

19



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

11 Veröffentlichungsnummer:

0 103 066
A2

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **83104554.7**

51 Int. Cl.³: **G 10 H 7/00**

22 Anmeldetag: **09.05.83**

30 Priorität: **21.05.82 DE 3219254**

71 Anmelder: **Schade, Günter, Fasanenweg 20, D-8013 Haar (DE)**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung: **21.03.84**
Patentblatt 84/12

84 Benannte Vertragsstaaten: **AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE**

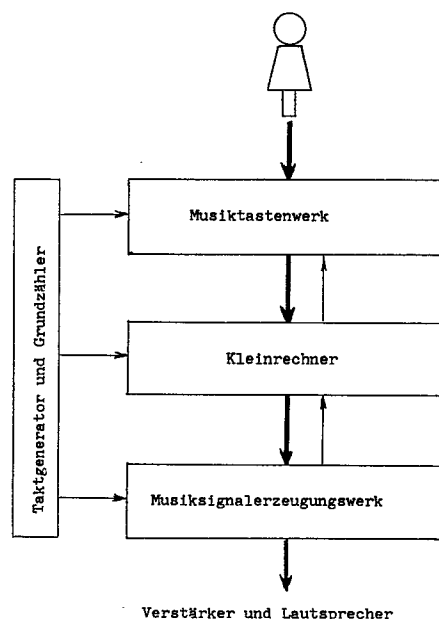
72 Erfinder: **Schade, Günter, Fasanenweg 20, D-8013 Haar (DE)**

54 **Durch einen Kleinrechner gesteuertes elektronisches Musikinstrument mit analog wirkenden Musiktasten.**

57 Strukturelle Merkmale:

- Analog wirkende Musiktasten.
 - Digital verschlüsselte Tonsignalfolgen für alle Töne in einem durchgängig adressierten Speicher, und zwar dem Arbeitsspeicher eines Kleinrechners.
 - Jedem Momentanamplitudenwert ist ein Wirkungsdauerwert zugeordnet, so daß jede Tonsignalfolge die Tonfrequenzinformation mit sich trägt.
 - Der Kleinrechner steuert ein Musiksinalerzeugungswerk in Echtzeit, d. h. er beeinflußt die Lautstärke und evtl. die Tonhöhe während des Erklingens der Töne.
 - Rein digitaler Aufbau.
- Funktionelle Merkmale:
- Tastenindividuelle Wahl der Lautstärke, auch während des Klingens veränderbar.
 - Ankling- und Ausklingverhalten frei programmierbar, auch mit wirklich stetiger Veränderung des Klangspektrums.
 - Auch feste Formanten beliebiger Art frei programmierbar, dadurch auch beliebige Blasinstrumente gut simulierbar.
 - Gleichzeitig verschiedene Klangcharakteristiken möglich, z. B. Posaune für linke Hand und Trompete für rechte Hand.

(Fortsetzung nächste Seite)



EP 0 103 066 A2

- Quasi-zufällige Schwankungen der Tonhöhe, der Lautstärke und des Klangcharakters programmierbar.
- Automatisches Hinzufügen einer zweiten und dritten Stimme auch mit wechselndem Tonfrequenzverhältnis programmierbar.
- Stereophonie möglich.

Aus digitalen Schaltungen aufgebautes, durch einen Kleinrechner in Echtzeit gesteuertes elektronisches Musikinstrument mit analog wirkenden Musiktasten.

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein solches Verfahren ist aus

/1/ DE-AS 23 62 037

bekannt. Bekannt ist ferner aus

/2/ DE-PS 29 26 548 und

- 10 /3/ DE-OS 29 45 518

die Verwendung eines Kleinrechners (Mikroprozessors) in elektronischen Musikinstrumenten. Aus /3/ bekannt ist ein Verfahren zum Synthetisieren mehrerer komplexer Töne in Echtzeit aus formelmäßig festgelegten Sinustönen verschiedener Frequenzen mittels digitaler Schaltungen.

- Die bekannten Verfahren zur Musikerzeugung mittels weitestgehend digital aufgebauter elektronischer Schaltungen haben jedoch eine Reihe von Beschränkungen bzw. Nachteilen
- 20 - sowohl bezüglich der funktionellen, dem Benutzer zugänglichen Eigenschaften
- als auch bezüglich der Möglichkeiten für einen kostensparenden, kompakten inneren Aufbau.

- 25 Ein Nachteil bezüglich der funktionellen Eigenschaften ist der, daß die Musiktasten nicht analog wirken, d.h. daß sie nicht ein vom Betätigungsweg oder, was auch denkbar wäre, direkt von der Betätigungskraft (ohne merkbare Bewegung) abhängiges analoges Signal (z.B. eine elektrische Spannung),
- 30 sondern nur ein oder bestenfalls zwei binäre Signale abgeben, wobei der Zeitabstand zwischen diesen beiden Signalen als Maß für die Geschwindigkeit des Tastendrückens verwendet wird. Das letztere setzt allerdings voraus, daß bei der Tastenbewegung die beiden zugehörigen Tastenlagen, bei denen je ein Kontakt öffnet bzw. schließt, auch wirklich
- 35 durchlaufen werden; die Momentangeschwindigkeit einer Musiktaste in einer beliebigen Lage kann folglich auf diese Art nicht erfaßt werden.

Deswegen ist es bei diesem Wirkungsprinzip nicht möglich, daß der Benutzer die Lautstärke eines Tones tastenindividuell während des Klingens verändert. Das stattdessen bei einigen bekannten Verfahren verwendete Prinzip, eine Auswahl vorgeprägter und voreinzustellender Lautstärke-Hüllkurven zur Verfügung zu stellen, bietet längst nicht die wünschenswerten Möglichkeiten der tonindividuellen Klangbeeinflussung, sondern führt zu dem Eindruck einer gewissen Starre der erzeugten Musik. Lediglich zur Simulation von mechanischen Musikinstrumenten mit Anschlagverhalten, wie dem Klavier, ist dieses Wirkungsprinzip angemessen, nicht dagegen zum Beispiel zur Simulation von Blasinstrumenten wie Posaune oder Trompete.

Des weiteren ist es bei dem Wirkungsprinzip der bekannten Verfahren nicht möglich, daß der Benutzer, ausgehend von einer tastenindividuell von ihm vorgegebenen Lautstärke, durch leichtes oder stärkeres Auf- und Abbewegen der Musiktaste ein individuelles, also nicht starr per Programm oder per Zugriegel eingestelltes Vibrato erzeugt.

Verfahren zum S y n t h e t i s i e r e n gleichzeitig mehrerer komplexer Töne in Echtzeit aus Sinustönen mittels digitaler Schaltungen

- 25 - setzen eine hohe Rechengeschwindigkeit voraus, damit der Tonkanalbearbeitungszyklus genügend weit oberhalb der Hörfrequenz liegt,
- benötigen deshalb sehr schnelle, trotzdem aber genügend große Speicher,
- 30 - ermöglichen nicht die freie Wahl der Phasenlage jedes Obertones gegenüber dem Grundton,
- und lassen, falls nicht die erforderlichen sehr schnellen Speicher außerdem s e h r groß gewählt werden, keine Abhängigkeit der Klangfarbe der Töne von der Tonhöhe und damit, bei rein digitaler Ausführung, also ohne nachgeschaltete Filter, keine f e s t e n Formanten zu; diese sind aber zur Simulation einer ganzen Reihe von natürlichen Instrumenten unverzichtbar.
- 35

- Bei den bisher bekannten Verfahren zum Erzeugen mehrerer komplexer Töne aus Wellenformspeichern werden Momentanamplituden komplexer Töne digital gespeichert, die im Zeitmultiplexverfahren in jeweils (möglichst) äquidistanten, aber für jede Tonhöhe verschiedenen, Zeitabständen ausgelesen und in ein analoges Tonsignal umgewandelt werden. Dabei nicht vorgesehen sind jedoch
- eine Abhängigkeit der Klangfarbe der Töne von der Tonhöhe, mit anderen Worten je eine Wellenform für jede Tonhöhe, zur Erzeugung fester Formanten,
 - und eine praktikable, speicherplatzsparende Möglichkeit zum wirklich stetigen Überblenden von einem Klangspektrum eines Tones zu einem anderen Klangspektrum, d.h. einer Änderung des Klangspektrums von Schwingung zu Schwingung.

Ferner ist bisher keine Lehre bekannt, die wirklich die Aufgabe löst, alle Wellenformen in einem einzigen Speicher, eventuell dem Arbeitsspeicher eines Kleinrechners, unterzubringen, dabei aber Zugriffskonflikte beim quasi-gleichzeitigen Zugriff mehrerer Tonkanäle zu diesem Speicher mit Sicherheit zu vermeiden.

- Zusammenfassend läßt sich also feststellen, daß bisher die Aufgabe nicht bzw. nicht zufriedenstellend gelöst ist, ein weitestgehend digital aufgebautes elektronisches Musikinstrument mit allen bisher bekannten und mit einer Reihe von für solche Geräte neuartigen funktionellen Eigenschaften in sehr kompakter Bauweise, das heißt u.a.
- mit einer minimalen Anzahl von Speichern,
 - und, außer
 - einem oder gegebenenfalls (zur Erzielung eines Stereoklangs) zweier Digital-Analog-Wandler und eventuell einem bzw. zwei Glättungsfiltern auf der Ausgangsseite
 - sowie, bei Verwendung von analog wirkenden Musiktasten, einem Analog-Multiplexer und einem Analog-Digital-Wandler auf der Eingangsseite,
- ohne weitere Analogbausteine zur Klangbeeinflussung zu

entwerfen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein digital aufgebautes, durch einen Kleinrechner in Echtzeit gesteuertes elektronisches Musikinstrument mit analog wirkenden Musiktasten zu konzipieren, das

5 - einerseits kompakt und damit kostensparend aufgebaut ist,

- andererseits aber neben allen bisher bekannten funktionellen Eigenschaften digitaler elektronischer Musikinstrumente eine Reihe von neuartigen, weiter unten beschriebenen funktionellen Eigenschaften hat.

10

Diese Aufgabe wird durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 aufgeführten Eigenschaften gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis 10 beschrieben.

15

Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand der folgenden Abbildungen erläutert:

- 20 Fig. 1: Blockschaltbild eines Durchführungsbeispiels
Fig. 2: Bildung des Musiktastenwertzähler-Stopsignals
Fig. 3: Zeitverhältnisse und Spannungsverlauf innerhalb eines Musiktasten-Abfrageschrittes
Fig. 4: Grundzähler und Musiktasten-Schreibadreßzähler
25 Fig. 5: Beispiel für die Bildung eines Tonsignals
Fig. 6: Blockschaltbild des Musiksignalerzeugungswerkes
Fig. 7: Gliederung des Tonkanalspeichers
Fig. 8: Aufbau einer Tonsignalfolge
Fig. 9: Anschlüsse eines Feldes des Tonkanalspeichers
30 Fig. 10: Grundzähler, Musiktasten-Schreibadreßzähler und Tonkanal-Schrittzähler
Fig. 11: Musikwerk-Rechenteil und Digital-Analog-Wandler
Fig. 12: Nachladeschaltungen und Nachladesignale
Fig. 13: Grundzähler, Musiktasten-Schreibadreßzähler, Tonkanal-Schrittzähler und Nachladeschrittzähler
35 Fig. 14: Zuordnung der Nachladephasen
Fig. 15: Nachladefelder und Nachladesteuerfelder und -register

Fig.16: Beispiel einer Eins-zu-Eins-Zuordnung von Musik-
tasten zu Tonkanälen

Fig.17: Beispiel einer Eins-zu-Zwei-Zuordnung sowie einer
Zwei-zu-Eins-Zuordnung von Musiktasten zu Tonka-
nälen.

5

Das Gesamtverfahren und damit auch das Gesamtgerät besteht
aus Hardware und Software. Ein Musikerzeugungsprogramm be-
findet sich vor Beginn des Spielens im Arbeitsspeicher
10 eines Kleinrechners (siehe Fig. 1); je nach Ausgestaltung
des Verfahrens kann es

- mittels manueller Eingabe über Tasten und Schalter,
evtl. auch über die Musiktasten,
 - aus einem Festspeicher (ROM, EPROM),
 - 15 - von einem Magnetband, einer Magnetkassette,
 - von einer Magnetplatte (Floppy disk),
 - mittels Eingabe über Bildschirm oder Fernseher,
 - oder mittels noch anderer Methoden
- oder durch eine Kombination zweier oder mehrerer solcher
20 Methoden, die alle nicht Gegenstand der Erfindung sind,
in den Arbeitsspeicher gebracht worden sein. Es ist auch
denkbar, daß während des Spielens Programmteile z.B. von
einer Magnetplatte nachgeladen werden.

25 Wie aus Fig. 1 erkennbar, steht der Kleinrechner (Mikro-
prozessor) im Zentrum des Geräts. Taktgenerator und Grund-
zähler arbeiten autonom, sie dienen zur Synchronisierung
aller Teile, sind jedoch von den anderen Teilen her nicht
beeinflußbar. Der Taktgenerator kann quartzgesteuert oder
30 auch, zur Anpassung an die Stimmlage anderer Musikinstru-
mente, innerhalb enger Grenzen in seiner Frequenz abstimm-
bar sein.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, haben das Musiktastenwerk
35 und das Musiksignalerzeugungswerk keine direkte Verbindung
miteinander, sondern nur über den Kleinrechner. Der Infor-
mationsfluß im Gerät geht im wesentlichen

- A) von den Musiktasten zu einem dem Musiktastenwerk zuge-
ordneten Bereich des Arbeitsspeichers des Kleinrech-

- ners, und zwar im wesentlichen per Hardware innerhalb
des Musiktastenwerks, am Ende des Weges per Programm,
B) von diesem dem Musiktastenwerk zugeordneten Bereich des
Arbeitsspeichers in einen dem Musiksinalerzeugungswerk
5 zugeordneten Bereich des Arbeitsspeichers, und zwar
innerhalb des Kleinrechners und im wesentlichen per
Software, d.h. vom Musikerzeugungsprogramm durchge-
führt (dies heißt, daß die Hardware des Kleinrechners
im wesentlichen neutral ist, also auch für andere Auf-
10 gaben verwendbar ist),
C) von diesem dem Musiksinalerzeugungswerk zugeordneten
Bereich des Arbeitsspeichers in das Musiksinalerzeu-
gungswerk und weiter zu Verstärker(n) und z.B. Laut-
sprecher(n) oder auch Kopfhörern, und zwar am Anfang
15 des Weges per Programm, dann aber im wesentlichen per
Hardware.

Bei einer Übersichtsbetrachtung des gesamten Systems müs-
sen die Informationsflüsse A, B und C gemeinsam besprochen
20 werden. Dabei ist zu beachten, daß zwar die Hardware (also
A und C) einigermaßen erschöpfend behandelt werden kann,
daß jedoch die Software (also B, das Musikerzeugungspro-
gramm) praktisch unendlich viele Möglichkeiten der Programm-
gestaltung bietet; Grenzen setzen dabei lediglich der ver-
25 fügbare Arbeitsspeicherplatz und vor allem die erforderli-
che Programmlaufzeit. Das Gerät muß ja im sogenannten
Echtzeitbetrieb arbeiten, d.h. das Musikerzeugungsprogramm
muß auf die Betätigung der Musiktasten und auch auf die
Vollendung jeder Tonschwingung (siehe weiter unten!) in
30 unmerkbar kurzer Zeit, d.h. einigen Millisekunden, rea-
gieren. Die Hardware des Geräts ist jedoch so konzipiert,
daß im Falle der Programmüberlastung, also falls das Musik-
erzeugungsprogramm nicht mehr nachkommt, in der Regel nicht
die Tonreinheit darunter leidet, sondern nur Anfang und/
35 oder Ende der Töne etwas verschoben werden bzw. schlimm-
stenfalls ein Ton gar nicht erscheint. Ob bzw. unter wel-
chen Umständen ein solcher Fall vorkommen kann, muß die
Erfahrung zeigen.

Nach dieser globalen Übersicht über das Verfahren bzw. die Funktionsweise des Geräts werden nun im folgenden die wichtigsten neuartigen *E i g e n s c h a f t e n* des Verfahrens bzw. Geräts herausgestellt, und zwar sowohl funktionelle, dem Benutzer zugängliche als auch strukturelle, den inneren Aufbau betreffende Eigenschaften.

- Die für den Benutzer offensichtlichste neuartige funktionelle Eigenschaft des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die analoge Funktion der Musiktasten. In der folgenden Beschreibung wird davon ausgegangen, daß die unabhängige Veränderliche die *L a g e* der Musiktaste ist; es ist aber durchaus auch denkbar, als unabhängige Veränderliche die *K r a f t* zu verwenden, mit der der Benutzer auf eine praktisch unbewegliche Musiktaste drückt. Die abhängige, für den Kleinrechner bestimmte Veränderliche ist letztlich eine Zahl, die bei nicht gedrückter Musiktaste den Wert 0 und bei völlig gedrückter Musiktaste den Höchstwert hat.
- Bereits diese funktionelle Eigenschaft des Musikinstruments erfordert
- a) die laufende Übertragung eines die Lage jeder Musiktaste beschreibenden Digitalwerts an den Kleinrechner, und
 - b) die laufende Beeinflussung der Lautstärke jedes im Musiksinalerzeugungswerk gebildeten Tones durch den Kleinrechner,
- also die Tätigkeit des Kleinrechners *i n E c h t z e i t*, d.h. *w ä h r e n d* des Spielens und nicht nur *v o r* dem Spielen. Der Kleinrechner kann diese Tätigkeiten für jede gedrückte Musiktaste und jeden erklingenden Ton im Zeiteilungsverfahren (*time sharing*) durchführen, wobei für die Musiktastenabfrage ein Zeitraster von einigen wenigen Millisekunden und für die Tonbeeinflussung der Zeitraster jeweils einer vollen Schwingung ausreichend sind.

Bei der Simulation von Musikinstrumenten mit Anschlagcharakter wie z.B. dem Klavier ist es notwendig und per Programm auch möglich, die *G e s c h w i n d i g k e i t*

zu ermitteln, mit der eine Musiktaste niedergedrückt wird, und zwar entweder aus der Zeitdauer zwischen dem Durchlaufen zweier vorgegebener Tastenlagen, ganz ähnlich der Methode bei bisherigen elektronischen Musikinstrumenten mittels Ruhe- und Arbeitskontakt, oder aber aus der Änderung der abhängigen Veränderlichen zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Abtastungen. Der zeitliche Verlauf der Lautstärken-Hüllkurve kann per Programm, z.B. durch eine Tabelle im Arbeitsspeicher, vorgegeben werden, und zwar
10 evtl. getrennt und verschieden für jede Tonhöhe.

Die für viele Musikinstrumente typische Veränderung der spektralen Zusammensetzung eines Tones während seiner "Lebensdauer" kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren
15 naturgetreuer bzw., falls künstliche Klangbilder gewünscht werden, in vielfältigerer Weise nachgebildet werden als mit bisher bekannten Verfahren, und zwar dadurch, daß einer gedrückten Musiktaste vorübergehend per Programm (siehe Fig. 17) z w e i Tonkanäle und damit zwei Tonsignalfolgen gleichzeitig zugeordnet werden, wobei aber die Lautstärke für den einen Tonkanal stetig vermindert und die Lautstärke für den anderen Tonkanal stetig erhöht wird. Dadurch ist eine praktisch stetige Veränderung des Klangspektrums jedes Tones von Schwingung zu Schwingung
25 möglich, ohne daß aber (wie in /2/) alle gewünschten Zwischenspektren vorberechnet und als Tonsignalfolge im Arbeitsspeicher hinterlegt werden müßten. Bei der Programmierung eines solchen Übergangs muß auf die Übereinstimmung der Phasenlage des Grundtones und aller Obertöne
30 in den beiden Tonsignalfolgen geachtet werden, damit keine unbeabsichtigten Auslöschungen bzw. Schwebungen erfolgen; die Schwingungslänge der Grundschiwingung in beiden Tonsignalfolgen muß exakt identisch programmiert werden. Während der Lebensdauer eines Tones sind mehrere solcher
35 Überblendungen möglich.

