



---

**Title:** Rechenvorrichtung aus mechanischen Schaltgliedern  
**Author(s):** Konrad Zuse  
**Date:** 1952  
**Published by:** Konrad Zuse Internet Archive  
**Source:** Document - ZIA ID: 0169

---

The Konrad Zuse Internet Archive preserves and offers free access to the digitized original documents of Konrad Zuse's private papers and to other related sources.

The Konrad Zuse Internet Archive is a nonprofit service that helps scholars, researchers, students and other interested parties discover, use and build upon a wide range of content in a digital archive. For more information about the Konrad Zuse Internet Archive, please contact [zusearchive@zib.de](mailto:zusearchive@zib.de).

---

Your use of the Konrad Zuse Internet Archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use (<http://zuse.zib.de/tou>) including the following license agreement. If you do not accept the Terms & Conditions of Use you are not permitted to use the material.

This work by Konrad Zuse Internet Archive is licensed under a  
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>).  
Based on a work at <http://zuse.zib.de>



**Attribution (BY)** - You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work). Attribute with "Konrad Zuse Internet Archive (<http://zuse.zib.de>)".

**Noncommercial (NC)** - You may not use this work for commercial purposes.

**Share Alike (SA)** - If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

The usage of this document requires the consideration of possible third party copyrights, and might necessitate obtaining the consent of the copyright holder. The Konrad Zuse Internet Archive assumes no liability with respect to the rights of third parties. The Konrad Zuse Internet Archive is not responsible for the claims of any third party resulting from any infringement of copyright laws.

# Rechenvorrichtungen aus mechanischen Schaltgliedern\*

Dipl.-Ing. K. Zuse

1952<sup>†</sup>

In den deutschen Patentanmeldungen „Mechanisches Schaltglied“, „Mechanisches Verteil-Schaltglied“, „Aus mechanischen Schaltgliedern aufgebautes Speicherwerk“ sind Bauelemente beschrieben, welche als Bestandteile für Rechengерäte dienen können. In der vorliegenden Anmeldung wird einmal eine Vervollkommnung dieser Elemente gezeigt, zum anderen werden diese Elemente zu einzelnen Aggregaten zusammengesetzt, welche als Bestandteile für Rechengерäte geeignet sind. Um der geschlossenen Darstellung willen wird in der Beschreibung auf die bisherigen Anmeldungen kein Bezug genommen.

Während die bisherige Rechenmaschinenteknik sich im wesentlichen mit numerischem Rechnen im Dezimalsystem befaßte, wird hier eine Technik beschrieben, deren Anwendung nicht auf Rechenmaschinen zur Durchführung von numerischen Rechnungen beschränkt ist, sondern die überdies zum Bau von Rechenmaschinen verwendet werden kann, welche nicht-numerische Rechnungen (z.B. schematisch-kombinative Rechnungen mit Aussagen, Bedingungen, Umständen usw.) durchführen können. Die Begriffe „Rechnen“ und insbesondere „Maschinelles Rechnen“ sind in diesem Zusammenhang wesentlich über den im gewöhnlichen Sprachgebrauch üblichen Rahmen der Zahlenrechnung hinaus erweitert.

Der Grund für die weite Anwendungsmöglichkeit der hier behandelten mechanischen Schaltgliedtechnik liegt darin, daß diese Technik mit Ja-Nein-Werten arbeitet auf deren Bedeutung hier nur kurz eingegangen werden kann. Ja-Nein-Werte sind zweifach variable Angaben, aus denen sich die Zahlen des Dual-Zahlensystems sowie andere Zahlensysteme, z.B. des Dezimal-Zahlensystems, ebenso aufbauen lassen, wie beliebige komplizierte Angaben beliebiger Struktur der nicht-numerischen Rechnung (z.B. Aussagen, Umstände, Bedingungen).

Die Hilfsmittel zur formalen Behandlung derartiger Angaben liefert die Logistik

---

\*ZuP 019/003. ZIA 0169. Version 1, Abbildungen fehlen. Durchgesehen von R. Rojas, L. Scharf.

<sup>†</sup>Handschriftliche Angabe auf dem Dokument

oder Symbolische Logik. Danach können Angaben nach bestimmten Regeln miteinander verknüpft und umgeformt werden, wodurch neue Angaben entstehen.

Weil sämtliche Angaben in Ja-Nein-Werte auflösbar sind, die nach bestimmten Gesetzen miteinander verknüpft werden können, sind auch sämtliche Rechenverfahren mit Ja-Nein-Werten durchführbar. Es ergibt sich daraus, daß die nach der hier beschriebenen Technik arbeitenden Schaltelemente für die Lösung aller denkbaren, – das heißt nicht nur der numerischen Rechnungen – geeignet sind.

Die technische Darstellung von Ja-Nein-Werten geschieht mittels einfacher Schaltelemente, die sich jeweils in einem von zwei möglichen Zuständen befinden können. (z.B. + oder -; „ein“ oder „aus“). Ein solches „Ja-Nein-Schaltelement“ ist z.B. das bekannte elektromagnetische Relais, dessen Kontakte entsprechend der Stellung des Ankers entweder „offen“ oder „geschlossen“ sein können. Es ist bekannt, daß sämtliche denkbaren Rechenaufgaben mittels Schaltanordnungen derartiger Relais gelöst werden können. Bekanntlich können die 3 Grundoperationen des Aussagenkalküls der Logistik: Konjunktion, Disjunktion und Negation durch Hintereinanderschalten von Kontakten, Parallelschalten von Kontakten und Ruhekontakt konstruktiv dargestellt werden. Damit gewinnt die Relais-technik entscheidende Bedeutung für das gesamte maschinelle Rechenwesen. Die Konstruktion der Relais ist dabei nicht an die elektromagnetische Ausführung gebunden, deren Funktion auch in anderer Weise, z.B. durch nicht-elektrisch, sondern rein mechanisch arbeitende Schaltelemente dargestellt werden kann.

Die vorliegende Anmeldung behandelt ein rein mechanisch arbeitendes Schaltglied, welches im Rechenmaschinenbau als mechanisches Analogon zum elektromagnetischen Relais anzusehen ist und mittels dessen grundsätzlich die gleichen Aufgaben gelöst werden können wie mit elektromagnetischen Relais.

Es werden zunächst die einzelnen Bauelemente beschrieben und dann ihre Zusammensetzung zu einzelnen Aggregaten entwickelt.

## Verzeichnis der Abbildungen

1. Einfaches, positiv arbeitendes Schaltglied
2. Schema eines zu Fig. 1 analogen elektromagnetischen Relais
3. Symbolische Darstellung des Schaltgliedes von Fig. 1
4. Elementarschaltung zweier Schaltglieder
5. Schaltung von Fig. 4 in gezogener Stellung
6. Symbolische Darstellung einer zweischrittigen Schaltung
7. Elementarform des Kreislaufs
8. Allgemeinform eines Kreislaufs

9. Zeit-Weg-Diagramm zu Fig. 8
10. Schaltgliedanordnung entsprechend Fig. 7
11. Zeit-weg-Diagramm der Impuls des Einheitskreislaufs
12. Elementarform des Einheitskreislaufs ohne Sperrung
13. Schaltung entsprechend Fig. 12 mit Sperrung
14. Schaltung entsprechend Fig. 4 nach dem Einheitskreislaufprinzip ohne Sperrung
15. Bewegungsphasen zu Fig. 14
16. Schaltung entsprechend Fig. 14 mit Sperrung
17. Schnitt durch einen Schaltgliedrahmen mit senkrechter Achse
18. Bügel zur Verbindung der Schichten untereinander
19. Formstück zur Verbindung der Schichten untereinander
20. Getriebeschema der Impulse entsprechend Fig. 17
21. Schaltgliedrahmen mit waagerechter Achse
22. Prinzipschaltung zur Lösung der Aufgabe  $\bar{a} \& b \& c$
23. Prinzipschaltung zur Lösung der Aufgabe entsprechend Fig. 22 mit Sperrung
24. Variation der Schaltung entsprechend Fig. 23
25. Schaltgliedanordnung entsprechend Fig. 24
26. Schaltung für eine dreigliedrige Disjunktion ohne Sperrung
27. Schaltung entsprechend Fig. 26 Mit Sperrung
28. Schaltung zur Lösung der Aufgabe der Äquivalenz
29. Schaltung zur Lösung der Aufgabe der Disvalenz
30. ... 35. Wählwerk
  30. Prinzipschaltung
  31. Gesamtansicht
  32. ... 35. Einzelteile
36. Prinzipschaltung des Kettenschaltgliedes
37. Symbolische Darstellung des Kettenschaltgliedes
38. Bewegungsphasen des Kettenschaltgliedes ohne Sperrung
39. 40. Bewegungsphasen des Kettenschaltgliedes mit Sperrung
41. 42. Schaltung einer Verzögerungskette

- 43. ... 46. Zählwerk
  - 43. Prinzipschaltung
  - 44. Gesamtansicht
  - 45. 46. Einzelteile
- 47. ... 61. Additionswerk im Dualsystem, Beispiel 1
  - 47. Prinzipschaltung
  - 48. Schema der Wirkungspfeile
  - 49. Schichtaufteilung
  - 50. Gesamtansicht
  - 51. Schaltung der Schicht A
  - 52. Schaltung der Schicht B
  - 53. Schaltung der Schicht C, D
  - 54. Schnittschaltung
  - 55. 56. Einzelteile der Schicht A
  - 57. ... 59. Einzelteile der Schicht B
  - 60. 61. Einzelteile der Schichten C, D
- 62. ... 68. Additionswerk im Dualsystem, Beispiel 2
  - 62. Prinzipschaltung
  - 63. Schaltung der ersten Schicht
  - 64. ... 66. Einzelteile der ersten Schicht
  - 67. Schaltung der zweiten Schicht
  - 68. Einzelteile der zweiten Schicht
- 69. ... 79. Additionswerk im Dezimalsystem
  - 69. Stellenübertragungsschema
  - 70. Prinzipschaltung
  - 71. Gesamtansicht
  - 72. ... 75. Schaltungen der einzelnen Schichten
  - 76. ... 79. Einzelteile
- 80. ... 83. Speicherwerk
  - 80. Prinzipschaltung
  - 81. Gesamtansicht
  - 82. Einzelteile
  - 83. Bewegungsphasen

84. Schaltglied mit quaderförmigem Stift

85. Einzelheiten zu Fig. 84

Entsprechend den auf Seite 2 erwähnten Analogien zwischen „Mechanischen Schaltgliedern“ und elektromagnetischen Relais unterscheidet man:

„Positiv arbeitende Schaltglieder“, die den „Arbeitskontakten“ der elektromagnetischen Relais entsprechen,

„Negativ arbeitende Schaltglieder“, die den „Ruhekontakten“ der elektromagnetischen Relais entsprechen,

„Umschaltglieder“, die den „Umschaltkontakten“ der elektromagnetischen Relais entsprechen.

