

Biomedizinische Technik

4^o Reihe 92

(20)

**Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft
für Biomedizinische Technik e. V.**

Redaktion

Priv.-Doz. Dr.-Ing. W. Irnich, Klinische Anstalten der RWTH,
51 Aachen, Goethestraße 27–29, Telefon: (02 41) 428 96 69
(Geschäftsführender Redakteur)

Prof. Dr. W. Bleifeld, Abt. Innere Medizin I an der RWTH Aachen.
51 Aachen, Goethestraße 27–29

Prof. Dr.-Ing. U. Boenick, Fachgebiet Biomedizinische Technik,
Technische Universität Berlin,
1 Berlin 10, Dovesstraße 6

Prof. Dr. med. Friedrich Heuck, Ärztlicher Direktor des Zentralröntgen-
Institutes des Katharinenhospitals der Stadt Stuttgart, 7 Stuttgart N
Kriegsbergstraße 60

Verlag

Fachverlag Schiele & Schön GmbH
1 Berlin 61, Markgrafenstraße 11
Telefon: (030) 251 60 29

Wissenschaftlicher Beirat:

Anna, Hannover
Bartelheimer, Hamburg
Berensmann, Stuttgart
Blenke, Stuttgart
Blohmke, Bonn
Breitling, Tübingen
Bücherl, Berlin
Demling, Erlangen
Effert, Aachen
Eichmeier, München
Faust, Stuttgart
Feinendegen, Jülich
Fritzsche, Graz
Frohnmeier, Stuttgart
Frommhold, Tübingen
Gessner, St. Gallen
Götze, Berlin
Grassmann, Zürich
Graul, Marburg

Heintzen, Kiel
Hörnicker, Hohenheim
Janzen, Hamburg
Just, Heidelberg
Keller, St. Gallen
Klasmeier, Würzburg
Klensch, Bonn
Koeppen, Wolfsburg
Naumann, Aachen
Osypka, Basel
Pätzold, Erlangen
Schaldach, Erlangen
Schwarzer, München
Spang, Stuttgart
Stabe, Stuttgart
Wagner, Heidelberg
Wessel, USA
zum Winkel, Berlin

Inhaltsübersicht der Hefte 1–6/1975, Band 20

	Seite		Seite
Bauer, H. F.: Stofftransport im aufsteigenden Teil der Henle'schen Schleife	171	Epple, E., Faust, U.: Bericht über den wissenschaftlichen Kongreß mit Fachausstellung vom 21.–24. Mai 1975 in Stuttgart	84
Bischof, N., Scharstein, H.: Apparative Probleme bei der Untersuchung der Konstanz des Wahrnehmungsraumes — und ein neues Verfahren zu ihrer Lösung	62	Funke, H. D.: Ein Herzschrittmacher mit belastungsabhängiger Frequenzregulation	225
Christiansen, K., Hoegl, A.: Entwurf eines Gerätes zur Messung des fetalen EKGs vor und während der Geburt	177	Gambke, G.: Biomedizinische Technik, aber wie?	47
Epple, E., Faust, U.: Grußwort der Kongreßleitung	46	Geißelbrecht, G., Haerten, R., Karpil, L., Sun, R. K., Seiffert, A., Kresse, H.: Experimente mit einem inkorporierbaren Antriebssystem für Blutpumpen zur Entlastung des linken Herzens	15

Seite	Seite
Ghista, D. N., Toridis, T. G., Srinivasan, T. M.: Human gait analysis: Determination of instantaneous joint reactive forces, muscle forces and the stress distribution in bone segments. Part I	204
Hartmann, F.: Biomedizinische Technik — Warum — Wie — Wozu?	2
Heppner, F., Lanner, G., Rodler, H.: Telemetrie des Schädelinnendruckes	214
Heuck, F.: Radiologische Meßtechnik	85
Holliger, Ch., Anliker, M., Klingler, D., Bollinger, A.: Evaluation of an on-line videodensitometric measurement of the red blood cell velocity in the capillaries of the human nailfold	187
Hüdepohl, G., Rasso, J.: Eine einfache Methode zur absoluten Elektronenenergie-Bestimmung bis über 40 MeV mittels des Cerenkoveffektes	92
Jacobsen, J., Buntenkötter, S., Reinhard, H. J.: Experimentelle Untersuchungen an Schweinen zur Frage der Mortalität durch sinusförmige, phasengeschnittene sowie gleichgerichtete elektrische Ströme	99
Jensch, P., Meyer, J., Ameling, W., Effert, S.: Ein interaktives Multiprogramm-System für verschiedene kardiologische Aufgaben	114
Kämpfen, Y.: Zur Bestimmung der Verweilzeit in pulsierenden Strömungen mit der Röntgendensitometriemethode	150
Kamm, K. F., Meyer-Waarden, K., May, H. U.: Mikroelektrodenverstärker mit automatischer Gleichspannungs- und Kapazitätskompensation	154
Keller, H.: Geleitwort zum BMT-Kongreß 1975	45
Kresse, H., Schmid, F., Geiger, S.: Neuartige postoperative Kältetherapie	59
Lambert, J.: Eine neue Versuchsanordnung für die direkte mikroskopische Beobachtung des Fließverhaltens von Blut in Modellen natürlicher und künstlicher Gefäßsysteme	139
Lategola, M. T., Layne, P. J.: A Method for amplitude/frequency analysis of high fidelity electromagnetic tape recording of the electrocardiogram	219
Megla, G. K.: Ein System zur Automatisierung des Differential-Blutbildes	108
Meyer-Waarden, K., Lange, D., May, H. U.: Halbautomatische elektronische Steuerung eines Mikroelektroden-Vortriebes	71
Moser, M., Ranacher, G., Schuy, S., Waibel, R.: Automatische Auswertung von Elektronystagmogrammen	132
Nadeau, R. G., Yllo, W., Baumgärtner, E., Pagel, D.: Der Automatic Clinical Analyzer aca, ein neuartiges selektives Analysengerät für klinisch-chemische Laboranalysen	127
Ørum, J.: Der Cardioscatterhistograph — ein Gerät zur kontinuierlichen Anzeige quasi-periodischer Bio-Signale	192
Pasternack, A.: Einsatzmöglichkeiten von Adsorbentien zur Blutreinigung bei Urämie... ..	229
Pohlitz, W.: Prof. Dr. Boris Rajewsky zum Gedenken	39
Reinhardt, E. R.: Möglichkeiten der kohärent optischen Verarbeitung zur quantitativen Auswertung von Mikroradiogrammen	53
Rischka, W.: SMAC — Sequentieller Vielfachanalysator mit integriertem Computer	28
Saackel, L. R., Heuck, F.: Praktikable Methode zur Volumenbestimmung aus dem Röntgenbild mit einem Kleinstrechner	95
Schuy, S., Sakulin, M., Schmidt-Kloiber, H., Koch, G., Rigler, B., Tentzeris, M.: Bohreinrichtung für intrahepatische Shuntoperation	124
Schuy, S., Wach, P., Leitgeb, N., Hohenau, W., Schmidt-Kloiber, H.: Die frequenzunabhängige Umwandlung von Röntgenstrahlung in Licht durch Verstärkerfolien	144
Seeger, H. T.: Hemalog — ein vollautomatisches Analysensystem für die Hämatologie	33
Stout, R. L., Jewell, E. D., Wessel, H. U., Paul, M. H.: Mass Spectrometer for multiple respiratory gas analysis	165
Tutung, G.: Bestimmung der Gelenkachsenlagen bei Ganzarmprothesen	22
Vanselow, K., Heuck, F.: Vergleichende Untersuchungen der physikalisch-technischen Grenzen der Video- und Cine-Densitometrie..	86
Venrath: H. W. Knipping zum 80. Geburtstag	118

