

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 53 (1962)

Heft: 14

Artikel: Akustische Messungen an elektronischen Kirchenorgeln

Autor: Lottermoser, W. / Meyer, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916953>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Akustische Messungen an elektronischen Kirchenorgeln

Von W. Lottermoser und J. Meyer, Braunschweig

534.6 : 681.828.3

Nach den bei Pfeifenorgeln bewährten Verfahren sind an sechs elektronischen Orgeln verschiedener Systeme Messungen des Schalldrucks, Analysen der Klangspektren und Einschwingvorgänge sowie Untersuchungen der Stimmung durchgeführt worden. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf die Bauprinzipien der verschiedenen Modelle erläutert und im Sinne einer klangqualitativen Beurteilung der Instrumente diskutiert. Außerdem werden sie mit den entsprechenden Resultaten von guten Pfeifenorgeln verglichen.

Selon des procédés appliqués avec succès aux orgues à tuyaux, on a mesuré la pression acoustique, analysé les spectres sonores et les phénomènes vibratoires, puis accordé six orgues électroniques de différents systèmes. Les résultats sont expliqués en tenant compte des principes de construction des différents modèles et les qualités sonores de ces instruments de musique sont examinées. Ces résultats sont en outre comparés avec ceux d'excellents orgues à tuyaux.

1. Einleitung

Unter den elektronischen Orgeln nehmen die Instrumente für Kirchenmusik insofern eine Sonderstellung ein, als sie dazu bestimmt sind, bereits vorhandene Kompositionen, für die schon relativ feste Klangvorstellungen bestehen, wiederzugeben. Daraus erklärt sich, dass die elektronischen Kirchenorgeln meist so konstruiert werden, dass sie den Pfeifenorgeln in ihrer Klangwirkung möglichst nahe kommen. Dagegen werden für Unterhaltungs- und Tanzmusik Instrumente mit neuen Klangwirkungen gesucht, für die ihrer Eigenart entsprechende Arrangements angefertigt werden.

Die klanglichen Eigenschaften von Pfeifenorgeln sind bereits in einer Reihe von akustischen Untersuchungen messtechnisch erfasst und in ihrer ästhetischen Wirkung diskutiert worden. Dabei hat sich gezeigt, dass die klanglich hochwertige Orgel ganz bestimmte Qualitätsmerkmale besitzt, die in den Messergebnissen eindeutig zum Ausdruck kommen [1] ¹⁾. Sie bilden infolgedessen eine sichere Grundlage für die Durchführung von vergleichenden Messungen an elektronischen Orgeln. Im einzelnen eignen sich hierfür insbesondere Untersuchungen der:

Schalldrucke,
Klangspektren,
Einschwingvorgänge und
Stimmung.

Dabei sind die ersten drei Arten der Messungen sowohl auf die Plena als auch auf die Einzelregister anzuwenden.

2. Arbeitsweise elektronischer Orgeln

Bekanntlich gibt es verschiedene Möglichkeiten, Klänge mit elektronischen Mitteln zu erzeugen [2]. Die zur Zeit auf dem Markt befindlichen Instrumente, deren Spieltische (Fig. 1) sich meist nicht von denen

moderner Pfeifenorgeln unterscheiden, lassen sich in zwei Hauptgruppen gliedern:

1. Instrumente auf rein elektronischer Grundlage; man unterscheidet dabei solche, die

- nur 12 Generatoren für die höchste Oktave besitzen, von denen alle tieferen Klänge durch Frequenzteilung abgeleitet werden (z. B. Lipp, Baldwin);
- für jede Taste einen selbständigen Generator haben, wobei die über die Skala nach oben (4', 2' usw.) und nach unten (16', 32') hinausgehenden Töne durch weitere Oszillatoren erzeugt werden (z. B. Ahlborn, Vierling).

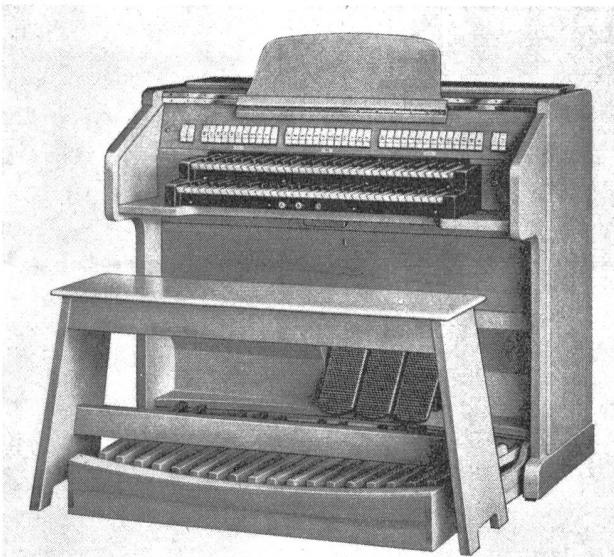
2. Instrumente auf mechanisch-elektronischer Grundlage; hiezu gehören:

- Systeme mit schwingenden Zungen, die kapazitiv abgetastet werden (Wurlitzer);
- Systeme mit rotierenden Zahnrädern, die in Magnetsystemen Wechselspannungen induzieren (Hammond).

Um die verschiedenen Klangfarben der Register zu gewinnen, verfahren viele Modelle so, dass sie sehr obertonreiche Wechselspannungen (Sägezahn, Rechteck, differenziertes Rechteck) als Grundlage benutzen und die gewünschten Farben durch Filtergruppen aussieben. Bei Zungen erreicht man entsprechende Effekte durch Abtastung an verschiedenen Stellen. Im Gegensatz dazu steht das additive Prinzip, bei dem die Klänge aus einzelnen in ihrer Intensität fest eingestellten oder regelbaren Sinustönen zusammengesetzt werden.

Die Abstrahlung der Klänge erfolgt bei allen Systemen der elektronischen Orgel über Lautsprecher. Im allgemeinen besitzen die Instrumente für die einzelnen Manuale und das Pedal getrennte Verstärker oder mindestens gesonderte Ausgänge, so dass es möglich ist, durch eine entsprechende Gruppierung der Tonabinette die räumliche Wirkung einer in mehrere Werke gegliederten Pfeifenorgel nachzuahmen.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.



SEV 51173

Fig. 1
Elektronische Kirchenorgel

3. Messverfahren

Zur Gewinnung vergleichbarer Ergebnisse ist es erforderlich, alle Instrumente unter den gleichen Bedingungen zu prüfen. Hiefür eignet sich am besten ein grösserer Raum mit einer Nachhallzeit von etwa 1,5...2,5 s, da er eine hinreichende Halligkeit mit einer ausreichenden Präsenz verbindet und auch den Verhältnissen in kleineren und mittleren Kirchen entspricht [3].

In Anlehnung an frühere Untersuchungen an Pfeifenorgeln wurde zur Aufnahme der *Schalldruck-Kurven* das Mikrophon in einem Abstand von 10 m vor der Schallquelle, in diesem Fall also dem Lautsprechergehäuse aufgestellt und die empfangene Amplitude von einem Pegelschreiber registriert²⁾. Um den Einfluss der stehenden Wellen im Raum soweit als möglich zu verringern, wurden jeweils drei benachbarte Tasten (C Cis D, Dis E F, usw.) gleichzeitig angeschlagen, so dass in jeder Oktave der Klaviatur vier Gruppen mit den entsprechenden Messwerten auftreten.

Zur Darstellung der *Klangfarbe des «Vollen Werkes»* hat sich eine Methode bewährt, bei der die gleichen 3-Tasten-Aufnahmen durch Oktav sieben analysiert werden [4]. Zu jeder der genannten vier Gruppen pro Oktave gewinnt man eine spektrale Schalldruckverteilung, wobei eine perspektivische Aufzeichnung einen charakteristischen Überblick über das ganze Werk gewährt.