Jeder Musiktaste des erfindungsgemäßen Instruments kann also per Programm eine beliebige Tonsignalfolge und damit auch eine beliebige Grundfrequenz, ein

beliebiges Ankling- und Ausklingverhalten sowie, zur Simulation von Instrumenten mit Anschlagcharakter, eine beliebige Hüllkurve der Lautstärke und ein beliebiger Zeitverlauf des Obertonspektrums zugewiesen werden. Zweckmäßigerweise sollten die Musiktasten aber konstruktiv und funktionell in Gruppen gegliedert werden, z.B.

- Gruppe A: 30 Musiktasten für die linke Hand,
- Gruppe B: 30 Musiktasten für die rechte Hand,
- Gruppen C, D, E und F: Je 1 Musiktaste für einen Daumen oder einen Fuß.

Für ein bestimmtes Spiel könnte der Anwender zum Beispiel

- der Musiktastengruppe A Posaunenklang,
- der Musiktastengruppe B Trompetenklang,
- den Musiktastengruppen C bis F den Klang von

4 verschiedenen Trommeln oder dergleichen zuordnen. Das Zuordnen erfolgt durch Laden des Arbeitsspeichers des Kleinrechners aus einem Hintergrundspeicher, z.B. einer Magnetbandkassette oder einem ROM. Eine Ausführung des Verfahrens, bei der der Anwender selbst entsprechende Musikprogramme entwerfen und speichern können soll, benötigt selbstverständlich vom Anwender beschreibbare Hintergrundspeicher, z.B. ein EPROM oder eine Magnetbandkassette.

Weil jede Tonsignalfolge die Tonfrequenzinformation mit sich trägt (siehe weiter unten!), muß

- für jedes aktuell zu simulierende Instrument,
- und zwar für jede vorgesehene Tonhöhe

eine eigene Tonsignalfolge bzw., falls die spektrale Zusammensetzung des Tones sich während seiner Lebensdauer ändern soll, mehrere Tonsignalfolgen im Arbeitsspeicher stehen. Der Nachteil des dafür erforderlichen größeren Arbeitsspeicherbedarfs ist, in Anbetracht der Preisentwicklung für Speicherbausteine, klein; dem stehen aber folgende große Kosten- und Funktionsvorteile gegenüber:

- Die den Momentanamplitudenwerten zugeordneten Wirkungsdauerwerte (siehe Fig. 8) können für alle Tonsignalfolgen so klein gewählt werden, daß die durch die zeitliche Rasterung bedingte Störfrequenz für alle Tonhöhen oberhalb der Hörfrequenz liegt und folglich das

gesamte Musiksignal digital erzeugt werden kann und erst danach durch einen Digital-Analog-Wandler in analoge Form umgewandelt wird und durch ein einziges Glättungsfilter geglättet werden braucht.

- 5 - Der Kleinrechner kann
- vor dem Erklingen eines Tones
 - oder/und während des Erklingens eines Tones, also in Echtzeit,
- 10 durch (in der Regel leichte) Veränderung von Wirkungsdauerwerten im Arbeitsspeicher die Tonhöhe modifizieren. Diese Möglichkeit kann durch entsprechende Programmierung u.a. für folgende Spielarten benutzt werden:
- Erzeugung r e i n e r Akkorde auch bei ursprünglich temperierter Stimmung,
 - 15 - Erzeugung eines T r e m o l o s dadurch, daß (siehe Fig. 17) z w e i nahe beieinanderliegende Musiktasten e i n e m Tonkanal zugeordnet werden, wobei der Kleinrechner die Tonhöhe danach berechnet, wie stark jede der beiden Musiktasten gedrückt ist,
 - 20 - Erzeugung von quasi-zufälligen Tonhöhenschwankungen und eventuell Schwebungen, um ein natürlicheres Klangbild zu erreichen.
 - F e s t e Formanten können d i r e k t in den Tonsignalfolgen berücksichtigt werden (mitlaufende natürlich
 - 25 auch), so daß entsprechende Filter entbehrlich sind.

Wie bereits beschrieben, gehören zu den Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens

- a) die Verwendung nur e i n e s Speichers für a l l e Tonsignalfolgen (= Wellenformen),
- 30 b) die Zuordnung je eines ganzzahligen W i r k u n g s - d a u e r wertes zu jedem Momentanamplitudenwert jeder Tonsignalfolge.

Diese beiden Eigenschaften a) und b) erfordern weitere

35 Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens; diese werden im folgenden erläutert.

Die Eigenschaft b) führt dazu, daß die Tonsignalfolgen verschiedene Länge im Speicher haben können. Dies wiederum

hat zwei Konsequenzen:

- Entweder muß jede Tonsignalfolge mit einer Längenangabe versehen sein, oder ihr Ende muß markiert sein.

Mit dem Ziel eines möglichst einfachen Schaltungsaufbaus

- 5 ist die Methode der Endemarkierung gewählt worden.
- Am Ende jeder Tonsignalfolge im Speicher muß ein Zeiger (= Sprungadresse) auf den Anfang derselben oder auch einer anderen Tonsignalfolge hinterlegt sein.

- 10 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird als Zeiger eine absolute, vollständige Sprungadresse verwendet, denn nur so ist, nach dem Durchlaufen einer Tonsignalfolge, anstelle des normalerweise vorzusehenden Rücksprungs auf den Anfang derselben Tonsignalfolge ein
- 15 Sprung auf den Anfang einer anderen Tonsignalfolge, zum Beispiel zum Zwecke des Überblendens auf ein anderes Klangbild, möglich.

- Die Einheit der Wirkungsdauer eines Tonsignal-Momentanwertes muß so klein sein, daß die durch eine Erhöhung bzw.
- 20 Verminderung der Gesamtdauer eines Grundtones um genau eine Wirkungsdauereinheit verursachte Tonfrequenzänderung unmerkbar klein ist. Andererseits müssen während jeder Wirkungsdauereinheit alle Tonkanäle nacheinander im Zeitmultiplex-
- 25 betrieb bearbeitet werden können. Sie wird deshalb zu etwa $2\mu\text{s}$ festgelegt. Die Wirkungsdauereinheit wird auch als 'Tonkanalzyklus' bezeichnet, weil in dieser Zeit alle Tonkanäle nacheinander genau einmal bearbeitet werden.

- 30 Im Gegensatz zu den bekannten Verfahren mit in erster Näherung äquidistanten Momentanamplitudenwerten und "Bruchteilzählung", bei denen die jeweilige gewünschte Tonfrequenz prinzipiell nur im statistischen Mittel mehrerer Schwingungen erreicht werden kann und bei denen unerwünschte Nebeneffekte auftreten können, hält bei dem erfindungsgemäßen
- 35 Prinzip dank der sehr kleinen Wirkungsdauereinheit jede Grundschiwingung für sich allein die erforderliche Periodenzeit sehr genau ein.

Die Verwendung nur e i n e s Speichers, des Arbeitsspeichers des Kleinrechners, für a l l e Tonsignalfolgen hat vor allem zur Konsequenz, daß

- sowohl die aktuellen Werte aller Tonkanäle,
 - 5 - als auch die jeweils nächsten Werte aller Tonkanäle,
 - als auch einige weitere Daten
- in einem genügend schnellen Zwischenspeicher gehalten werden müssen; dieser Zwischenspeicher wird (siehe Fig. 6) als 'Tonkanalspeicher' bezeichnet. Als aktuelle Werte für
- 10 jeden Tonkanal müssen dabei die folgenden Werte gehalten werden:
- ein Momentanamplitudenwert bzw. Momentanamplituden-Änderungswert,
 - ein Lautstärkewert, und
 - 15 - ein Wirkungsdauerwert.

Der Tonkanalspeicher ist ein Umlaufspeicher. Seine Gliederung ist in Fig. 7 angegeben; jedes Feld enthält einen der oben angegebenen Werte. Innerhalb eines Tonkanalzyklus

20 (= Wirkungsdauereinheit) werden der Reihe nach alle Tonkanäle in je einem 'Tonkanalschritt' bearbeitet, d.h. es wird jeweils von dem aktuellen Wirkungsdauerwert 1 abgezogen, falls nicht der betreffende Wirkungsdauerwert bereits zu 0 geworden, d.h. falls nicht die Wirkungsdauer

25 eines Momentanamplitudenwertes einer Tonsignalfolge abgelaufen ist.

Wenn die Wirkungsdauer eines Momentanamplitudenwertes einer Tonsignalfolge abgelaufen ist, muß innerhalb einer

30 Wirkungsdauereinheit der nächste Momentanamplitudenwert zusammen mit seinem Wirkungsdauerwert verfügbar sein. Im Extremfall kann dies innerhalb einer Wirkungsdauereinheit für alle Tonkanäle gleichzeitig zutreffen. Weil aber alle Tonsignalfolgen in einem einzigen Speicher sind, ist ein

35 direktes Nachladen aus diesem Speicher nicht möglich, weil dies die obige Forderung nicht erfüllen könnte. Folglich muß für jeden Tonkanal der jeweils n ä c h s t e Momentanamplitudenwert zusammen mit seinem Wirkungsdauerwert und dem Signalfolgenende-Markierungsbit (siehe Fig. 8) recht-

zeitig aus dem Arbeitsspeicher in den Tonkanalspeicher übertragen werden, aus dem er (siehe Fig. 12) im Bedarfsfall sehr schnell abrufbar ist. Auch für die Zwischenspeicherung der laufenden Arbeitsspeicheradresse und einiger
5 Steuerbits wird der Tonkanalspeicher benutzt, so daß sich ein recht regelmäßiger Aufbau ergibt.

Die Aufgabe des Übertragens des jeweils nächsten Wortes einer Tonsignalfolge (siehe Fig. 8) in den Tonkanalspeicher wird erfindungsgemäß so gelöst, daß
10 - einerseits die Schaltung möglichst einfach ist,
- andererseits dieses Nachladen auch im denkbaren Extremfall, nämlich wenn in einem Tonkanalzyklus für alle Tonkanäle das Ende der ihnen zugewiesenen Tonsignalfolgen
15 erreicht würde, mit Sicherheit innerhalb einer bestimmten maximalen Zeit durchgeführt wird.

Dabei wird berücksichtigt,

- daß in diesem Falle für jeden Tonkanal z w e i Arbeitsspeicher-Lesezyklen nacheinander ausgeführt werden müssen, nämlich
20 - das Lesen der Sprungadresse (= des Zeigers),
- und das Lesen des ersten Wortes derjenigen Tonsignalfolge, auf die dieser Zeiger weist,
- und daß außerdem noch ein Auffrisch-Speicherzyklus notwendig sein könnte.
25

Kernstücke der erfindungsgemäßen Lösung dieser Aufgabe sind

- ein Grundzähler (siehe Fig. 4, 10 und 13) zur Synchronisation,
30 - eine aus 3 Stufen A, B und C bestehende "Pipeline" (siehe Fig. 14 und 15), deren Stufe B mit dem Arbeitsspeicher verbunden ist,
- und zugehörige Steuerschaltungen (siehe Fig. 15).

Das erfindungsgemäße Prinzip ist in den Ansprüchen 6 und 7
35 niedergelegt.

Der für das erfindungsgemäße Verfahren erforderliche Kleinrechner ist hardwaremäßig an zwei verschiedenen Stellen mit dem Rest des Geräts verbunden:

- 5 - Das Musiksinalerzeugungswerk hat eine direkte Verbindung zum Arbeitsspeicher und kann a u t o n o m Worte aus dem Arbeitsspeicher lesen. Die erforderliche Nahtstellenstruktur sowie die erforderlichen Eigenschaften auf beiden Seiten dieser Nahtstelle sind im Anspruch 8 beschrieben.
- 10 - Musiksinalerzeugungswerk und Musiktastenwerk haben Verbindungen zum Kleinrechner, auf denen p e r P r o - g r a m m , also initiiert durch den Kleinrechner, Daten zwischen diesen beiden Werken und dem Kleinrechner transportiert werden können. Die erforderliche Nahtstellenstruktur sowie die erforderlichen Eigenschaften auf bei-
- 15 den Seiten dieser Nahtstellen sind im Anspruch 9, a bis q, beschrieben.

Der Kleinrechner kann im Prinzip recht einfach aufgebaut sein - Addition und Subtraktion, eventuell Multiplikation ganzer Zahlen, Verschiebefehle und logische Befehle sind als Rechenbefehle ausreichend. Er sollte aber einige Eigenschaften haben, die für die vorgesehenen Aufgaben eine hohe Rechengeschwindigkeit gewährleisten; diese Eigenschaften sind in Anspruch 9, r, s und t, beschrieben. 9r gewährleistet, daß das Musikerzeugungsprogramm dann recht schnell auf tonkanalspezifische Daten zugreifen kann, wenn diese Daten, nach Tonkanälen zusammengefaßt, für jeden Tonkanal in der gleichen Ordnungsreihenfolge im Arbeitsspeicher ab-

25 gelegt sind. 9s ermöglicht die rationelle Realisierung von Bitbehandlungsbefehlen. 9t vereinfacht die Hardwarestruktur und ermöglicht einen wesentlich schnelleren Befehlsablauf.

Nach der Darlegung der gegenüber bisher bekannten Verfahren neuen Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens werden

35 im folgenden noch einige Zusammenhänge erläutert und für ein als besonders vorteilhaft erachtetes Durchführungsbeispiel einige Zahlenwerte zur Realisierung genannt. Dabei wird von einer Taktfrequenz von 16 MHz und folglich von

einem Zeitraster-Grundschrift von 62,5 ns ausgegangen. Als Grundzähler werde ein Binärzähler mit 16 Bitstellen verwendet.

- 5 Im Ausführungsbeispiel sind 64 Musiktasten und 16 Tonkanäle vorgesehen. Das letztere bedeutet, daß zu jedem Zeitpunkt maximal 16 Töne gleichzeitig erklingen können. Im Arbeitsspeicher des Kleinrechners wird man in der Regel jeder Musiktaste eine, unter Umständen aber auch mehrere Tonsignalfolgen zuordnen. Die tatsächliche Kopplung einer Musiktaste mit einer oder mehreren Tonsignalfolgen geschieht indirekt, über einen bzw. mehrere der 16 Tonkanäle des Musiksignalerzeugungswerkes und durch das Musikerzeugungsprogramm gesteuert bzw. durchgeführt. Ein zur Kopplung verwendeter Tonkanal wird bei Beginn der Betätigung einer Musiktaste durch das Musikerzeugungsprogramm festgelegt, und zwar aus dem Reservoir der zu diesem aktuellen Zeitpunkt unbeschäftigten Tonkanäle. Diese indirekte Kopplung der Musiktasten mit den Tonsignalfolgen über das Programm des Kleinrechners ist eine wesentliche Voraussetzung für viele der neuartigen funktionellen Eigenschaften des Geräts.

Der Nachteil dieser indirekten Kopplung liegt allerdings darin, daß das Musikerzeugungsprogramm während einer gewissen Zeitspanne (z.B. im Mittel für 100 μ s) jeweils nur für e i n e Musiktaste bzw. für e i n e n Tonkanal tätig sein kann. Das Gerät ist deshalb so konzipiert, daß sich das Musikerzeugungsprogramm in zyklischer Wiederholung jeweils einer betätigten Musiktaste nach der anderen und einem beschäftigten Tonkanal nach dem anderen widmen kann, wobei jede betätigte Musiktaste in der Regel etwa aller 4 ms bearbeitet wird. Falls sich dies als nicht ausreichend erweisen sollte, sind, bei anderer Lage des Musiktasten-Schreibadreßzählers (Fig. 4), auch 2 ms Zyklus möglich.

35

Ein Tonkanal des Musiksignalerzeugungswerkes wird einer Tonsignalfolge hardwaremäßig dadurch zugeordnet, daß ihm das Musikerzeugungsprogramm die Anfangsadresse dieser Tonsignalfolge übermittelt. Er beginnt seine Tätigkeit aber

- erst, sobald ihm das Musikerzeugungsprogramm außerdem einen Lautstärkewert ungleich Null übermittelt hat. Danach arbeitet er, in Zusammenarbeit mit dem Arbeitsspeicher, völlig autonom; das Musikerzeugungsprogramm kann ihm aber
5 zu beliebigen Zeitpunkten neue Lautstärkewerte übermitteln, und es kann auch die Tonsignalfolge (z.B. bezüglich deren Tonhöhe) modifizieren. Der Tonkanal teilt dem Kleinrechner das Erreichen des Endes seiner Tonsignalfolge jedesmal mit, damit das Musikerzeugungsprogramm darauf reagieren kann.
- 10 Voraussetzung für ein vernünftiges Arbeiten eines Tonkanals ist u.a., daß am Ende jeder Tonsignalfolge eine Sprungadresse, in der Regel auf den Anfang derselben Tonsignalfolge, steht (siehe Fig. 8).
- 15 Ist der Wirkungsdauerwert einer Tonsignalfolge N (N ist ganzzahlig!), so beträgt die Wirkungsdauer $(N + 1)$ mal Tonkanal-Zykluszeit. Im Ausführungsbeispiel ist die Tonkanal-Zykluszeit $2\mu\text{s}$. Wünscht man also z.B. einen Ton mit der Grundfrequenz 500 Hz, und soll die Tonsignalfolge genau
20 eine Grundschiwingung (mit beliebigen Obertönen) erzeugen, so muß folglich die Summe der jeweils um 1 erhöhten Wirkungsdauerwerte aller Worte dieser Tonsignalfolge genau 1000 sein.
- 25 Bei der Festlegung jeder Tonsignalfolge muß beachtet werden, daß eine weitere Voraussetzung für das richtige Arbeiten des Geräts darin liegt, daß (bei 16 Tonkanälen) jeder eingetragene Wirkungsdauerwert mindestens 18 sein muß, da andernfalls das rechtzeitige Nachladen der Tonkanäle aus dem Arbeitsspeicher nicht mehr gewährleistet wäre.
30

Wenn, wie im betrachteten Ausführungsbeispiel, ein Tonkanalzyklus $2\mu\text{s}$ beträgt, läßt sich jeder beliebige Grundton mit einer Genauigkeit von $\pm 1\mu\text{s}$ erzeugen; bei 1000 Hz
35 ist dies 0,1 % der Grundfrequenz und ungefähr $1/60$ eines Halbtonabstandes, also genügend genau. Die kleinstzulässige Wirkungsdauer eines Momentanamplitudenwertes beträgt dabei $38\mu\text{s}$; die entsprechende Tonfrequenz liegt oberhalb des Hörbereichs.

Wird ein Tonsignal für eine Grundschiwingung von 50 Hz in Wirkungsauern pro Momentanamplitudenwert von $40\mu\text{s}$ programmiert, so sind für die Tonsignalfolge 500 Worte erforderlich; für eine aus 12 Halbtönen bestehende Oktave zwischen 50 Hz und 100 Hz sind rund 12 mal $(500 + 250)/2$ Worte = 4500 Worte erforderlich; für die nächste Oktave 2250 Worte usw. Für die Tonsignalfolgen aller Oktaven zusammengekommen sind also weniger als 9000 Worte erforderlich, wenn pro Halbton genau ein Klangspektrum vorgesehen wird, bei mehr als einer Tonsignalfolge pro Halbton also entsprechend mehr. Allerdings wird man im Durchschnitt sicherlich größere Wirkungsauern als $40\mu\text{s}$ verwenden können und folglich dann auch weniger Arbeitsspeicherplatz benötigen.

15

Wird an den Ausgang des digitalen Teils des Musiksignal-erzeugungswerkes ein Digital-Analog-Wandler mit Spannungsausgang angeschlossen, dann wirkt jeder Momentanwert direkt als Momentan z u s t a n d s wert. Wird dagegen an den Ausgang des digitalen Teils des Musiksignalerzeugungswerkes ein auf einen Integrator speisender Digital-Analog-Wandler mit Stromausgang angeschlossen, dann wirkt jeder Momentanwert als Momentan ä n d e r u n g s wert.