N. Bischof
H. Scharstein*)

Apparative Probleme bei der Untersuchung der Konstanz des Wahrnehmungsraumes – und ein neues Verfahren zu ihrer Lösung

Problems in the constructions of apparatus for investigating the constancy of the perceptive field, and a new method for their solution

*Aus dem Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie, Seewiesen,
und dem Sonderforschungsbereich 50 (Kybernetik), München*

Ein neuartiges Gerät zur Erzeugung beliebiger Körperschräglagen wird beschrieben. Es sieht eine kardanische Halterung der Vp vor und ist so bemessen, daß es in eine Zentrifugengondel der üblichen Größe eingeführt werden kann. Das Gerät enthält eine optische Apparatur, die es erlaubt, die Koordinaten des Wahrnehmungsraumes der Vp dreidimensional fortlaufend zu bestimmen. Außerdem sieht die Apparatur die Darbietung dreidimensionaler Hintergrundmuster im Blickfeld der Vp vor. Ferner besteht die Möglichkeit zu beliebig häufiger Bestimmung der Augenrollung durch Irisphotographie. Die Einstellungen der Vp werden fortlaufend elektronisch registriert. Das Gerät dient zur Analyse der optisch-vestibulären Interaktion bei der Kontrolle der Hauptachsen des Wahrnehmungsraumes.

A new type of apparatus giving any desired body tilt is described, having cardanic suspension of the subject and being constructed to fit into a centrifuge basket of the usual size. An optical component allows three of the coordinates of the subject's perspective field to be continuously measured in three dimensions. The apparatus also provides for the projection of three-dimensional background patterns in the subject's field of vision. Opportunity is given for iris photography as frequently as desired to determine eye rolling. Collocations undertaken by the subject are registered in succession electronically. The apparatus enables analysis to be made of the optical-vestibular interactions in controlling the main axes of the perceptive field.

I. Einleitung

Die Erforschung der Richtungskonstanz des Wahrnehmungsraumes bei Veränderungen der Kopf- bzw. Körperlage hat eine über hundertjährige Geschichte. Seit der Entdeckung des Breslauer Physiologen Aubert (1861), daß eine physikalisch lotrechte, optisch isolierte Kontur, z. B. ein von außen beleuchteter Türspalt in einem Dunkelraum, bei Betrachtung mit seitlich geneigtem Kopf anschaulich deutlich zur Gegenseite geneigt erscheint, sind an die hundert Veröffentlichungen erschienen, die sich, unter mannigfacher Variation der Versuchsbedingungen, mit diesem und verwandten Phänomenen beschäftigen (Übersicht bei [2, 3]).

Gleichbleibender Bestandteil aller dabei verwendeten experimentellen Anordnungen ist 1. eine Vorrichtung zur Variation der Kopf- oder Gesamtkörperlage, 2. eine Reizkontur (z. B. ein Leuchtstab im Dunkelraum), welche von der Versuchsperson (Vp) entweder hinsichtlich ihrer Schräglage beurteilt oder in eine bestimmte Lage (meist die Ver-

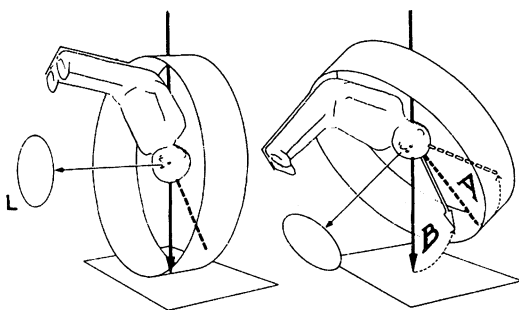


Bild 1. Paradoxe Tiefeneindrücke in den Versuchen von Bischof & Scheerer [4]

- a) **Objektiv:** Vp in Kippstuhl in starker seitlicher Körper-schräglage. L = Kreisscheibe, die auf Vp zugewandter Seite eine Leuchtlinie trägt. Dünner Pfeil = Blickachse. Durchgezogener fetter Pfeil = Schwerkraftrichtung. Unterbrochener fetter Pfeil = Kopfhochachse.
- b) **Subjektiv:** Vp unterschätzt seitliche Schräglage um den Winkel A, außerdem hat sie den Eindruck, samt der Apparatur um einen Winkel B in die Tiefe geneigt zu sein. Durchgezogener fetter Pfeil = Schwerkraftrichtung. Durchgezogener unausgefüllter Pfeil = subjektive Richtung desjenigen Kippstuhl-Radius, der objektiv mit der Schwerkraftrichtung übereinstimmt. Unterbrochener fetter Pfeil = objektive Kopfhochachse, um den Winkel B in die scheinbare Ebene des Kippstuhls geklappt. Unterbrochener unausgefüllter Pfeil = subjektive Lage der Kopfhochachse.

*) Die beschriebene Versuchsapparatur ist das Ergebnis einer mehrjährigen Gemeinschaftsarbeit, an der in verschiedenen Phasen eine Reihe weiterer Mitarbeiter wesentlich beteiligt war, insbesondere die Herren Peter Heinecke, Hermann Jakobs, Jörg Bethke, Hans-Georg Mortag sowie Frau Doris Bischof und Frä. Gertrud Jakobs. Die Schreinerei (Albert Binder, Albert Kaindl und Karl Richter) und die Mechanik-Werkstätten des Seewiesener Instituts (Eberhard Göldner, Jörg Dieter Stadler und Reinhard Ströbele) übernahmen die Fertigung wichtiger Teile der Apparatur. Allen Genannten, die durchwegs nicht nur Auftragsarbeit ausführten, sondern auch weitgehend an der Planung und Konstruktion mitwirkten, sei an dieser Stelle herzlichst gedankt. Zwei größere Baugruppen unseres Gerätes sind von auswärtigen Firmen geliefert worden: Der gesamte Elektronikteil wurde von der Firma Periphäre Computer Systeme, München, entwickelt und gefertigt, während die Firma Optotechnik, Herrsching/Ammersee, den größten Teil der optischen Ausstattung nach unseren Entwürfen konstruierte und herstellte. Es ist uns ein Bedürfnis, allen beteiligten Mitarbeitern, besonders aber den Leitern der beiden Betriebe, Herrn Dr. Georg Färber und Herrn Dipl.-Phys. Helmut Heine, sehr herzlich dafür zu danken, daß sie diese umfangreichen und unter dem Profitaspekt völlig uninteressanten Aufträge übernommen und damit der Grundlagenforschung einen beträchtlichen Dienst erwiesen haben.

tikale) versetzt werden soll. Gelegentlich werden statt einer vollen Reizkontur auch nur deren Endpunkte geboten, so wenn etwa zur Bestimmung der subjektiven Horizontalen ein einzelner Lichtpunkt auf Augenhöhe eingestellt werden muß [6]. In allen Versuchen dieser Art ist die Möglichkeit zur Kippung sowohl der Vp als auch der Reizkontur auf einen einzigen Freiheitsgrad beschränkt, und zwar in den weitaus meisten Fällen auf Seitwärtskippen, also Rotation um die Blickachse oder eine dazu parallele Körperachse, seltener auf Vor/Rückwärtskippen um die Binauralachse oder eine ihrer Parallelen. Die Bewegbarkeit der Vp und der Reizkontur bezieht sich dabei stets auf eine und dieselbe Dimension, wo also etwa Seitwärtsneigung der Vp vorgesehen ist, dort ist auch die Leuchtlinie nur seitlich neigbar. Diese Anordnung entspringt dem naheliegenden Vorverständnis, daß die Koordinatenachsen des physikalischen Raumes gewissermaßen einzeln und unabhängig voneinander ins Anschauliche übersetzt werden, so daß bei planmäßiger Variation des Körpers in bezug auf eine derselben die Wahrnehmung der übrigen unbeeinträchtigt bleibt.