Die Grundaussführung eines „Mechanischen Schaltgliedes“ zeigt Fig. 1. Es besteht aus folgenden Gliedern:

- a) den vorteilhaft als Platten, insbesondere Glasplatten, ausgeführten Begrenzungsteiler  $P$ ,
- b) den zwei Arten von Stiften, nämlich
  - 1. den festen Stiften  $F$ , welche der Führung der Glieder dienen,
  - 2. den beweglichen Stiften  $S$ , welche der Verbindung der Glieder untereinander dienen,
- c) den als Eingabeträger dienenden, schichtweise übereinander gelagerten flachen Gliedern, vorzugsweise Blechen, welche in ihrer Ebene verschiebbar und mit verschiedenen Aussparungen und Ausschnitten versehen sind; hierbei sind funktionsmäßig grundsätzlich 4 Typen zu unterscheiden:
  - 1. „Fest-Glieder“ ( $d$  in Fig. 1), welche nicht verschiebbar sind
  - 2. „Bewegende Glieder“ ( $a$  in Fig. 1), welche von außen her bewegt werden,
  - 3. „Bewegte Glieder“ ( $b$  in Fig. 1), welche durch die „bewegenden“ unter bestimmten Bedingungen bewegt werden,
  - 4. „Steuerglieder“ ( $c$  in Fig. 1), welche die Verbindung zwischen „bewegenden“ und „bewegten“ Gliedern steuern.

Die Ausschnitte für die beweglichen Stifte in den „Fest-Gliedern“ enthalten „Sperrnasen“, die der Verhinderung von nicht-gesteuerten Bewegungen der „bewegten Glieder“ dienen wenn die „Steuerglieder“ sich in der „Minusstellung“ (Grundstellung) befinden. Es sind zu unterscheiden:

„Positiv wirkende Sperrnasen“, die in der „Plusstellung“ (Arbeitsstellung) der „Steuerglieder“ wirken und

„Negativ wirkende Sperrnasen“, die in der „Minusstellung“ (Grundstellung) der „Steuerglieder“ wirken.

In Fig. 1 besitzt das „Fest-Glied“  $d$  eine negativ wirkende Sperrnase  $n_1$ , welche in der Minusstellung des „Steuergliedes“  $c$  – hier die untere Stellung – sperrend wirkt.

Die Ausschnitte für die beweglichen Stifte in den „bewegenden Gliedern“, „bewegten Gliedern“ und „Zwischen-Gliedern“ enthalten „positiv arbeitende Schaltnasen“ bzw. „negativ arbeitende Schaltnasen“, in Fig. 1 besitzt das „bewegende Glied“  $a$  eine „positiv arbeitende Schaltnase“  $n_2$ , demnach findet die Schaltung (= Mitnahme des „bewegten Gliedes“  $b$ ) in der „Glasstellung“ des „Steuergliedes“  $c$  statt, (im Beispiel der Fig. 1 in der oberen Stellung). In Fig. 4 besitzt z.B. das „Zwischenglied“  $e$  eine „negativ arbeitende Schaltnase“  $n_3$ , demnach findet die Schaltung (= Mitnahme des bewegten, in diesem Beispiel auslaufenden Gliedes  $f$ ) in der Minusstellung des „Steuergliedes“  $c$  statt, d.h. im Beispiel der Fig. 4 in der unteren Stellung.

In Fig. 1 kann das bewegende Glied  $a$  mit dem bewegten Glied  $b$  verbunden (gekuppelt) oder nicht verbunden (nicht gekuppelt) sein, je nach dem, ob das steuernde Glied  $c$  sich in der oberen oder in der unteren (gezeichneten) Stellung befindet.

Fig. 2 stellt Fig. 1 durch eine analoge Schaltung elektromagnetischer Relais dar. Die Glieder  $a$  und  $b$  entsprechen den Polen  $a$  und  $b$ , welche durch den Kontakt  $c$  miteinander verbunden werden.

Solche mechanischen Schaltglieder der Fig. 1 lassen sich ebenso wie elektromagnetische Relais zu Schaltgliedanordnungen verknüpfen. Zur symbolischen Darstellung solcher „mechanischer Schaltungen“ empfiehlt sich die Benutzung einer besonderen Form.

Entsprechend den Schaltplänen für Schaltungen mit elektromagnetischen Relais werden die Angabeträger, d.h. die einzelnen beweglichen Glieder, durch Linien dargestellt. Die Schaltglieder werden in der Art elektrischer Relais-Kontakte dargestellt, wobei der die Kuppelung bewirkende Stift dem Relais-Kontakthebel entspricht. Das Steuerglied, welches diesen Kuppelungsstift in die verlangte Steuerstellung bringt, wird durch eine, durch diesen Kontakt hindurchgeführte Linie symbolisiert. Fig. 3 zeigt das Schaltglied von Fig. 1 in dieser symbolischen Darstellungsweise.

Fig. 4 zeigt eine einfache Hintereinanderschaltung, zweier solcher Schaltglieder, rechts oben in der symbolischen Darstellungsweise. Das bewegende Glied  $d$  ist über das Zwischenglied  $e$  mit dem bewegten Glied  $f$  unter der Bedingung ver-

bunden, daß sich das Steuerglied  $b$  in der Arbeitsstellung (+) und das Steuerglied  $c$  in der Grundstellung (−) befindet. Es ist dabei zu beachten, daß die den Kontakten analogen Kuppelungsglieder in Prinzipschaltplänen in der Grundstellung (=Minusstellung des zugeordneten steuernden Gliedes) gezeichnet werden entsprechend den Normen der Elektrotechnik, denen analoge Kontakte stets in der Grundstellung (= Stromlösbarkeit des zugeordneten steuernden Relais) gezeichnet werden.  $b$  und  $c$  als steuernde Glieder können als (unlesbar im Original) werden. Wir haben dann die Rechnung  $b\&\bar{c}$  (in Worten:  $b$  und Negation von  $c$ )<sup>1</sup> dafür, daß  $d$  mit  $f$  verbunden ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so ist das Glied  $f$  entweder direkt oder indirekt über  $e$  an das Festglied  $a$  angeschlossen, also gesperrt. Dieses ist in der symbolischen Schaltung ebenfalls zum Ausdruck gebracht. Die Steuerglieder  $b$  und  $c$  sind in der Stellung gezeichnet, welche die Vereinigung bewirkt. Die einzelnen Glieder sind für sich herausgezeichnet. Die bewegenden und bewegten Glieder sind in der Grundstellung gezeichnet, also bevor ihre Arbeitsbewegung beginnt, welche durch einen Impuls von außen bewirkt wird. Wir haben folgende Bewegungsphasen oder „Schritte“

1. Einstellung der Steuerglieder
2. Arbeitsbewegung: ziehen des bewegenden Gliedes.
3. Rückbewegung des bewegenden Gliedes.
4. Rückstellung der Steuerglieder.

Fig. 3 zeigt die Schaltung nach Ausführung der Arbeitsbewegung.

Eine solche Schaltung ist also an sich aus mehreren Schritten aufgebaut. Da jedoch nur eine Arbeitsbewegung stattfindet, während die anderen Bewegungen nur Hilfsbewegungen sind, wird sie als „einschrittige Schaltung“ bezeichnet. Demgegenüber zeigt Fig. 6 das Beispiel einer „mehrschrittigen Schaltung“ in symbolischer Darstellungsweise. Die Schaltung zerfällt in zwei einschrittige Teilschaltungen 1 und 2 mit den Impulsanschlüssen I und II. Die Impulse sind konstruktiv gesehen periodisch bewegte Glieder. An der Teilschaltung 1 haben wir die Steuerglieder  $a$  und  $b$ , die Zwischenglieder  $c$  und  $d$ , während  $e$  in Bezug auf Teilschaltung I ein bewegtes (auslaufendes) und in Bezug auf Teilschaltung 2 ein steuerndes Glied ist.  $E$  ist eine Funktion von  $a$  und  $b$  entsprechend dem aussagenlogischen Ausdruck

$$e \text{ äq } (a\&b) \vee (a\&\bar{b}).$$

Nach den Umformungsregeln des Aussagenkalküls läßt sich für die rechte Seite dieser „Gleichung“ bekanntlich auch der Ausdruck

$$a \sim b$$

---

<sup>1</sup>Hier und im folgenden wird die Hilbert'sche Symbolik des Aussagenkalküls verwendet. (Siehe Hilbert-Ackermann: Grundzüge der theoretischen Logik).

setzen. In der Teilschaltung  $d$  wirkt  $e$  steuernd und die Glieder  $f$  und  $g$  sind bewegte bzw. auslaufende Glieder. Es gilt dabei:

$$\begin{aligned} f &\text{ äq } \overline{a \sim b} \\ g &\text{ äq } a \sim b \end{aligned}$$

Bei dieser Schaltung haben wir zwei Arbeitsbewegungen, weshalb die Schaltung als „zweischrittig“ bezeichnet wird.

Werden mehrere einschrittige Schaltungen hintereinander geschaltet, so kann die letzte Schaltung wieder auf die erste zurückwirken. Wir haben es dann mit in Kreislauf geschalteten Teilschaltungen zu tun.

Da bei mechanischen Schaltgliedern sämtliche Bewegungen parallel zu einer Ebene stattfinden und in der Ebene zwei zueinander senkrechte Achsen  $(x, y)$  möglich sind, denen je zwei Richtungen  $(+, -)$  zugeordnet werden können, ist die vierschrittige Ausbildung solcher Kreisläufe besonders vorteilhaft. Fig. 7 zeigt die Elementarform eines solchen Kreislaufts, bei dem jede Teilschaltung lediglich ein einzelnes Schaltglied enthält. Zu den vier Teilschaltungen gehören die Impulse I, II, III, IV. Die Zwischenglieder  $b, c, d$  und  $e$  sind in der einen Teilschaltung jeweils bewegte Glieder und an der nächsten Teilschaltung Steuerglieder. Die Schaltung ist so aufgebaut, daß, falls das Glied  $e$  einmal über  $a$  eingeschaltet wird, dieser Impuls dauernd im Kreise weitergeschaltet wird.

Eine einzelne einschrittige Schaltung enthält folgende 8 Impulse bzw. Impulsglieder nötig sind. Da diese Impulsglieder von Nockenscheiben oder dergleichen angetrieben werden müssen, gestaltet sich die getriebetechnische Lösung verhältnismäßig kompliziert.

Ein wesentlicher Punkt der vorliegenden Anmeldung ist die Einführung des „Einheits-Kreislaufprinzips“ durch welches diese getriebetechnische Aufgabe sehr vereinfacht wird. Es wird mit nur zwei Impulsgliedern gearbeitet, einem Impulsglied in der  $x$ -Achse und einem Impulsglied in der  $y$ -Achse, denn wie das Zeit-Weg-Diagramm der Fig. 11 zeigt, haben von der zur Übertragung der vier Impuls eigentlich notwendigen vier Impulsglieder je zwei, nämlich I und III bzw. II und IV das gleiche Bewegungsdiagramm, da z.B. die Rückbewegung von I mit der Arbeitsbewegung III zusammenfällt. Ein einmaliger Umlauf I – II – III – IV wird im folgenden als „Maschinenspiel“ bezeichnet.