25 Bei Verwendung von Momentanzustandswerten lassen sich beliebig steile Flanken eines Tonsignals programmieren; der Klang ist dann reicher an Obertönen. Bei Verwendung von Momentanänderungswerten ist, bei gegebener Bitzahl des digitalen Musiksignals, die maximal erreichbare Momentanzustandsamplitude um so höher, je tiefer der Ton ist, so daß sich für alle Tonhöhen etwa dieselbe maximale Gesamt-Lautstärke programmieren läßt.

Digital-Analog-Wandler mit Stromausgang haben in der Regel nur e i n e Stromrichtungspolarität. Das digitale Musiksignal muß deshalb in diesem Falle aus einer ganzen Zahl in eine ganze positive Zahl umgewandelt werden (siehe Anspruch 5 b und c).

Bei Verwendung von z w e i Musiksignalregistern gemäß Anspruch 5 b wird man zweckmäßigerweise im Programm eine feste Zuordnung jeder Gruppe von Musiktasten zu einem Lautsprecher bzw. Kopfhörer vorsehen. Es sind aber natürlich auch andere, eventuell sogar langsam veränderliche Zuordnungen programmierbar, z.B. "wandernde" Instrumente.

Im Musiksignalerzeugungswerk ist per Hardware dafür gesorgt, daß jeder neue Lautstärkewert erst beim nächsten Beginn des Abarbeitens einer Tonsignalfolge wirksam wird. Um zu vermeiden, daß Lautstärkesprünge hörbar werden, ist es deshalb empfehlenswert, bei Verwendung von Momentanzustandswerten jede Tonsignalfolge mit der Amplitude "näherungsweise Null" beginnen und enden zu lassen. Bei Verwendung von Momentanänderungswerten dagegen können Lautstärkesprünge sowieso nicht vorkommen.

Bei hohen Anforderungen an die Musikgüte sollte ein Digital-Analog-Wandler von 16 bit Breite gewählt werden. Das Musiksignalregister könnte

- entweder gleich breit
- oder um einige (wenige) Bitstellen breiter

gewählt werden. Im ersten Falle liefert der Digital-Analog-Wandler ein genaues Ergebnis, aber für den Momentanamplitudenwert bzw. -Änderungswert und für den Lautstärkewert stehen zusammen nur 12 bit zur Verfügung, weil die restlichen 4 bit für die Summation der 16 Tonkanäle erforderlich sind. Im zweiten Falle lassen sich Momentanamplitudenwert und Lautstärkewert feinstufiger ausdrücken, aber bei der Umwandlung im Digital-Analog-Wandler können die niedrigstwertigen Bitstellen des Musiksignalregisters nicht berücksichtigt werden.

Wahrscheinlich ist die zweite Methode insgesamt günstiger. Es könnten zum Beispiel für die Momentanamplitudenwerte bzw. -Änderungswerte (einschließlich Vorzeichen) und für die Lautstärkewerte je 8 bit vorgesehen werden; das Musiksignalregister müßte dann 20 bit breit sein. Bei 16 bit Wortbreite des Arbeitsspeichers blieben dann (siehe Fig. 8)

für die Angabe der Wirkungsdauer 7 bit übrig; bei einer Wirkungsdaureinheit von $2\mu\text{s}$ könnten dann also Wirkungsdauern bis zu etwa $250\mu\text{s}$ programmiert werden.

- 5 Der Arbeitsspeicher des Kleinrechners sollte 64 K Worte haben, damit für jede Tonhöhe mehrere Tonsignalfolgen mit verschiedenem Klangcharakter bzw. Klangspektrum untergebracht werden können. Als Wortbreite ist 16 bit zweckmäßig, dann ist Wortbreite gleich Adreßbreite.

10

- Der Kleinrechner sollte zweckmäßigerweise eine Gruppe von (beispielsweise 16) digital wirkenden Bedienungstasten enthalten, deren Bedeutung per Programm festgelegt wird. Damit könnte man, bei entsprechender Programmierung, zum Beispiel das Ausklingverhalten bzw. die Dämpfung der Töne bei Klaviersimulation während des Spielens verändern. Ganz allgemein könnten diese Bedienungstasten, falls gewünscht, jeweils paarweise mit der Funktion von Zugriegeln elektronischer Orgeln belegt werden, wobei der simulierte Zugriegel beim Drücken der einen Bedienungstaste als langsam hineingedrückt und beim Drücken der anderen Bedienungstaste als langsam herausgezogen betrachtet wird. Viele Effekte, für die bei den bekannten elektronischen Orgeln Zugriegel erforderlich sind, können allerdings bei dem erfindungsgemäßen Verfahren per Programm oder durch direkte Betätigung der Musiktasten erzielt werden.
- 15
20
25

- Bei der Bearbeitung des Musiktasten-Wertespeichers durch das Musikerzeugungsprogramm läuft die Leseadresse der Schreibadresse in schwankendem Abstand hinterher. Falls das Musikerzeugungsprogramm mit dem Abholen der Musiktastenwerte nicht nachkommt und dadurch die Leseadresse von der Schreibadresse überholt wird, geht in der Auswirkung das Ergebnis eines ganzen Musiktasten-Abfragezyklus im Musiktasten-Wertespeicher verloren.
- 30
35

Als Musiktastenabfragezyklus sind im Ausführungsbeispiel rund 4 ms vorgesehen. Werden in dieser Zeit von der Rechenkapazität des Kleinrechners z.B. 3 ms zur Bearbeitung der

Tonkanäle und 1 ms zur Bearbeitung der Musiktasten vorgesehen, so stehen bei maximal 10 gleichzeitig betätigten Musiktasten jeder dieser Musiktasten im Mittel $100/\mu\text{s}$ Rechnerzeit zur Verfügung; bei nicht allzu komplizierter
5 Berechnungsfunktion dürfte dies ausreichend sein. Allerdings muß bei solchen Abschätzungen der Rechenkapazität bedacht werden, daß ein Teil aller Arbeitsspeicherzyklen dem Kleinrechner zugunsten der Tonkanäle entzogen wird, abhängig vom mittleren Wirkungsdauerwert der Worte aller
10 aktiven Tonsignalfolgen.

Für die Länge des Musiktastenabfrageschrittes ergibt sich bei 64 Musiktasten und 4,096 ms Musiktastenabfragezyklus ein Wert von $64/\mu\text{s}$. Der Musiktastenwertzähler könnte dabei
15 eine Breite von 8 bit haben und mit einem Zähltakt von 125 ns betrieben werden. Möglicherweise ist es zweckmäßig, die Musiktastenwerte nicht direkt als Lautstärkewerte für das Musiksignalerzeugungswerk zu verwenden, sondern eine Kennlinienumformung mittels Zuordnungstabelle per Programm
20 vorzunehmen.

Nach dem Einschalten des Geräts haben alle Speicher, auch der Tonkanalspeicher, einen unbestimmten Inhalt. Vor dem Zuschalten von Verstärker(n) und Lautsprecher(n) bzw.
25 Kopfhörern muß u.a.

- zuerst rückgesetzt werden,
 - dann ein Anfangsprogramm in den Arbeitsspeicher geladen werden, zweckmäßigerweise aus einem ROM-Speicher,
 - dieses Programm die Lautstärkenachladefelder aller Ton-
 - 30 kanäle auf Null setzen,
 - dieses Programm mindestens einige, im Arbeitsspeicher verteilte Zellen mit der Markierung 'Tonsignalfolgende' versehen,
- worauf per Hardware innerhalb einer gewissen Zeit auch in
35 die Lautstärkefelder aller Tonkanäle der Wert Null übertragen wird und damit alle Tonkanäle in Ruhe sind. Zur Vermeidung von Knackgeräuschen dürfen Lautsprecher bzw. Kopfhörer erst danach zugeschaltet werden.

Das Musikerzeugungsprogramm hat im einzelnen u.a. folgende Aufgaben:

- Buchführung über die Tonkanäle (frei oder beschäftigt?),
- Abholen, Speichern und Auswerten des Inhalts des Musik-
- 5 tastenwert-Übergaberegisters laut Anspruch 2e,
- Festlegung der Zuordnung von
 - Musiktasten zu Tonkanälen und
 - Tonkanälen zu Tonsignalfolgen,
- Speicherung jeweils eines oder mehrerer Vergangenheits-
- 10 werte jeder gedrückten Musiktaste,
- Abholen und Auswerten des Inhalts des Musikwerkversor-
- gungs-Aufforderungsregister laut Anspruch 4k,
- Bildung der Lautstärkewerte für das Musiksignalerzeu-
- 15 gungswerk nach vorgegebener Funktion aus den Musikta-
- stenwerten und gegebenenfalls den letzten Lautstärke-
- werten,
- evtl. Veränderung von Tonsignalfolgen, z.B. bezüglich
- der Summe ihrer Wirkungsdauerwerte und damit bezüglich
- der Tonfrequenz des Grundtones.

20

Der im Musikerzeugungsprogramm mitgeführte Lautstärkewert für einen Tonkanal des Musiksignalerzeugungswerkes hat zweckmäßigerweise mehr Bitstellen als das Lautstärkefeld des Tonkanalspeichers. Dann läßt sich z.B. ein exponen-

25 tielles Ausklingen dadurch programmieren, daß der größere der beiden folgenden Werte den neuen Lautstärkewert für die nächste(n) Grundschiwingung(en) bildet:

- Der um einen bestimmten kleinen Teil seines eigenen Wertes verminderte bisherige Lautstärkewert,
- 30 - der nach vorgegebener Funktion aus der Musiktastenlage bzw. der Geschwindigkeit errechnete Lautstärkewert.

Je mehr Bitstellen der im Programm mitgeführte Lautstärke-

wert mehr hat als das Lautstärkefeld des Tonkanalspeichers, um so schwächer kann der exponentielle Abfall der Lautstärke beim Ausklingen gewählt werden, ohne daß man wegen Run-

35 dungsfehlern die Zahl 0 in den höchstwertigen, für das Lautstärkefeld des Tonkanalspeichers bestimmten Bitstellen gar nicht erreicht bzw. ohne daß man komplizierte Berechnungen programmieren müßte.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß das in der Erfindung beschriebene, frei programmierbare elektronische Musikinstrument u.a. folgendes ermöglicht:

- Festlegung beliebiger Tonleitern,
- 5 - Pro Ton individuelle Wahl und Veränderungsmöglichkeit der Lautstärke während der Lebensdauer des Tones, und zwar
 - entweder durch mehr oder weniger t i e f e s Hinunterdrücken der jeweiligen Musiktaste,
 - 10 - oder durch mehr oder weniger s c h n e l l e s Hinunterdrücken der jeweiligen Musiktaste,
 - oder gemischt,
 - oder auch, bei anderer Ausführung der Musiktasten, durch mehr oder weniger k r ä f t i g e s Berühren
 - 15 der jeweiligen Musiktaste,
- Vorwahl des Klangcharakters der Töne, und zwar auch für Gruppen von Musiktasten (z.B. für linke und rechte Hand) verschieden, durch direkte Festlegung des Tonsignalverlaufs für eine oder mehrere Grundschiwingung(en) mit allen Obertönen, d.h. für jeden "natürlichen" und für jeden denkbaren "künstlichen" Klangcharakter programmierbar, einschließlich fester Formanten,
- 20 - Freie Programmierbarkeit auch des Ankling- und Ausklingverhaltens, u.a. mittels stetiger Veränderung des Klangspektrums von Grundschiwingung zu Grundschiwingung,
- 25 - Möglichkeit der Programmierung quasi-zufälliger Schwankungen der Tonhöhe, der Lautstärke und/oder des Klangcharakters,
- Möglichkeit der Programmierung sowohl regelmäßiger
- 30 Schwebungen mit frei programmierbarer Frequenz und Stärke, als auch unregelmäßiger, quasi-zufälliger Schwebungen,
- Möglichkeit des gezielten stetigen Übergangs von einer
- 35 Tonhöhe zu einer benachbarten Tonhöhe, z.B. bei entsprechendem Musikerzeugungsprogramm ausgelöst durch gleichzeitiges, verschieden starkes Betätigen benachbarter Musiktasten,

- Automatische Umstellung von Akkorden von temperierter Stimmung auf reine Stimmung,
- Möglichkeit, zu einer ersten Stimme automatisch eine zweite und dritte Stimme hinzuzufügen, wobei das Frequenzverhältnis nach musikalischen, in ein Programm umgesetzten Regeln variabel sein kann,
- Möglichkeit, verschiedene Gruppen von Musiktasten mit verschiedenem Klangcharakter zwei verschiedenen Lautsprechern bzw. Kopfhörern zuzuordnen, so daß sich eine stereophonische Wirkung ergibt.

Das Gerät ist weitestgehend digital aufgebaut und kann somit sehr gut in einem oder einigen wenigen hochintegrierten Bausteinen realisiert werden.

Patentansprüche:

- 1) Verfahren zur elektronischen Erzeugung eines analogen
Musiksignals aus einem digitalen Musiksignal über ei-
nen Digital-Analog-Wandler zur Ausgabe über Verstär-
ker und angeschlossene Wiedergabevorrichtung, wobei
- das digitale Musiksignal im Zeitmultiplexverfahren
stückweise aus digitalen Tonsignal-Momentanwerten
durch deren zyklisch wiederholte Addition erzeugt
wird,
- jeder dieser Tonsignal-Momentanwerte im Zeitmulti-
plexverfahren durch digitale Multiplikation eines
Momentanamplitudenwertes mit einem Lautstärkewert
gebildet wird,
- dieser Erzeugungsvorgang für jedes Tonsignal durch
Musiktastenbetätigung ausgelöst wird,
- die Momentanamplitudenwerte in digitaler Form als
Tonsignalfolgen abgespeichert sind,
und
- ein Taktgenerator zur Synchronisierung dient,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
a) daß jede Musiktaste als Funktion ein a n a l o g e s
Signal abgibt, und daß die analogen Signale der Musik-
tasten d i g i t a l i s i e r t und zeitlich nach-
einander in zyklischer Wiederholung einem K l e i n -
r e c h n e r z u g e f ü h r t werden,
b) daß die Tonsignalfolgen für a l l e Töne in e i -
n e m gemeinsamen, durchgängig adressierten Tonsignal-
folgenspeicher hinterlegt sind, wobei dieser Tonsignal-
folgenspeicher der Arbeitsspeicher des Kleinrechners
ist,
c) daß jedem Momentanamplitudenwert einer Tonsignalfolge
im Arbeitsspeicher ein eigener, auf den Grundtakt-Zyk-
lus des erfindungsgemäßen Verfahrens bezogener ganz-
zahliger W i r k u n g s d a u e r wert zugeordnet
ist, so daß jede Tonsignalfolge
- im allgemeinen aus nicht-äquidistanten Momentanampli-
tudenwerten aufgebaut ist (siehe Fig. 5), und

- gleichzeitig auch die Ton f r e q u e n z information mit sich trägt,

d) daß der Kleinrechner in Abhängigkeit

- von den digitalisierten Musiktastensignalwerten,

5 - von seinem Programm und

- von Daten in seinem Arbeitsspeicher

i n E c h t z e i t , d.h. w ä h r e n d des Erklins-
gens der Töne, ein Musiksinalerzeugungswerk steuert
(siehe Fig. 1), und zwar dadurch,

10 - daß er jeder betätigten Musiktaste einen oder, falls
gewünscht, m e h r e r e Tonkanäle des Musiksinal-
erzeugungswerkes und j e d e m dieser Tonkanäle
eine in der Regel v e r s c h i e d e n e Tonsig-
nalfolge im Arbeitsspeicher zuweist,

15 - daß er jedem Tonkanal in kurzen Abständen einen, im
allgemeinen zeitlich veränderlichen, Lautstärkewert,
mit anderen Worten den zeitlichen Verlauf einer von
ihm in Echtzeit ermittelten Hüllkurve, übermittelt,

20 - daß er T o n s i g n a l f o l g e n im Arbeits-
speicher m o d i f i z i e r t , sofern dies er-
wünscht ist,

e) daß das Musiksinalerzeugungswerk, als schneller Sig-
nalprozessor, a u t o n o m , d.h. nicht vom Klein-
rechner direkt gesteuert, im Zeitmultiplexverfahren
25 für jeden Tonkanal

- das Zwischenspeichern des aktuellen und des nächst-
folgenden

- Momentanamplitudenwertes,

- Wirkungsdauerwertes, und

30 - Lautstärkewertes,

- und das rechtzeitige Abholen des nächstfolgenden

- Momentanamplitudenwertes und

- Wirkungsdauerwertes

aus dem Arbeitsspeicher des Kleinrechners

35 durchführt und an den Kleinrechner eine R ü c k m e l -
d u n g nach jeder Abarbeitung einer einem Tonkanal
zugewiesenen Tonsignalfolge gibt,

- f) daß im Musiksinalerzeugungswerk ein o d e r , in einer anderen Ausführung, zur stereophonischen Wirkung z w e i analoge Musiksignale aus (je) einem digitalen Musiksignal über (je) einen spannungsliefernden o d e r ,
5 in einer anderen Ausführung, über einen s t r o m - l i e f e r n d e n Digital-Analog-Wandler erzeugt wird bzw. werden, wobei im letzteren Falle die digitalen Musiksignalwerte statt als Zustandwerte als Ä n d e - r u n g s w e r t e wirken,
10 und
- g) daß die Abläufe durch einen vom zentralen Taktgenerator angetriebenen, als Grundzähler bezeichneten Binärzähler (siehe Fig. 1) synchronisiert werden.
- 15 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
a) daß die analogen Signale aller Musiktasten in einem Musiktastenwerk nacheinander in zyklischer Wiederholung über einen Analogmultiplexer durchgeschaltet und erst danach digitalisiert werden, wobei zur Ansteuerung der
20 Adreßeingänge des Analogmultiplexers ein als Musiktasten-Schreibadreßzähler wirkender Teil des Grundzählers dient (siehe Fig. 4),
b) daß die gemäß a) digitalisierten Musiktastensignalwerte im Musiktastenwerk in je eine jeder Musiktaste zugeordnete Zelle eines als Musiktasten-Wertespeicher verwendeten Schreib-Lese-Speichers eingeschrieben werden,
25 c) daß jede Zelle des Musiktasten-Wertespeichers in
- ein Feld a zur Aufnahme des aktuellen Musiktastenwertes,
30 - ein Feld b zur Speicherung eines Markierungsbits mit der Bedeutung 'der zuletzt weitergegebene Musiktastenwert war Null / war nicht Null',
- ein Feld c zur Speicherung eines Gültigkeitsbits mit der Bedeutung 'der Inhalt der Felder a und b
35 ist bereits / ist noch nicht weitergegeben worden' unterteilt ist,
d) daß das Musiktastenwerk eine Schaltung enthält, die während jedes Musiktasten-Schreibadreßzähler-Standes



einmal bewirkt,

- daß der Musiktasten-Schreibadreßzähler auf den Adreßeingang des Musiktasten-Wertespeichers durchgeschaltet wird,

5 - daß der Inhalt der so adressierten Zelle des Musiktasten-Wertespeichers in ein Zwischenregister gebracht wird, das in die gleichen Felder wie jede Zelle des Musiktasten-Wertespeichers gegliedert ist, und

10 - daß, falls das Gültigkeitsbit im Teilfeld c des Zwischenregisters die Bedeutung 'der Inhalt der Felder a und b ist bereits weitergegeben worden' hat, von der so adressierten Zelle des Musiktasten-Wertespeichers

15 - das Feld a mit dem aktuellen, am Ausgang eines dem Analogmultiplexer laut a) nachgeschalteten Analog-Digital-Wandlers anliegenden Musiktastenwert,

- das Feld b, in Abhängigkeit vom Inhalt des Feldes a des Zwischenregisters, mit der Bedeutung 'alter Musiktastenwert war Null / war nicht Null',

20 - das Feld c mit dem die Bedeutung 'der gegenwärtige Inhalt der Felder a und b ist noch nicht weitergegeben worden' tragenden Wert geladen wird,

25 e) daß das Musiktastenwerk ein als 'Musiktastenwert-Übergaberegister' definiertes Register enthält, das in die gleichen Felder wie jede Zelle des Musiktasten-Wertespeichers gegliedert ist, außerdem aber ein Feld d zur Aufnahme des Standes eines Musiktasten-Leseadreßzählers hat,

30 f) daß der Musiktasten-Leseadreßzähler die gleiche Breite hat wie der Musiktasten-Schreibadreßzähler,

35 g) daß das Musiktastenwerk eine Schaltung enthält, die bewirkt, daß der Musiktasten-Leseadreßzähler immer dann an den Adreßeingang des Musiktasten-Wertespeichers angeschaltet wird, wenn nicht der Musiktasten-Schreibadreßzähler angeschaltet ist,

h) daß das Musiktastenwerk eine Schaltung enthält, die bewirkt, daß,

- falls der Musiktasten-Leseadreßzähler an den Adreß-

eingang des Musiktasten-Wertespeichers angeschaltet ist,

- und falls das Gültigkeitsbit im Feld c des Musiktastenwert-Übergaberegisters die Bedeutung 'der gegenwärtige Inhalt der Felder a und b ist bereits weitergegeben worden' hat,
 - und falls der Inhalt des Musiktasten-Leseadreßzählers nicht gleich dem Inhalt des Musiktasten-Schreibadreßzählers ist,
- folgendes geschieht:
- Der Inhalt der Felder a und b der adressierten Zelle des Musiktasten-Wertespeichers wird in die Felder a und b des Musiktastenwert-Übergaberegisters eingetragen,
 - das Feld c des Musiktastenwert-Übergaberegisters wird, falls nicht das Feld a den Inhalt 0 und das Feld b die Bedeutung 'alter Musiktastenwert war Null' haben, auf den die Bedeutung 'der gegenwärtige Inhalt der anderen Felder ist noch nicht weitergegeben worden' tragenden Wert gesetzt,
 - das Feld c der adressierten Zelle des Musiktasten-Wertespeichers wird auf den die Bedeutung 'der gegenwärtige Inhalt der Felder a und b ist bereits weitergegeben worden' tragenden Wert gesetzt,
 - der Inhalt des Musiktasten-Leseadreßzählers wird in das Feld d des Musiktastenwert-Übergaberegisters übertragen,
 - der Inhalt des Musiktasten-Leseadreßzählers wird um 1 erhöht,
- i) daß der Kleinrechner in zyklischer Wiederholung den Inhalt des Musiktastenwert-Übergaberegisters ausliest, wobei das Feld c auf den die Bedeutung 'der gegenwärtige Inhalt der anderen Felder ist bereits weitergegeben worden' tragenden Wert gesetzt wird, speichert und danach auswertet.