Nun hatte sich jedoch in Versuchen, die der eine von uns mit einem seitlich neigbaren Drehstuhl durchführte (Bischof und Scheerer [4]), als Beiprodukt die von Vpn gelegentlich spontan geäußerte Beobachtung ergeben, daß bei stärkeren Körperneigungen um die Blickachse (120° bis 180°) das System der anschaulichen Raumachsen nicht nur die bekannten Mißweisungen in der Frontalebene (Winkel A in Bild 1), sondern außerdem eine auffällige **Tiefenneigung** aufwies: Die Vpn vermeinten in der durch Bild 1a beschriebenen Position eine Lage nach Art von Bild 1b einzunehmen, also zusätzlich zur Aubert-Abweichung (A) noch, allem besseren Wissen widersprechend, mitsamt dem zentnerschweren Drehstuhl gewissermaßen schräg über der Reizkontur zu schweben (Winkel B in Bild 1b), so daß die Aufgabe, die Reizkontur (eine Leuchtlinie auf einer kreisrunden Scheibe) anschaulich senkrecht einzustellen, stillschweigend in dem Sinn uminterpretiert wurde, die Leuchtlinie in die Richtung des stärksten Gefälles der (anschaulich schräg stehenden) Scheibe zu bringen.

Dieses Phänomen konnte seinerzeit nicht objektiviert und quantifiziert werden, da wir über keine Vorrichtung verfügten, die es erlaubt hätte, eine Reizkontur sowohl seitlich als auch in der Tiefe zu neigen. Die apparative Schwierigkeit einer solchen Vorrichtung liegt offensichtlich darin, daß keine Hilfskonstruktionen (zur kardanischen Aufhängung der Kontur) verwendet werden sollten, die den Raum zusätzlich strukturieren und sich womöglich verdeckend vor gleichzeitig dargebotene Hintergrundmuster schieben könnten. Diese Schwierigkeit konnte offensichtlich nur durch eine relativ auf-

wendige optische Konstruktion umgangen werden (vgl. Abschnitt III), deren Entwicklung dann den Anstoß zu einer Neukonzeption der gesamten Versuchsanordnung gab.

Es lag nämlich nahe, eine dreidimensional verstellbare Reizkontur auch mit einer dreidimensional schwenkbaren Halterung der Vp zu kombinieren, also einen kardanisch aufgehängten Kippstuhl zu konstruieren (vgl. Abschnitt II). Die Hauptschwierigkeit einer solchen Vorrichtung gegenüber den herkömmlichen Kippstühlen mit einer einzigen Drehachse betrifft die Fixierung der Vp. Es ist ja für die Versuche erforderlich, daß die Lage der Vp während jeder Versuchsreihe unverändert festgehalten wird. Dies erfordert eine gleichmäßige feste Unterstützung aller Körperpartien, auf denen gegebenenfalls der Druck der Schwerkraft lasten könnte, und dies können bei einem universal schwenkbaren Stuhl eben praktisch alle Körperstellen sein. Es war also das Problem zu lösen, wie man den Körper so von allen Seiten gleichmäßig festsetzen kann, daß sich die Vp dennoch nicht in der Atmung behindert oder sonstwie unerträglich beengt fühlt, und dies dazu noch in einer Form, die die Anpassung der Halterung an Vpn unterschiedlicher Größe, unterschiedlicher Körpermaße und beiderlei Geschlechts zuläßt.

Aus der dreidimensionalen Schwenkbarkeit der Vp ergaben sich nun wiederum zusätzliche Anforderungen an die Optik. Es ist ja erforderlich, daß die Vp in jeder beliebigen Schräglage die Reizkontur stets genau (in Primärstellung) vor Augen hat; dies aber setzt voraus, daß die gesamte Optik der Reizdarbietung Vp-fest im Kippstuhl untergebracht wird. Sie mußte dementsprechend klein gehalten und mit einer zusätzlichen Optik zur Veränderung der scheinbaren Raumtiefe ausgestattet werden.

Der Größe der Gesamtapparatur war nämlich von einer anderen Seite her eine enge obere Grenze gesetzt. Es ist aus theoretischen Gründen erwünscht, zur Manipulation des vestibulären Reizeingangs nicht nur die Körperneigung, also den **Winkel**, unter dem der Schwerevektor angreift, sondern auch dessen **Betrag** systematisch zu variieren. Die Apparatur war also so zu bemessen, daß sie in die Gondel der im Institut verfügbaren Humanzentrifuge paßt. Da die letztere bei zylinderförmiger Gestalt nur einen Innendurchmesser von 1,2 m aufweist und 2,5 m lang ist, bedeutete dies den Zwang zu äußerst ökonomischer Ausnutzung des verfügbaren Raumes.

Es war nun aber außer der Vp und der Optik noch eine weitere umfangreiche Baugruppe im Kippstuhl unterzubringen. Aus versuchsökonomischen Gründen erschien es nämlich dringend erwünscht, die fortlaufenden Einstellungen der Reizkontur durch die Vp sowie alle anderen variablen Versuchsparameter fortlaufend automatisch in einer

Form zu registrieren, die unmittelbarer Computerauswertung zugänglich ist. Hieraus ergab sich praktisch die Notwendigkeit, einen Lochstreifenstanzer einschließlich der dazugehörigen Auf- und Abwickelvorrichtungen sowie einen elektronischen Steuersatz samt Stromversorgung im Kippstuhl unterzubringen. Würden diese Bauteile nämlich außerhalb des Kippstuhls verlagert, so wäre dies nur entweder über eine Kabelverbindung möglich, welche jedoch die beliebige Schwenkbarkeit des Kippstuhles stark beeinträchtigt hätte, oder man hätte Schleifringe verwenden müssen. Nun waren Schleifringe an sich in der Apparatur auch eingeplant; sie vermitteln die laufende Versorgung des Versuchsleiters (VI) mit Information über den Stand der Versuche und dienen außerdem der Kommunikation zwischen VI und Vp. Gegen ihre Verwendung als Brücke zwischen Versuchsapparatur und Lochstanzer bestand jedoch das Bedenken der Störanfälligkeit insbesondere, da die Elektronik nach dem Prinzip der Erzeugung bzw. Zählung von Impulsfolgen arbeitet (Abschnitt IV). Es wurde daher vorgezogen, alle Elektronikbauteile einschließlich der für die Erzeugung spannungskonstanter Gleichströme benötigten Batterien im Kippstuhl selbst unterzubringen.

In den nachfolgenden drei Abschnitten werden die Konstruktionsprinzipien der Apparatur im einzelnen erläutert.