Die *Klangfarben der Einzelregister* lassen sich am besten durch eine Suchtonanalyse darstellen, wobei es wie bei Pfeifenorgeln zweckmässig ist, das Mikrophon 1 m vor der Schallquelle aufzustellen, um die Einflüsse des Raumes weitgehend auszuschalten. Dieses Verfahren gestattet, neben den Amplituden der harmonischen Teiltöne auch eventuell vorhandene unharmonische Komponenten und Störgeräusche festzustellen.

Besonders wichtig für die Klangwirkung und Charakterisierung eines Musikinstrumentes ist der Verlauf der *Einschwingvorgänge*, also die zeitliche Ent-

²⁾ Die Messungen wurden in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig durchgeführt.

wicklung der Amplituden der einzelnen Teiltöne nach dem Tastenanschlag. Zur Darstellung dieser Phänomene hat sich die Methode der Oktavsieboszillographie bewährt [4; 5]. Neuerdings eignet sich hiefür besonders der sog. Blauschreiber, auf dessen Schirm einmägige Vorgänge als beibendes Bild sichtbar gemacht werden können. Man geht zweckmässigerweise von einer Tonbandaufnahme aus, die mehrfach abgespielt wird. Ein Kontakt auf dem Tonband gestattet, die Zeitablenkung auf dem Bildschirm jeweils zum gleichen Zeitpunkt der Aufnahme auszulösen. Dadurch können die Vorgänge in den einzelnen Oktavsieben synchron untereinander dargestellt werden.

Zur Untersuchung der *Stimmung* wurden die Grundtonfrequenzen längs der ganzen Klaviatur mit einem Filter ausgesiebt und mit einem elektronischen Zählgerät bestimmt. Die gemessenen Werte wurden in Beziehung zur mathematisch temperierten Skala (Halbtonschritt: $\sqrt[12]{2} : 1$) gesetzt und die Unterschiede in cent umgerechnet (1 Halbtonschritt $\sqrt[12]{2} : 1$ entspricht 100 cent).

4. Messergebnisse

a) Schalldrucke

In den Diagrammen der Fig. 2 erkennt man Pegelregistrierungen verschiedener Register, wobei jeweils zwei verschiedene Orgeln einander gegenübergestellt wurden. Nach oben ist der Schalldruck in db über $2 \cdot 10^{-4}$ µbar aufgetragen, von links nach rechts ist die Tastatur zu denken. Es wurden jeweils drei Tasten gleichzeitig etwa 5 s lang angeschlagen und der gemessene Wert auf eine Taste reduziert. Die erkennbaren Schwankungen sind durch Schwebungen zwischen den drei gleichzeitig abgestrahlten Klängen zu erklären. Die linke Kolonne der Registrierstreifen stammt von einer Orgel, bei der zu jeder Taste ein eigener Generator vorhanden ist. Die rechte Gruppe gehört zu einer Orgel, bei der die Gewinnung der tieferen Klänge durch Frequenzteilung erfolgt.

Man sieht, dass im allgemeinen der Schalldruckverlauf längs der Klaviatur eine abfallende Tendenz besitzt. Lediglich die Trompete 8' (links) zeigt eine ansteigende Kurve, was diesem Register eine besondere Charakteristik verleiht. Der Prinzipal 8' und das Gedackt 8' der linken Gruppe weisen eine grosse Ähnlichkeit im Verlauf auf mit einem Maximum bei der Gruppe dis e f. Allerdings ist der Gedackt 8' in seinem gesamten Pegel um etwa 5 db schwächer, was auch etwa den Verhältnissen bei Pfeifenorgeln entspricht.

Bei Präsentant 4' liegt die ganze Schalldruckgruppierung eine Oktave tiefer. Das ist dadurch zu erklären, dass infolge der Fusslage des Registers die Oszillatoren der nächst höheren Oktavlage an die Tasten angeschaltet werden. Die Schalldruckwerte entsprechen dabei denen des Prinzipal 8'.

Auch bei der Orgel der rechten Spalte zeigen sich ähnliche Wiederholungen, jedoch sind die Lautstärkeverhältnisse etwas anders. So ist hier die Gedacktstimme 8' stärker als der Prinzipal 8'. Vor allem ist der Präsentant 4' wesentlich lauter. Die Trompete 8' ist bei diesem Instrument das lauteste Register und zeigt längs der Klaviatur eine abfallende Tendenz, was die Eigenschaften des Pfeifenregisters recht gut wieder gibt.

In der untersten Reihe sind die Mixturen der beiden Orgeln wiedergegeben. Bekanntlich werden derartige

Fig. 2

Verlauf des absoluten Schalldruckes längs der Klaviatur bei einigen Registern zweier elektronischer Orgeln
p Schalldruck

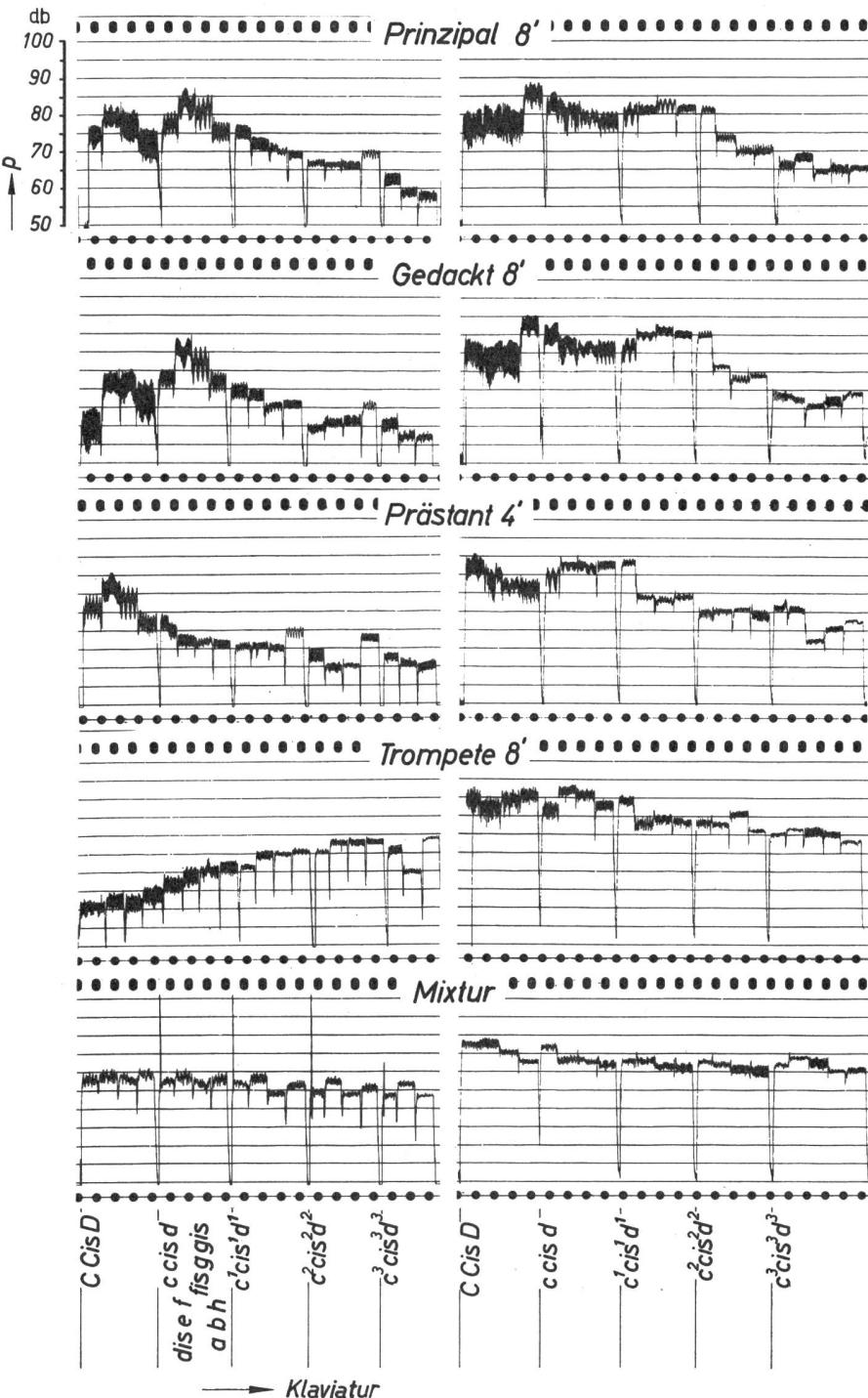
«gemischte Stimmen» bei der Pfeifenorgel durch eine entsprechende Vielzahl von Pfeifenreihen in Quint- und Oktavabständen zusammengesetzt. Wegen ihrer relativ hohen Frequenzlage wirken sie im Sinne einer Aufhellung des Gesamtklanges und bilden somit einen wesentlichen Bestandteil des Plenums. Wie die Figur zeigt, besitzen beide Mixturen einen recht ausgeglichenen Verlauf und kommen damit den natürlichen Mixturen sehr nahe.