- 3) Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
a) daß das analoge Musiktastensignal von der L a g e
des beweglichen Teils der betreffenden Musiktaste ab-
hängig ist,
5 daß diese Lageabhängigkeit aus der Abhängigkeit der
Induktivität einer jeder Musiktaste zugeordneten
elektrischen Wicklung von der Lage eines mit dem be-
weglichen Teil der Musiktaste verbundenen weichmagne-
tischen Wicklungskerns hergeleitet wird,
10 daß sich die Induktivität jeder Musiktastenwicklung
beim Übergang
- von nicht betätigter Musiktaste
- zu völlig gedrückter Musiktaste
monoton ändert, und zwar, willkürlich festgelegt, mo-
15 noton erhöht, und
daß der weichmagnetische Wicklungskern jeder Musika-
ste in einem magnetisch neutralen Führungszylinder
gegen die Kraft einer Rückstellfeder verschiebbar ist,
b) daß
20 - als Feder entweder eine Spiralfeder dient, und daß
eine Bewegungsdämpfung dadurch erzielt wird, daß der
Führungszylinder unten luftdicht abgeschlossen und
der Luftspalt zwischen dem verschiebbaren Kern und
dem Führungszylinder genügend klein ist,
25 - oder daß die Federkraft und gleichzeitig die Bewe-
gungsdämpfung durch ein Material mit Schaumgummi-
charakteristik erzielt wird,
c) daß sich oberhalb des beweglichen Kerns ein zur Musik-
tastenbetätigung dienender Tastenkopf befindet, der
30 - entweder translatorisch geführt und betätigt wird,
- oder, wie bei Klaviertasten, als Hebel geführt und
betätigt wird, und
daß die Musiktasten, in ein oder mehrere Felder grup-
piert, in einer gemeinsamen Halterung angeordnet sind,
35 d) daß (siehe Fig. 2) die den Musiktasten zugeordneten
Wicklungen an einem Ende miteinander elektrisch ver-
bunden sind,
daß an diesem gemeinsamen Punkt ein als Meß- und
Strombegrenzungswiderstand wirkender elektrischer

Widerstand angeschlossen ist, dessen anderer Anschluß an festem, im Falle der TTL-Technik an Plus-Potential liegt,

- 5 daß das andere Ende jeder Musiktastenwicklung über je einen Ausgang eines als elektronischer Schalter verwendeten Musiktasten-Demultiplexers mit im nicht-aktiven Zustand stromlosen, d.h. im Falle der TTL-Technik invertierenden, open-collector-Ausgängen, gesteuert durch die Adreßeingänge und den Freigabeeingang (= Dateneingang) des Musiktasten-Demultiplexers, mit einem zweiten festen elektrischen Potential, im Falle der TTL-Technik 0 V, verbunden werden kann und somit die Funktion eines Analog-Multiplexers laut Anspruch 2a realisiert wird, und
- 10 daß parallel zu jeder Musiktastenwicklung eine Freilaufdiode liegt,
- e) daß (siehe Fig. 2) jeder durch den jeweiligen Stand des Musiktasten-Schreibadrezählers laut Anspruch 2a ausgewählte Ausgang des Musiktasten-Demultiplexers mittels des Freigabeeingangs für eine bestimmte, als Musiktasten-Abfragezeit bezeichnete Zeitdauer auf Stromdurchgang geschaltet wird,
- 20 f) daß das zeitlich variable Potential am gemeinsamen Verbindungspunkt aller Musiktastenwicklungen an einen Komparator geführt ist, der über eine Einphas-Schaltung immer dann den aktiven Wert eines Musiktastenwertzähler-Stopsignals abgibt, wenn das Potential am Meßwiderstand, je nach verwendeter Schaltkreistechnik, kleiner bzw. größer als ein vorgegebenes konstantes
- 25 Schwellenpotential ist,
- 30 g) daß zu einem bestimmten, festen Zeitpunkt innerhalb der Musiktasten-Abfragezeit, der so gewählt wird, daß bei der Abfrage jeder in der Ruhelage befindlichen Musiktaste zu diesem Zeitpunkt das Musiktastenwertzähler-Stopsignal bereits den aktiven Wert hat, ein
- 35 mit einem festen Zähltakt betriebener, vorher jeweils auf Null zurückgesetzter Musiktastenwert-Zähler gestartet wird, falls nicht bereits zu diesem Zeitpunkt das Musiktastenwertzähler-Stopsignal aktiv ist,

- h) daß die Musiktasten-Abfragezeit so festgelegt wird,
daß an ihrem Ende auch bei völlig gedrückter Musik-
taste, also höchster Induktivität, das Musiktastenwert-
zähler-Stopsignal mit Sicherheit bereits den aktiven
5 Wert hat,
- i) daß der Musiktastenwert-Zähler so viele Bitstellen hat
und mit einer solchen Zählfrequenz betrieben wird,
daß er seinen Höchstwert nicht innerhalb der Musik-
tasten-Abfragezeit erreichen kann,
- 10 j) daß der Musiktastenwert-Zähler dann gestoppt wird und
damit einen digitalisierten Musiktastenwert enthält,
wenn das Musiktastenwertzähler-Stopsignal den aktiven
Wert hat, und
- 15 k) daß die Induktivität der völlig gedrückten Musiktasten
durch entsprechende Wahl der Wicklung und des weich-
magnetischen Kerns sowie das konstante Schwellenpoten-
tial am Komparator und damit gemäß h) die Musiktasten-
Abfragezeit sowie gemäß i) der Musiktastenwert-Zähler
so festgelegt werden, daß die Musiktasten-Abfragezeit
20 - einerseits so groß ist, daß der Musiktastenwert-
Zähler eine ausreichend genaue Abbildung der aktu-
ellen Musiktastenlage gewährleistet,
- andererseits aber so klein ist, daß während jedes
Musiktasten-Schreibadresszähler-Standes auf die Mu-
siktastenabfrage auch noch eine zur Wiederherstel-
25 lung der Ruhelage des veränderlichen Potentials am
Komparator erforderliche Erholzeit folgen kann.
- 4) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
- 30 a) daß das Musiksignalerzeugungswerk (siehe Fig. 6) aus
- einem Musikwerk-Steuerteil,
- einem Tonkanalspeicher, dessen Zellen als Tonkanäle
wirken, wobei jeder Tonkanal jeweils temporär zur
Erzeugung eines Tonsignals dient, d.h. während der
35 Dauer eines Tonsignals nur für dieses Tonsignal ar-
beitet, danach aber zur Erzeugung eines beliebigen,
ganz anderen Tonsignals herangezogen werden kann,
und wobei alle Tonkanäle gleichartig in Felder un-
terteilt sind, die unabhängig voneinander beschrie-

- ben werden können (siehe Fig. 7),
- einem Musikwerk-Rechenteil zur Bildung des digitalen Musikssignals, und
 - einem oder mehreren Digital-Analog-Wandlern gemäß
- 5 Anspruch 1
- besteht und, außer dem bzw. den Digital-Analog-Wandlern, digital aufgebaut ist,
- b) daß der Tonkanalspeicher aus einer Gruppe von gleichlangen, parallelen, mit ein und demselben Schiebetakt
- 10 betriebenen Schieberegistern mit seriellen Ein- und Ausgängen sowie einer gleich großen Gruppe von Schieberegister-Zweiwegeschaltern besteht, deren Ausgänge mit den Eingängen der Schieberegister verbunden sind,
- c) daß jeweils der erste Eingang jedes Schieberegister-
- 15 Zweiwegeschalters mit dem seriellen Ausgang des zugehörigen Schieberegisters verbunden ist und daß die Steuereingänge jeweils aller zu einem Feld des Tonkanalspeichers gehörenden Schieberegister-Zweiwegeschalter verbunden sind, so daß jedes Feld des Tonkanal-
- 20 speichers als Anschlüsse zur Umgebung (siehe Fig. 9)
- die als 'Dateneingänge' bezeichneten zweiten Eingänge der Schieberegister-Zweiwegeschalter,
 - die als 'Datenausgänge' bezeichneten seriellen Ausgänge der Schieberegister,
- 25 - die als 'Schreibfreigabesignal' bezeichnete Verbindung zu den Steuereingängen der Schieberegister-Zweiwegeschalter, als deren aktiver Signalwert derjenige Signalwert gilt, bei dem die zweiten Eingänge der Schieberegister-Zweiwegeschalter dieses Feldes durch-
- 30 geschaltet sind, und
- das allen Feldern gemeinsame Schiebetaktsignal hat,
- d) daß die Schiebestellenzahl (= Bitzahl) der Schieberegister eine Zweierpotenz ist,
- 35 e) daß die Schieberegister mit fester Schiebefrequenz betrieben werden, die identisch mit der Zähhfrequenz eines als Tonkanal-Schrittzähler bezeichneten Teils des Grundzählers (siehe Fig. 10) ist, der so viele Zählerstände hat wie die Schieberegister Schiebestel-

len, wobei die Zeitspanne, während der die Signalwerte eines Tonkanals an den Ausgängen der Schieberegister liegen, als Tonkanalschritt bezeichnet wird, wobei jeder Tonkanalschritt

- 5 - aus einer vom Beginn des Tonkanalschrittes bis kurz vor den Wirkungszeitpunkt des Schiebetaktes reichenden, als Tonkanal-Lesen bezeichneten Phase, und
- aus einer den Wirkungszeitpunkt des Schiebetaktes einschließenden, als Tonkanal-Schreiben bezeichneten Phase
- 10 besteht,
- f) daß die Zellen des Tonkanalspeichers innerhalb der Schieberegister dynamisch umlaufend und so numeriert sind, daß beim Zählstand N des Tonkanal-Schrittzählers
- 15 die Zelle N des Tonkanalspeichers aus den letzten, die Ausgänge der Schieberegister speisenden Speichergliedern der Schieberegister besteht, wobei
- diese Zelle als die jeweils 'adressierte Zelle' des Tonkanalspeichers,
- 20 - der zugehörige Zählstand des Tonkanal-Schrittzählers als 'Tonkanaladresse' oder auch als 'Tonkanalnummer',
- und die Dauer eines einmaligen Durchlaufs des Tonkanal-Schrittzählers, vom Zählstand 0 angefangen, als 'Tonkanalzyklus'
- 25 bezeichnet werden,
- g) daß die Länge eines Tonkanalzyklus bei der Angabe der Wirkungsdauer jedes Momentanamplitudenwertes bzw. -Änderungswertes im Tonkanal-Wirkungsdauerfeld als Zeiteinheit dient,
- 30 h) daß jeder Tonkanal
- in eine erste Gruppe von Feldern, die zur direkten Tonerzeugung dienen, und zwar
- ein Tonkanal-Lautstärkefeld zur Aufnahme des jeweils aktuellen Lautstärkewertes,
- 35 - ein Tonkanal-Amplitudenfeld zur Aufnahme des jeweils aktuellen Momentanamplitudenwertes bzw. Momentanamplituden-Änderungswertes, und
- ein Tonkanal-Wirkungsdauerfeld zur Aufnahme des jeweils aktuellen Wirkungsdauerwertes,

- in eine zweite Gruppe von Feldern, die zum direkten schnellen Nachladen der ersten Gruppe von Feldern dienen, und zwar
 - ein Tonkanal-Lautstärkenachladefeld,
 - 5 - ein Tonkanal-Amplitudennachladefeld, und
 - ein Tonkanal-Wirkungsdauernachladefeld, sowie
 - in eine dritte Gruppe von Feldern, die zur Steuerung des Nachladens der zweiten Gruppe von Feldern aus dem Arbeitsspeicher des Kleinrechners dienen, und zwar
 - 10 - ein Tonkanal-Nachladeadressfeld,
 - ein Tonkanal-Nachlademerkfeld (1 bit),
 - ein Tonkanal-Signalfolgenende-Nachladefeld (1 bit), und
 - 15 - ein Tonkanal-Signalfolgenendefeld (1 bit)
- unterteilt ist, wobei als aktiver Signalwert in den letztgenannten drei Feldern die '1' definiert ist,
- i) daß, je einmal für alle Tonhöhen und Klangbilder, in aufeinanderfolgenden Zellen des Arbeitsspeichers des Kleinrechners, und zwar an beliebiger Stelle, eine als Tonsignalfolge bezeichnete Folge von Worten zur Beschreibung von in der Regel genau einer oder genau mehrerer Grundschiwingung(en) des gewünschten Tonsignals mit allen gewünschten Obertönen, wobei jedes Wort (siehe
- 25 Fig. 8)
- einen Momentanamplitudenwert bzw. Momentanamplitudenänderungswert,
 - den zugehörigen Wirkungsdauerwert, und
 - ein Signalfolgenende-Markierungsbit zur Markierung
 - 30 des letzten Wortes der Tonsignalfolge
- enthält, hinterlegt ist, und daß in der darauffolgenden Zelle eine als Tonsignalfolgen-Sprungadresse bezeichnete Arbeitsspeicheradresse hinterlegt ist, die auf den Anfang derselben oder einer anderen Tonsignalfolge weist,
- 35 j) daß neue Lautstärkewerte für jeden Tonkanal vom Kleinrechner in dessen Initiative an das Musiksinalerzeugungswerk übergeben werden, aber zeitlich jeweils erst bei Beginn der Abarbeitung einer Tonsignalfolge

wirksam werden,

- 5 k) daß das Musiksinalerzeugungswerk dem Kleinrechner das Erreichen des Endes einer Tonsignalfolge durch Setzen einer jedem Tonkanal zugeordneten Bitstelle eines als Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregister bezeichnen-
- 10 ten, vom Kleinrechner wiederholt auszulesenden Registers mitteilt, woraufhin der Kleinrechner durch Ändern der betreffenden Tonsignalfolge oder durch Zuteilen einer neuen Tonsignalfolge und/oder durch Übergabe eines neuen Lautstärkewertes in den Tonsignalablauf immer wieder eingreifen kann,
- 15 l) daß der Musikwerk-Steuerteil Schaltungen
- zur Verknüpfung der Felder eines Tonkanals untereinander,
 - zur Auswertung und Änderung ihres Inhaltes, und
 - zur Steuerung des Nachladens dieser Felder aus dem Arbeitsspeicher des Kleinrechners
- 20 enthält,
- m) daß auch der Arbeitsspeicher des Kleinrechners durch den Grundzähler synchronisiert wird, und daß, gegebenenfalls zusammen mit Auffrischzyklen, für das Musiksinalerzeugungswerk bestimmte Lesezyklen des Arbeitsspeichers die höchste Priorität haben, und
- 25 n) daß die Wortbreite des Arbeitsspeichers des Kleinrechners mindestens so groß ist wie seine Adreßbreite.
- 5) Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
- a) daß der Musikwerk-Rechenteil des Musiksinalerzeugungswerkes (siehe Fig. 11)
- 30 - eine Schaltung zur Multiplikation
- des eine binär codierte ganze positive Zahl führenden Datenausgangs des Tonkanal-Lautstärkefeldes
 - mit dem eine binär codierte ganze Zahl führenden Datenausgang des Tonkanal-Amplitudenfeldes
- 35 enthält, wobei das am Ausgang der Multiplikationsschaltung erscheinende algebraische Produkt dieser beiden Felder als Tonkanalprodukt bezeichnet wird,
- ein als Tonkanalprodukt-Zwischenregister bezeichnetes Register enthält, dessen Eingänge mit den Ausgängen

- der oben beschriebenen Multiplikationsschaltung verbunden sind,
- eine Addierschaltung zur algebraischen Addition zweier binär codierter ganzer Zahlen enthält, deren erste Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen des Tonkanalprodukt-Zwischenregisters verbunden ist,
 - ein als Musikwerk-Ergebnisregister bezeichnetes Register enthält,
 - dessen Eingänge mit den Ausgängen der oben beschriebenen Addierschaltung verbunden sind,
 - und dessen Ausgänge über je ein als Schalter verwendetes UND-Gatter mit der zweiten Gruppe von Eingängen der Addierschaltung verbunden sind, wobei Addierschaltung und Musikwerk-Ergebnisregister zur Vermeidung von Additionsüberlauf so viele höherwertige Bitstellen mehr besitzen als das Tonkanalprodukt-Zwischenregister, wie der Tonkanal-Schrittzähler Bitstellen hat, wobei zur Vorzeichenrichtigkeit die zusätzlichen Bitstellen der ersten Gruppe von Eingängen der Addierschaltung alle mit der höchstwertigen Ausgangs-Bitstelle des Tonkanalprodukt-Zwischenregisters verbunden sind,
 - eine Schaltung enthält, die bewirkt, daß genau einmal für jeden Tonkanalschritt
 - das Tonkanalprodukt vom Ausgang der Multiplikationsschaltung in das Tonkanalprodukt-Zwischenregister,
 - und danach die durch die Addierschaltung gebildete Summe in das Musikwerk-Ergebnisregister übernommen wird,
- 30 b) daß der Musikwerk-Rechenteil ein (für monophonen Betrieb) oder zwei (für stereophonen Betrieb) als Musiksignalregister bezeichnete(s) Register enthält, dessen (deren) Eingänge mit den Ausgängen des Musikwerk-Ergebnisregisters verbunden sind, und zwar die höchstwertige Bitstelle über einen Inverter, die anderen
- 35 Bitstellen direkt,
- c) daß der Musikwerk-Rechenteil eine Schaltung enthält, die bewirkt, daß in jedem Tonkanalzyklus bzw. bei zwei Musiksignalregistern in jedem halben Tonkanal-

zyklus

- nach dem Aufaddieren der Tonkanalprodukte aller
bzw. einer Hälfte aller Tonkanäle der Inhalt des
Musikwerk-Ergebnisregisters, durch die Invertierung
5 der höchstwertigen Bitstelle um den Absolutwert
des größten vorkommenden negativen Inhalts des Musik-
werk-Ergebnisregister erhöht und somit in eine posi-
tive Zahl umgewandelt, in das - bzw. im Wechsel in
eines der - Musiksignalregister übertragen wird,
- 10 - danach beim Hinzuaddieren des Tonkanalprodukts des
nächsten Tonkanals die Schalter vor der zweiten Grup-
pe von Eingängen der Addierschaltung laut a) gesperrt
sind, so daß das Hinzuaddieren wieder von der Summe 0
aus beginnt, wohingegen diese Schalter sonst immer
15 offen sind,
- d) daß der Musikwerk-Rechenteil pro Musiksignalregister
 - entweder, zur Verwendung von Momentanamplitudenwer-
ten, einen Digital-Analog-Wandler mit Spannungsaus-
gang enthält, dessen Eingänge mit den Ausgängen des
20 Musiksignalregisters verbunden sind und dessen Aus-
gang das zu erzeugende analoge Musiksignal führt,
 - oder, zur Verwendung von Momentanamplituden-Änderungs-
werten, einen Digital-Analog-Wandler mit Stromausgang
enthält, dessen Eingänge mit den Ausgängen des Musik-
25 signalregisters verbunden sind und dessen Ausgang
mit dem zweiten Pol eines als Integrator wirkenden
Kondensators verbunden ist, dessen erster Pol an
festem Potential liegt, dessen zweiter Pol außerdem
mit einer Konstantstromquelle verbunden ist, die
30 einen Strom einspeist, der gegenüber dem durch den
Digital-Analog-Wandler eingespeisten Strom die umge-
kehrte Richtung hat und halb so groß ist wie der
Maximalstrom des Digital-Analog-Wandlers beim größ-
ten Wert des Musiksignalregisters, und dessen zwei-
35 ter Pol das zu erzeugende analoge Musiksignal führt,
 - oder, zur wahlweisen Verwendung von Momentanamplitu-
denwerten oder Momentanamplituden-Änderungswerten,
beide beschriebenen Schaltungen, und zwar für manu-
elle oder für programmierte Umschaltung, enthält.