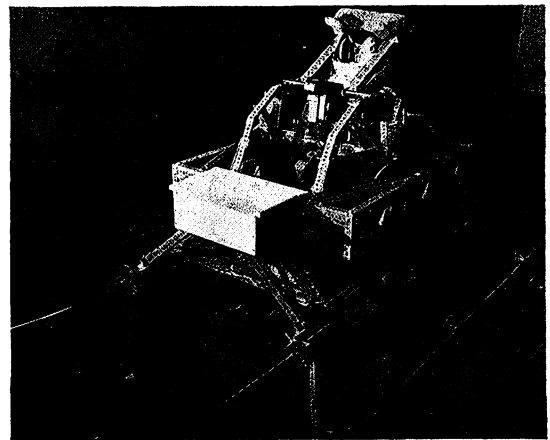


Bild 2. Gesamtansicht des Kippstuhls mit geöffneter Einstiegsluke. Man blickt in den für die Vp vorgesehenen gepolsterten Sitz und auf die Okulare der optischen Apparatur. Der Holzkasten im Vordergrund ist hohl und dient als Stütze beim Einstieg.

II. Mechanik

1. Kardanische Aufhängung und Antrieb

Bild 2 zeigt die Gesamtansicht des Kippstuhles, die anhand der Schemazeichnungen (Bild 3 a, b) erläutert sei. Ein in der Grundgestalt zwölfeckiger prismatischer Rahmen (A) von 1 m Durchmesser und einer lichten Weite von 0,5 m bietet Platz für die Vp in hockender Stellung und die optischen (B) und elektronischen (CE, CL) Bauteile. Die Rahmen und

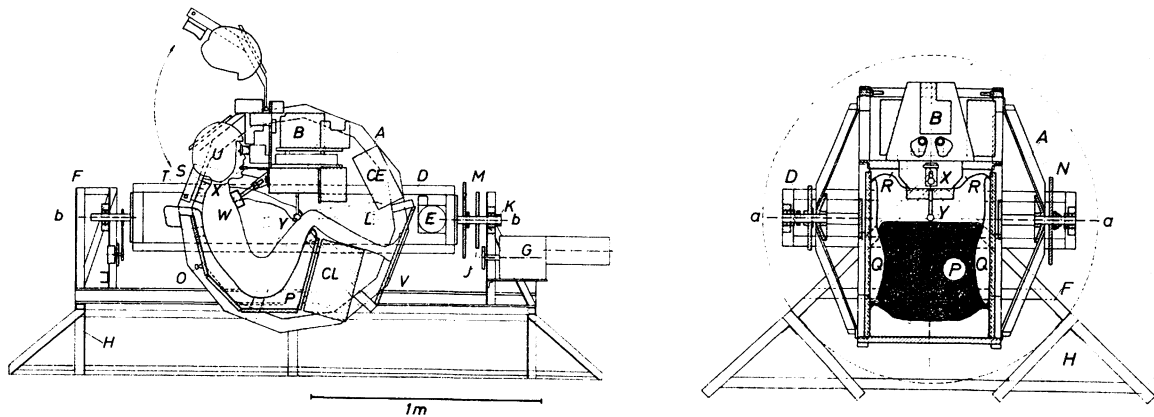


Bild 3. Schemazeichnung zu Bild 2. a) Längsschnitt, b) Querschnitt. Erläuterungen im Text.

Gestelle sind im wesentlichen in vorgelochten Profilstählen („Stinneswinkeln“) ausgeführt. Der gesamte Rahmen — nachfolgend „Innenrahmen“ genannt — ist in Kugelschwenklagern drehbar um eine Achse a—a, die „Querachse“, in einem rechteckigen „Außenrahmen“ (D) gelagert. Der Außenrahmen hat die Abmessungen 1,4x1,1x0,25 m. Außer der Lagerung für den Innenrahmen ist darin vor allem der Antrieb (E) zur Drehung des letzteren untergebracht. Der Außenrahmen ist in einem unbeweglichen „Grundgestell“ (F) um die Achse b—b, die „Längsachse“, wiederum drehbar gelagert. Das Grundgestell trägt noch den Antrieb (G) zur Drehung des Außenrahmens und ruht seinerseits entweder in den Schienen eines „Unterbaus“ (H), der den beweglichen Rahmen die nötige Bodenfreiheit gewährt, oder es wird samt der von ihm getragenen Rahmenkonstruktion vom Unterbau abgehoben und in die passenden Führungsschienen der zylindrischen Zentrifugengondel (punktiert in Bild 3b eingezeichnet) geschoben.

Der Antrieb um die beiden Achsen erfolgt durch zwei Drehstrom-Getriebemotoren der Firma Heynau, München. Der unbeweglich montierte Motor (G) für den Außenrahmen hat eine Leistung von 0,18 kW und eine Antriebsdrehzahl, die zwischen 0,48 und 4,3 U/min kontinuierlich verstellbar ist. Diese Drehgeschwindigkeit wird durch ein Kettengetriebe (J) um den Faktor 10,5 reduziert, so daß der Kippstuhl mit einer Geschwindigkeit von 17 bis 150°/min um die Längsachse gedreht werden kann.

Der Motor (E) zur Bewegung des Innenrahmens befindet sich im Außenrahmen und muß, da er mit diesem gedreht wird, seine Stromversorgung über ein Schleifringssystem (K) beziehen, das auf der Achse b—b sitzt. Die Leistung dieses Motors beträgt 0,125 kW, seine Antriebsdrehzahl kann wieder von 0,48 bis 4,3 U/min kontinuierlich verstellbar werden; weitere Untersetzung erfolgt wieder über ein Kettengetriebe (L), hier allerdings um den Faktor 21, woraus eine mögliche Drehgeschwindigkeit

des Innenrahmens von 8,5 bis 75°/min resultiert.

Die Geschwindigkeit beider Motoren kann vom VI während des Laufs geändert werden. Da außer der Stromversorgung für den Innenmotor auch sämtliche nötigen Signalleitungen aus dem Innenrahmen über zwei Schleifringssysteme (M und N) nach außen übertragen werden, kann der Kippstuhl ohne mechanische Begrenzung um beide Achsen beliebig oft gedreht werden.

2. Befestigung der Versuchsperson

Die Halterung der Vp mußte mehrere Bedingungen gleichzeitig erfüllen: Außer der schon erwähnten Forderung, Vpn unterschiedlicher Größe und Gestalt in allen beliebigen Lagen einen festen und auch möglichst bequemen Halt zu geben, wobei eine möglichst gleichmäßige Druckverteilung auch bei extremen Lagen zu gewährleisten war, mußte zudem dafür gesorgt werden, daß wegen der in der Höhe festliegenden Einblickachsen der Okulare die Augen der Vp immer in dieselbe Höhe gebracht werden können. Diesen Anforderungen wurde durch eine Luftkissenkonstruktion genügt.

Diese besteht aus insgesamt 14 Luftkissen der Größe 25 × 25 bzw. 40 × 40 cm, die unter dem Polsterbezug des Sitzraumes fest montiert und über Schläuche mit einem Verteilerrohr (O) verbunden sind. Dieses ist mit 14 separat bedienbaren Absperrhähnen bestückt und trägt außerdem ein Manometer, ein Überdruckventil und eine Anschlußbuchse für die Zufuhr von Preßluft. Auf diese Weise ist gewährleistet, daß der VI vor dem Versuch die Kissen gemeinsam oder unabhängig voneinander auf kontrollierte Druckstärken aufblasen kann; außerdem verhindern die Absperrhähne, daß die Kissen während des Versuchs miteinander kommunizieren, was die Festigkeit der Halterung beeinträchtigen würde.