Bei jeder elektronischen Orgel ist naturgemäß der Schalldruck von dem Verstärkungsgrad und dem Lautsprecheraufwand abhängig. Es ist daher leicht möglich, die Schaldrücke je nach den räumlichen Erfordernissen einzustellen, wobei allerdings die Verhältnisse zwischen den einzelnen Registern erhalten bleiben. Außerdem bieten die elektronischen Orgeln dem Spieler die Möglichkeit, mit Hilfe eines Schwellertisches die Lautstärke zu variieren. Die besprochenen Diagramme waren alle in der Maximalstellung dieses Schwellers aufgenommen. Wieweit er eine Regelung ermöglicht, zeigt Fig. 3, in welcher der Schalldruckverlauf des «Vollen Werkes» bei geöffnetem und geschlossenem Schwellertisch wiedergegeben ist. Danach beträgt die Dynamik dieses Instrumentes über die ganze Klaviatur hinweg etwa 25 db.

b) Oktavsiebanalysen der Plenum-Klänge

Unter einem Plenum versteht man die Kombination der Register der Prinzipalgruppe: Prinzipal 8', Oktave 4', Oktave 2' und Mixtur, zu denen sich im Hauptwerk (1. Manual) eine 16'-Stimme, entweder Prinzipal 16' oder auch Bourdon 16' gesellt. Im Pedal werden meist Prinzipalbass 16', Oktavbass 8' und 4' und falls vorhanden, eine Pedalmixtur zum Plenum zusammengestellt. Oktavsiebanalysen solcher Klänge sind bereits an vielen berühmten historischen sowie an modernen Orgeln durchgeführt worden und haben sich dabei als besonders wichtig für die Beurteilung der Klangqualität erwiesen [4].

In Fig. 4 sind derartige Diagramme von zwei elektronischen Orgeln zusammengestellt. In beiden Fällen befindet sich in der linken Kolonne die Darstellung des 1. Manuals, in der Mitte die des 2. Manuals und rechts die des Pedals. Entsprechend der perspektivi-



schen Darstellung ist von vorn nach hinten die Klaviatur zu denken. Zu jeder 3-Tasten-Gruppe gehört ein Diagramm der Schalldruckverteilung in acht Oktav-

Frequenzgrenzen der Filter

Tabelle I

Filternummer	Frequenzgrenzen Hz		
1	50...	100	
2	100...	200	
3	200...	400	
4	400...	800	
5	800...	1 600	
6	1 600...	3 200	
7	3 200...	6 400	
8	6 400...	12 800	

sieben, deren Frequenzgrenzen in Tabelle I zusammengestellt sind. Bei den Diagrammen sind auf der Abszisse die laufenden Filternummern aufgetragen. Nach oben ist der jeweils gemessene auf eine Taste reduzierte Schalldruck in μ bar angegeben.

Fig. 4 lässt erkennen, dass das Plenum des 1. Manuals der Orgel *a* sehr starke Schaldrücke in tiefen Frequenzbereichen liefert, weshalb der Klang laut und dunkel wirkt. Im Gegensatz dazu besitzt das 2. Manual niedrigere Werte und zeigt in den einzelnen Diagrammen eine Aufteilung in zwei Maxima, die durch eine Senke getrennt sind. Während das untere den Grundtönen der Prinzipale zuzuordnen ist, lässt sich das obere durch die verwendete Mixtur erklären und deutet auf eine wirksame Aufhellung der Klangfarbe hin. Bemerkenswert ist, dass das obere Maximum über die ganze Klaviatur seine Frequenzlage kaum verändert und dadurch formant-ähnliche Eigenschaften besitzt. Hinsichtlich dieser spektralen Energieverteilung ähnelt dieses Plenum weitgehend manchen an guten Pfeifenorgeln gemessenen Diagrammen. Auch die Stärke des Pedals ist dem 2. Manual gut angeglichen. Die verwendete Mixtur macht sich durch schwache Nebenmaxima bemerkbar.

Die Orgel *b* zeigt dagegen im Pedal ausserordentlich hohe Schaldruckwerte (bis zu 8 μ bar), was als ungünstig anzusehen ist, weil dadurch die Manualstimmen infolge des Verdeckungseffektes im Ohr nicht recht zur Geltung kommen können [6]. Auch die Manualplena leiden an einer zu starken Betonung der tiefen Teiltöne und ergeben längs der Klaviatur keine so ausgewogenen Diagrammfolgen wie die Orgel *a*. Die Wirkung der Mixturen macht sich durch mehr oder weniger deutliche Maxima bemerkbar, doch ist auch hier die Ungleichmässigkeit der Diagrammfolgen zu bemängeln. Es sei in diesem Zusammenhang noch darauf hingewiesen, dass auch moderne Pfeifenorgeln vielfach nicht die Ausgeglichenheit berühmter bürgerlicher Instrumente erreichen.

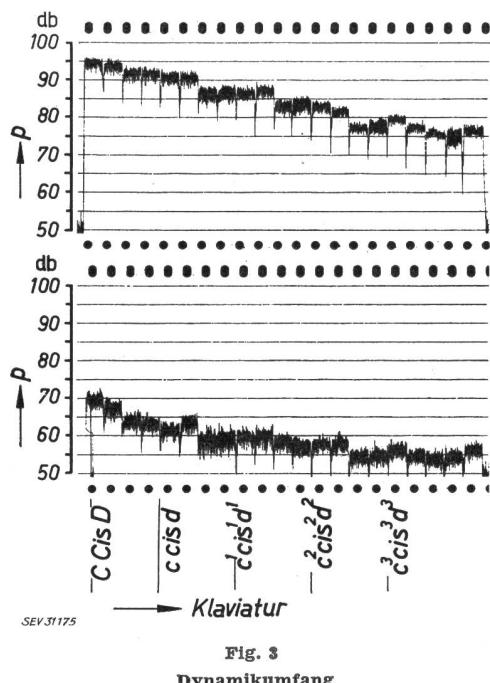


Fig. 3
Dynamikumfang

Schwelltritt oben in Maximalstellung, unten in Minimalstellung
 P Schalldruck

c) Teiltonspektren

In den Fig. 5...8 sind Teiltonanalysen der c^1 -Klänge einiger Register wiedergegeben. Sie zeigen die Registrierstreifen der Suchtonanalyse, wobei auf der Abszisse die Frequenz und nach oben die relative Schalldruckamplitude in db aufgetragen ist. Die einzelnen Teiltöne treten als Spitzen verschiedener Höhe auf.