Fig. 12 zeigt die Schaltgliedanordnung der Schaltung von Fig. 7 und 10 nach diesem Prinzip. Wir haben nur zwei Impulsglieder  $J_x$  und  $J_y$ , von denen  $J_x$  die Impuls I und III und  $J_y$  die Impuls II und IV überträgt.

Dieses Prinzip bedingt nun verschiedene konstruktive Maßnahmen, die auf den Bewegungsablauf zurückzuführen sind, der gegenüber der auf Seite 7 gegebenen Reihenfolge lautet:

1. Einstellung der Steuerglieder

2. Arbeitsbewegung des bewegenden Gliedes
3. Rückstellung der Steuerglieder
4. Rückbewegung des bewegenden Gliedes.

Die bei der Anordnung gemäß Fig. 10 vorgesehene Sperrnase  $s$  im Festglied  $g$  kann bei der Anordnung gemäß Fig. 12 nicht beibehalten werden, da sie die auf Schritt 3 (gemäß Reihenfolge von Seite 7) notwendige Rückbewegung des Steuergliedes verbinden würde. Man muß daher mit „Ausweichenden Sperrnasen“ arbeiten. Fig. 13 zeigt, wie dieses bei der Anordnung von Fig. 12 durchzuführen ist. Die Impulsglieder  $J_x$  und  $J_y$  erhalten Sperrnasen  $s_1 \dots s_4$ , welche während der Arbeitsbewegung des Schaltgliedes eingerückt bleiben und bei der Rückbewegung des Steuergliedes ausweichen. Auf das Problem der Sperrung wird weiter unten eingegangen.

Auch bei den negativ arbeitenden Schaltgliedern ergibt sich infolge des oben angegebenen Bewegungsablaufs die Notwendigkeit, Vorkehrungen dafür zu treffen, daß die Schalt Nase des „bewegenden“ bzw. des „bewegten“ Gliedes bei der Rückbewegung des Steuergliedes ausweichen kann.

Fig. 14 zeigt die Schaltung entsprechend Fig. 4 nach dem Einheitskreislaufprinzip. Das Zwischenglied  $e$  ist in der  $x$ - und  $y$ -Achse beweglich gestaltet. Es macht einmal die Arbeitsbewegung in der  $x$ -Achse, falls das Steuerglied  $b$  geschaltet ist, zum anderen macht es eine dauernde rhythmische Bewegung, senkrecht dazu (in der  $y$ -Achse), damit die Schalt Nase des Ausschnittes  $e'$  ausweicht. Diese Bewegung in der  $y$ -Achse wird durch ein Glied  $g$  bewirkt, welches an ein in der  $y$ -Achse wirkendes Impulsglied angeschlossen ist und durch Stifte 1 (in den länglichen Ausschnitten 2 des Zwischengliedes  $e$ ) eingreift.

Fig. 15 zeigt die einzelnen Bewegungsphasen der Schaltung entsprechend Figur 14 für die verschiedenen möglichen Einstellkombinationen der Steuerglieder  $b$  und  $c$  und zwar im Einzelnen:

Figure	Steuerglied	
	b	c
15 a	—	—
15 b	+	—
15 c	—	+
15 d	+	+

Es sind nur die mit den Stiften in Eingriff stehenden Ausschnitte der Glieder gezeichnet. Die Impulse sind da im Kreise angedeutet, wobei ihre jeweilige Stellung zur Mittellage durch angesetzte Striche gekennzeichnet ist.

Fig. 16 zeigt die Schaltung entsprechend Fig. 14 jedoch mit Sperrung. Beim rechten Schaltglied kann der Ausschnitt des Festgliedes  $a$  ohne weiteres mit einer

Sperrnase  $a'$  versehen werden. Beim linken Schaltglied muß eine ausweichende Sperrnase  $g'$  vorgesehen werden, welche an dem Impulsglied  $g$  angebracht ist.

Bevor weitere Kombinationen solcher Schaltglieder zu Schaltungen behandelt werden, soll zunächst der konstruktive Aufbau solcher Schaltgliedsätze besprochen werden.

Der Aufbau zusammengesetzter Sätze von mechanischen Schaltgliedern erfolgt schichtweise. Die zu einer Schaltgliedschicht gehörenden Glieder liegen schichtweise übereinandergelegt zwischen zwei Platten, welche vorteilhaft aus Glas gefertigt werden. Die Platten werden durch äußeren Druck beiderseits gegen die der Distanzhaltung dienenden Feststifte  $F$  gepreßt. Dementsprechend müssen die festen Stifte etwas länger sein als die beweglichen Stifte. Zwischen den äußeren Begrenzungsplatten werden die Glieder einfach übereinandergelegt, wobei zur Abstandshaltung Abstandsglieder, bzw. Bleche, eingefügt werden können. Die einzelnen Bauelemente sind im allgemeinen doppelt ausgeführt und symmetrisch zur Mittelebene angeordnet, damit die Stifte stets symmetrisch angebracht werden, wodurch ein Kippen vermieden wird. Fig. 1 zeigt einen Schritt in überhöhter Darstellung. Die Glieder  $a$ ,  $c$  und  $d$  sind doppelt ausgeführt. Das Glied  $b$  braucht nur einfach ausgeführt zu werden, da es von den Gliedern  $a$  eingefasst ist, wodurch eine symmetrische Schaltung des Stiftes bereits zur Genüge gewährleistet ist.

Schaltgliedschichten können beliebig neben- und übereinander angeordnet werden. Fig. 17 zeigt einen Rahmen mit mehreren Schaltgliedschichten. Die Verbindung der Schichten untereinander kann entsprechend Fig. 18 bzw. 19 erfolgen. In Fig. 18 dient ein einfacher Bügel der Verbindung der Schichten untereinander. In Fig. 19 ist ein Formstück verwandt, welches winkelförmig gebaut ist und zwischen zwei Schichten geführt ist. Die Form von Fig. 19 hat den Vorteil geringeren Raumbedarfs. Die Festglieder der einzelnen Schaltgliedschichten werden durch Bolzen  $B$  in ihrer Lage gegenüber dem Gesamtrahmen festgelegt.

Der Hauptrahmen  $R$  dient als Skelett für den gesamten statischen Aufbau und der Aufnahme der Getriebeteile, welche die Impulsglieder bewegen. In der Ausführung von Fig. 17 haben wir zwei Grundplatten  $G$ , welche mit Stützen  $t$  zur Auflage der Schichten vorgesehen sind. Wir haben ferner Impulsglieder  $J_x$ ,  $J_y$  je in doppelter Ausführung. Diese Impulsglieder werden über Hebel  $H$  und eine Lockwelle  $w$  dauernd im erforderlichen Rhythmus (siehe Fig. 11) bewegt. Durch die Impulsglieder werden Bolzen  $B_j$  gesteckt, welche die Impulse auf die Impulsglieder der einzelnen Schichten übertragen. (unlesbar im Original) des Bewegungsmechanismus (unlesbar im Original) in einzelnen aus (unlesbar im Original).

Fig. 21 zeigt einen entsprechenden ??? mit ?????? Achse. Die Bewegung in  $x$ -Richtung wird durch die Nockenscheibe  $K_1$ , die Bewegung in  $y$ -Richtung durch die ??v-trommel-Steuerung ??? bewirkt. Diese hat oben und unten Abgriffe über

die Rollen  $Rl_1$  und  $Rl_2$ , welche in Hebeln  $H'_1$  und  $H'_2$  sitzen. Da die abgegriffenen J-Impulse un??? gegeneinander versetzt sind, macht die Rolle  $Rl_2$  genau entgegengesetzte Bewegungen zur Rolle  $Rl_1$ . Die Bewegung der Rolle  $Rl_2$  wird dann durch den Hebel  $H'_2$  in ihrer Richtung umgekehrt, so daß Impulsglied  $J_y$  beiderseitig durch die Bolzen  $B'_1$  und  $B'_2$  gleichsinnig bewegt wird.

Die folgenden Figuren 22 ... 29 zeigen nun einige charakteristische Einzelanwendungen von Schaltglieder.

Es sei zunächst die Aufgabe

$$\bar{a} \& b \& c \text{ äq } h$$

durch Schaltglieder darzustellen. Die Prinzipschaltung zeigt Fig. 22. Die Lösung dieses Problems ist verhältnismäßig einfach, wenn man auf konstruktive Maßnahmen verzichtet, die eine Bewegung des Gliedes  $h$  verhindern, falls das obige Kriterium nicht zutrifft. Grundsätzlich kann man zur Vermeidung nicht-gesteuerter Bewegungen von „bewegten“ Gliedern zwei verschiedene Wege gehen:

1. Nichtgesteuerte Bewegungen werden durch Sperrfedern erschwert, die so bemessen sind, daß ungesteuerte Bewegungen der „bewegten“ Glieder vermieden werden, die Arbeitsbewegung jedoch möglich ist. Für diese Lösung sind weiter unten Beispiele gegeben. Die Lösung ist verhältnismäßig einfach, erfordert aber Konstruktionselemente, die in vielen Fällen nicht ohne weiteres im Rahmen der Konstruktion untergebracht werden können. Außerdem ist zusätzliche Kraft zur Überwindung der Sperrfedern erforderlich.
2. Man sorgt durch Schaltglieder für eine Sperrung in allen Fällen, in denen das Glied nicht bewegt werden soll.

Diese Methode, die als „Vollsperrsystem“ bezeichnet werden soll, erfordert zwar zusätzliche Schaltelemente, ist dafür jedoch beschleunigungsunempfindlich. Es soll im folgenden schaltungsmäßig das Kriterium dafür gebildet werden, einerseits daß das betreffende Glied zu bewegen ist (Bewegungskriterium), andererseits, daß es nicht zu bewegen ist (Sperrkriterium). Mathematisch gesehen stellt das Sperrkriterium das aussagenlogische Gegenteil des Bewegungskriteriums dar. Im Beispiel von Fig. 22 lautet das Sperrkriterium dementsprechend:

$$\overline{\bar{a} \& b \& c} \text{ äq } h$$

Da die Gesamtnegation schaltungsmäßig nur zweischrittig durch Zwischenschaltglieder gelöst werden kann, wird der Ausdruck nach dem Dualitätsprinzip wie folgt umgeformt:

$$a \vee \bar{b} \vee \bar{c} \text{ äq } \bar{h}$$

In diesem Falle ist das Endglied zu sperren. Die Schaltung von Fig. 25 entspricht dieser Form.  $h$  ist in einem Fall an das Impulsglied  $d$  im anderen Fall an das Festglied  $g$  angeschlossen.