Die Kissenpolsterung gliedert sich in drei Abschnitte: die Rücken- und Gesäßpolsterung (P), die unterschiedliche Sitzhöhe und Stärke der Vpn

durch vier Kissen ausgleicht, die Seitenpolsterung (Q) mit drei Kissen auf jeder Seite, die die Vp bei Seitenneigung in der Mitte des Kippstuhles hält, und die Kniepolsterung (R) mit insgesamt vier Kissen, die die beträchtlichen Unterschiede in der Beinlänge ausgleicht und der Vp bei Vorwärtsneigung Halt gewährt.

Außer den genannten variablen Unterstützungsflächen befinden sich an vier Stellen der Apparatur fest gepolsterte Widerlager. Die Einstiegsklappe (S) trägt eine Schulterstütze (T) aus getriebenem Aluminiumblech, die den Nacken der Vp kragenförmig umgibt und mit Schaumgummi gepolstert ist, sowie, fest damit verbunden, einen Sturzhelm (U) mit eingebauten Kopfhörern, der uns vom Fliegerhorst Fürstenfeldbruck der Deutschen Bundeswehr freundlicherweise überlassen wurde. Die Füße der Vp werden durch ein Trittbrett (V) abgestützt, das mit einer Waffelgummimatte belegt ist. Schließlich ist ein Polster auf der Höhe des Brustbeines der Vp angebracht (W). Sein Abstand von der Optik kann über eine Schraubspindel eingestellt werden. Zusätzlich zu diesen Halterungen sorgt ein Beißbrett (X), das in Höhe und Tiefe justierbar ist, für eine konstante Kopflage während der Versuche. Der für die abgewinkelten Arme der Vp zur Verfügung stehende Platz zwischen den Verstrebungen des zwölfseitigen Rahmens ist wegen der Lage der Schnittebene in Bild 3b nicht sichtbar.

III. Optik

1. Dreipunktmuster

Zur Objektivierung des Anschauungsraumes verwenden wir anstatt der in der Einleitung erwähnten Leuchtlinie ein Muster aus drei geringfügig farbverschiedenen Lichtpunkten, die in gerader Linie und äquidistant angeordnet sind. Dabei steht der mittlere fest, während die beiden äußeren, einander stets genau gegenüberliegend, auf einer Kugeloberfläche bewegt werden können. Letzteres geschieht durch die Vp über einen Hebel (Y in Bild 3) auf elektronischem Wege (vgl. Abschnitt IV). Die Vp hat dabei die Aufgabe, das Dreipunktmuster so einzustellen, daß es sich mit einer Hauptachse des subjektiven Raumes deckt, also entweder mit der Lotrechten oder mit einer von zwei in der anschaulichen Horizontalebene liegenden, zueinander orthogonalen Achsen.

Die Erzeugung des Dreipunktusters sei anhand von Bild 4 erläutert.

Eine punktförmige Lichtquelle (LP) bewegt sich, von einer Stange (ST) getragen, auf einer Kugeloberfläche von 18 mm Durchmesser. Die Führung der Stange erfolgt über ein Planetengetriebe durch zwei Schrittmotoren. Der Lichtpunkt LP befindet sich in jeder Stellung zwischen den beiden paralle-

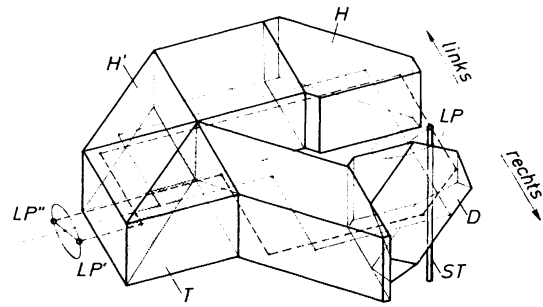


Bild 4. Prismenanordnung zur Erzeugung der beiden Außenpunkte des Dreipunktusters. Erläuterungen im Text.

len Austrittsflächen eines Prismensystems. Das von LP nach links ausgehende Licht wird an den Diagonalfächen der beiden Halbwürfel H und H' total reflektiert und an der halbdurchlässigen Schicht eines Teilerwürfels T durch eine dritte Reflexion nach außen abgelenkt. Im rechten Teil des Prismensystems geschieht gleichzeitig dasselbe, nur daß diesmal am Teilerwürfel derjenige Anteil des Lichtes ausgenutzt wird, der die halbdurchlässige Schicht unreflektiert passiert. Im Unterschied zu links enthält der rechte Teil des Prismensystems anstelle des Halbwürfels H ein Dachkantprisma D, welches die Eigenschaft hat, bei gleicher optischer Weglänge eine zusätzliche Oben-Unten-Vertauschung des Strahlenverlaufs zu bewirken. Evidentermaßen wird durch dieses System der reelle Lichtpunkt LP für einen Beobachter virtuell verdoppelt: Er sieht zwei Lichtpunkte LP' und LP'', die einander in der Rechts-Links- sowie in der Vorn-Hinten-Richtung genau gegenüber zu liegen scheinen*). LP' und LP'' bilden die beiden äußeren Punkte des Dreipunktusters; der ruhende Mittelpunkt wird an anderer Stelle unabhängig eingespiegelt (siehe Bild 5).

Wie bereits auf S. 62 erwähnt, soll die Vp in periodischer Folge je drei Einstellungen vornehmen, wobei die Dreipunktlinie jeweils um subjektiv 90° gegenüber der vorhergehenden Einstellung gedreht erscheinen soll. Nun ist aber bekannt, daß bei Versuchen aller Art, in denen es um die Einstellung einer Reizkontur in eine subjektive Richtung geht, die jeweilige Ausgangslage der Kontur einen beträchtlichen Einfluß auf das Ergebnis ausübt, ein Phänomen, das als „Richtungsinduktion“ bezeichnet wird. Um systematische Versuchsfehler durch Richtungsinduktion zu vermeiden, erschien also dringend erwünscht, die jeweilige Ausgangslage des Dreipunktusters unabhängig von der vorherigen Einstellung zu halten. Dieser Bedingung ließ sich am einfachsten dadurch genügen, daß die anhand

*) Zur Vermeidung weiterer Hilfslinien sind LP' und LP'' in Bild 4 an das okularseitige Ende des jeweiligen Hauptstrahls gezeichnet. Tatsächlich erscheinen sie dem Beobachter um den vollen Betrag des Lichtweges entfernt, also hinter dem Prismensystem.

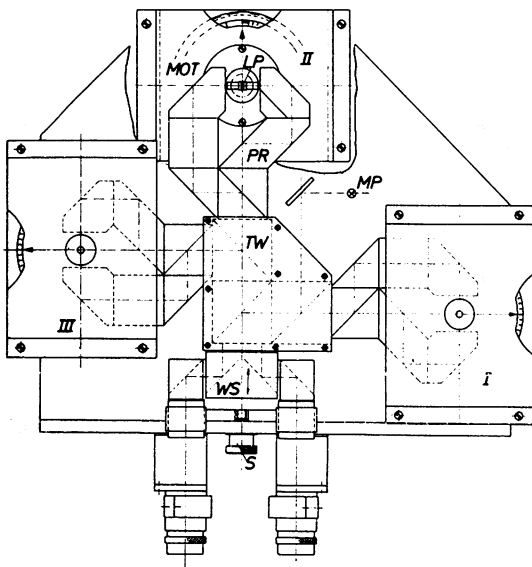


Bild 5. Gerät zur Darbietung von drei unabhängigen Dreipunktmustern. Für jede der drei zu objektivierenden Achsen des Anschauungsraumes ist eine gesonderte Funktionsgruppe (I, II, III) nach Art des Bildes 4 vorgesehen. LP = Lichtpunkt wie in Bild 4. Man blickt von oben auf die Anordnung, daher verdeckt LP die ihn tragende Stange. Diese wird in einem in dem Bild erkennbaren horizontalen Schlitz geführt und führt, angetrieben von einem Schrittmotor, Kreisbewegungen senkrecht zur Papierebene aus. Ein zweiter Schrittmotor rotiert den Schlitz in der Papierebene. Beide Motoren sind in dem mit Mot bezeichneten Gehäuse untergebracht. Die Dreipunktmuster aller drei Funktionsgruppen können über ein Teilerwürfelsystem TW durch ein binokulares Fernrohr betrachtet werden. Die Lichtquelle MP erzeugt den Mittelpunkt für alle drei Funktionsgruppen. Weitere Erklärungen siehe Text.