Die Prinzipale 8' (Fig. 5) entsprechen beide weitgehend den Spektren der gleichnamigen Orgelpfeifen. Das obere Diagramm gibt einen grundtönigeren Klang wieder, in dem die ersten beiden Teiltöne überwiegen. Das untere zeigt eine Betonung der geradzahligen Partialtöne und ist außerdem obertoniger, wodurch eine hellere, aber immer noch typische Prinzipalklangfarbe erreicht wird.

In Fig. 6 sind zwei Gedacktstimmen dargestellt. Der untere Registrierstreifen gibt ein Spektrum in der Art wieder, wie es auch von gedackten Pfeifen bekannt ist. Der Grundton ist bei weitem der stärkste Teilton und die ungeradzahligen Harmonischen überwiegen. Der zweite Teilton ist schwach ausgebildet, der vierte ist bereits überhaupt nicht mehr angezeigt worden. Daraus resultiert eine volle, etwas geschlossen wirkende Klangfarbe. Demgegenüber ist das Gedackt der oberen Zeile nicht so typisch gelungen. Der Grundton ist zwar der stärkste, doch nehmen die höheren Partialtöne in ihrer Intensität stetig ab. Das Timbre dieser Stimme tendiert deshalb etwas in Richtung einer dunklen Prinzipalfarbe. Interessant dürfte in diesem Zusammenhang sein, dass das obere Spektrum durch Ausfilterung aus einem obertonreichen Klang, das untere durch die Addition einzeln eingestellter Sinustöne entstanden ist.

Das Orgelregister Oboe zeichnet sich durch einen besonders grossen Obertonreichtum aus. Diesem Vorbild kommt das untere Diagramm der Fig. 7 sehr nahe. Der Grundton ist relativ schwach, die grösste Intensität wird bei dem 4. Teilton erreicht. Außerdem fällt im Bereich um 2500 Hz eine Gruppe stärkerer Teiltöne auf, die dem Gesamtklang eine charakteristische Farbe verleiht, welche dem «e»- und «i»-Formanten entspricht. Bei dieser Imitation einer Zungenstimme erweist es sich als vorteilhaft, sehr obertonreiche Spannungen als Ausgangspunkt zu nehmen und durch Filter mit Formanten zu versehen. Dagegen bietet die Addition von Sinustönen gewisse Grenzen, da bei solchen Instrumenten mehr als etwa 8...10 Obertöne einen zu grossen Kostenaufwand bedeuten. Auf dem oberen Registrierstreifen sind für das als Oboe bezeichnete Register sogar nur fünf Teiltöne vorhanden. Eine Ähnlichkeit mit der entsprechenden Zungenstimme der Orgel oder dem Orchesterinstrument ist daher kaum zu finden.

Bei der Pfeifenorgel enthält das Plenum wegen seiner Zusammensetzung aus Pfeifen der 16', 8', 4', 2'-Lagen sowie aus Mixturen vorwiegend Teiltöne gerader Ordnungszahlen, wobei in hohen Lagen die durch 4 teilbaren Harmonischen überwiegen. Diese Aufgabenstellung ist in dem Spektrum der unteren Zeile von Fig. 8 recht gut erfüllt. Der Grundton hat eine Frequenz von etwa 130 Hz (c^1 , 16'). Die noch tiefer liegende Spur ist auf einen Störeffekt zurückzuführen. Bemerkenswert sind die geringen Amplituden des 3., 5., 7., 9. usw. Teiltones. Die Komponenten über etwa 2000 Hz beruhen auf der Wirkung der Mixtur. Im Plenum der oberen Zeile wurde versucht, die Mixtur durch eine Hervorhebung des 8. Teiltones anzudeuten, weil das

Fig. 4

Oktavsiebdigramme der Plenumklänge zweier elektronischer Orgeln
Qualitätsunterschiede der Beispiele
a und b
p Schalldruck

Instrument keine so reichhaltigen Spektren ermöglicht. Auf diese Weise lässt sich jedoch kein überzeugender Plenumklang darstellen. Die Klangfarbe ist außerdem wegen der stark herausragenden ersten beiden Teiltöne ziemlich dunkel.

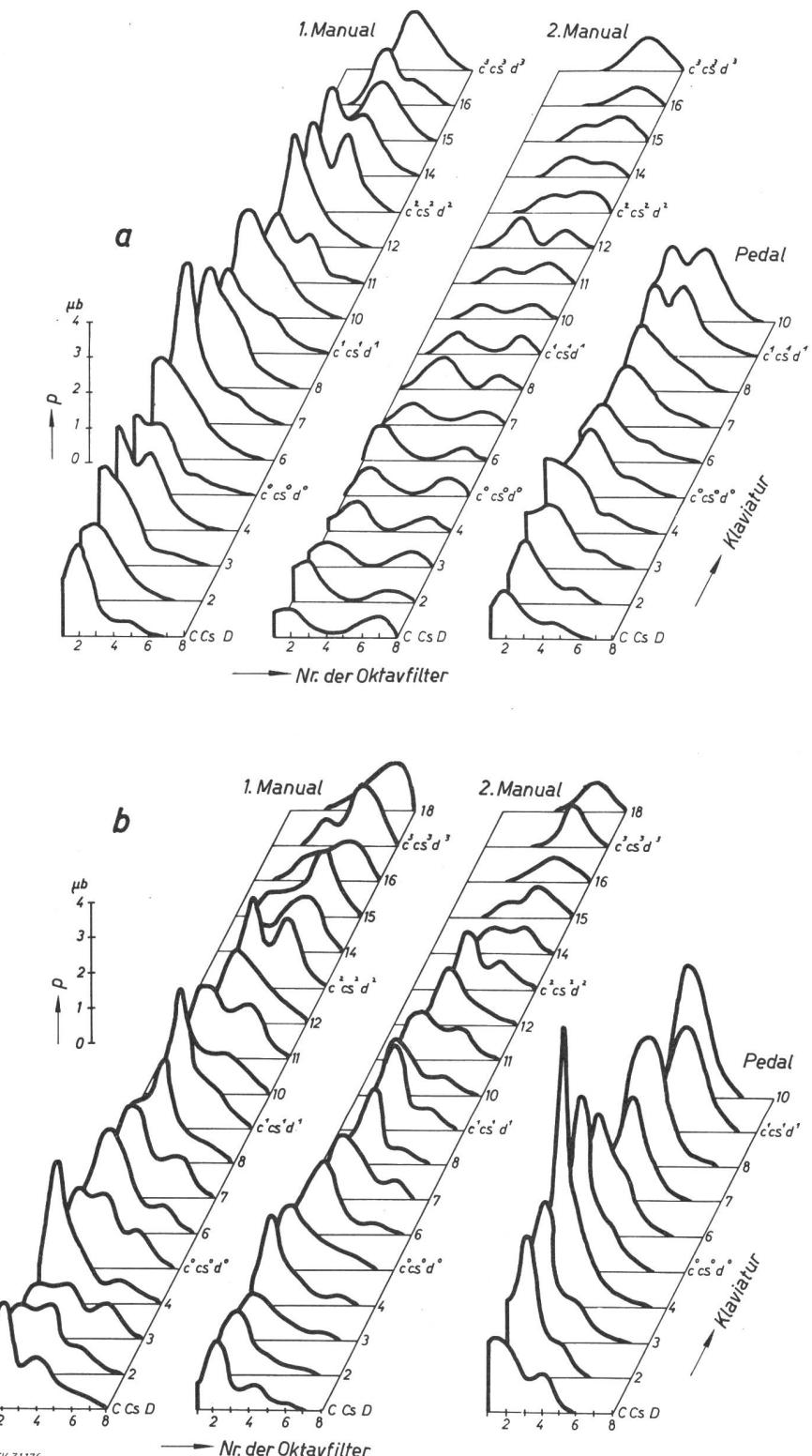
d) Störeffekte

Bei der Untersuchung der Teiltonspektren traten auch einige Störeffekte deutlich in Erscheinung, die sich schon beim Anhören der Instrumente bemerkbar gemacht hatten. Ihre Erklärung finden sie vor allem in der Art ihrer Schwingungserzeugung und Klangformung. Naturgemäß sind sie bei leisen Registern besonders auffallend, weil hier der Störabstand geringer ist.

