederholt abgespielt und die ge-

speicherten Bilder betrachtet werden. Dies mag der qualitativen Datenerfassung dienen. Bei längerer derartiger Tätigkeit muß man jedoch mit Augenermüdung und Überbeanspruchung der auswertenden Personen durch Verarbeitung der optischen Informationen rechnen.

5.6 Zur Zeit wird geprüft, inwieweit die x- und y-Koordinaten von Bildpunkten auf der zweidimensionalen Bildebene genügend genau und unverzerrt ermittelt werden können. So ließen sich z.B. die Lage ausgewählter Körperpunkte und damit die Körperhaltung bestimmen.

6. Zusammenfassung

Untersuchungen über Körperhaltung und -bewegung des Menschen bei seiner Arbeit sind seit langem bewährte Wege zu einer ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung.

Bildliche Darstellungen über Photo-, Film- oder Videoverfahren geben dabei oft nur ungenügende Auskunft über die Gesamtheit des Arbeits-, Belastungs- und Beanspruchungsprozesses. Sie bedürfen deshalb der Ergänzung durch Messung charakteristischer Größen, die parallel und gleichzeitig erfaßt werden. Außerdem sollte der unvermeidlich hohe Aufwand bei der Auswertung der bildlichen Aufzeichnungen so klein wie möglich gehalten werden.

Deshalb wurde eine Gerätekombination entwickelt, die für Arbeitsuntersuchungen vielseitig eingesetzt werden kann. Mit ihr werden einerseits Bildreihen über Videokamera und -recorder aufgenommen bzw. gespeichert, andererseits elektromechanische und elektrophysiologisch erfassbare Größen in digitaler Form einem Rechner zugeleitet, verarbeitet und gespeichert. Die zeitliche Zuordnung zwischen den Daten der beiden Informationsträger, die auch unabhängig voneinander zu verwenden sind, wird durch Codes zur Versuchs-, Ablauf- und Zeitkennung sichergestellt, die ins Videobild eingebendet werden.

Mit dieser Versuchseinrichtung, ausgerüstet mit speziell entwickelten Tastsensoren (Handschuhe und Schuheinlagen), wurden erste Einsatzerfahrungen bei Untersuchungen zum Bewegungsablauf beim Besteigen von Leitern gesammelt.

Schrifttum

- [1] *Baum, E.*: Motografie I. Bewegungsaufzeichnungen mit Spuren. Forschungsbericht Nr. 264 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund 1980.
- [2] *Baum, E.*: Motografie II. Bewegungsaufzeichnungen mit Spuren. Forschungsbericht Nr. 324 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund 1983.
- [3] *Baum, E.*: Motographie III. Entwicklung einer Methode zur Bewegungsaufzeichnung unter Berücksichtigung photogrammetrischer Anforderungen. Forschungsbericht Nr. 468 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1986.
- [4] *Wortmann, H.R.*: Ermittlung der Kräfte und Bewegungsabläufe beim Treppensteigen. Diplomarbeit, Universität — Gesamthochschule Wuppertal, Fachbereich: Sicherheitstechnik — Produktion, Wuppertal 1984.
- [5] *Hagerer, P. u. H., Köbsell*: Erste systemergonomische Untersuchungen einer Arbeitsplatzgestaltung beim Mähdrescher. Grndl. Landtechnik Bd. 36 (1986) Nr. 3, S. 87/93.