von Bild 4 beschriebene Baugruppe dreifach ausgeführt wurde (Baugruppe I, II und III in Bild 5). Es werden also jeweils nacheinander drei unabhängig ansteuerbare Dreipunktmuster dargeboten, deren Strahlengänge jedoch durch ein System von Teilerwürfeln TW so gemischt werden, daß die Außenpunkte aller drei Punktmuster auf derselben Kugelfläche zu wandern scheinen. Der mittlere Punkt MP wird für alle drei Muster aus derselben Quelle erzeugt.

Wie Bild 5 erkennen läßt, sieht die Apparatur außerdem einen Winkelspiegel WS vor, der durch eine Schraube S nach vorn oder hinten verschoben werden kann. Durch diese Prozedur läßt sich der Konvergenzwinkel der Augenachsen bei Betrachtung des Dreipunktmusters — und damit der anschauliche Abstand des letzteren — systematisch variieren. Tatsächlich erlaubt die Apparatur auf diese Weise, die Richtungsverhältnisse im Wahrnehmungsraum in einer Tiefe zwischen etwa 0,5 und 10 m zu untersuchen.

2. Hintergrundmuster

Um den Wahrnehmungsraum gegen Veränderungen der Kopflage hinreichend invariant halten zu können, müssen die hierfür verantwortlichen zentralnervösen Verarbeitungsmechanismen mit Information über die Kopfschräglage versorgt wer-

den. Die beiden wichtigsten Quellen dieser Information sind unter normalen Bedingungen das vestibuläre und das visuelle System. Das letztere nutzt dabei den Umstand aus, daß die Schwerkraft, wenngleich nicht unmittelbar sichtbar, doch so viel zur Strukturierung der natürlichen Umwelt beizutragen pflegt, daß ihre Richtung indirekt aus dem Verlauf sichtbarer Konturen erschlossen werden kann. Dieser Umstand kann experimentell ausgenutzt werden, indem zusätzlich zur Schrägstellung des Körpers, also zur Reizung des Statolithenapparates, noch ein klar strukturiertes Hintergrundmuster, z. B. ein Streifenfeld, optisch dargeboten wird. Frühere Versuche [4, 5] haben ergeben, daß die systematische Kombination dieser beiden Informationsquellen einen nützlichen Weg zur Analyse des Systems darstellt. Es war daher auch im vorliegenden Gerät dafür zu sorgen, daß optische Richtungsindikatoren dargeboten werden können, und zwar sollten diese, dem Gesamtkonzept entsprechend, der Vp dreidimensional erscheinen.

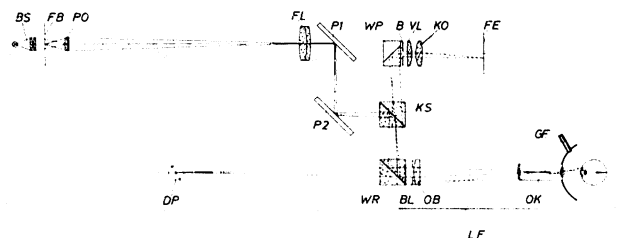


Bild 6. Prinzip der optischen Anordnung. Die Vp blickt durch das Lupenfernrohr LF. Dargeboten werden das Dreipunktmuster DP und der Hintergrund FB. Gleichzeitig wird die Iris der Vp über die Vorsatzlinse VL und das Kameraobjektiv KO auf den infrarotempfindlichen Film FE abgebildet. Die Teilerwürfel KS (Kaltlichtspiegel) und WR (Wärmereflexfilter) dienen der Vereinigung und Trennung der drei Strahlengänge. Näheres siehe Text.

Die Schemazeichnung Bild 6 zeigt das Prinzip, nach dem dieses apparative Problem gelöst wurde. Der Einfachheit halber ist nur die eine Hälfte der binokularen Anordnung gezeichnet, desgleichen sind einige unwesentliche Knickungen des Lichtweges weggelassen. Das Auge der Vp betrachtet durch ein Lupenfernrohr (LF) und den Teilerwürfel WR das in einer Entfernung von 30 cm befindliche Dreipunktmuster (DP). Das Fernrohr besteht aus einem Okular (OK) und einem Objektiv (OB). Das Okular vergrößert 5,6fach und hat einen Bildwinkel von 28°, d. h. es liefert bei einem Betrachtungsabstand von 50 cm ein Gesichtsfeld von 25 cm Durchmesser. Die Brennweite des Objektivs beträgt $f = 100$ mm. Das Dreipunktmuster erscheint unter diesen optischen Bedingungen unter einem Durchmesser von 12 cm bei einer scheinbaren Entfernung von 50 cm; wird die letztere (durch Verstellung des Winkelspiegels WS in Bild 5) vergrößert, vergrößert sich auch der Durchmesser des Dreipunktmusters proportional. Das optische Hintergrundmuster wird durch einen

16-mm-Schmalfilm erzeugt. Jedes Einzelbild ist dabei in zwei stereoskopische Halbbilder unterteilt, die unabhängig voneinander in die Blickfelder der beiden Augen eingespiegelt werden. Die Hintergrundbilder können sowohl mit normaler Filmgeschwindigkeit als auch in Einzelbildschaltung exponiert werden. Sie werden über eine Filmbühne FB geführt und mit einem Beleuchtungssystem BS und einem Projektionsobjektiv PO ($f = 25 \text{ mm}$) 8fach vergrößert in eine Feldlinse FL projiziert. Diese sammelt das Lichtbündel, welches sodann über zwei aus mechanischen Gründen erforderliche Periskopspiegel P_1 und P_2 und die beiden Teilerwürfel KS und WR in den Beobachtungsstrahlengang eingeblendet wird. Auf diese Weise entsteht ein plastischer Hintergrund von etwa 5 m Durchmesser in einer scheinbaren Entfernung von etwa 10 m.

3. Augenphotographie

Außer auf rein zentralnervösem Wege beeinflusst der Statolithenapparat das Koordinatensystem des Anschauungsraumes auch noch über seine Einwirkung auf die Augenstellung, insbesondere dadurch, daß er bei seitlicher Kopflage eine **Gegenrollung** der Augen um die jeweilige Blickachse induziert. Dieser Effekt ist zwar beim Menschen von belanglos geringem Einfluß auf die Raumwahrnehmung, da er einen Betrag von allenfalls 10° erreicht. Er ist jedoch von hohem theoretischen Interesse, da er weder durch Willkür noch durch andere in unseren Versuchen auftretende nicht-vestibuläre Einflüsse modifizierbar ist und somit einen weiteren, unabhängig abgreifbaren Ausgang des Statolithenapparates darstellt. In den bereits erwähnten Versuchen von Bischof und Scheerer [4] hatte sich schon die Wichtigkeit dieses Parameters für die Analyse des optisch-vestibulären Systems erwiesen. Allerdings mußte die Messung der Augenrollung dort aus technischen Gründen zeitlich getrennt von den Versuchen zur Einstellung der subjektiven Senkrechten erfolgen. Im vorliegenden Gerät war jetzt dafür zu sorgen, daß die Augenrollung simultan mit der Einstellung des Dreipunktmusters registriert werden kann.