In Fig. 9a ist der Klang c^2 einer Oktave 2' analysiert. Der Grundton liegt in diesem Fall etwas über 2000 Hz, der erste Oberton über 4000 Hz. In tiefen Frequenzlagen erkennt man eine Obertonfolge des Netzbrummens, das teilweise in den Filtern eingefangen wird, teilweise auch in den Leistungsverstärkern entsteht. Grundsätzlich lässt sich jedoch diese unerwünschte Erscheinung durch eine genaue Symmetrierung und stärkere Abschirmung verhältnismäßig leicht verringern.

Fig. 9b zeigt das Spektrum einer Salizional-Stimme auf der Taste c^3 . Die tatsächlichen Teiltöne des Klanges sind durch Kreise markiert. Zwischen ihnen ist eine Fülle von Teiltönen zu erkennen, die teilweise eine beachtliche Amplitude besitzen. Wie man besonders deutlich zwischen dem 1. und 2. harmonischen Teilton erkennen kann, handelt es sich bei den Zwischenmaxima um Töne der zwölfstufigen Skala. Sie entstehen durch akustisches und elektrisches Übersprechen der zu den nicht angeschlagenen Tasten gehörenden Schwingungserzeuger, die bei diesem Instrument dauernd oszillieren. Gehörsmässig wird dieses Tongemisch als ein unangenehmes Summen diskreter Frequenzen empfunden.

Bei Orgeln mit Frequenzteilung besteht die Möglichkeit, dass beim Anschlag einer Taste durch Über-



sprechen auch die Obertonreihe der nächsttieferen Oktave erscheint. In Fig. 9c ist das Klangspektrum eines Prästant 4' c^1 dargestellt, in welchem der Grundton etwa bei 520 Hz liegt. Der zweitstärkste Teilton befindet sich bei etwa 780 Hz, also nur eine Quinte höher und ist deshalb als fremd im harmonischen Aufbau zu bezeichnen. Bei genauerer Betrachtung entdeckt man den hiezu gehörigen Grundton bei etwa 260 Hz und dessen schwache ungeradzahlige Obertöne zwischen den eigentlichen Harmonischen. Dieser Effekt

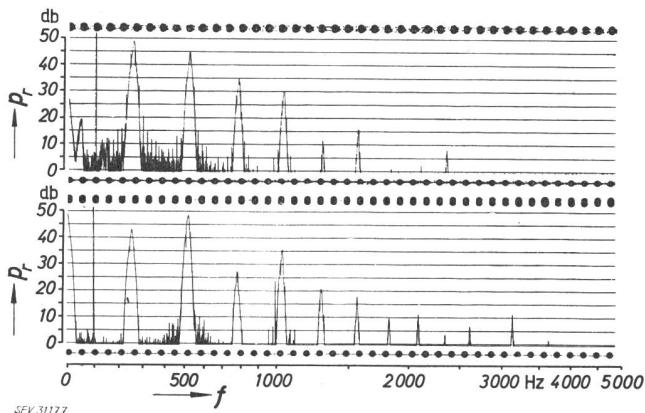


Fig. 5

Teiltonspektren zweier Prinzipalstimmen (Taste c¹)
 p_r relativer Schalldruck; f Frequenz

ist jedoch wesentlich weniger störend als die oben erwähnten Erscheinungen, zumal es gebräuchlich ist, 4'-Stimmen zusammen mit 8'-Registern zu verwenden.

e) Einschwingvorgänge

Grundsätzlich kann man bei elektronischen Orgeln zwei Arten des Klangeinsatzes unterscheiden. Entweder schaltet man durch den Tastenanschlag eine bereits laufende Schwingung mehr oder weniger plötzlich auf den Verstärker, oder aber man stößt den Oszillator erst durch den Tastenanschlag zum Schwingen an. Im ersten Fall erreicht die Amplitude praktisch unabhängig von der Frequenz nahezu momentan ihren Endwert; die rechteckige Hüllkurve dieses Vorgangs erzeugt auf Grund ihres spektralen Kontinuums ein Knackgeräusch, das bei manchen Instrumenten durch Vorschaltung von Widerständen gemildert wird. Es besteht auch die Möglichkeit, diese Widerstände von der Tastenbewegung abhängig zu machen, so dass der Spieler den Klangeinsatz schneller oder langsamer verlaufen lassen kann. Jedoch schwingen bei diesen Verfahren alle Obertöne mit der gleichen Geschwindigkeit ein. Da dies aber in keiner Weise den Verhältnissen bei Pfeifenorgeln entspricht, wird bei einigen elektronischen Modellen versucht, eine bessere Nachahmung dadurch zu erreichen, dass die Obertöne mit verschiedener Schnelligkeit einsetzen und außerdem gewisse Vorläufererscheinungen auftreten; solche Phänomene lassen sich bei Orgeln der zweiten Art leichter erzielen.

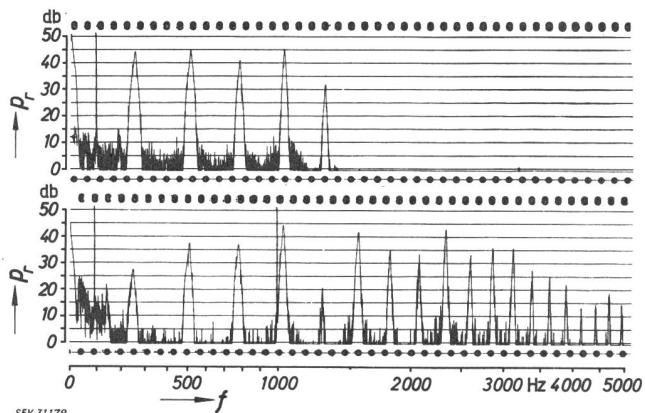


Fig. 7

Teiltonspektren zweier als Oboe bezeichneter Register (Taste c¹)
 p_r relativer Schalldruck; f Frequenz

Als Beispiele sind in Fig. 10 die Einschwingvorgänge von C und c¹ der Prinzipal 8'-Register zweier elektronischer Orgeln dargestellt. Die beiden rechten Oszillogramme zeigen deutlich den Effekt des plötzlichen Einschaltens, der durch den Einschwingvorgang des Lautsprechers geringe Veränderungen erfährt. Bei c¹ ist der stationäre Vorgang bereits nach etwa 20 ms erreicht, bei C benötigt lediglich der Grundton eine etwas längere Zeit. Demgegenüber weisen die Ausgleichsvorgänge der linken Beispiele abgerundete Hüllkurven und längere Einschwingzeiten auf. Besonders bemerkenswert ist das langsame Einschwingen des Grundtons von C, die höherfrequenten Partialtöne erscheinen bei diesem Klang allerdings verhältnismäßig spät. Insgesamt wird dadurch ein weicher Klang-einsatz hervorgerufen. Die Schwierigkeiten, die bereits bei der Gestaltung des Einschwingvorganges einer einzelnen Prinzipalstimme entstehen, vervielfachen sich natürlich im Klangeinsatz des Plenums, so dass hiebei die bisherigen Lösungen in manchen Fällen ebenfalls noch nicht voll befriedigen können.