Es läßt sich nun eine konstruktiv analoge Form mit fünf Schaltgliedern aufbauen, jedoch können die Funktionen der beiden durch  $a$  bzw. durch  $b$  gesteuerten Schaltglieder durch je ein Schaltglied ausgeübt werden. Dies ist symbolisch in Fig. 24 und konstruktiv in Fig. 25 gezeigt. Für die beiden Ansätze

$$\bar{a} \& b \& c \quad \text{äq} \quad h \quad (1)$$

$$a \vee \bar{b} \vee \bar{c} \quad \text{äq} \quad \bar{h} \quad (2)$$

gilt, daß jede Variable in einem Ansatz positiv und im anderen negativ auftritt. Dementsprechend kann jedes Schaltglied in bezug auf das – die Variable symbolisierende – Steuerglied in eine positive und eine negative Seite geteilt werden, wobei die eine Seite der Bewegungsschaltung, die andere der Sperrschaltung angehört.

Die Schaltung von Fig. 25 bewirkt, daß nur bei Einstellung der Kombination  $\bar{a} \& b \& c$  das Endglied  $h$  mit dem Impulsglied  $d$  über zwei Glieder  $e, f$  verbunden ist. In jedem anderen Falle ist das Glied  $h$  an das Festglied  $g$  bzw. an das Sperrglied  $i$  angeschlossen, welches ausweichende Sperrnasen  $i'$  hat (siehe oben).

Die Fig. 26 zeigt die Schaltung für eine dreigliedrige Disjunktion

$$a \vee \bar{b} \vee \bar{c}$$

ohne Sperrung. Bemerkenswert ist das in  $x$ - und  $y$ -Richtung bewegliche Impulsglied  $d$ . Es fährt in  $x$ -Richtung die Arbeitsbewegung und in  $y$ -Richtung die Ausweichbewegung durch.

Fig. 27 zeigt dieselbe Schaltung im Vollsperrsystem. Wir haben jetzt das Sperrkriterium

$$\bar{a} \& b \& c.$$

Der Aufbau ist analog der Schaltung von Fig. 25 mit dem Unterschied, daß jetzt die Sperrung über eine Kette von Gliedern  $e, f, h, i$  erfolgt.

Fig. 28 zeigt die Lösung der Aufgabe

$$a \sim b \text{ (Äquivalenz).}$$

Sie erfolgt entsprechend der Formel

$$(\bar{a} \& \bar{b}) \vee (a \& b) \quad \text{äq} \quad a \sim b.$$

Bei dieser Form ist als einziges das Glied  $f$  zweidimensional beweglich auszuführen. Die Ausweichbewegung dieses Gliedes in  $y$ -Richtung erfolgt durch ein Hilfsglied  $h$ . Zu beachten ist, daß die zwei Glieder  $e$  und  $f$  mit Nasen  $n$  versehen sind, um die Rückbewegung zu bewirken.

Fig. 29 zeigt die Lösung der Aufgabe der Disvalenz

$$\overline{a \sim b}.$$

Sie erfolgt nach der Formel

$$(a \vee b) \& (\bar{a} \vee \bar{b}) \text{ äq } \overline{a \sim b}.$$

Durch diese Umformung wird erreicht, daß nur ein Glied, nämlich das Impulsglied  $c$  zweidimensional beweglich ausgeführt zu werden braucht. Das Glied  $e$  hat eine Nase  $n$ , um die Rückbewegung zu bewirken. Die in Fig. 28, 29 verwendeten Schaltglieder werden als Umschaltglieder bezeichnet.

Fig. 30 ... 35 zeigen ein Wählwerk. Wir haben drei Steuerglieder  $a, b, c$ , durch welche eine dreistellige Dualzahl dargestellt wird. Es können dann durch die Glieder  $a, b, c$  die Zahlen 0 ... 7 dargestellt werden. Diesen 8 Zahlen entsprechen 8 nach außen gehende Glieder  ${}_h0 \dots {}_h7$ . Die Aufgabe der Schaltung besteht darin, dasjenige der Glieder  ${}_h0 \dots {}_h7$  zu ziehen, welches der an den Gliedern  $a, b, c$  eingestellten Dualzahl entspricht. Alle anderen Glieder sollen gesperrt sein.

Fig. 30 zeigt die Schaltung im Prinzip. Von einem Impulsglied  $J_x$  gehen Verbindungen über die Glieder  $d_{0,1}, e_0 \dots e_3$  und  $f_0 \dots f_7$ . Es ist jeweils nur eine Verbindung  $J_x \dots h$  durchgeschaltet. Es sind den einzelnen  ${}_h0 \dots {}_h7$  folgende Bewegungs- und Sperrkriterien zugeordnet:

	Bewegungs- kriterium	Sperr- kriterium	umgeformtes Sperrkriterium
$h_0$	$\bar{a} \& \bar{b} \& \bar{c}$	$a \vee b \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& b \vee (\bar{b} \& a)]$
$h_1$	$\bar{a} \& \bar{b} \& c$	$a \vee b \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& b \vee (\bar{b} \& a)]$
$h_2$	$\bar{a} \& b \& \bar{c}$	$a \vee \bar{b} \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& \bar{b} \vee (b \& a)]$
$h_3$	$\bar{a} \& b \& c$	$a \vee \bar{b} \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& \bar{b} \vee (b \& a)]$
$h_4$	$a \& \bar{b} \& \bar{c}$	$\bar{a} \vee b \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& b \vee (\bar{b} \& \bar{a})]$
$h_5$	$a \& \bar{b} \& c$	$\bar{a} \vee b \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& b \vee (\bar{b} \& \bar{a})]$
$h_6$	$a \& b \& \bar{c}$	$\bar{a} \vee \bar{b} \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& \bar{b} \vee (b \& \bar{a})]$
$h_7$	$a \& b \& c$	$\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& \bar{b} \vee (b \& \bar{a})]$

Die Bewegungskriterien bestehen in einfachen dreigliedrigen Konjunktionen. Das Sperrkriterium ergibt sich durch Inversion (Verneinung) des Bewegungskriteriums nach dem aussagenlogischen Dualitätsprinzip zunächst als dreigliedrige Disjunktion. Schaltungsmäßig ist es jedoch günstiger, diesen Ausdruck umzuformen. Die in der rechten Spalte angegebenen umgeformten Sperrkriterien sind aussagenlogisch den in der mittleren Spalte angegebenen Äquivalent. Durch diese Umformung wird erreicht, daß nicht entsprechend Fig. 24 für jedes Glied  $h$  drei doppelt wirkende Schaltglieder erforderlich sind, sondern die Schaltungen tannenbaumartig

aufgebaut werden können. Zwecks Ausweichens der negativ arbeitenden Schaltphasen müssen die Glieder  $d_0, e_0, e_2, f_0, f_2, f_4, f_6$  in der  $x$ - und  $y$ -Achse beweglich ausgeführt werden.

Fig. 31 zeigt einen Überblick über den gesamten Schaltgliedsatz. Die Fig. 33 ... 35 zeigen die einzelnen Glieder. Fig. 32 zeigt das feste Glied  $g_1$ . Die Ausschnitte 1 bis 14 dienen dem eigentlichen Schaltvorgang. Die Ausschnitte 15 bis 26 geben lediglich Raum für bewegliche Führungsstifte 28, 29, welche die Ausweichbewegung der Zwischenglieder  $e_{0,2}, f_{0,2,4,6}$  bewirken. Die Ausschnitte 27 dienen der Führung der Glieder  $h_0 \dots h_7$ . Für die negativ arbeitenden Schaltglieder, welche also bei positiver Stellung des Steuergliedes ( $a, b, c$ ) sperren, haben feste Sperrnasen im Gliede  $g_1$ , die anderen brauchen ausweichende Sperrnasen, welche in dem Gliede  $g_2$  angebracht sind (siehe Fig. 34).

Fig. 33 zeigt das Glied  $d_0$ , welches als doppeltes, d.h. in der  $x$ - und  $y$ -Achse bewegliches Impulsglied ausgeführt ist. Der Ausschnitt 30 gehört dem oberen, durch  $a$  gesteuerten Schaltglied an (siehe Fig. 30) und dient der Verbindung von  $d_0$  mit  $e_1$ . Das Glied  $d_0$  bewirkt ferner die Verschließung der beweglichen Stifte 28, 29 (Führung der Ausweichbewegung der Zwischenglieder). Die Ausschnitte 31, 32 geben lediglich den Raum für die Schaltglieder frei. Die Karte 33 ist erforderlich um über die Stifte 34 die Glieder  $h_0 \dots h_7$  nach dem Schalten in die Grundstellung zurückzubringen. Fig. 35 zeigt die einzelnen Zwischenglieder. Die Verbindung zwischen den Gliedern  $e_1$  und  $e_0$  bzw.  $e_3$  und  $e_2$  erfolgt über längliche Ausschnitte 35 und Stifte 36, entsprechend der Verbindung zwischen den Gliedern  $f_1$  u.  $f_0$  bzw.  $f_3$  u.  $f_2$  usw. über längliche Ausschnitte 37 und Stifte 38.

Die Figuren 38 ... 42 dienen der Darstellung einer „Verzögerungskette“. Eine solche Vorrichtung dient dazu, eine Impulsfolge, welche an einem Ende eingeleitet wird, innerhalb der Vorrichtung fortzuschalten und mit einer Verzögerung am anderen Ende der Vorrichtung wieder hinauszugehen. Grundelement einer solchen Vorrichtung ist das einzelne Kettenschaltglied. Fig. 38 zeigt das Prinzip. Es besteht aus einer Vereinigung zweier zu einer zweischrittigen Schaltung (siehe Fig. 6) hintereinandergeschalteter Schaltglieder zu einem einzigen Schaltglied. Das Schalten von  $d$  ist an die Bedingung geknüpft, daß sowohl  $a$  als auch  $b$  als auch  $c$  geschaltet werden. Auf diese Weise könnte das Schaltglied auch zur Lösung einer mehrgliedrigen Konjunktion benutzt werden. Normalerweise werden jedoch die Glieder  $a$  und  $c$  an Impulse angeschlossen, so daß die Schaltung von  $b$  mit 2 Schritten Verzögerung auf das auslaufende Glied  $d$  einwirkt.

Zur symbolischen Darstellung dieses Schaltgliedes wird die in Figur 37 gezeigte Form gewählt. Fig. 38 zeigt die einzelnen Gliedformen und deren Bewegungsphasen im Verlauf einer Schaltung. Es sind nur die Ausschnitte der Glieder gezeigt welche mit dem Schaltgliedstift in Eingriff stehen. Der Ablauf ist so, daß zunächst das die Bewegung einleitende Glied  $b$  in Richtung  $+y$  gezogen wird, darauf durch  $a$  der Stift nach  $-x$  bewegt wird. Jetzt wird  $c$  in Richtung  $-y$  bewegt und nimmt

dabei das auslaufende Glied  $d$  mit.

Die Fig. 39 und 40 zeigen eine Abhandlung dieses Schaltgliedtyps, bei welcher eine Sperrung des Gliedes  $d$  erfolgt, falls das einleitende Glied  $b$  nicht geschaltet wurde. Fig. 39 zeigt die Bewegungsphasen für den Fall, daß  $b$  und  $d$  geschaltet werden, Fig. 40 für den Fall, daß keine Schaltung stattfindet und  $d$  gesperrt wird. Das Glied  $a$  ist jetzt mit einem länglichen Ausschnitt  $a'$  quer zu seiner Bewegungsachse versehen, so daß der Stift jedesmal, gleichgültig, ob  $b$  geschaltet ist oder nicht, nach links bewegt wird. Dafür ist das Glied  $d$  mit einer einspringenden Nase  $d'$  versehen, durch welche es gesperrt wird, falls  $b$  nicht gezogen wurde.