- 6) Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet
(siehe Fig. 12),
- a) daß die Eingänge des Lautstärkefeldes des Tonkanal-
speichers mit den Ausgängen des Lautstärkenachlade-
feldes des Tonkanalspeichers verbunden sind,
- 5 b) daß die Eingänge des Amplitudenfeldes des Tonkanal-
speichers mit den Ausgängen des Amplitudennachlade-
feldes des Tonkanalspeichers verbunden sind,
- c) daß die Eingänge des Wirkungsdauerfeldes des Tonkanal-
speichers mit den Ausgängen eines Wirkungsdauer-Zwei-
wegeschalters verbunden sind, und daß dessen erste
10 Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen des Wirkungs-
dauer-Nachladefeldes des Tonkanalspeichers verbunden
sind,
- 15 d) daß die zweite Gruppe von Eingängen des Wirkungsdauer-
Zweiwegeschalters mit den Ausgängen eines 1-Subtrahie-
rers verbunden sind und daß dessen Eingänge mit den
Ausgängen des Wirkungsdauerfeldes des Tonkanalspei-
chers verbunden sind,
- 20 e) daß der Eingang des Signalfolgenendefeldes des Tonka-
nalspeichers mit dem Ausgang des Signalfolgenende-
Nachladefeldes des Tonkanalspeichers verbunden ist,
- f) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die den aktiven Signalwert eines Steuersignals mit
25 der Bedeutung 'Tonkanal ist in Betrieb' immer dann
erzeugt, wenn mindestens eine der beiden Gruppen von
Ausgängen
- des Lautstärkefeldes und
- des Lautstärkenachladefeldes
- 30 des Tonkanalspeichers einen Zahlenwert ungleich 0
führt,
- g) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die den aktiven Signalwert eines Steuersignals mit
der Bedeutung 'Wirkungsdauer abgelaufen' immer dann
35 erzeugt, wenn die Ausgänge des Wirkungsdauerfeldes
des Tonkanalspeichers den Zahlenwert 0 führen und wenn
das Signal 'Tonkanal ist in Betrieb' den aktiven Wert
hat,
- h) daß das Signal 'Tonkanal ist in Betrieb' als Schreib-

freigabesignal für das Wirkungsdauerfeld des Tonkanalspeichers verwendet wird,

- 5 i) daß das Signal 'Wirkungsdauer abgelaufen' als Steuerungssignal für den Wirkungsdauer-Zweiwegeschalter so verwendet wird, daß im aktiven Zustand dieses Signals die erste Gruppe von Eingängen des Wirkungsdauer-Zweiwegeschalters und damit die Ausgänge des Wirkungsdauer-Nachladefeldes des adressierten Tonkanals an die Eingänge des Wirkungsdauerfeldes des Tonkanalspeichers
- 10 durchgeschaltet werden,
- j) daß das Signal 'Wirkungsdauer abgelaufen' als Schreibfreigabesignal für das Amplitudenfeld und das Signalfolgenendefeld des Tonkanalspeichers verwendet wird,
- k) daß das Nachladen
- 15 - des Tonkanal-Amplitudennachladefeldes und
- des Tonkanal-Wirkungsdauernachladefeldes
jedes Tonkanals aus dem Arbeitsspeicher so erfolgt, daß diese beiden Nachladefelder jedes Tonkanals, nach der Übertragung ihres Inhalts in das Amplitudenfeld
- 20 bzw. das Wirkungsdauerfeld des betreffenden Tonkanals, innerhalb einer maximalen, die geforderte Tonqualität gewährleistenden Zeitspanne aus dem Arbeitsspeicher wiederaufgefüllt werden,
- l) daß alle Nachladevorgänge aus dem Arbeitsspeicher des
- 25 Kleinrechners in einem festen, durch einen als Nachladeschrittzähler bezeichneten Teil des Grundzählers definierten Zeitraster liegen, dessen als Nachladeschritt bezeichnete Rastereinheit durch die Zeitdauer jeweils eines Zählstandes des Nachladeschrittzählers
- 30 gegeben ist,
- m) daß Nachladeschritt und Tonkanalzyklus identisch sind und folglich der Nachladeschrittzähler in Richtung der höherwertigen Bitstellen des Grundzählers unmittelbar an den Tonkanalschrittzähler angrenzt (siehe Fig.
- 35 13),
- n) daß der Nachladeschrittzähler dieselbe Länge hat wie der Tonkanalschrittzähler,
- p) daß jedes Nachladen der beiden oben angegebenen Nachladefelder eines Tonkanals, gegebenenfalls außerdem

die vorherige Durchführung eines als Tonkanal-Sprung bezeichneten Einschreibens eines neuen Inhalts aus dem Arbeitsspeicher in das Tonkanal-Nachladeadressfeld, in drei als

- 5 - Nachladephase A,
- Nachladephase B und
- Nachladephase C

des betreffenden Tonkanals bezeichneten aufeinanderfolgenden Nachladeschritten erfolgt, wobei

- 10 - in der Nachladephase A ein Nachladevorgang angefordert wird,
- in der Nachladephase B das Lesen aus dem Arbeitsspeicher erfolgt, und
- in der Nachladephase C die gelesenen Daten in den
- 15 betreffenden Tonkanal eingeschrieben werden,
- und

- q) daß, wenn das Nachladen eines Tonkanals aus dem Arbeitsspeicher erforderlich ist, der entsprechende Nachladevorgang erst bei einem für den betreffenden Tonkanal spezifischen, für alle Tonkanäle verschiedenen
- 20 Zählstand des Nachladeschrittzählers beginnt, so daß das Nachladen zweier Tonkanäle zwar zeitlich überlappt, aber nicht synchron erfolgen kann, wobei die willkürliche Festlegung getroffen wird, daß die Nachladephase
- 25 A eines Tonkanals der Nummer N mit dem Zählstand N des Nachladeschrittzählers zeitlich zusammenfällt (siehe Fig. 14).

- 7) Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet
- 30 (siehe Fig. 15),

- a) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält, die den aktiven Wert eines als Tonkanal-Nachladefreigabesignal A bezeichneten Signals dann erzeugt, wenn der Tonkanalschrittzähler den gleichen Zählstand wie
- 35 der Nachladeschrittzähler hat (siehe Fig. 13),

- b) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält, die in jedem Tonkanalschritt bewirkt, daß, wenn das Signal 'Wirkungsdauer abgelaufen' den aktiven Signalwert hat, in der Phase des Tonkanal-Schreibens eine

- '1' mit der Bedeutung 'Nachladen' in das Nachlademerkfeld des adressierten Tonkanals eingeschrieben wird und damit die für den Start und den Ablauf des Nachladens aus dem Arbeitsspeicher erforderliche Steuerinformation in dem betreffenden Tonkanal vorhanden ist, derart, daß
- als Dateneingangssignal für das Nachlademerkfeld des Tonkanalspeichers das Signal 'Wirkungsdauer abgelaufen', und
 - als Schreibfreigabesignal für das Nachlademerkfeld des Tonkanalspeichers die logische Mischung der Signale
 - 'Wirkungsdauer abgelaufen' und
 - Nachladefreigabesignal A
- verwendet wird, wobei das letztere zum Löschen dient,
- c) daß der Musikwerk-Steuerteil als Zwischenregister für die Nachladephase A jedes Tonkanals drei als
- Nachladeadreßregister A,
 - Nachlademerkregister A, und
 - Signalfolgenenderegister A
- bezeichnete Register enthält, deren Eingänge, in dieser Reihenfolge, mit den Ausgängen
- des Nachladeadreßfeldes,
 - des Nachlademerkfeldes, und
 - des Signalfolgenendefeldes
- des Tonkanalspeichers verbunden sind,
- d) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält, die in Durchführung der Nachladephase A bewirkt, daß, falls während eines Tonkanalschrittes das Tonkanal-Nachladefreigabesignal A aktiv ist, in der Phase des Tonkanal-Schreibens
- der Inhalt des Nachladeadreßfeldes des adressierten Tonkanals in das Nachladeadreßregister A,
 - der Inhalt des Nachlademerkfeldes des adressierten Tonkanals in das Nachlademerkregister A, und
 - der Inhalt des Signalfolgenendefeldes des adressierten Tonkanals in das Signalfolgenenderegister A
- übertragen wird,
- e) daß der Musikwerk-Steuerteil als Zwischenregister für

- die Nachladephase B jedes Tonkanals drei als
- Nachladeadreßregister B,
 - Nachlademerkregister B, und
 - Signalfolgenenderegister B
- 5 bezeichnete Register enthält, deren Eingänge, in dieser Reihenfolge, mit den Ausgängen
- eines Nachladeadreßregister-Zweiwegeschalters,
 - des Nachlademerkregisters A, und
 - des Signalfolgenenderegisters A
- 10 verbunden sind,
- f) daß von den Eingängen des Nachladeadreßregister-Zweiwegeschalters
- die erste Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen des Nachladeadreßregisters A,
- 15 - die zweite Gruppe von Eingängen, zur Durchschaltung einer Tonsignalfolgen-Sprungadresse, mit den Wortausgängen des Arbeitsspeichers verbunden sind,
- g) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
- 20 die bewirkt, daß, zur Einleitung der Nachladephase B, zu Beginn jedes Nachladeschrittes
- der Inhalt des Nachladeadreßregisters A über den Nachladeadreßregister-Zweiwegeschalter in das Nachladeadreßregister B,
- 25 - der Inhalt des Nachlademerkregisters A in das Nachlademerkregister B,
- der Inhalt des Signalfolgenenderegisters A in das Signalfolgenenderegister B
- übertragen wird,
- 30 h) daß der Musikwerk-Steuerteil ein als Nachladewortregister C bezeichnetes, Platz für ein Arbeitsspeicherwort bietendes, als Zwischenregister für die Nachladephase C dienendes Register enthält, dessen Eingänge mit den Wortausgängen des Arbeitsspeichers verbunden sind,
- 35 i) daß der Musikwerk-Steuerteil ein als Nachladeadreßregister C bezeichnetes, Platz für eine Arbeitsspeicheradresse bietendes, als weiteres Zwischenregister für die Nachladephase C dienendes Register enthält, dessen Eingänge mit den Ausgängen eines 1-Addierers verbunden

sind, dessen Eingänge mit den Ausgängen des Nachlade-
adreßregisters B verbunden sind,

- 5 j) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die, falls das Nachlademerkregister B den Wert 1 und
somit den Hinweis auf die Notwendigkeit des Ablaufs
der Nachladephase B enthält, in Zusammenarbeit mit der
Arbeitsspeichersteuerung des Kleinrechners während ei-
nes Nachladeschrittes bewirkt, daß
- 10 - zuerst, falls auch das Signalfolgenenderegister B
den Wert 1 und somit den Hinweis auf die Notwendig-
keit eines Tonsignalfolgen-Sprungs enthält, mit dem
im Nachladeadreßregister B stehenden Wert als Arbeits-
speicheradresse ein Arbeitsspeicher-Lesezyklus ab-
läuft und das aus dem Arbeitsspeicher gelesene Wort
- 15 über die zweite Gruppe von Eingängen des Nachlade-
adreßregister-Zweiwegeschalters in das Nachladead-
reßregister B übertragen wird,
- dann mit dem im Nachladeadreßregister B stehenden,
gegebenenfalls neuen Wert als Arbeitsspeicheradres-
se ein weiterer bzw. ein Arbeitsspeicher-Lesezyklus
- 20 abläuft, und zwar zeitlich so, daß das aus dem Ar-
beitsspeicher gelesene Wort an den Arbeitsspeicher-
Wortausgängen am Ende des Nachladeschrittes zur Ver-
fügung steht und genau am Ende des Nachladeschrittes
- 25 - das aus dem Arbeitsspeicher gelesene Wort in das
Nachladewortregister C,
- die um 1 erhöhte Arbeitsspeicheradresse in das
Nachladeadreßregister C
übertragen werden,
- 30 k) daß der Musikwerk-Steuerteil ein als Nachlademerkregi-
ster C bezeichnetes, als weiteres Zwischenregister
für die Nachladephase C jedes Tonkanals dienendes
1-bit-Register enthält, dessen Eingang mit dem Ausgang
des Nachlademerkregisters B verbunden ist,
- 35 l) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die bewirkt, daß zur Einleitung der Nachladephase C
am Ende jedes Nachladeschrittes der Inhalt des Nach-
lademerkregisters B in das Nachlademerkregister C
übertragen wird,

- m) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die den aktiven Wert eines als Tonkanal-Nachladefreigabesignal C bezeichneten Signals dann erzeugt,
- wenn das Signal 'Tonkanal ist in Betrieb' den aktiven Wert hat, und
5 - wenn der Nachladeschrittzähler einen um 2 höheren Zählstand, modulo gerechnet, als der Tonkanalschrittzähler hat, und
- wenn das Nachlademerkregister C eine 1 (= aktiver Wert) enthält,
10 n) daß von den Ausgängen des Nachladewortregisters C entsprechend der in Anspruch 4c definierten Zusammensetzung jedes Wortes einer Tonsignalfolge
- ein Teil mit den Eingängen des Amplitudennachladefeldes,
15 - ein weiterer Teil mit den Eingängen des Wirkungsdurationachladefeldes,
- ein dritter Teil (1 bit) mit dem Eingang des Signalfolgenendenachladefeldes
20 des Tonkanalspeichers verbunden sind,
p) daß der Musikwerk-Steuerteil einen Nachladeadreßfeld-Zweiwegeschalter enthält,
- dessen erste Gruppe von Eingängen vom Kleinrechner gespeist wird,
25 - dessen zweite Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen des Nachladeadreßregisters C verbunden ist,
- der durch eine Schaltung des Musikwerk-Steuerteils so gesteuert wird,
- daß dann, wenn das Tonkanal-Nachladefreigabesignal C den aktiven Signalwert hat, der Weg für die zweite Gruppe von Eingangssignalen, vom Nachladeadreßregister C her, durchgeschaltet ist,
30 - daß andernfalls der Weg für die erste Gruppe von Eingangssignalen, vom Kleinrechner her, durchgeschaltet ist,
35 - und dessen Ausgänge mit den Eingängen des Nachladeadreßfeldes des Tonkanalspeichers verbunden sind,
q) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die in Durchführung der Nachladephase C bewirkt, daß,

falls während eines Tonkanalschrittes das Tonkanal-Nachladefreigabesignal C den aktiven Signalwert hat, in der Phase des Tonkanal-Schreibens

- der Inhalt des Nachladewortregisters C, entsprechend
5 der Zuordnung laut n) aufgeteilt, in
- das Amplitudennachladefeld,
- das Wirkungsdauernachladefeld, und
- das Signalfolgenende-Nachladefeld
des adressierten Tonkanals,

10 - der Inhalt des Nachladeadreßregisters C in das Nachladeadreßfeld des adressierten Tonkanals
eingeschrieben werden,

r) daß das Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregister
(laut Anspruch 4e) pro Bitstelle einzeln setzbar,
15 aber gemeinsam rücksetzbar ist,

s) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die den aktiven Wert eines als Musikwerkversorgungs-
Aufforderungssignal bezeichneten Signals in der Phase
des Tonkanal-Schreibens des letzten Tonkanalschrittes
20 eines Tonkanalzyklus dann erzeugt, wenn

- der Inhalt des Nachlademerkregisters A und
- der Inhalt des Signalfolgenenderegisters A
beide 1 sind, d.h. den aktiven Wert haben,

t) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Demultiplexerschaltung mit Freigabeeingang enthält,
25

- deren Ausgänge mit den Setzeingängen des Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregisters verbunden sind,
- deren Adreßeingänge mit den Ausgängen des Nachladeschrittzählers verbunden sind, und

30 - an deren Freigabeeingang das Musikwerkversorgungs-Aufforderungssignal liegt,

so daß die demjenigen Tonkanal zugeordnete Bitstelle
des Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregisters, für
dessen Nachladephase A der aktuelle Nachladeschritt

35 reserviert ist, ohne Änderung der anderen Bitstellen
am Ende der Nachladephase A dann gesetzt wird, wenn
das Ende der Tonsignalfolge dieses Tonkanals erreicht
ist,

- u) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
die den aktiven Wert eines mit Signalfolgende be-
zeichneten Signals dann erzeugt, wenn
- das Signal 'Wirkungsdauer abgelaufen' den aktiven
5 Signalwert hat und
- der Ausgang des Signalfolgendefeldes des Tonkanal-
speichers den aktiven Signalwert führt,
und
- v) daß der Musikwerk-Steuerteil eine Schaltung enthält,
10 die bewirkt, daß in einem Tonkanalschritt in der Pha-
se des Tonkanal-Schreibens der am Ausgang des Laut-
stärkenachladefeldes des Tonkanalspeichers liegende
Zahlenwert dann in das Lautstärkefeld des adressierten
Tonkanals geschrieben wird, wenn das Signal 'Signal-
15 folgende' den aktiven Wert hat.
- 8) Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
a) daß die Arbeitsspeichersteuerung des Kleinrechners in
Zusammenarbeit mit dem Grundzähler alle erforderlichen
20 Auffrisch-, Schreib- und Leseoperationen des Arbeits-
speichers in einem festen, durch den Grundzähler be-
stimmten Raster durchführt, dessen Einheit
- größergleich der erforderlichen Zeitspanne für einen
Schreibzyklus des Arbeitsspeichers und
25 - eine Zweierpotenz der Zykluszeit des Grundzähler-
Zähltaktes
ist,
- b) daß der Beginn jedes Tonkanalzyklus und damit auch der
Beginn jedes Tonkanal-Nachladeschrittes mit einem sol-
30 chen Zeitrasterpunkt zusammenfällt,
- c) daß die Länge eines Tonkanal-Nachladeschrittes so ge-
wählt ist und die Schreibzykluszeit des Arbeitsspei-
chers so beschaffen ist, daß während der Zeitspanne
eines Tonkanal-Nachladeschrittes mindestens 4 Arbeits-
35 speicherzyklen ablaufen können,
- d) daß, gleichartig für alle Tonkanal-Nachladeschritte,
aus der Menge der in einem Tonkanal-Nachladeschritt
möglichen Arbeitsspeicherzyklen