Einen besonderen Reiz der Pfeifenorgel bildet die Mannigfaltigkeit der Amplitudenentwicklung bei den verschiedenen Registern. Durch besondere Registerverstärker lässt sich dies bis zu einem gewissen Grade bei elektronischen Orgeln nachahmen. Vergleicht man die Einschwingvorgänge von c¹ Prinzipal 8' (Fig. 10, links), Gedackt 8' und Trompete 8' (Fig. 11, links), so erkennt man eine starke Verschiedenartigkeit in den Klangeinsätzen gegenüber der stets gleichen Amplitu-

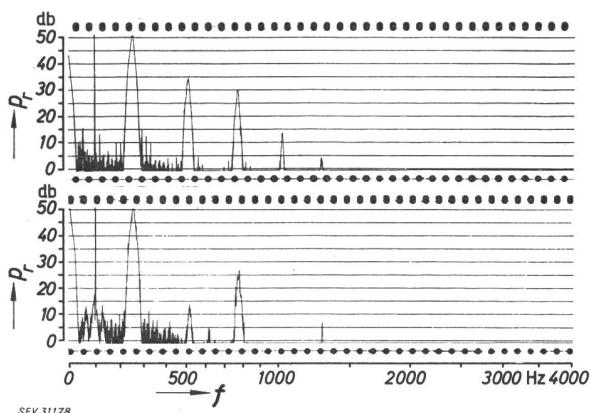


Fig. 6

Teiltonspektren zweier Gedacktstimmen (Taste c¹)
 p_r relativer Schalldruck; f Frequenz

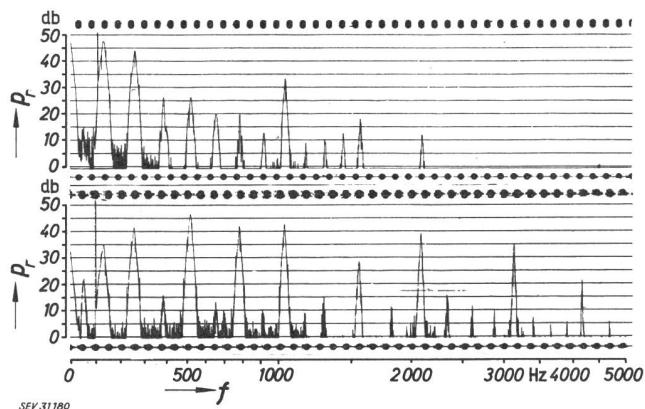


Fig. 8

Teiltonspektren zweier Plena (Taste c¹)
 p_r relativer Schalldruck; f Frequenz

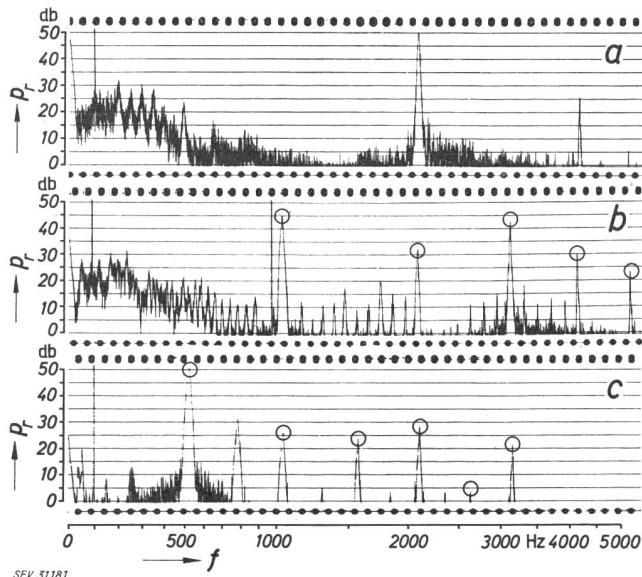


Fig. 9

Störeffekte in den Teiltonspektren

a Netzbrummen (Oktave 2', c³); b Übersprechen der unbenutzten Schwingungserzeuger (Salizional 8', c⁴); c Obertonreihe der Unter-oktave (Prestant 4', c¹)
 P_r relativer Schalldruck; f Frequenz

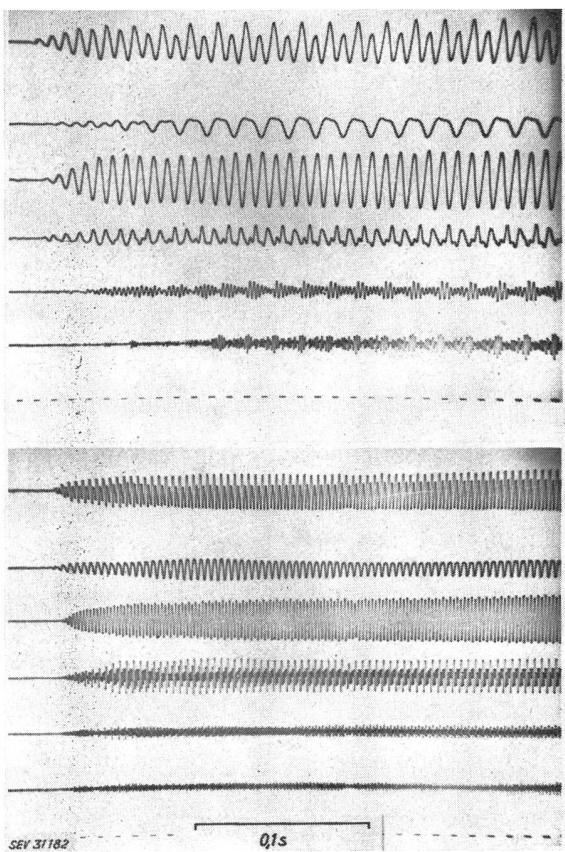
denentwicklung in den Diagrammen der rechten Spalte, bei denen nur der Obertongehalt der einzelnen Register unterschiedlich ist. Typisch für Gedacktpfeifen sind geräuschähnliche Vorläufererscheinungen in höheren Frequenzbereichen, während sich der Grundton relativ langsam entwickelt. Diesem Vorbild kommt

das Register von Fig. 11, links, sehr nahe. Die darunter abgebildete Trompete zeichnet sich durch einen natürlichen, prompten Einsatz aus, wobei die Obertöne im Bereich von 710...1400 Hz auffallenderweise langsam einschwingen. Außerdem treten Verschiebungen im Obertongehalt auf, die die Klangwirkung in günstiger Weise beleben. Trotzdem ist in beiden Fällen ein Einschaltknack, wie er deutlich bei den Bildern der rechten Spalte auftritt, vermieden.

f) Stimmung

Bei Orgeln mit Röhren- oder Transistor-Generatoren lässt sich eine gewünschte Stimmung ziemlich leicht einstellen; die eigentlichen Schwierigkeiten liegen erst darin, dass die einmal hergestellte Frequenzskala auch über lange Zeiten erhalten bleiben soll. Es werden daher meist besonders stabile Rückkoppelungsschaltungen mit hochqualifizierten Schaltelementen angewendet, bei denen auch für eine ausreichende Durchlüftung gesorgt ist. Im Gegensatz dazu liegt bei manchen Orgeln, die bewegte mechanische Teile zur Schwingungserzeugung benützen, die einmal erzielte Stimmung unveränderlich fest. Besonders die Verwendung einer Serie von Zahnrädern, die auf einer gemeinsamen Welle von einem Synchronmotor angetrieben werden, führt zu einer exakten Stimmungshaltung, da die Frequenzskala nur durch die Verhältnisse der Zähnezahlen festgelegt wird.