Fig. 41 zeigt eine Aneinanderreihung solcher Kettenschaltglieder zu einer „Verzögerungskette“. Ein durch Schalten von  $a_1$  eingeleiteter Impuls wird über die Glieder  $b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, a_4, b_4$  nach  $c$  geleitet, wobei er mit 4 Maschinenspielen Verzögerung wieder herausgegeben wird. Derartige Ketten lassen sich beliebig lang gestalten und stellen ein wichtiges Bauelement für Rechengерäte dar.

Fig. 42 zeigt die konstruktive Lösung dieser Schaltung. Den Impulsen I und III kann ein gemeinsames Glied  $d$  und den Impulsen II und IV ein gemeinsames Glied  $e$  zugeordnet werden. Im übrigen ist die Gestaltung der Ausschnitte analog der Fig. 38. Selbstverständlich kann die Schaltgliedkette auch analog Fig. 39, 40 mit sperrenden Schaltgliedern ausgeführt werden.

Die Figuren 43 ... 46 zeigen ein vierstelliges Zählwerk im Dualsystem. Das Zahlwerk ist kein vollständiges Additionswerk, sondern gestattet nur die Addition des Wertes Eins zu einer vorher eingestellten Dualzahl. Die Glieder  $a_0 \dots a_3$  sind die Träger der jeweils eingestellten Dualzahl. Dabei gilt: „nichteingeschaltet“ entspricht der Dualziffer 0, „eingeschaltet“ entspricht der Dualziffer L (=1).  $b$  ist ein Steuerglied, durch welches die Addition des Wertes Eins zu der auf den Gliedern  $a_0 \dots a_3$  stehenden Dualzahl bewirkt werden kann. Mit Hilfe der Glieder  $d$  und  $c_0 \dots c_4$  wird zunächst die Stellenübertragung gebildet.  $d$  ist fest an den Impuls II angeschlossen. Die Schaltung von  $c_i$  bedeutet, daß eine Stellenübertragung auf die Stelle  $i$  ( $i=0 \dots$ ) stattfindet.  $c_0$  wird geschaltet, falls eingeschaltet wird, d.h. falls überhaupt weiter gezählt werden soll. Die Schaltung von  $c_1$  ist an die Bedingung  $b \& a_0$  geknüpft, entsprechend die von  $c_2$  and die Bedingung  $b \& a_0 \& a_1$  usw. Eine Stellenübertragung wird solange auf die nächsthöhere Stelle weitergeleitet, wie die eingestellte Dualzahl Ziffern aufweist.

Beispiel:

$$\begin{array}{r} \text{Stellenübertragung} \quad \begin{array}{r} \text{LOLL} \\ + \quad \text{L} \\ \hline \text{LL} \\ \hline \text{LL00} \end{array} \end{array}$$

Die Glieder  $h_0 \dots h_3$  dienen lediglich der Übertragung der auf den Gliedern  $a_0 \dots a_3$

eingestellten Dualzahl. Nachdem die Stellenübertragung erfolgt ist, erfolgt die Bildung der um Eins erhöhten Zahl mit Hilfe der Glieder  $e$ ,  $f_0 \dots f_3$  und  $j_0 \dots j_3$ . Für den Fall, daß die alte Ziffer und die Stellenübertragung gleichwertig sind, ist die neue Ziffer 0, sonst L. Es ergibt sich also  $j_i$  aus  $c_i$  und  $h_i$  nach folgendem Ansatz:

$$\overline{c_i \sim h_i} \text{ äq } j_i$$

Dies ist jedoch die aussagenlogische Disvalenz, deren Schaltung bereits in Fig. 29 im einzelnen gezeigt wurde. Von den Gliedern  $j$  wird über Kettenschaltglieder  $p$  der Wert verzögert auf die Glieder  $a$  zurückübertragen.

Fig. 44 zeigt einen Gesamtüberblick über das Zählwerk, Fig. 45 und 46 die einzelnen Glieder. Bemerkenswert ist dabei folgendes: Die Übertragungskette der  $c$ -Glieder arbeitet mit Sperrung. Die Sperrnasen  $g'$  müssen zwecks Ausweichens an einem Glied  $g$  (Fig. 46) angebracht werden. Die Bewegung der Glieder  $j$  ist durch Federn  $q$  erschwert. Dies ist nötig, da die Lösung der Aufgabe der Disvalenz nicht ohne weiteres durch Vollsperrung (Vollsperrsystem) durchführbar ist (siehe oben). Die Kettenschaltglieder sind wie die Glieder  $d$  in Fig. 39, 40 gestaltet (siehe Nase  $a'$  an Glied  $a$  Fig. 45) zwecks Vollsperrung.

Eine Weiterentwicklung des Zählwerks stellt das Additionswerk im Dualsystem dar. Fig. 47 zeigt die Prinzipschaltung. Die Aufgabe besteht darin, zwei vierstellige Dualzahlen, deren eine durch die Glieder  $a_0 \dots a_3$  und deren andere durch die Glieder  $b_0 \dots b_3$  dargestellt wird, zu addieren. Das Resultat erscheint zunächst auf den Gliedern  $k_0 \dots k_3$  und kann von dort auf die Glieder  $b_0 \dots b_3$  zurückübertragen werden. Die Glieder  $a_0 \dots a_3$  müssen einen Schritt vor den Gliedern  $b_0 \dots b_3$  eingestellt werden. Es werden zunächst Zwischenwerte  $c_0 \dots c_3$  und  $d_0 \dots d_3$  gebildet. Es gilt dabei:

$$\begin{aligned} a_i \vee b_i & \text{ äq } c_i \\ a_i \& b_i & \text{ äq } d_i \end{aligned}$$

Die Bildung dieser Zwischenwerte, welche durch entsprechenden bezeichnete Glieder dargestellt werden, erfolgt über die Schaltglieder 1 und 3, und zwar gleichzeitig mit der Einstellung der Glieder  $b_i$  auf Schritt 1. Schritt 1 ist derjenige Schritt, in welchem der Impuls I seine Arbeitsbewegung ausführt. Im nächsten Schritt werden die Stellenübertragungen  $f_i$  gebildet. Hierbei gilt folgendes: Eine Stellenübertragung von der Stelle  $i$  auf die Stelle  $i + 1$  findet statt

1. wenn in der Stelle  $i$  beide Ziffern gleich L sind ( $a_i \& b_i$ ) oder
2. wenn in der Stelle  $i$  mindestens eine Ziffer gleich L ist ( $a_i \vee b_i$ ) und eine Stellenübertragung auf die Stelle  $i$  von der Stelle  $i - 1$  erfolgt.

Die erste Bedingung wird durch das Glied  $d_i$  angezeigt, die zweite durch das Glied  $c_i$ . Dementsprechend haben wir eine Übertragungskette, welche über die jeder

Stelle zugeordneten Schaltglieder 4, gesteuert durch die Glieder  $c_i$  führt, und in welche bei jeder Stelle über die Schaltglieder 2, gesteuert durch die Glieder  $d_i$ , Übertragungen auf die nächsthöhere Stelle eingeleitet werden können. Auf diese Weise ist die Stellenübertragung in einem einzigen Schritt durch sämtliche Stellen möglich.

Zu beachten ist die Darstellung durch Wirkungspfeile. Fig. 48 zeigt das Schema dieser Pfeile. Die Wirkungspfeile entsprechen den Gleichrichtern bei elektrischen Schaltungen. In Fig. 48 wird durch die Pfeile angedeutet, daß bei Schaltung von  $a$  auch  $b$  geschaltet wird, aber nicht umgekehrt; ferner daß bei Schalten von  $c$  oder  $d$  auch  $e$  geschaltet wird, und schließlich, daß bei Schalten von  $g$  auch  $f$  geschaltet wird, aber nicht umgekehrt. Konstruktiv werden diese Bauelemente durch einfache einseitige Anschlüsse eines Gliedes an das andere ausgeführt. Die eingezeichnete Pfeilrichtung hat nichts mit der Bewegungsrichtung der angeordneten mechanischen Glieder zu tun, sondern gibt lediglich die Wirkungsrichtung an.

Für die Bildung der Ziffern der Resultate gilt folgendes: Zunächst wird der Zwischenwert  $j_i$  gebildet, welcher der Aussage entspricht: „Die Summe der Ziffern  $a_i$  und  $b_i$  ist eine gerade Zahl“. Das aussagenlogische Kriterium für  $j_i$  ist

$$a_i \sim b_i.$$

Dieses ist äquivalent dem Ausdruck

$$\overline{a_i \vee b_i} \vee (a_i \& b_i)$$

und dieser ist wiederum entsprechend obiger Definition von  $c_i$  und  $d_i$  äquivalent dem Ausdruck

$$\bar{c}_i \vee d_i.$$

$c_i$  wird durch die Schaltglieder 5 gebildet ( $h_i$ ), und die Disjunktion  $h_i \vee d_i$  wird durch parallele Wirkung beider Glieder auf das Glied  $j_i$  gebildet.

Nunmehr muß von  $j_i$  und der Übertragungsangabe  $f_i$  die Ziffer der Summe  $k_i$  gebildet werden. Diese ergibt sich, wie leicht einzusehen ist, aus der aussagenlogischen Äquivalenz der Aussagen  $j_i$  (Ziffernsumme der Zahl ist gerade) und  $f_i$  (es findet eine Übertragung auf die Stelle  $i$  statt):

$$j_i \sim f_i \text{ äq } k_i.$$

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Schaltglieder 6 und 7 bzw. 6' und 7'.  $k_i$  wird nun wieder über die Kettenschaltglieder 8 bzw. 8' auf die Glieder  $b_i$  zurückübertragen. Diese Übertragung wird durch ein Glied  $v$  (Schaltglied 9) gesteuert.

An Stelle der Rückübertragung kann auch ein zweites Additionswerk treten, welches seinen Endwert dann wiederum auf das erste überträgt. Da die eigentliche

Addition nur zwei Schritte erfordert, sind auf diese Weise mit zwei im Gegentakt arbeitenden Additionswerken zwei Additionen pro Maschinenspiel durchführbar.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch Schaltgliedsätze, welche auf mehrere Schichten verteilt sind. Fig. 49 zeigt die Verteilung der einzelnen Schaltglieder auf vier Schichten *A*, *B*, *C*, *D*. Die Verbindungen der Schichten untereinander können durch Bügel bewirkt werden. Fig. 50 zeigt eine Übersicht über das ganze Additionswerk von oben. Fig. 51 zeigt die Schaltung der Schicht *A* mit den Schaltgliedern 1 und 2. Durch  $a_i$  und  $b_i$  werden die Glieder  $d_i$  geschaltet ( $a_i \& b_i$ ). Über die Zwischenglieder  $e_i$  findet dann die Einleitung der Stellenübertragung auf die Bügel  $f_{i+1}$  statt. Ferner werden durch  $e_i$  die Bügel  $j_i$  geschaltet. Fig. 52 zeigt die Schaltglieder der Schicht *B*. Durch die Schaltglieder 3 werden die Glieder  $c_i$  geschaltet. Der Ausdruck für  $c_i$  ist nach obiger Definition

$$a_i \vee b_i.$$

Er wird jedoch in folgenden, aussagenlogisch äquivalenten Ausdruck umgeformt:

$$a_i \vee (\bar{a}_i \& \bar{b}_i).$$

Dies ist nötig, um die Glieder  $c_i$  im Falle  $\bar{a}_i \& \bar{b}_i$  zu sperren. Die Schaltglieder 4 stellen die eigentliche Übertragungskette dar. Die Glieder  $f_i$  sind mit den Bügeln  $f_i$  fest verbunden. In den Schaltgliedern 5 werden die Glieder  $j_i$  äq  $\bar{c}_i$  geschaltet.