- zwei mögliche Arbeitsspeicherzyklen für die Nachladephase B des jeweiligen Tonkanals, und
 - ein möglicher Arbeitsspeicherzyklus für eine Auffrischoperation, falls der Arbeitsspeicher diese benötigt,
- mit der Maßgabe reserviert sind, daß diese möglichen Arbeitsspeicherzyklen zur anderweitigen Benutzung freigegeben werden, wenn sie für die oben angegebenen Zwecke im jeweils aktuellen Zeitintervall nicht benötigt werden, wobei die willkürliche Festlegung erfolgt, daß für den Nachladevorgang vom Arbeitsspeicher zum Musiksignalerzeugungswerk der vorletzte und der letzte der möglichen Arbeitsspeicherzyklen innerhalb jedes Tonkanal-Nachladeschrittes reserviert sind,
- 15 e) daß (siehe Fig. 15) zur Informationsübertragung vom Musiksignalerzeugungswerk zum Arbeitsspeicher des Kleinrechners
- eine vom Nachladeadreibregister B ausgehende Verbindungsgruppe zur Übertragung einer Arbeitsspeicheradresse, und
 - eine durch die Schaltung laut Anspruch 7j gespeiste Verbindung zur Anforderung von Arbeitsspeicher-Lesezyklen
- vorhanden sind,
- 25 f) daß zur Informationsübertragung vom Arbeitsspeicher des Kleinrechners zum Musiksignalerzeugungswerk eine Verbindungsgruppe zur Übertragung eines gelesenen Wortes vorhanden ist.
- 30 9) Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3 einerseits und nach Anspruch 8 andererseits, dadurch gekennzeichnet,
- a) daß eine vom Musiktastenwert-Übergaberegister laut Anspruch 2e gespeiste Verbindungsgruppe zum Kleinrechner führt,
- 35 b) daß eine Steuerleitung mit der Bedeutung 'Musiktastenwert ist abgeholt worden' vom Kleinrechner zum Musik-tastenwerk führt,



- c) daß ein bestimmter Befehl des Kleinrechners während seiner Ausführung bewirkt, daß, und zwar nicht gleichzeitig mit dem Füllen des Musiktastenwert-Übergaberegisters aus dem Musiktasten-Wertespeicher,
 - 5 - der Inhalt des Musiktastenwert-Übergaberegisters in den Kleinrechner übertragen wird, und
 - danach mit Hilfe der Steuerleitung laut b) das Feld c des Musiktastenwert-Übergaberegisters den Signalwert mit der Bedeutung 'Der Inhalt der Felder a, b
 - 10 und d ist bereits weitergegeben worden' erhält,
- d) daß der Kleinrechner ein als Tonkanalnummernregister bezeichnetes, Platz für die Nummer eines Tonkanals bietendes, durch einen bestimmten Befehl ladbares Register enthält, das auch mit einem frei adressierbaren Mehrzweckregister des Kleinrechners identisch sein kann,
- 15 e) daß eine von diesem Tonkanalnummernregister gespeiste Verbindungsgruppe vom Kleinrechner zum Musiksignalerzeugungswerk führt,
- 20 f) daß eine weitere Verbindungsgruppe vom Kleinrechner
 - gemäß Anspruch 7p zu der ersten Gruppe von Eingängen des Nachladeadrefeld-Zweiwegeschalters,
 - und außerdem zu den Eingängen des Tonkanal-Lautstärkenachladefeldes
 - 25 führt,
- g) daß eine Steuerleitung mit der Bedeutung 'Tonsignalfolgen-Startadresse übernehmen' vom Kleinrechner zum Musiksignalerzeugungswerk führt,
- h) daß eine Steuerleitung mit der Bedeutung 'Lautstärkewert übernehmen' vom Kleinrechner zum Musiksignalerzeugungswerk führt,
- 30 i) daß eine Steuerleitung mit der Bedeutung 'Wort übernehmen' vom Musiksignalerzeugungswerk zum Kleinrechner führt,
- 35 j) daß der Kleinrechner und der Musikwerk-Steuerteil Schaltungen enthalten, die zusammen gewährleisten, daß ein bestimmter Befehl des Kleinrechners mit der Bedeutung 'Tonsignalfolgen-Startadresse laden' bei seiner Ausführung bewirkt,

- daß der Inhalt eines im Befehl angegebenen Registers oder einer Arbeitsspeicherzelle auf die in f) angegebene Verbindungsgruppe durchgeschaltet wird,
 - daß danach die Steuerleitung 'Tonsignalfolgen-Startadresse übernehmen' den aktiven Signalwert erhält,
 - daß danach, sobald
 - der Tonkanalschrittzähler den gleichen Wert wie das Tonkanalnummernregister des Kleinrechners hat,
 - und gleichzeitig das Tonkanal-Nachladefreigabesignal C den nicht-aktiven Wert hat,in dem dadurch ausgewählten Tonkanalschritt in der Phase des Tonkanal-Schreibens die auf der in f) beschriebenen Verbindungsgruppe vorhandenen Signalwerte über den Nachladeadreßfeld-Zweiwegeschalter in das Nachladeadreßfeld der adressierten Zelle des Tonkanalspeichers eingeschrieben werden, und
 - daß danach bis zu einem auf den Befehlszyklus bezogenen Zeitpunkt das Signal 'Wort übernommen' laut i) den aktiven Signalwert erhält, und daß währenddessen die Steuerleitung 'Tonsignalfolgen-Startadresse übernehmen' wieder inaktiv geschaltet wird,
- k) daß der Kleinrechner und der Musikwerk-Steuerteil Schaltungen enthalten, die zusammen gewährleisten, daß ein bestimmter Befehl des Kleinrechners mit der Bedeutung 'Lautstärkefeld laden' bei seiner Ausführung bewirkt,
- daß der Inhalt eines im Befehl angegebenen Registers oder einer Arbeitsspeicherzelle auf die in f) beschriebene Verbindungsgruppe durchgeschaltet wird,
 - daß danach die Steuerleitung 'Lautstärkewert übernehmen' den aktiven Signalwert erhält,
 - daß danach, sobald der Tonkanalschrittzähler den gleichen Wert wie das Tonkanalnummernregister des Kleinrechners hat, in dem dadurch ausgewählten Tonkanalschritt in der Phase des Tonkanal-Schreibens die auf der in f) beschriebenen Verbindungsgruppe vorhandenen Signalwerte in das Lautstärke-Nachladefeld der adressierten Zelle des Tonkanalspeichers eingeschrieben werden, und

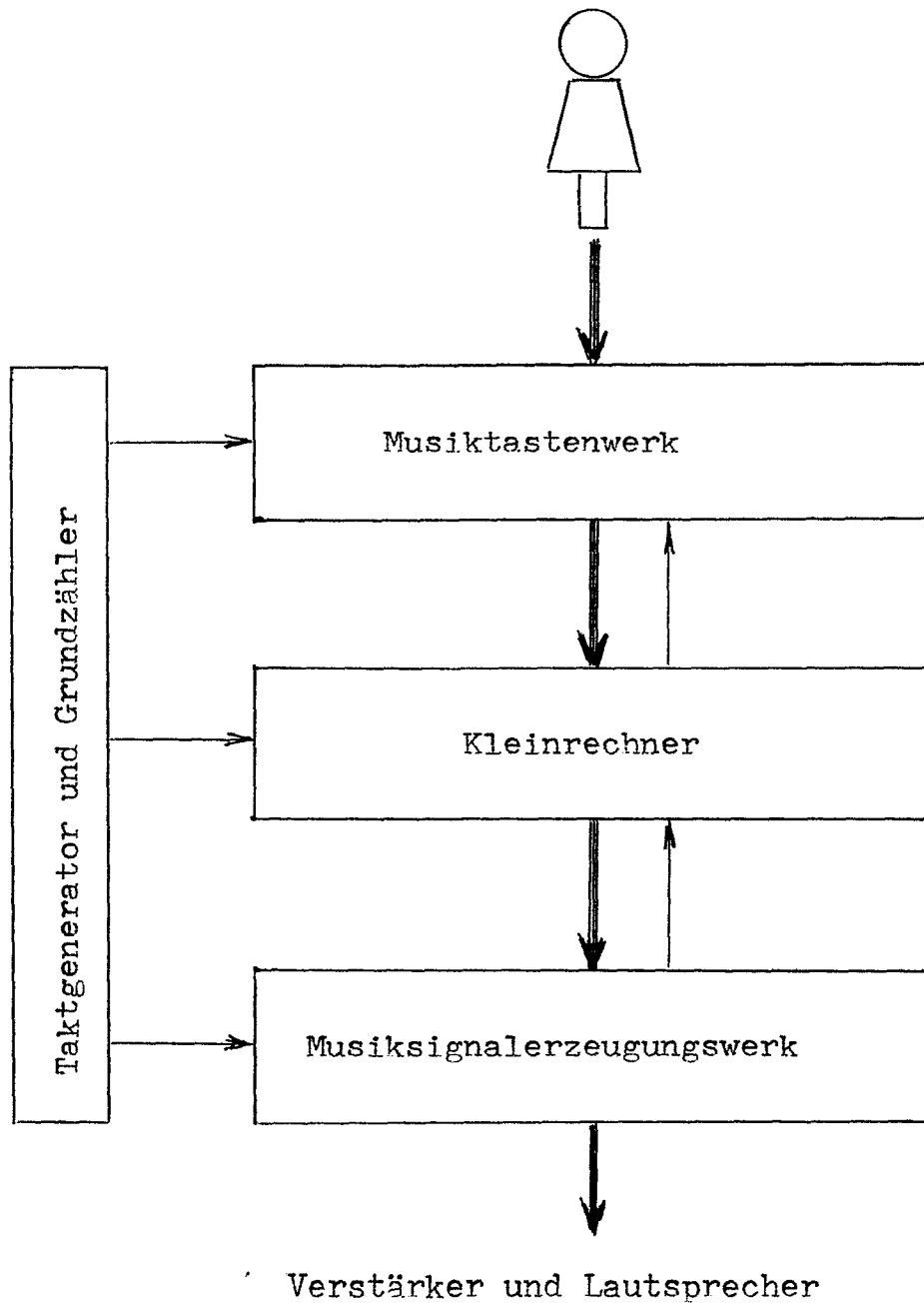
- daß danach bis zu einem auf den Befehlszyklus des Kleinrechners bezogenen Zeitpunkt das Signal 'Wort übernommen' laut i) den aktiven Signalwert erhält, und daß währenddessen die Steuerleitung 'Lautstärke-
- 5 wert übernehmen' wieder inaktiv geschaltet wird,
- l) daß eine Verbindungsgruppe vom Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregister (laut Anspruch 4e und 7r) zum Kleinrechner führt,
- m) daß eine Steuerleitung mit der Bedeutung 'Musikwerk-
- 10 versorgungs-Aufforderungsregister rücksetzen' vom Kleinrechner an den Rücksetzeingang des Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregisters führt,
- n) daß ein bestimmter Befehl des Kleinrechners bei seiner Ausführung bewirkt, und zwar nicht gleichzeitig
- 15 mit dem Setzen einer Bitstelle des Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregisters,
 - daß zuerst der Inhalt des Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregisters in den Kleinrechner übertragen wird,
 - 20 - und daß danach das Musikwerkversorgungs-Aufforderungsregister rückgesetzt wird,
- p) daß für Prüfzwecke von dem bzw. von jedem Musiksignalregister (laut Anspruch 5b) eine Verbindungsgruppe zum Kleinrechner führt,
- 25 q) daß ein bestimmter Befehl des Kleinrechners bei seiner Ausführung bewirkt, und zwar nicht gleichzeitig mit dem Laden des Musiksignalregisters, daß der Inhalt des bzw. eines im Befehl bezeichneten Musiksignalregisters in den Kleinrechner übertragen wird,
- 30 r) daß der Kleinrechner arithmetische und logische Verknüpfungsbefehle sowie bedingte Sprungbefehle ausführen kann, bei denen einer der beiden Operanden wahlweise
 - entweder eine im Befehl stehende Konstante,
 - 35 - oder der Inhalt eines im Befehl adressierten Mehrzweckregisters,
 - oder ein durch eine im Befehl stehende Konstante bezeichnetes Bit,

- oder ein durch bestimmte Stellen des Inhalts eines
im Befehl adressierten Mehrzweckregisters bezeich-
netes Bit
ist,
- 5 s) daß der Kleinrechner Datentransferbefehle zwischen
seinem Arbeitsspeicher und den Mehrzweckregistern aus-
führen kann, bei denen die Arbeitsspeicheradresse
durch logische Mischung
- eines in einem Mehrzweckregister stehenden Haupt-
10 teils
- mit einem im Befehl selbst stehenden Nebenteil,
der folglich als Distanzadresse wirkt,
gebildet wird,
und
- 15 t) daß der Kleinrechner einen getrennten Speicher zur
Speicherung der Befehle hat, so daß der Arbeitsspei-
cher allein den Daten vorbehalten ist.
- 10) Elektronisches Musikinstrument zur Durchführung des
20 Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

1/17

0103056

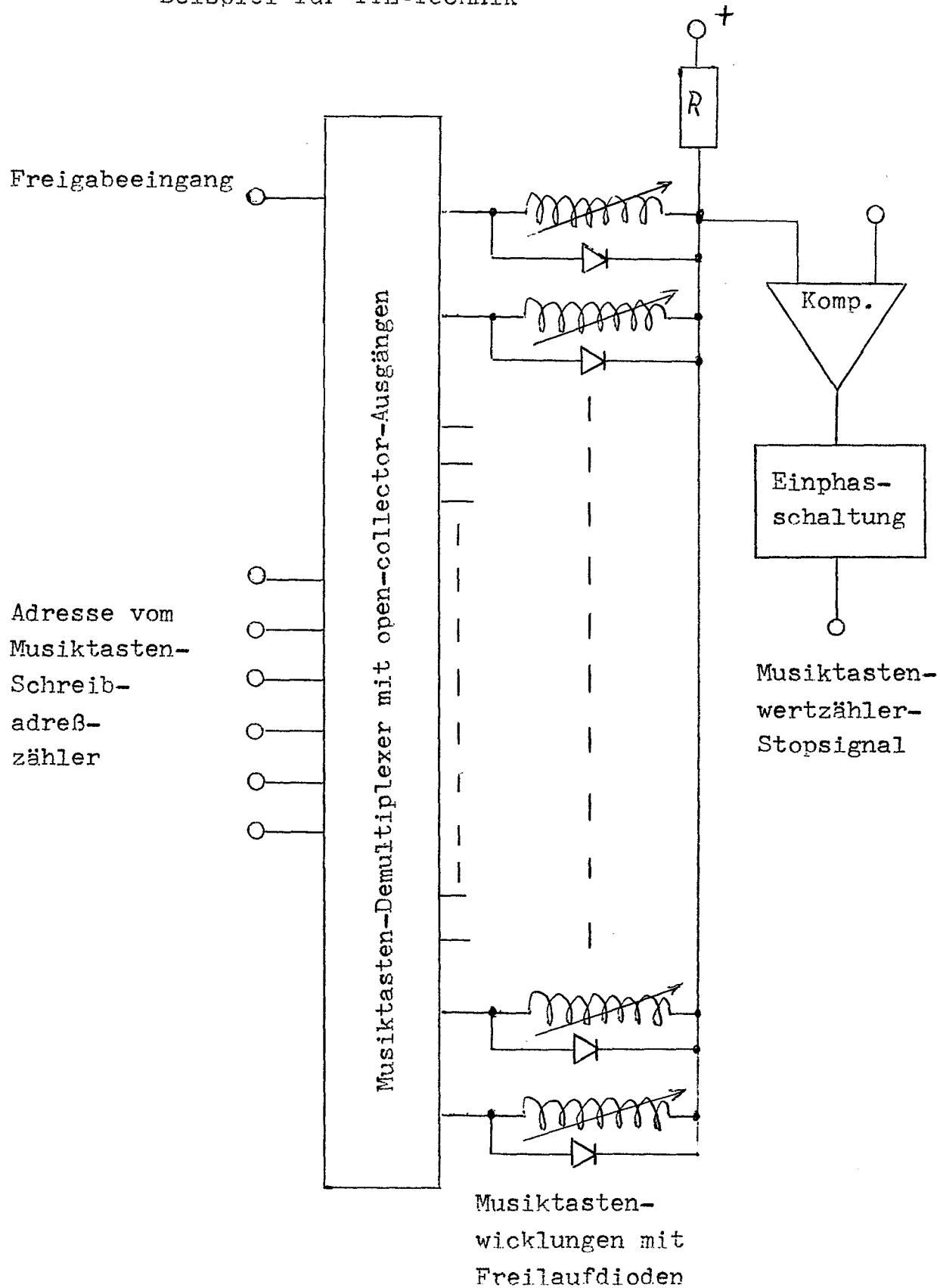
Fig. 1: Blockschaltbild eines Durchführungsbeispiels



2/17

0103066

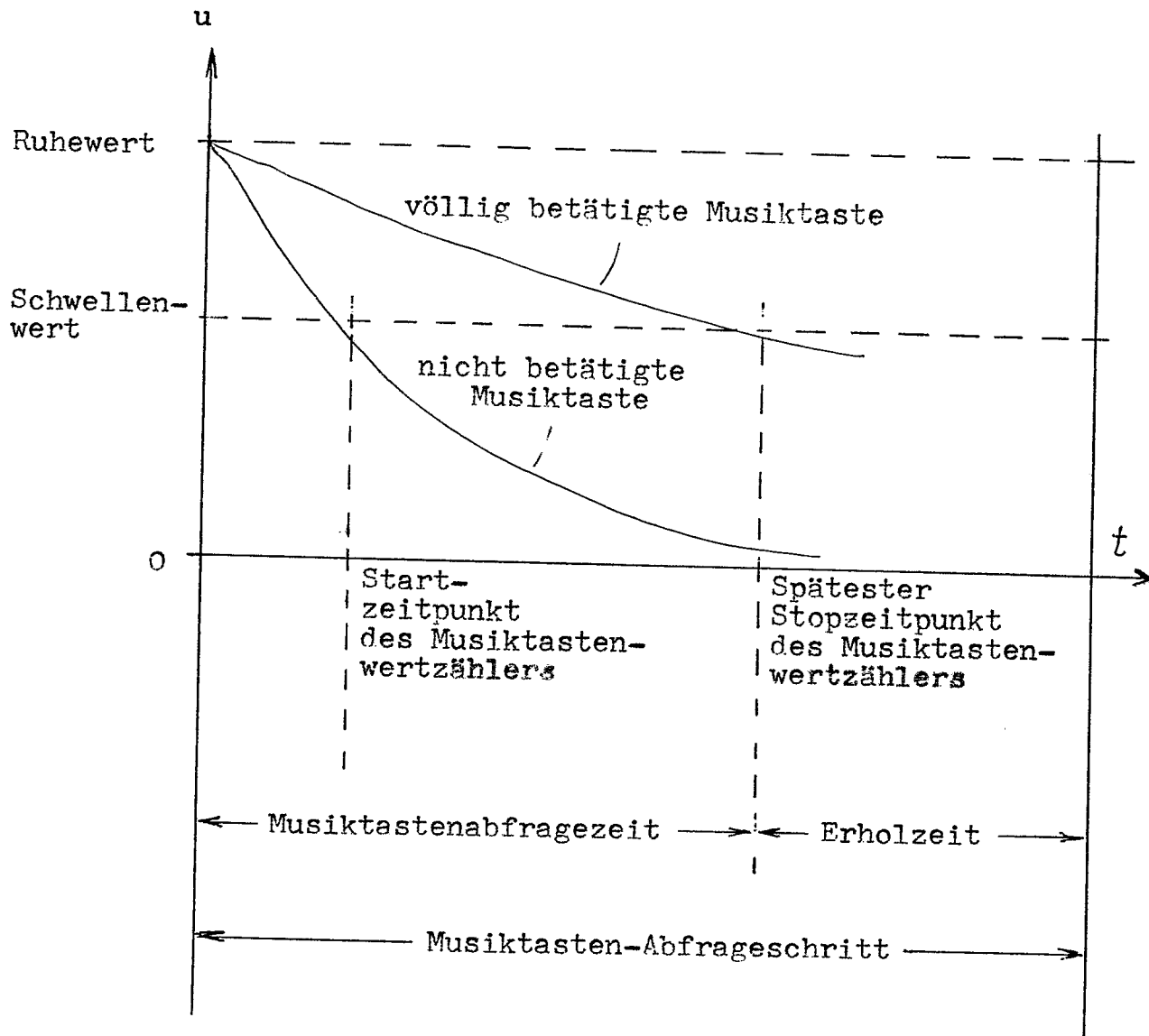
Fig. 2: Bildung des Musiktastenwertzähler-Stopsignals,
Beispiel für TTL-Technik