Leider ist bislang kein im Rahmen unserer Möglichkeiten praktikables Verfahren bekannt, welches eine fortlaufende automatische Messung des Drehwinkels des Bulbus um die Blickachse erlauben würde. Wir griffen daher auf die übliche Methode der Irisphotographie zurück, die in unserem Falle allerdings dadurch kompliziert wird, daß die Augen ja unmittelbar in die Okulare einblicken und daher durch diese hindurch fotografiert werden müssen.

Die hierfür erforderliche Anordnung wird aus Bild 6 (S. 67) ersichtlich. Das Auge der Vp wird

durch ein Glasfaserbündel GF mit infrarotem Licht geblitzt, und zwar jedesmal dann, wenn sie durch Betätigung eines Druckknopfes anzeigt, daß sie gerade eine Einstellung des Dreipunktmusters vorgenommen hat. Das Fernrohrsystem LF entwirft — diesmal im umgekehrten Strahlengang — zusammen mit einer Vorsatzlinse (VL) ein Bild der Iris im Unendlichen, das jedoch durch das Kameraobjektiv (KO) einer Robot-Kamera auf deren Filmebene (FE) abgebildet wird. Ein Winkelprisma (WP) sorgt dafür, daß die Bilder beider Augen simultan photographiert werden können.

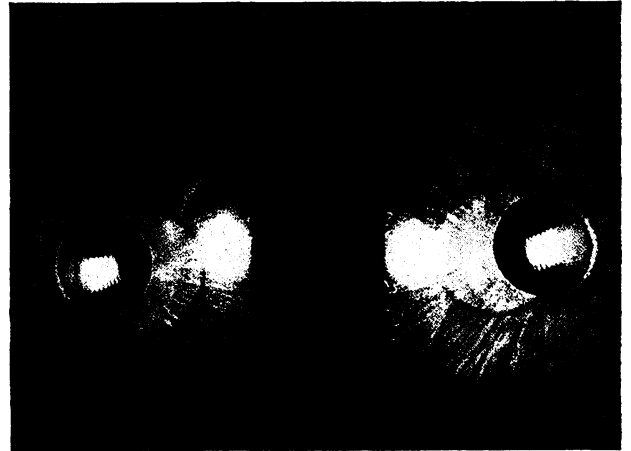


Bild 7. Irisphotographie im infraroten Licht. Beide Augen werden über ein Umkehrsystem gemeinsam auf demselben Negativ abgebildet. Ausgemessen wird die Richtung besonders deutlicher Iriszeichnungen.

Bild 7 zeigt ein Beispiel einer solchen Irisphotographie. Sie läßt erkennen, daß die unregelmäßige Radiärstruktur der Iris unter infraroter Beleuchtung hinreichend klar erkennbar ist. Gleichzeitig erscheinen am Bildrand die Reflexe des IR-Blitzes und in den Pupillen ein Reflex der Lampenwendel der Hintergrundprojektion. Zur Auswertung wird der Filmstreifen auf eine Mattscheibe projiziert, wo mit einem elektronischen Winkelmesser (siehe Abschnitt IV) die Richtung ausgewählter Irisstrukturen vermessen wird.

Jedes der beiden Teilbilder des Bildes 7 läßt außerdem eine kreisförmige, hellere Struktur erkennen, die konzentrisch zum Bildausschnitt liegt. Diese entspricht der Öffnung einer in Bild 6 als BL eingezeichneten Blende, deren Funktion noch zu erklären bleibt. Sie besteht aus einem Infrarotfilter mit einem zentralen Loch von 11 mm Durchmesser. Für sichtbares Licht ist nur das Loch passierbar; das Objektiv OB des Beobachtungsfernrohres bleibt also genügend weit abgeblendet, um eine ausreichende Qualität der optischen Reizdarbietung zu gewährleisten. Im Infrarotbereich ist die Blende jedoch durchlässig und gibt dadurch eine Öffnung von 30 mm frei, und wie Bild 7 erkennen läßt, ist diese Öffnung in der Tat erforderlich, um einen hinreichend großen Teil der Iris photographieren

zu können. Allerdings bedarf auch das System der Irisphotographie einer Blende (B), um hinreichende Tiefenschärfe zu erreichen und die Aufnahmequalität unabhängig von leichten Änderungen des Augenabstandes von den Okularen zu machen.

Um Lichtverluste im Gerät möglichst klein zu halten, sind die beiden Teilerwürfel KS und WR in Bild 6 als Farbteler ausgeführt*). Der Würfel KS soll sichtbares Licht reflektieren, Infrarot hingegen durchlassen. Sein Reflexionsgrad liegt demgemäß im Wellenlängenbereich bis 650 nm bei etwa 90 %, danach fällt er ab und beträgt bei Wellenlängen ab 780 nm nur mehr 5 bis 10 %. Der Teilerwürfel WR sollte alles infrarote Licht reflektieren; in bezug auf sichtbares Licht sollte er in der Hauptsache durchlässig sein, um das an sich lichtschwache Dreipunktmuster nicht zu sehr abzudunkeln, jedoch muß immerhin auch dafür gesorgt sein, daß wenigstens ein Teil des Lichtes vom Hintergrundprojektor ins Auge gelangt. Die Teilerschicht ist daher so ausgelegt, daß sie im sichtbaren Bereich etwa 10 bis 20 %, im infraroten jedoch 80 bis 90 % reflektiert.

IV. Elektronik

1. Steuerung

Die Steuerung des gesamten optischen Systems erfolgt über eine elektronische Anlage, die im Innenrahmen des Kippstuhls untergebracht ist (CE in Bild 3a). Sie wird über Batterien gespeist, die ebenfalls im Innenrahmen aufgehängt sind. Bild 8 zeigt die wesentlichen Teile des elektronischen Systems im Prinzipschaltbild.

Die Vp bedient einen Steuerhebel, der in Bild 3 zwischen ihren Knien erkennbar ist. Dieser läßt

sich in Längs- (x) und Querrichtung (y) sowie in beliebigen Kombinationen beider ausschlagen. Er erzeugt über ein Potentiometer zwei dem Ausschlag in x- bzw. y-Richtung proportionale Gleichspannungen, die über Spannungs-Frequenzumsetzer in je eine Folge von Einheitsimpulsen umgewandelt werden, wobei die Impulsfrequenz der Spannung proportional ist. Diese Impulsfolgen werden zur Ansteuerung der Schrittmotoren verwendet, die die Dreipunktmuster bewegen. Eine vom V1 vor Versuchsbeginn über ein Steckbrett programmierbare Steuerkette bestimmt, in welcher Reihenfolge die drei Motorgruppen I, II und III (vgl. auch Bild 5) angesteuert werden; außerdem sorgt die Steuerkette dafür, daß jeweils die richtigen Lampen zur Erzeugung des gerade angesteuerten Dreipunktmusters aufleuchten. Hat die Vp durch geeignete Bedienung des Steuerhebels das angesteuerte Dreipunktmuster in eine aufgabengemäße Position gebracht, läßt sie den Steuerhebel in die Nullposition zurückgleiten, was durch eine entsprechende Federung des Hebels erleichtert wird. Das Dreipunktmuster bleibt daraufhin in der zuletzt erreichten Position stehen. Die Vp drückt dann auf eine unmittelbar neben dem Hebel befindliche Taste, die die Steuerkette weiterschaltet.