Fig. 53 zeigt die Schichten *C* und *D*, und zwar müssen die Schaltglieder 6 und 7 bzw. 6' und 7' und somit auch 8 bzw. 8' auf zwei Schichten verteilt werden, da es konstruktiv Schwierigkeiten macht, sie in einer Schicht unterzubringen. Durch die Glieder  $j_i$  und  $f_i$  werden die Resultatglieder  $k_i$  geschaltet, und deren Stellung über die Kettenglieder 8, 8' auf die Summandenglieder  $b_i$  zurückübertragen (mittels  $m_i$ ).

Fig. 54 zeigt den Schnitt durch das Additionswerk in schaltungsmäßiger Darstellung. Es sind insbesondere die Verbindungen zwischen den Übertragungsbügeln und den Gliedern der einzelnen Schichten zu erkennen.

Fig. 55 und 56 zeigen die Glieder der Schicht *A*. Die Schaltglieder 1 brauchen ausweichende Sperrnasen  $p'$ , welche am Impulsglied  $p$  angebracht sind.

Fig. 57 ... 59 zeigen die Glieder der Schicht *H*. Besondere Schwierigkeiten bereitet zunächst die Ausweichbewegung der Glieder  $b'_i$  (Fig. 59). Diese werden durch Stifte 1 und durch Bügel 7 seitlich geführt. Die Stifte 1 und Bügel 7 wiederum werden durch das Impulsglied  $q'$  bewegt. In seiner Arbeitsrichtung ( $-y$ ) Wird das Glied  $b'$  in seinem länglichen Ausschnitt 4 durch den Bügel  $b$  geführt. Das Impulsglied  $q$  ist als Doppelimpulsglied Ausgeführt, um die negativ arbeitenden Schaltglieder  $q''$  bei der Rückbewegung der Glieder  $j_i$  frei zu geben.

Fig. 60, 61 zeigt die Glieder der Schicht *C*. Die Schaltglieder 6, 7 sind entsprechend dem Gesetz der Äquivalenz geschaltet. Der Unterschied zur Schaltung entsprechend Fig. 28 besteht hauptsächlich darin, daß die Glieder  $w_1$  und  $w'_1$  6 nach

7 nicht gezogen, sondern gedrückt werden. Dementsprechend sind die Zwischenglieder  $w$  und  $w'$  etwas anders gestartet als die entsprechenden Glieder  $e$  und  $f$  der Fig. 28. Das glied  $w'$  muß seitlich ausweichen, was durch  $w''$  und Stifte  $s'$ , die durch das Impulsglied  $s$  bewegt werden, bewirkt wird. Die Schaltglieder 8 (Fig. 47, 53) sind normale Kettenschaltglieder mit Sperrung entsprechend Fig. 39, 46.

Die Figuren 62 ... 66 zeigen eine abgewandelte Form von Additionswerken im Dualsystem, welches erheblich kleineren Raumbedarf hat. Figur 62 zeigt die Prinzipschaltung. Sie unterscheidet sich von der Schaltung entsprechend Figur 47 dadurch, daß die Glieder  $a_i$  und  $b_i$  gleichzeitig auf Schritt ???, ??? einen Schritt von der Stellenübertragung, eingestellt werden. Die Glieder  $c_i$  (äq  $a_i \vee b_i$ ) werden gleichzeitig mit den Gliedern  $a_i$  und  $b_i$  geschaltet.  $d_i$  (äq  $a_i \& b_i$ ) wird erst während der Stellenübertragung über zwei hintereinander geschaltete Schaltglieder, welche durch  $a_i$  und  $b_i$  gesteuert werden, geschaltet. Im übrigen wird die Schaltung entsprechend der Figur 47 aufgebaut. Die zur Rückübertragung nötigen Schaltglieder 8 sind nicht vorgesehen.

In der oberen Schicht (Fig. 63 ... 66) liegen die Schaltglieder zur Bildung der Zwischenwerte  $c_i$ ,  $d_i$  und der Stellenübertragung.

Die Summanden  $a$ ,  $b$  werden durch Glieder  $a_0 \dots a_3$ ,  $b_0 \dots b_3$ , z.B. Bügel dargestellt. Diese wirken direkt parallel auf das Glied  $c_i$  (Fig. 65a) durch Stoß an die Kante  $c'$ . Somit ist das Kriterium  $a_i \vee b_i$  einfach gebildet.

Die Bildung des Kriteriums  $a_i \& b_i$  zur Einleitung der Stellenübertragung zeigt Fig. 64. Die Glieder  $d_i$ , welche dem Kriterium  $a_i \& b_i$  entsprechen, bestehen aus einfachen Stiften, die in der Grundstellung links und in der Arbeitsstellung rechts liegen und in Ausschnitten  $d'$  des Festgliedes  $g_1$  geführt sind. Das Glied  $b'_i$  hat eine doppelte Funktion: einmal dient es als Träger des Wertes  $b_i$ , zum anderen als Hebel, der zwischen den Feststiften 1 um den Punkt 2 (Fig. 66) drehbar ist. Das Glied  $b'_i$  hat ferner noch einen Längsausschnitt 5. Der Stift 3 wird durch das Glied  $a_i$  (Träger des anderen Summanden) gesteuert. Befindet sich  $a_i$  in der Arbeitsstellung ( $-y$ , unten), so wird der Stift 3 durch die Schaltenasen des Impulsgliedes  $p$  nach rechts verschoben und bewegt hierbei durch den Ausschnitt 5 den hebel  $b_i$  ebenfalls nach rechts. Befindet sich  $b_i$  ebenfalls in der Arbeitsstellung ( $-y$ , unten), so wird der Stift  $d_i$  ebenfalls nach rechts verschoben. Dies ist also nur der Fall, wenn sowohl  $a_i$  als auch  $b_i$  geschaltet sind.

Die Bewegung des Stiftes  $d_i$  wird einmal auf die Stellentrtragungsglieder  $f'_i$  und zum anderen auf die Glieder  $j'_i$  übertragen. Die Nasen 7 und 8 wirken über die Bügel  $j_i$  auf die Nasen 9 und 10 der Glieder  $f''_i$  und  $j''_i$  der unteren Schicht. (Fig. 68). Die Nasen 9 und 10 stehen ferner im Eingriff mit Federn 11 und 12, welche die Bewegung dieser Glieder erschweren.

Die untere Schicht (Fig. 67, 68) hat die einfache Lösung der Äquivalenz in jeder Dualstelle zur Aufgabe. Die Zwischenglieder  $w'$  machen wieder eine Ausweichbe-

wegung, welche durch das Doppelimpulsglied 1 bewirkt wird.

Nunmehr soll die Addition im Dezimalsystem behandelt werden. Die Darstellung einzelner Dezimalziffern erfolgt dabei am vorteilhaftesten durch vierstellige Dualzahlen. Die Zahl 72091 sieht dann z.B. wie folgt aus:

7	2	0	9	1
0LLL	00L0	0000	L00L	000L

Will man in dieser Form gegebene Zahlen addieren, so kann man zunächst die Dezimalziffern der einzelnen Stellen als Dualzahlen addieren. Man erhält dann fünfstellige Dualzahlen. Ist die Zahl gleich oder größer als 10 (Dual L0L0), so muß ein Übertrag auf die nächste Dezimalstelle stattfinden und zur Zahl der Wert 0LL0 addiert werden. Die letzten vier Stellen dieser Dualzahl stellen dann die Dezimalziffer der betreffenden Stelle der Summe dar.

Additionsbeispiel:

Schreibweise	Dezimal						Dezimalziffern als Dualzahlen					
Summand <i>a</i>		7	2	0	9	1		0LLL	00L0	0000	L00L	000L
Summand <i>b</i>		8	7	7	2	3		L000	0LLL	0LLL	00L0	00LL
Ziffernsumme		15	9	7	11	4		LLLL	L00L	0LLL	L0LL	0L00
$\geq 10$		+	−	−	+	−		+	−	−	+	−
Korrektur + Stellenübertrag	1	0			0			0LL0			0LL0	
<i>a</i> + <i>b</i>	1	5	9	8	1	4	000L	0L0L	L00L	L000	000L	0L00

Auf die Weise wäre die Addition im Dezimalsystem mit Hilfe einer im Dualsystem arbeitenden Additionsvorrichtung durchführbar. Das Verfahren hat jedoch in dieser einfachen Form den Nachteil erheblichen Zeitverlustes. Der gesamte Prozess erfolgt in 4 Phasen.

1. Ziffernaddition im Dualsystem,
2. Prüfung, ob die Summe kleiner als L00L oder gleich L00L oder größer als L00L und
3. Entsprechende Stellenübertragung mit Einstellung der Korrekturwerte,
4. Addition der Korrekturwerte.

Es soll nun gezeigt werden, wie diese 4 Phasen in einem einzigen Arbeitsgang, der nicht länger dauert als die Addition im Dualsystem, erledigt werden können, also in zwei Bewegungsschritten der mechanischen Schaltglieder.