Will man nach diesem System eine mathematisch temperierte Tonleiter herstellen, so sind allerdings komplizierte Getriebe erforderlich, um den irrationalen Halbtonabstand von $12\sqrt{2}:1$ durch ein rationales Verhältnis hinreichend genau anzunähern [7]. Wie weit

Fig. 10
Einschwingvorgänge zweier Prinzipalregister bei den Klängen C und c¹

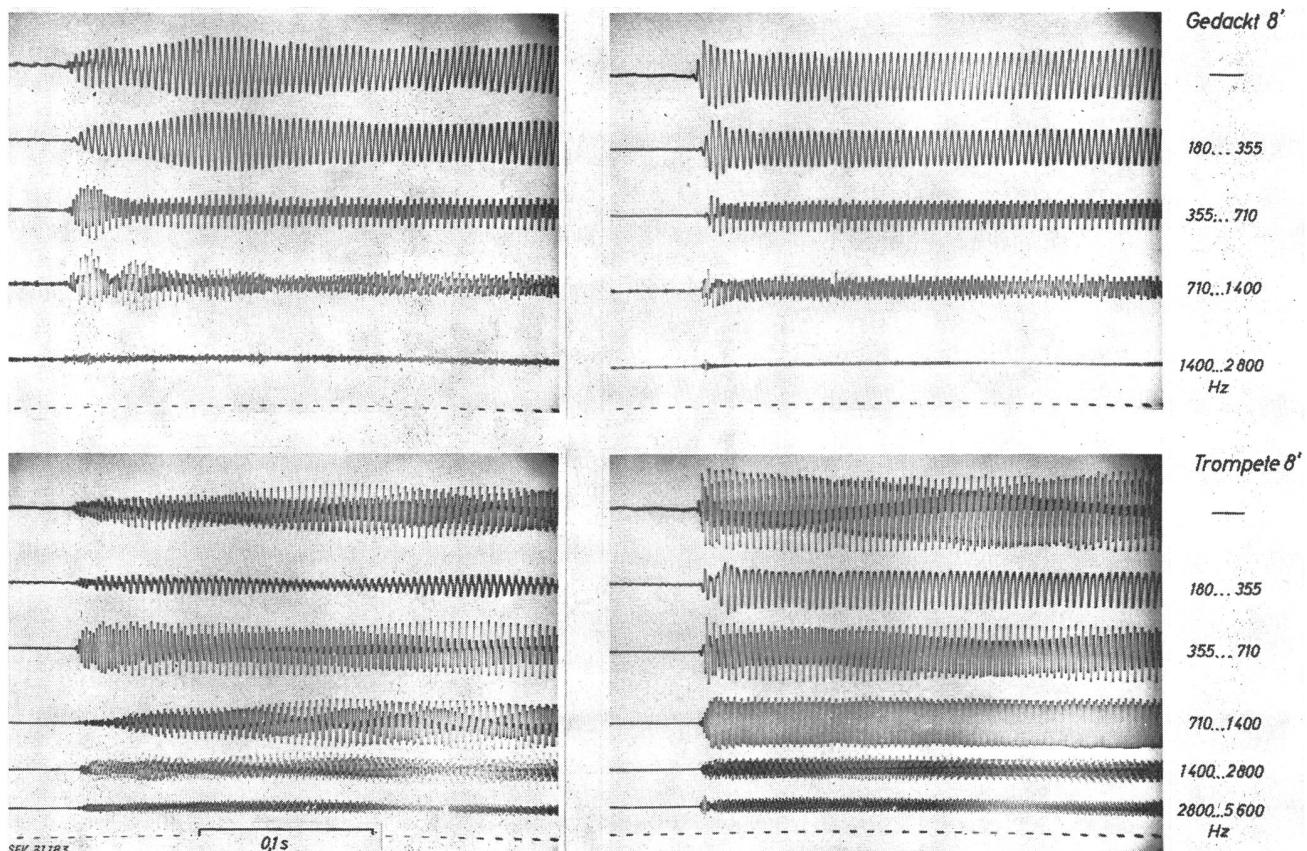


Fig. 11
Einschwingvorgänge von Gedackt 8' und Trompete 8' bei zwei elektronischen Orgeln (Taste c¹)

das bei solchem Aufwand möglich ist, zeigt die oberste Kurve in Fig. 12. Als Abszisse dient die Halbtionskala der Tasten, nach oben bzw. unten ist die Abweichung der einzelnen Frequenzen von der auf $a^1 = 440$ Hz aufgebauten wohltemperierten Stimmung in cent aufgetragen. Man erkennt, dass diese Abweichungen sehr gering sind und Werte von ± 2 cent nicht übersteigen. In der zweiten Zeile der Figur ist das entsprechende Ergebnis eines Instrumentes wiedergegeben, bei dem die Schwingungserzeugung durch abgestimmte Zungen erfolgt. Es treten hier grössere Sprünge von Ton zu Ton auf, die jedoch noch nicht das bei Pfeifenorgeln übliche Mass übersteigen.

Dass sich auch bei rein elektronischen Orgeln eine solche Stimmungsgenauigkeit erreichen lässt, beweisen die beiden unteren Kurven in Fig. 12. Die zugehörigen Instrumente sind dabei zur Messung nicht neu eingestimmt worden, sondern wurden so untersucht, wie sie nach längerer Benützung und Transport angeliefert wurden. Das Diagramm c stammt von einer Orgel mit Röhren-Generatoren, die Zeile d gibt die Ergebnisse von einem mit Transistoren bestückten Instrument wieder. In beiden Fällen ist für jede Taste ein eigener Oszillator vorhanden, so dass sich die gemessenen Abweichungen unregelmässig über die Klaviatur verteilen. Erfolgt die Schwingungserregung durch 12 Generatoren mit Frequenzuntersetzung, so ergeben sich naturgemäss bei den Frequenzabweichungen periodische Wiederholungen im Oktavabstand.

Bemerkenswert ist noch bei diesen Resultaten, dass die Kurve a für alle Exemplare des gleichen Modells gilt, da die gemessenen Abweichungen konstruktionsbedingt sind, während sich die Diagramme b...d nur

auf das jeweils untersuchte Instrument beziehen, da hiebei die Einzelgeneratoren unabhängig voneinander eingestimmt werden und die Abweichungen auf den Toleranzen des Stimmvorganges und auf zeitlichen Veränderungen von Schaltelementen beruhen. Selbstverständlich lassen sich diese Orgeln jederzeit nachstimmen.

Es ist jedoch noch die Frage offen, wie genau die wohltemperierte Skala eingehalten werden soll und in welchem Masse die Abweichungen als belebendes Element wirken. Hiebei spielt es naturgemäß auch eine Rolle, ob die einzelnen Teiltöne eines Klanges aus der temperierten Sinustonreihe der Klaviatur gewonnen werden oder ob sie als Bestandteil einer obertonreichen Schwingung harmonisch liegen und infolgedessen von der Frequenzskala des Instrumentes unabhängig sind. Ausserdem besteht natürlich die Möglichkeit, eine andere Stimmung als die wohltemperierte zu wählen, wobei sich interessante Möglichkeiten für die Untersuchung und Verwendung historischer Temperierungen ergeben [8].