3/17

0103066

Fig. 3: Zeitverhalten und Spannungsverlauf innerhalb eines Musiktasten-Abfrageschrittes



4/17

0103066

Fig. 4: Grundzähler und Musiktasten-Schreibadreßzähler
(die angegebenen Zeiten sind als Beispiel zu sehen)

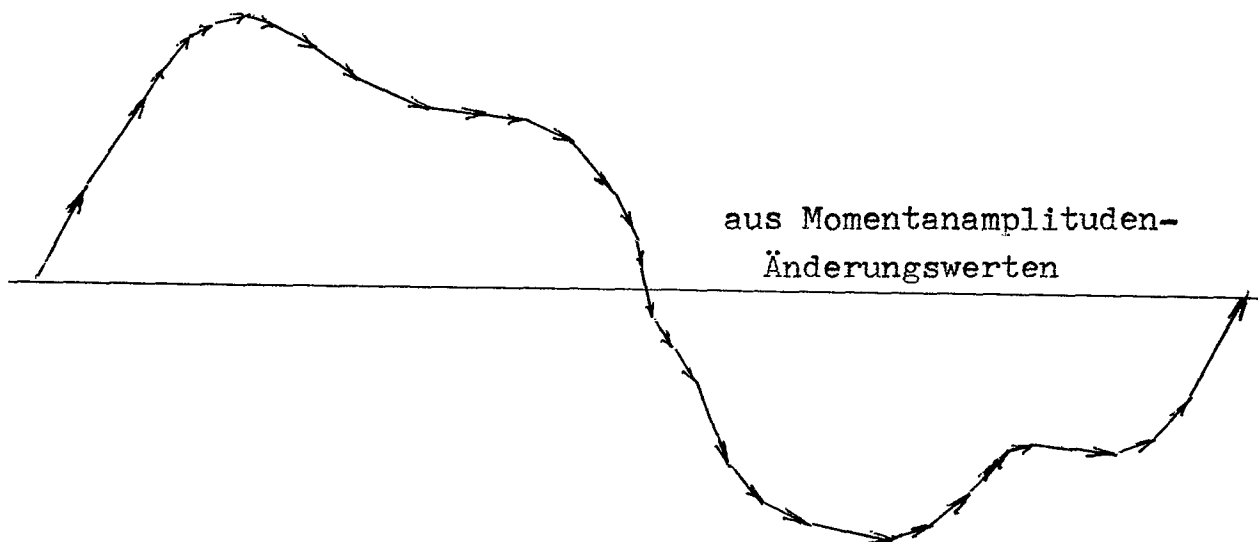
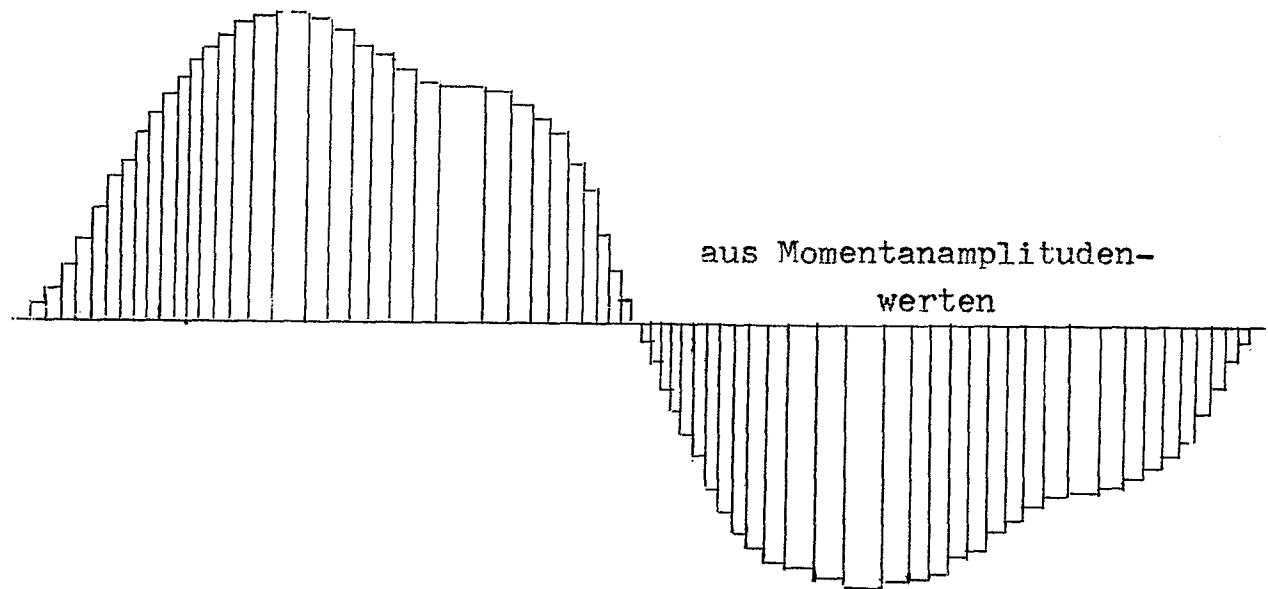
Grundzähler	Musiktasten-Schreibadreßzähler	
	4,096 ms	
	2,048 ms	
	1,024 ms	
	512 μ s	
	256 μ s	
	128 μ s	
	64 μ s	
	32 μ s	
	16 μ s	
	8 μ s	
	4 μ s	
	2 μ s	
	1 μ s	
	500 ns	
	250 ns	
	125 ns	
	62,5 ns	

62,5
ns

5/17

0103066

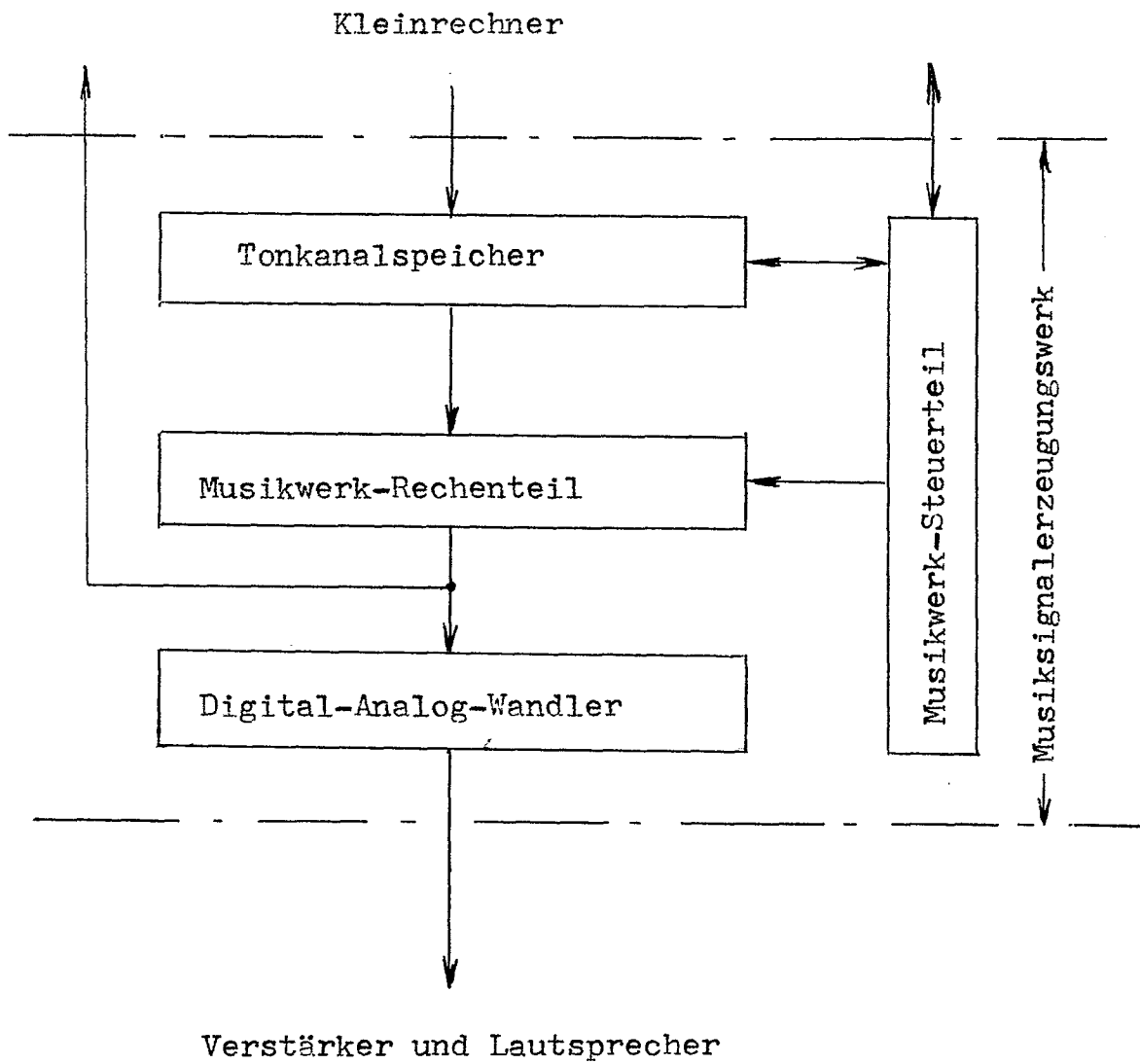
Fig. 5: Beispiele für die Bildung von Tonsignalen



6/17

0103066

Fig. 6: Blockschaltbild des Musiksinalerzeugungswerkes

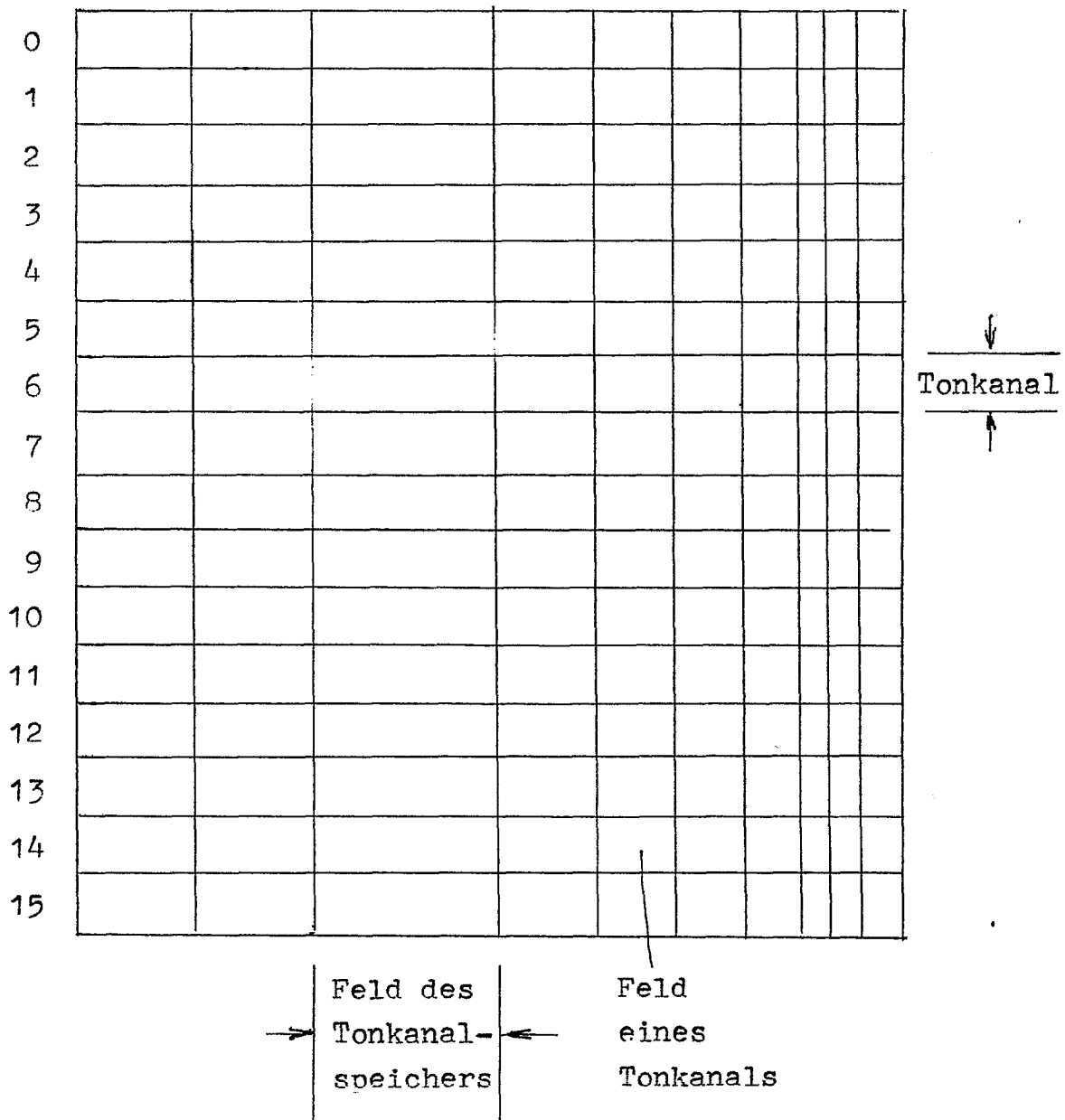


7/17

0103066

Fig. 7: Gliederung des Tonkanalspeichers

Ton-
kanal-
nummer



8/17

0103066

Fig. 8: Aufbau einer Tonsignalfolge

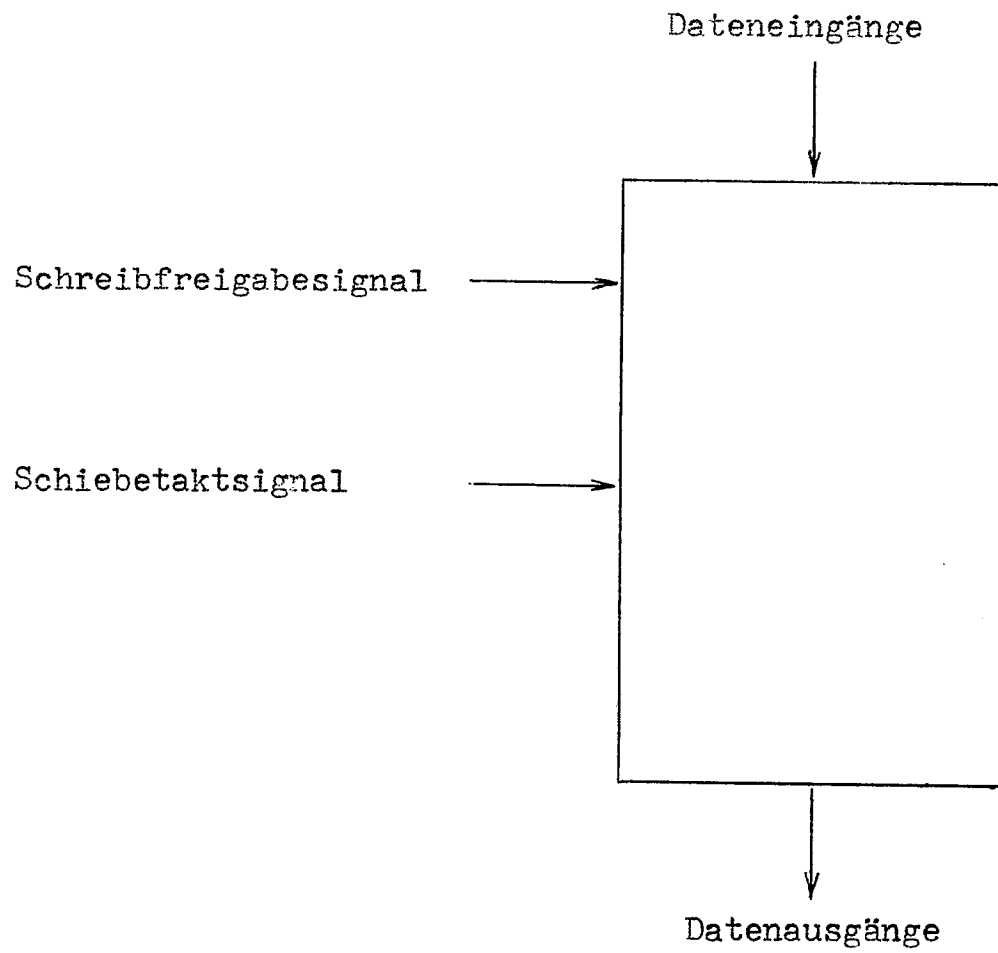
Momentanamplituden- werte bzw. Momentan- ampl.-Änderungswerte	Wirkungsdauer- werte	Signalfolgenende- Markierungsbit
		0
		0
		0
		0
		0
		0
		1
Tonsignalfolgen-Sprungadresse		

Tonsignalfolge

9/17

0103066

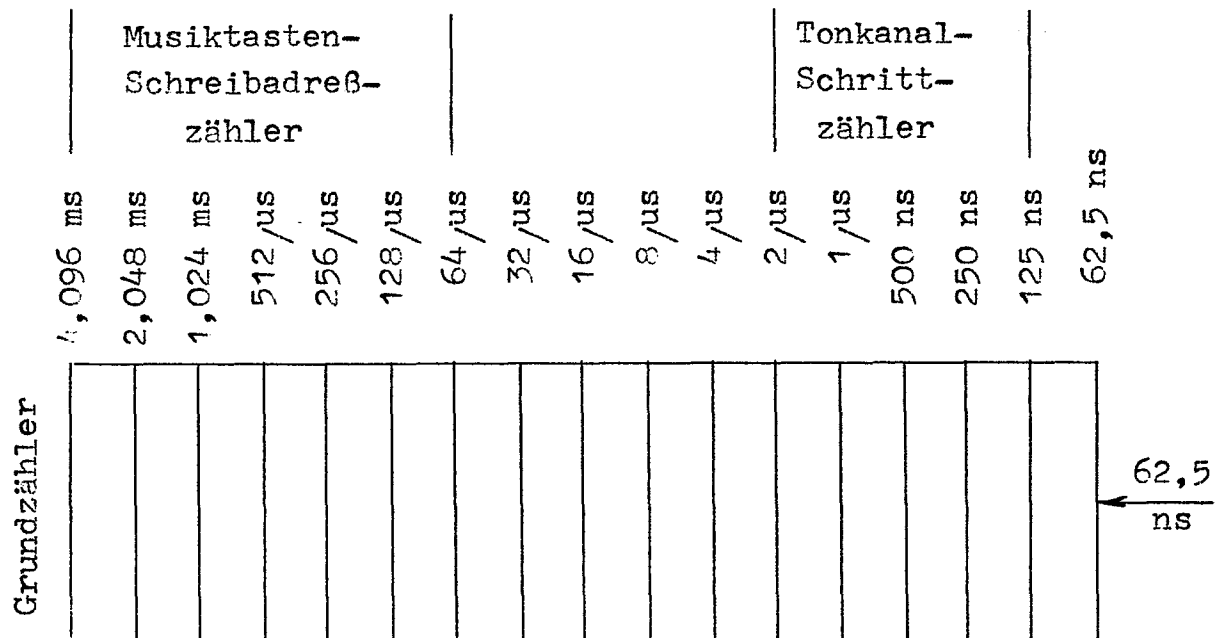
Fig. 9: Anschlüsse eines Feldes des Tonkanalspeichers