Zunächst können wir gleichzeitig in jeder Dezimalstelle die einfache Addition der Dualzahlen (Dezimalziffern) und deren Addition in einem Additionswerk, welches

einen um LL0 erhöhten Wert herausgibt, durchführen. Hierzu muß zunächst ein Additionswerk im Dualsystem entwickelt werden, welches einen um LL0 erhöhten Wert liefert. Geben wir den einzelnen Stellen der vierstelligen Dualzahl die Nummern 0, 1, 2, 3 (die Stelle 0 liegt dabei am weitesten rechts), so ist in den Dualstellen 1 und 2 außer der Addition der beiden Summanden die Addition von L durchzuführen. Auf die Dualstelle 1 muß dabei nur die Stellenübertragung ein Wert L stattfinden, denn in der Dualstelle 0 kann sich höchstens die Ziffernsumme L0 ergeben. Für die Dualstelle 1 haben wir nun folgende Fälle:

$u_1$  = Stellenübertragung auf Stelle 1

$a_1$  = Ziffer des ersten Summanden der Stelle 1

$b_1$  = Ziffer des zweiten Summanden der Stelle 1

$a_1$	$b_1$	$u_1$	$\Sigma$	$\Sigma + 1$	Übertrag	$v_2$	$w_2$
0	0	0	0	L	0	—	—
0	L	0	L	L0	L	+	—
L	0	0	L	L0	L	+	—
L	L	0	L0	LL	L	+	—
0	0	L	L	L0	L	+	—
0	L	L	L0	LL	L	+	—
L	0	L	L0	LL	L	+	—
L	L	L	LL	L0	L0	+	+

Bezeichnen wir mit  $v_2$  das Kriterium dafür, daß der Stellenübertrag auf die Stelle 2 mindestens gleich L ist, so ist:

$$a_1 \vee b_1 \vee u_1 \text{ äq } v_2$$

Bezeichnen wir ferner mit  $w_2$  das Kriterium dafür, daß der Stellenübertrag auf die Stelle 2 gleich ??? ist, so ist:

$$a_1 \& b_1 \& u_1 \text{ äq } w_2$$

In der Dualstelle 3 haben wir nun folgendes Schema:

$a_2$	$b_2$	$v_2$	$w_2$	$\Sigma$	$\Sigma + 1$	Übertrag	$v_3$	$w_3$
0	0	—	—	0	L	0	—	—
0	L	—	—	L	L0	L	+	—
L	0	—	—	L	L0	L	+	—
L	L	—	—	L0	LL	L	+	—
0	0	+	—	L	L0	L	+	—
0	L	+	—	L0	LL	L	+	—
L	0	+	—	L0	LL	L	+	—
L	L	+	—	LL	L00	L0	+	+
0	0	+	+	L0	L0	L	+	—
0	L	+	+	LL	LL	L0	+	+
L	0	+	+	LL	LL	L0	+	+
L	L	+	+	L00	L00	L0	+	+

Gibt man den Werten  $v_3$  und  $w_3$  in Bezug auf die Dualstelle 3 dieselbe Bedeutung wie den Werten  $v_2$  und  $w_2$  in Bezug auf die Dualstelle 2, so gelten folgende Kriterien:

$$\begin{aligned} & a_2 \vee b_2 \vee v_2 \text{ äq } v_3 \\ & (a_2 \ \& \ b_2 \ \& \ v_2) \vee (a_2 \vee b_2 \ \& \ w_2) \text{ äq } w_3. \end{aligned}$$

Für die Dualstelle 3 gilt schließlich folgendes: wenn in der Dualstelle 3 die Ziffernsumme L0 sein kann und der Stellenübertrag auf die Dualstelle 3 ebenfalls den Wert L0 erreichen kann, so erscheint der Stellenübertrag von L0 auf die Dualstelle 4 zunächst denkbar. Da jedoch die Werte a und b in ihrer Größe beschränkt sind ( $\leq L00L$ ), so ist dieser Fall ausgeschlossen, denn als Resultat können wir höchstens den Wert

$$\begin{array}{rcl} & L00L & (9) \\ + & L00L & (9) \\ + & LL0 & (6) \\ \hline & LL000 & (24) \end{array}$$

erreichen, d.h. der Stellenübertrag auf die Dualstelle 4, ( $u_4$ ) kann höchstens den Wert L erreichen. Es gilt für  $u_4$  der Ansatz

$$(a_3 \ \& \ b_3) \vee (a_3 \vee b_3 \ \& \ v_3) \vee w_3 \text{ äq } u_4$$

Fig. 69 zeigt das Übertragungsschema entsprechend den oben entwickelten Ansätzen.  $u_0$  (rechts) und  $u_4$  (links) sind die Stellenübertragungsanschlüsse zur nächstniederen und nächsthöheren Dezimalstelle.  $J$  bedeutet den Impuls, über welchen die Stellenübertragungen in die Übertragungswerte eingeleitet werden. Fig. 69 enthält in ihrem oberen Teil (Korrektur von LL0) das Stellenübertragungsschema für das Sonder-Additionswerk mit den Übertragungswerten  $u_1, v_2, v_3, u_4$  und  $w_2, w_3$  und unten das Übertragungsschema für das einfache Additionswerk. Bei diesem interessieren in diesem Falle nur die Werte  $u_1, u_2, u_3$ . Das Bildungsgesetz für  $u_1$  ist dabei dasselbe wie bei dem oberen Schema.

Bei diesem Übertragungsschema wird durch  $u_4$  folgende Aussage dargestellt: „Die Summe der Dezimalziffern der betreffenden Dezimalstelle ist gleich oder größer als L0L0 (10), oder sie ist gleich L00L (9) und es findet ein Übertrag von der nächstniederen Dezimalstelle auf die betrachtete Dezimalstelle statt.“  $u_4$  wird nämlich geschaltet, wenn die Gesamtsumme gleich oder größer als L0000 (16) ist, da aber dann stets LL0 (6) addiert wird, muß die Ziffernsumme + Stellenübertragung  $u_0$  von der nächstniederen Dezimalstelle gleich oder größer als L0L0 sein. Dementsprechend kann durch einfaches Aneinandersetzen der Übertragungsschaltungen der einzelnen Dezimalstellen die Gesamtübertragungsschaltung der Additionsvorrichtung im Dezimalsystem gebildet werden.

Für die Bildung der Dezimalziffern des Resultats gilt nun folgendes: ist die Summe der Dezimalziffern einschließlich der Stellenübertragung auf die betrachtete Dezimalstelle gleich oder kleiner als L0L, so ergibt die normale duale Addition der Dezimalziffern die Dezimalziffern des Resultats. Ist dieser Wert gleich oder größer als L0L0, so ergibt die um LL0 erhöhte Summe der Dezimalziffern ausschließlich der höchsten Dualstelle, welche der 4. Potenz von 2 entspricht, die Dezimalziffer des Resultats.

Da dieses Kriterium durch  $u_4$  gegeben wird, ist  $u_4$  gleichzeitig das Kriterium dafür, welches angibt, ob die einfache oder die um LL0 erhöhte Summe genommen werden soll. Betrachten wir diese beiden möglichen Werte, so zeigt sich zunächst, daß in der Dualstelle 0 kein Unterschied zwischen beiden besteht. Für die Dualstellen 1, 2 und 3 ist das Bildungsgesetz jedoch verschieden. Für die einfache Addition gilt, wie bereits weiter oben gezeigt:

$$(a_i \sim b_i) \sim u_i \text{ äq } z_i$$

Für die um LL0 erhöhte Summe gilt folgendes:

- In der Dualstelle 1 muß der normale Ansatz negiert werden, da durch die zusätzliche Addition von Eins die Ziffer des Resultats umgekehrt wird.

$$\overline{(a_1 \sim b_1) \sim v_1} \text{ äq } z_1$$

- In der Dualstelle 2 gilt im Falle, daß  $v_2$  negativ ist, der entsprechende Ansatz, im Falle, daß  $w_2$  positiv ist, gilt jedoch folgender Ansatz:

$$a_2 \sim b_2 \text{ äq } z_2$$

Im ganzen gilt für die Dualstelle 2 also der Ansatz:

$$[\overline{w_2} \ \& \ \overline{(a_2 \sim b_2) \sim v_2}] \vee [w_2 \ \& \ (a_2 \sim b_2)] \text{ äq } z_2$$

- In der Dualstelle 3 gilt im Falle, daß  $w_3$  negativ ist, der normale Ansatz:

$$(a_3 \sim b_3) \sim v_3$$

Im Falle, daß  $w_3$  positiv ist, jedoch der Ansatz

$$\overline{a_3 \sim b_3}$$

Im ganzen gilt also der Ansatz:

$$[\overline{w_3} \ \& \ [(a_3 \sim b_3) \sim v_3]] \vee [w_3 \ \& \ \overline{a_3 \sim b_3}] \text{ äq } z_3$$

Figur 70 zeigt die Prinzipschaltung der Addition im Dezimalsystem für eine Dezimalstelle. Wir haben zunächst entsprechend Fig. 47 die Bildung der Werte

$$a_i \vee b_i \text{ äq } c_i \text{ und } a_i \& b_i \text{ äq } d_i$$

. Die Stellenübertragungsschaltung wird dann durch die Glieder  $c_i$  und  $d_i$  gesteuert; ihr Aufbau ist analog dem Schema von Fig. 69. Die Bildung des Wertes  $k_i \text{ äq } a_i \sim b_i$  erfolgt wiederum analog zu Fig. 47. Die Schaltung für das Resultatglied  $z_0$  erfolgt entsprechend der Fig. 47. Bei den Resultatgliedern  $z_{1,2,3}$  ist maßgebend, ob  $u_4$  geschaltet ist oder nicht. (Stellenübertragung auf die nächste Dezimalstelle.) Durch ein Impulsglied  $C_1$  werden im Falle  $u_4$  das Glied  $n_1$  und im Falle  $u_4$  die Glieder  $n_2, n_3$  geschaltet. Über  $n_2, n_3$  erfolgt die Schaltung von Gliedern  $r_1 \dots r_3$  entsprechend der Fig. 47. (Einfache Addition im Dualsystem.) Über  $n_1$  (Addition zuzüglich LL0) erfolgt die Schaltung von Gliedern  $s_1 \dots s_3$  entsprechend den oben gegebenen Ansätzen.  $r_1 \dots r_3$  und  $s_1 \dots s_3$  wirken parallel auf die Resultatglieder  $z_1 \dots z_3$  ein. Fig. 71 zeigt ein Ausführungsbeispiel im Gesamtüberblick. Die Schaltglieder werden auf vier Schichten verteilt. In der Zeichnung oben werden die beiden Summanden  $a$  und  $b$  zugeführt. In der Mitte liegen die Übertragungsglieder  $u, v, w$ . Unten haben wir die Zwischenglieder  $k$  und die Resultatglieder  $z$ .

Die Figuren 72 ... 75 zeigen die Schaltungen für die einzelnen Schichten. In der obersten Schicht  $A$  liegen die Schaltglieder zur Schaltung der Zwischenglieder  $c$  und diejenigen, welche durch diese Zwischenglieder gesteuert werden. In der zweiten Schicht  $B$  liegen entsprechend die zu den Zwischengliedern  $d$  gehörenden Schaltglieder. In der dritten Schicht  $C$  liegen die Schaltglieder zur Schaltung der Resultatglieder  $z_0$ , sowie der Glieder  $z_1, z_2$  und  $z_3$  im Falle, daß  $u_4$  nicht geschaltet wird, und in der vierten Schicht  $D$  liegen die Schaltglieder zur Schaltung von  $z_1, z_2$  und  $z_3$  im Falle, daß  $u_4$  geschaltet ist.