Außer durch Tastendruck seitens der Vp läßt sich die Steuerkette auch über eine quartzgetriebene Echtzeituhr in regelmäßigen Zeitintervallen weiter-schalten. Man erhält dadurch äquidistante Meß-werte, nimmt allerdings in Kauf, daß die Vp zu- weilen in einem noch nicht abgeschlossenen Ein- stellvorgang unterbrochen wird. Der Schaltplan sieht ferner einen Zufallsgenerator vor, der den von der Vp über den Steuerhebel gegebenen Be- fehlen eine reproduzierbare Störbewegung über- lagern kann. Diese Einrichtung erlaubt, die Ein-

*) Die Teilerwürfel wurden von der Firma Dr. J. Heidenhain, Traunreut, nach unseren Angaben gefertigt.

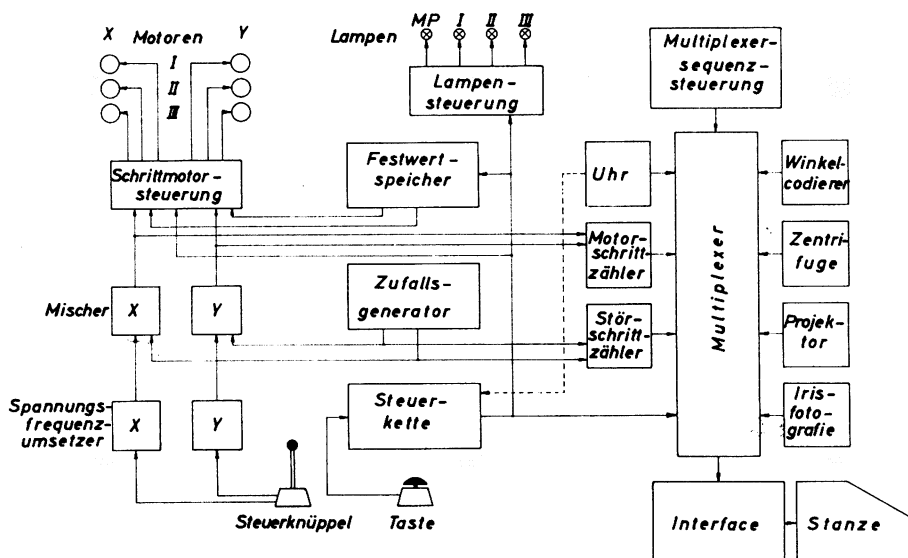


Bild 8. Blockschaltbild der Elektronik. Erläuterungen im Text.

stellgenauigkeit und die Dynamik des Einstellverhaltens der Vp, zwei mit Sicherheit körperlageabhängige Parameter, gesondert zu bestimmen.

Die Steuerelektronik erlaubt außerdem die Vorgabe von Festwerten in X- und Y-Richtung, um welche die jeweils gerade **nicht** angesteuerten Motorgruppen von der Vp unbemerkt verstellt werden können. Damit kann verhindert werden, daß die Vp sich zu sehr auf den beim letzten Durchgang der betreffenden Motorgruppe eingestellten Wert verläßt.

2. Datenerfassung

Die Bedienung der Fortschalttaste durch die Vp hat außer den bislang genannten Auswirkungen noch den Effekt, die Registrierung aller relevanten Versuchsdaten auf einem ebenfalls im Innenraum untergebrachten Lochstreifenstanzer ([CL] in Bild 3a) zu veranlassen. Entsprechendes gilt selbstverständlich für die Zeittakte der Quarzuhr, wenn diese anstelle der Fortschalttaste die Kontrolle der Steuerkette übernimmt. Zur Abstanzung gelangen insgesamt acht Datengruppen:

1. Die Zahl der Schritte, um die jeder der beiden zuletzt angesteuerten Motoren seit seiner letzten Einstellung weiterbewegt worden ist. Hieraus läßt sich die räumliche Lage des Dreipunktmusters berechnen.
2. Die Zahl der Störschritte, die in dieser Bewegung gegebenenfalls durch Einwirkung des Zufallsgenerators enthalten sind.
3. Die Echtzeit in Sekunden, bezogen auf Versuchsbeginn. Diese Information wird von der Quarzuhr geliefert.
4. Die Lage der Vp. Diese wird über zwei an den Achsen a—a und b—b (vgl. Bild 3) angebrachte Winkelcodierer im Excess Gray Code gemessen und über Schleifringe zum Innenrahmen übertragen.
5. Der Beschleunigungswert der Zentrifuge. Auch diese Information wird außerhalb des Kipfstuhls gemessen und über das Schleifringssystem ins Innere gemeldet.
6. Die laufende Nummer des vom Hintergrundprojektor zuletzt dargebotenen Bildes.
7. Der Stand der Steuerkette, aus dem ersichtlich ist, welche Motorgruppe gerade eingeschaltet war.

8. Eine Anzeige, ob zum Zeitpunkt der Abstanzung eine Irisphotographie erfolgte.

Diese acht Wertegruppen werden von einem Multiplexer erfaßt und nacheinander in 16 8-Bit-Worten über einen Codewandler („Interface“) auf den Lochstreifenstanzer gegeben. Sind die Zeichen abgestanzt, so gibt die Steuerung die nächste Motorgruppe zur Einstellung frei.

Die Anzeige der Winkelcodierer wird über die vorerwähnten Schleifringe nicht nur in den Innenrahmen, sondern auch nach außen zum VI übertragen, wo sie über ein digitales Anzeigegerät die Stellung der beiden Rahmen auf 1° genau anzeigen. Außerdem dienen die Schleifringe zur Übertragung einer Sprechverbindung vom Mikrophon des VI zu Kopfhörern im Helm der Vp.

Literatur

- [1] Aubert, H.: Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objekten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links. *Virchows Arch.* 20, (1861), 381.
- [2] Bischof, N.: Stellungs-, Spannungs- und Lagewahrnehmung. In: W. Metzger (Hrsg.): *Handbuch der Psychologie*, Bd. 1/I, S. 409—497. Göttingen, Verlag f. Psychologie (1966).
- [3] Bischof, N.: Optic-vestibular orientation to the Vertical. In: H. H. Kornhuber (Ed.): *Handbook of Sensory Physiology*, Vol. VI. Springer-Verlag Heidelberg (1974).
- [4] Bischof, N., und E. Scheerer: Systemanalyse der optisch-vestibulären Interaktion bei der Wahrnehmung der Vertikalen. *Psychol. Forsch.* 34 (1970), 99.
- [5] von Holst, E.: Die Arbeitsweise des Statolithenapparates bei Fischen. *Z. vergl. Physiol.* 32 (1950), 60.
- [6] Schöne, H.: Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Augenrollung und auf die Wahrnehmung der Lage im Raum. *Z. vergl. Physiol.* 46 (1962), 57.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Psych. Dr. Norbert Bischof
z. Z. California Inst. of Technology
Dept. of Biology
Pasadena, California 91109, U.S.A.

Dipl.-Phys. Hans Scharstein
Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie
8131 Seewiesen
(z. Z. Kommissarischer Leiter des Projekts
A 2.1 im Sonderforschungsbereich SFB 50 —
Kybernetik, München)