10/17

0103066

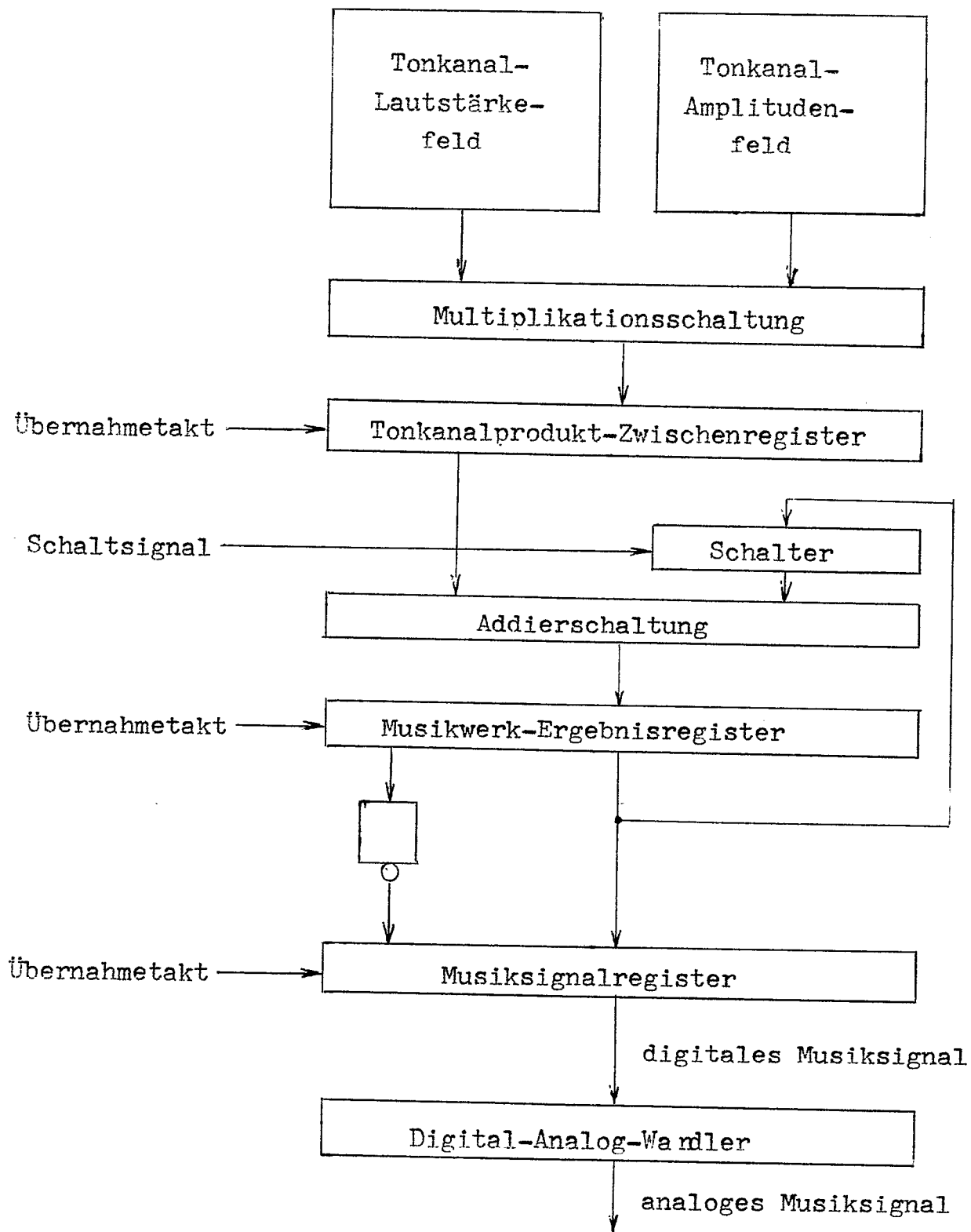
Fig. 10: Grundzähler, Musiktasten-Schreibadreßzähler und Tonkanalschrittzähler (die angegebenen Zeiten sind als Beispiel zu sehen)



11/17

0103066

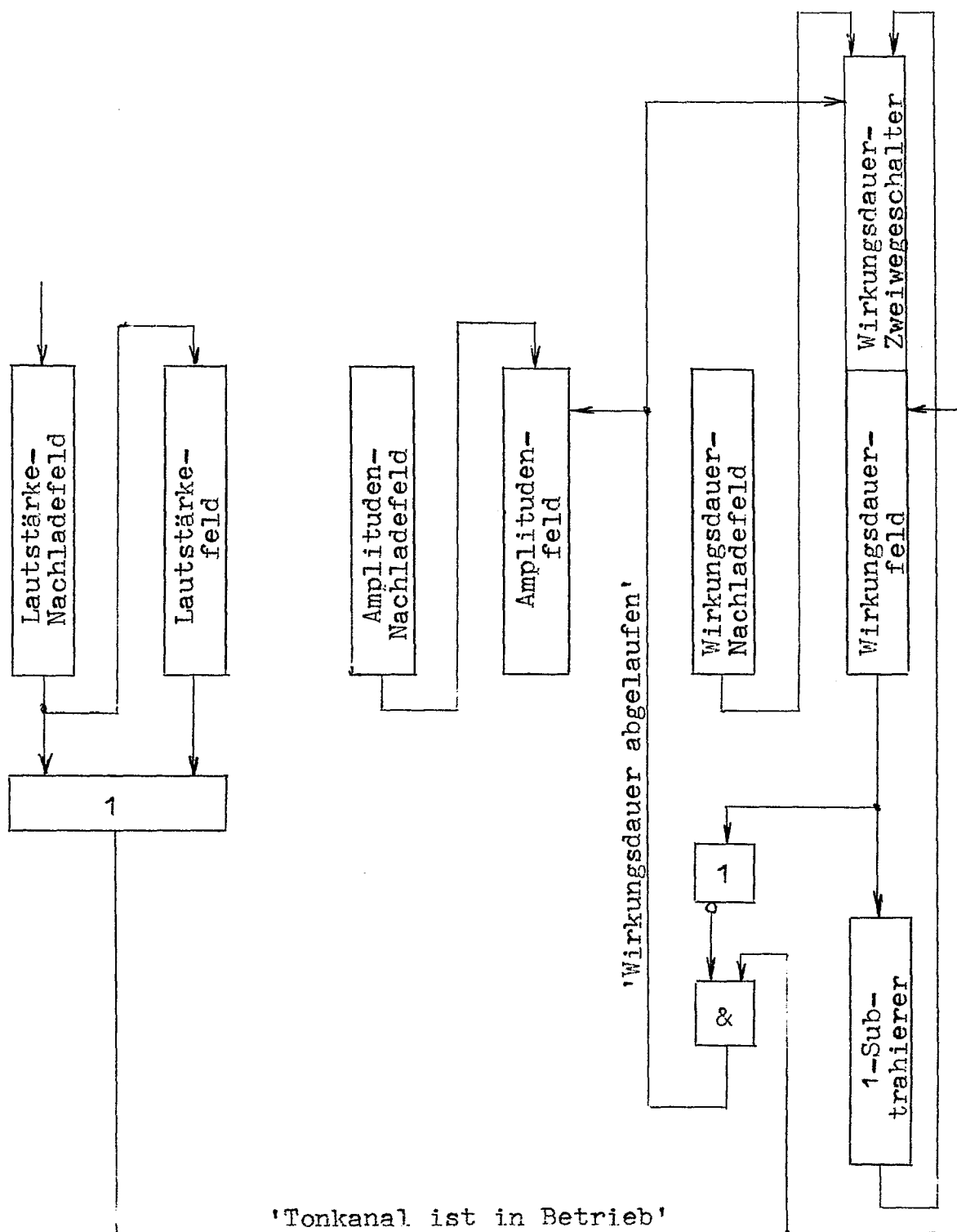
Fig. 11: Musikwerk-Rechenteil und Digital-Analog-Wandler



12/17

0103066

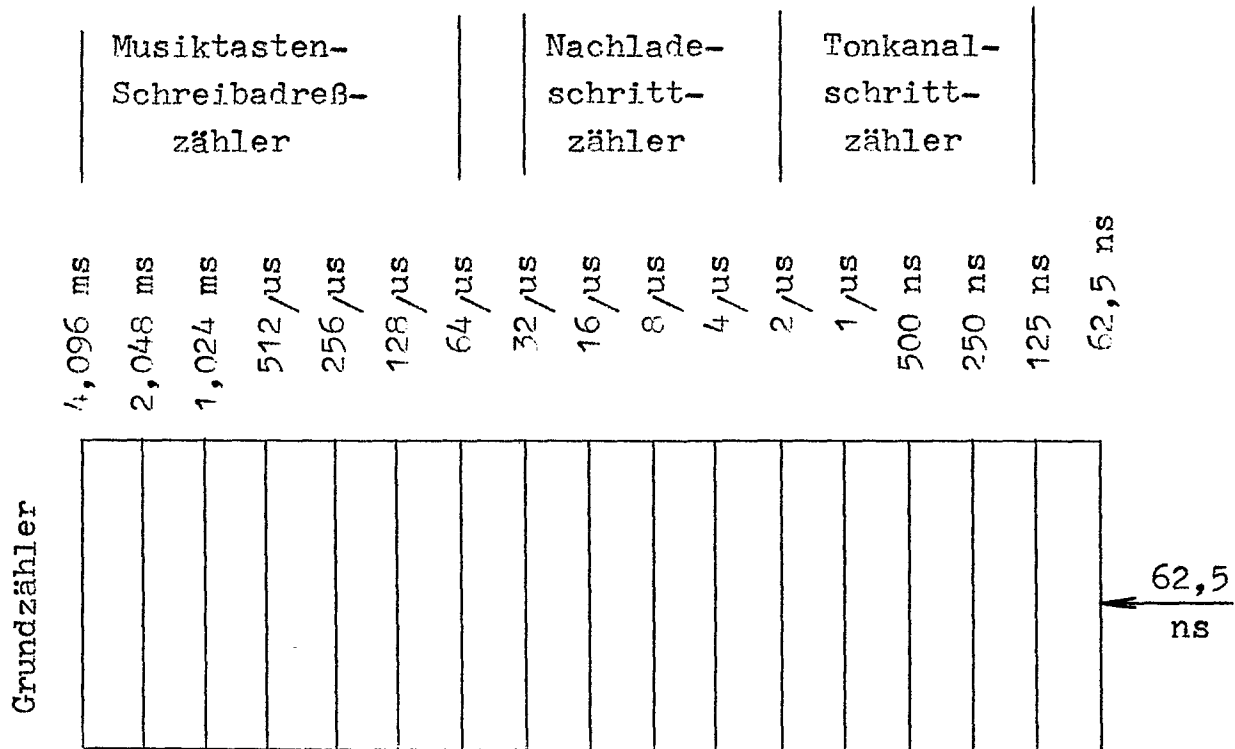
Fig. 12: Nachladeschaltungen und Nachladesignale



13/17

0103066

Fig. 13: Grundzähler, Musiktastenschreibadreßzähler, Nachladeschrittzähler und Tonkanalschrittzähler (die angegebenen Zeiten sind als Beispiel zu sehen)



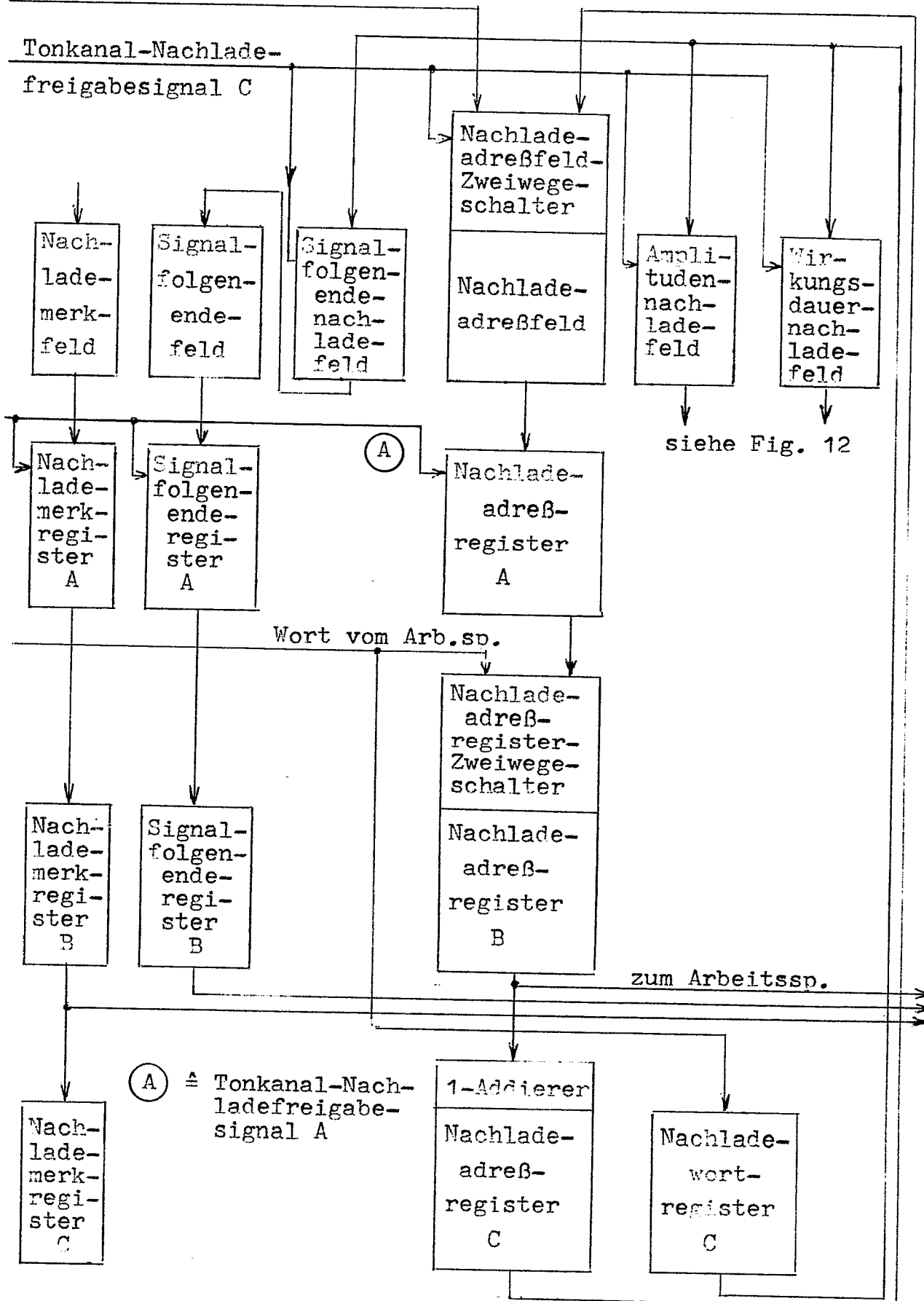
The diagram illustrates the charging cycle and the sequence of phases for a three-phase motor. The top part shows a timeline of 16 steps, labeled 0 to 15. A horizontal arrow labeled 'Nachladezyklus' (recharge cycle) spans from step 0 to step 15. A vertical line at step 7 marks the midpoint. A horizontal arrow labeled 'Nachladeschritt' (recharge step) indicates the duration of one step, from step 6 to step 7. The bottom part shows the sequence of phases (A, B, C) for each step. The phases are arranged in a triangular pattern, with A at the top, B at the bottom left, and C at the bottom right. The sequence is as follows:

Step	Phase Sequence
0	A B C
1	A B C
2	A B C
3	A B C
4	A B C
5	A B C
6	A B C
7	A B C
8	A B C
9	A B C
10	A B C
11	A B C
12	A B C
13	A B C
14	A B C
15	A B C

15/17

0103066

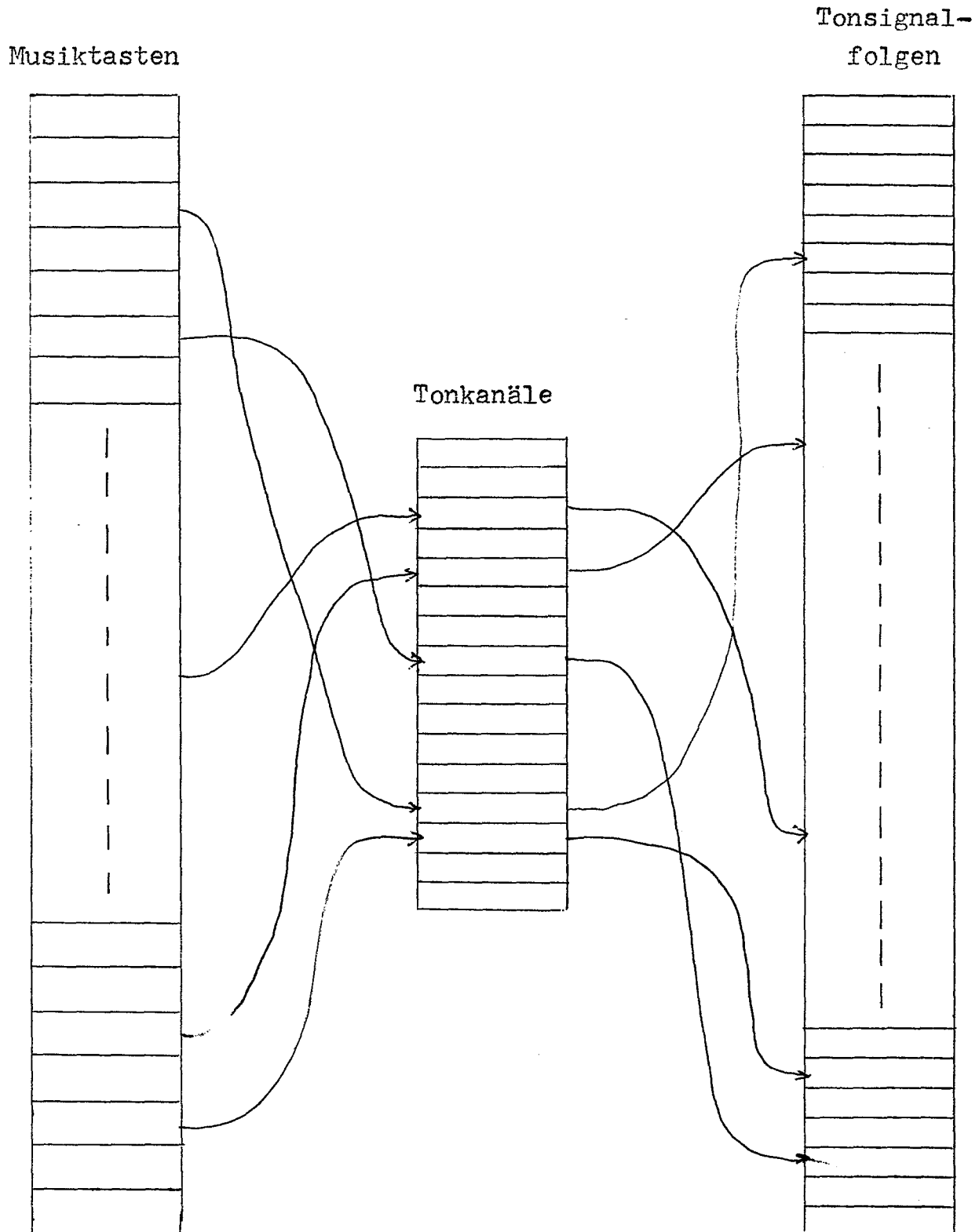
Fig. 15: Nachladefelder und Nachladesteuerfelder und -register vom Kleinrechner



16/17

0103066

Fig. 16: Beispiel einer Eins-zu-Eins-Zuordnung von Musiktasten zu Tonkanälen und von Tonkanälen zu Tonsignalfolgen



17/17

0103066

Fig. 17: Beispiel einer Eins-zu-Zwei-Zuordnung sowie einer Zwei-zu-Eins-Zuordnung von Musiktasten zu Tonkanälen und von Tonkanälen zu Tonsignalfolgen