Die Figuren 76 ... 79 zeigen die Glieder für die einzelnen Schichten. Ihr Aufbau ist im wesentlichen analog den bereits besprochenen Lösungen. Eine Besonderheit weist die Schicht  $C$  auf: (Fig. 78b, c) Sie enthält zwei durch  $u_4$  gesteuerte, parallel arbeitende Schaltglieder, durch welche entweder das Glied  $n_1$  oder das Glied  $n_2$  geschaltet wird. Das Glied  $n_1$  überträgt seine Bewegung über Bügel  $n_4$  auf die Schicht  $D$ . Das Glied  $n_2$  hat negativ arbeitende Schaltnasen und muß somit seitlich ausweichen. Es ist in Arbeitsrichtung fest mit dem Zwischenglied  $n_3$  verbunden, welches jedoch an der Ausweichbewegung nicht teilnimmt. Das Glied  $n_3$  steht wieder mit den Gliedern  $p_1 \dots p_3$  und  $q_1 \dots q_3$  in Eingriff, während die Glieder  $p_0$  und  $q_0$  durch das Glied  $n_0$  bewegt werden, welches direkt an den Impuls angeschlossen ist.

Die Glieder  $q_0 \dots q_3$  haben negative Schaltnasen und müssen Ausweichbewegungen machen. Diese werden bewirkt durch das Glied  $C_2$  und die Bügel  $q'_0 \dots q'_4$ , welche außerhalb der Schicht liegen und durch das Glied  $C_3$  mit  $C_2$  verbunden sind.

In der Schicht  $D$  (Fig. 79b) haben wir zunächst das Glied  $n'_1$ , welches von der Schicht  $C$  her über die Bügel  $n_4$  bewegt wird. Da der Aufbau der Schaltung für jede einzelne der 3 Stellen 1, 2, 3 verschieden ist, so ist auch die Gestaltung der einzelnen Glieder entsprechend mannigfaltig. Die Formen halten sich jedoch an bereits besprochenen Lösungen. Zu beachten ist, daß die Glieder  $t_2, t_5, t_6, t_7$  außer der Arbeitsbewegung noch Ausweichbewegungen machen müssen, welche durch die Glieder  $D_1, D_2$  bewirkt werden.

Die Figuren 80 ... 83 zeigen ein Speicherwerk. Dieses ist schichtweise aufgebaut, wobei jede Schicht der Speicherung einer Zahl dient (= einer Speicherzelle). Im gezeigten Beispiel ist die Kapazität einer Zelle auf 4 Ja-Nein-Werte begrenzt, d.h. man könnte eine vierstellige Dualzahl speichern. Diese Begrenzung ist jedoch nicht prinzipiell. Neben den eigentlichen Speichergliedern liegen die Schaltglieder zum Auswählen der Zellen (Schicht) und zum Steuern des Speicher- und Ablegeprozesses.

Die eigentlichen Träger der Speicherung sind die Glieder  $c_i, b_i$ . Die Glieder  $c_i$  gehen über sämtliche Schichten und dienen der Übertragung der Speicherkombinationen (der zu speichernden Werte) von außen auf die Speicherzellen. Durch die Steuerglieder werden sie mit den Gliedern  $a_i$  der betreffenden Schicht verbunden. Die Glieder dienen der Übertragung auf den Speicherzellen stehenden Speicherkombinationen nach außen. Sie können durch ein Glied  $j_3$  geschaltet werden.

In jeder Schicht befindet sich eine Schaltgliedkette, gesteuert durch die Glieder  $c_1, f_1, f_0$ .  $c_1$  stellt das Signal dar, das abgelesen werden soll, d.h. daß ein Wert aus dem Speicherwerk auf die Glieder  $d$  übertragen werden soll.  $f_1, f_0$  stellen die Nummer der Zeilen dar. In diesem Beispiel ist diese Nummer nur als zweistellige Dualzahl aus gebildet. Jedoch kann die Zeilenanzahl und somit die Stellenanzahl beliebig erhöht werden. Mit einer zweistelligen Dualzahl als Zeilennummer können 4 Zeilen gesteuert werden.

Im Falle, daß  $e_1$  geschaltet ist, und an den Gliedern, die Nummer der betreffenden Schicht eingestellt ist, wird über die Schaltgliedkette 1, 2, 3 mit den Gliedern  $i, j_1, j_2$  das Glied  $j_3$  der betreffenden Zelle gezogen und somit die auf den Gliedern  $b$  stehende Speicherangabe auf die Glieder  $d$  übertragen (Ablesevorgang).

Der Speichervorgang ist etwas komplizierter.  $e_2$  ist das Signal dafür, daß gespeichert werden soll. Auf die Glieder  $h_0, h_1$  muß wieder die Nummer der Zelle eingestellt werden. Die Speicherglieder  $a, b$  sind durch eine Schiene 1 verriegelt. Der Speichervorgang zerfällt nun in fünf Einzelvorgänge: ausgelöst durch Impuls:

- |   |     |
|---|-----|
| 1. Entriegeln der Speicherglieder,          | IV  |
| 2. Löschen der bisher gespeicherten Angabe, | I   |
| 3. einschwenken der Hebel $a_i$ ,           | II  |
| 4. Einstellen der neuen Angabe,             | III |
| 5. Verriegeln der Speicherglieder           | IV  |

Die Schaltung arbeitet so, daß auf Schritt IV stets entriegelt bzw. verriegelt wird, je nachdem ob ein Speicherkommando gegeben wird oder nicht. Wir haben daher eine Schaltgliedkette 4, 5, 6, welche dem Speicherkriterium entspricht, und eine Schaltgliedkette 7, 8, 9, welche dem logischen Gegenteil dieses Kriterium entspricht. Durch die erste Schaltgliedkette wird die Schiene  $l$  nach links (entriegeln), durch die zweite nach rechts (verriegeln) bewegt. Die Schiene  $l$  ist zweidimensional beweglich, weswegen schaltungsmäßig die Glieder  $l_x$  ( $x$ -Bewegung der Schiene  $l$ ) und  $l_y$  ( $y$ -Bewegung der Schiene  $l$ ) unterschieden werden können. Wird die Schiene  $l$  nach links gezogen, so wird beim nächsten Impuls über die Schaltglieder 10, 11 die  $y$ -Bewegung der Schiene  $l$  ausgelöst. Hierdurch werden die Speicherglieder  $a$ ,  $b$  gelöscht (siehe unten). Gleichzeitig wird durch die  $y$ -Bewegung die Schiene  $l$  über ein Speicherglied  $p$  und das Schaltglied 12 am Glied  $r$  geschaltet, wodurch die Übertragung von den Gliedern  $c$  auf die Speicherglieder  $a$ ,  $b$  stattfindet. Schließlich wird die Schiene  $l$  wieder in Riegelstellung gebracht.

Fig. 81 zeigt eine Gesamtansicht des Speicherwerks.

Fig. 82 zeigt die einzelnen Glieder. Die Speicherglieder  $a$ ,  $b$  sind als einzelne Hebel ausgebildet. Die Elemente der Schaltglieder 1 . . . 9 sind im einzelnen nicht gezeichnet, da es sich um bereits weiter oben besprochene Elementarschaltungen handelt. Die Hebel  $a$ ,  $b$  drehen um Stifte 15, welche in Längsausschnitten 14 des Festgliedes  $g$  geführt sind. Die Schiene  $l$  hat Ausschnitte 15 mit Nasen 16, welche die Stifte 13 und somit die Hebel  $a$ ,  $b$  verriegeln. Die  $(-x)$ -Bewegung der Schiene  $l$  wird durch den Ausschnitt 17, der mit dem Schaltglied 6 (Fig. 80) in Eingriff steht, bewirkt. Die  $(+x)$ -Bewegung wird durch den mittleren Hebel  $n_3$  mit dem Stift 18 bewirkt. Die Ausschnitte 10, 11 der Schiene  $l$  stehen im eingriff mit den Impulsbolzen 19, 20, welche durch sämtliche Schichten hindurchreichen, wodurch die  $y$ -Bewegung der Schiene bewirkt wird.

Fig. 83 zeigt die Bewegungsphasen beim Speichern und Ablesen. Es wird angenommen, daß in der betrachteten Zelle vorher die Angabe  $--++$  gespeichert war, daraufhin die neue Angabe  $-+-+$  gespeichert werden soll, und diese unmittelbar darauf angegeben werden soll. Es sind nur die für die Funktion nötigen Ausschnitte der Glieder gespeichert.

Ein besonderes Merkmal des Speicherwerkes ist es, daß Speicher- und Ableseprozesse zugleich kommandiert werden können und zwar sowohl in der gleichen als auch in verschiedenen Zellen.

Zum Schluß sei noch einiges über die konstruktive Ausgestaltung der Schaltglieder im einzelnen gesagt. Bei den oben gezeigten Schaltgliedern wurden Stifte von zylindrischer Form verwendet, deren Achse senkrecht zur Gliedebebene steht. Es ist unter Umständen vorteilhaft, an Stelle dieser rundstifte Vierkantstifte zu verwenden. Zunächst hat ein vierkantstift den Vorteil der Flächen- anstelle der Linienberührung. Darüber hinaus besteht jedoch die Möglichkeit, dem Stift ver-

schiedene Breiten in Steuerrichtung und Arbeitsrichtung des Schaltgliedes zu geben. Macht man die Länge des Stiftes in Arbeitsrichtung ( $x$ -Richtung Figur 84) größer als die Höhe des Stiftes, so hat dies den Vorteil, daß die symmetrische Anordnung der Glieder zu Paaren entsprechend Fig. 1 nicht erforderlich ist. Fig. 85 zeigt, wie bei beiden verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten die Kupplung zwischen den gliedern sich auswirkt.

Anschlüsse nach außen:

1. ein von außen periodisch bewegtes Impulsglied,
2. Steuerglieder, welche den Variablen einer aussagenlogischen Formel entsprechen,
3. Bewegte Glieder, welche den Resultatwerten einer aussagenlogischen Formel entsprechen.

Die Zahl der Steuer- und der bewegten glieder kann dabei beliebig sein.

Fig. 8 zeigt symbolisch eine Anordnung von 4 solchen Teilschaltungen zu einem Kreislauf. Die Glieder  $a$  kommen von außen. Die Glieder  $b, c, d, e$  stellen lediglich Verbindungen zwischen den einzelnen Teilschaltungen dar.

Eine solche Kreislaufschaltung erfordert also zunächst 4 Arbeitsimpulse. Fig. 9 zeigt das entsprechende Zeit-Weg-Diagramm. Jeder Impuls bewirkt eine einmalige Arbeitsbewegung mit sofortiger Rückbewegung. Innerhalb einer einschrittigen Teilschaltung müssen die bewegten Glieder mit den bewegenden Gliedern sofort zurückgehen, damit die Steuerglieder neu geschaltet werden können. Die Steuerglieder der nächsten Teilschaltung, welche durch die bewegten Glieder der vorhergehenden Teilschaltung eingestellt werden, dürfen jedoch nicht sofort zurückgehen, da sie während der nächsten beiden Schritte ihre Stellung schalten müssen, damit die Arbeitsbewegung der nächsten Teilschaltung durchgeführt werden kann. Es ist somit eine getrennte Löschbewegung für die Steuerglieder nötig (siehe Zeit-Weg-Diagramm Fig. 9).

Fig. 10 zeigt die Anordnung der Impulsglieder für den einfachen Kreislauf der Fig. 7. Es zeigt sich, daß im ganzen

Hier endet das Manuskript