Eine besondere Problematik für die elektronischen Instrumente besteht in der Nachahmung der Vielhörigkeit der Pfeifenorgeln. Besonders, wenn mit dem «Vollen Werk» gespielt wird, ist an dem Klangbild, das schon beim Anschlagen von nur einer Taste entsteht, eine grosse Anzahl von Pfeifen beteiligt, die sich zwar teilweise in ihren Frequenzen mitziehen, teilweise aber auch miteinander schweben und so im Sinne einer ausserordentlichen Belebung des Klanges wirken, was sich auf den sog. chorischen Effekt zurückführen lässt. Dieses Vorbild wird bei einigen elektronischen Modellen dadurch angestrebt, dass die Generatorreihen, die

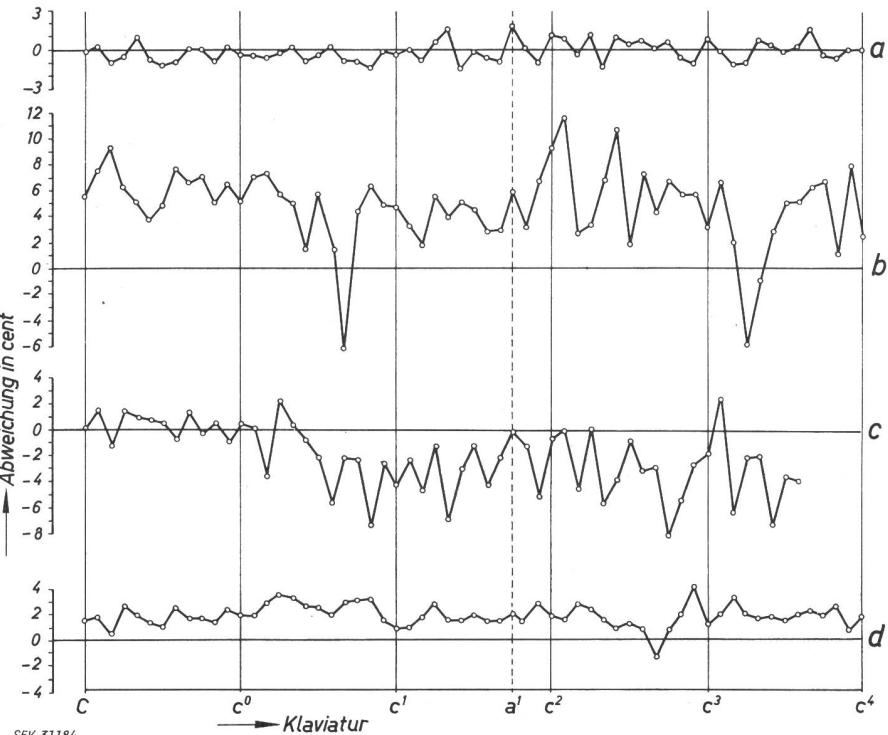
Fig. 12
Abweichungen der Frequenzskalen von der mathematisch temperierten Stimmung
a Zahnradgeneratoren; b schwingende Zungen; c Röhren-Oszillatoren; d Transistor-Oszillatoren

zu den beiden Manualen und dem Pedal gehören, etwas gegeneinander verstimmt werden, wodurch im Tutti derartige Schwebungs effekte entstehen, die von Taste zu Taste etwas verschieden sind. Andere Instrumente verfolgen das selbe Ziel durch die Verwendung zusätzlicher Lautsprecher, welche die Tonfrequenzen nach einer statistischen Amplituden- und Frequenz-Modulation abstrahlen und dem Originalschall überlagern. In ähnlicher Weise wirken auch leicht verstimzte Generatorsätze, die im Plenum dazugeschaltet werden. Weniger befriedigend ist es, wenn die Klänge insgesamt durch Vibrato oder Tremolo moduliert werden, weil eine Belebung durch diese Effekte im Klangbild des Orgelplicums als fremd empfunden wird; allerdings kann ein langer Nachhall, der durch den Raum hervorgerufen wird oder teilweise auch durch elektronische Zusatzeinrichtungen erzeugt werden kann, sehr viel zur Verschleierung beitragen, so dass das Ohr nicht mehr so sehr dem Einzeltvorgang folgt und die auf diese Weise entstandene Frequenzverbreiterung der Teiltöne dem chorischen Eindruck näherkommt als bei sehr trockener Wiedergabe.

5. Schlussbemerkungen

Die dargestellten Ergebnisse versuchen, einen Überblick über die klanglichen Möglichkeiten der elektronischen Kirchenorgeln zu geben. Aus der Vielzahl der Register der einzelnen Instrumente (bis zu 40) konnten naturgemäß nur einzelne Beispiele ausgewählt werden, die bei der Sichtung des umfangreichen gemessenen Materials als besonders typisch für das jeweilige Bauprinzip der Orgel angesehen wurden. Die Gegenüberstellung guter und weniger guter Resultate sollte dabei die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme hervorheben.

Zusammenfassend lässt sich über die Qualität der Instrumente sagen, dass beim heutigen Stand der Entwicklung die Nachbildung des stationären Klangbildes vor allem bei den Einzelregistern in den meisten Fällen recht gut gelingt. Schwieriger ist es schon, das Plenum in Klangfarbe und Ausgeglichenheit des Schalldrucks überzeugend zu gestalten, zumal wenn die Mixturen aus Ersparnisgründen nur unvollkommen oder überhaupt nicht dargestellt werden. Demgegenüber können die Einschwingvorgänge bei einer ganzen Reihe von Modellen noch nicht vollauf befriedigen. Gerade hiebei zeigt sich, dass die klangliche Qualität mit zunehmendem Aufwand erheblich ansteigt und sicherlich noch über das bisher erreichte Mass hinaus gesteigert werden kann. Welche bedeutende Rolle der Einschwingvorgang für die Klangwirkung der Instrumente spielt, hatte sich auch bei einem Hör-Test mit



den untersuchten Orgeln gezeigt, wo sowohl hinsichtlich der Verwechslung mit den Pfeifenorgeln als auch bei der qualitativen Beurteilung der elektronischen Instrumente untereinander die aufwendigste Orgel am besten abschnitt [9].

In diesem Zusammenhang sei auch auf die Bedeutung der unharmonischen Komponenten und der Geräuschteile hingewiesen, die bei allen traditionellen Musikinstrumenten einen wesentlichen Beitrag im Klangbild liefern, wie zum Beispiel das Anblasgeräusch bei Orgelpfeifen [10], oder das Anstrichgeräusch bei Geigen [11]; in jedem Falle entsteht im Rauschuntergrund eine durch die Resonanzlagen hervorgerufene und für die betreffende Instrumentengattung typische Charakteristik. Derartige Effekte werden bei elektronischen Orgeln im allgemeinen nicht nachgebildet, so dass hier noch weitere Entwicklungsmöglichkeiten bestehen. Allerdings darf auf der anderen Seite auch nicht verkannt werden, dass für den liturgischen Gebrauch und die Begleitung des Gemeindegesanges nicht derartig hohe Anforderungen gestellt werden wie für die Aufführung von Meisterwerken der Orgelmusik und dass außerdem die Anschaffung eines elektronischen Instrumentes zu viel geringeren finanziellen Belastungen führt als der Bau einer Pfeifenorgel mit der gleichen Registerzahl.

Abschliessend möchten sich die Autoren bei den beteiligten Firmen für ihre Bereitwilligkeit, die Instrumente für einige Zeit kostenlos zur Verfügung zu stellen, bedanken. Außerdem gilt unser Dank Ing. E. Jenkner für seine tatkräftige Hilfe bei der Durchführung der Messungen.

Literatur

- [1] Lottermoser, W.: Akustische Untersuchungen an alten und neuen Orgeln in «Klangstruktur der Musik». Berlin-Borsigwalde: Vlg. für Radio-Foto-Kinotechnik 1955. S. 49..86; Schriftum S. 86, 88.
- [2] Kwasnik, W.: Die Bauprinzipien der Elektronen-Orgeln. Instrum.-Bau-Z. 8(1953), S. 125.
Kwasnik, W.: Elektronische Musikgeräte. ETZ-B 6(1954)8, S. 305..312.

- Lottermoser, W.:** Akustische Beurteilung elektronischer Musikinstrumente. Arch. Musik-Wiss. 12(1955)4, S. 249...279.
- Douglas, A.:** The Electronic Musical Instrument Manual. 3. Aufl. London: Pitman 1958.
- Meijer, H. und W. Heggie:** Elektronische Muziekinstrumenten. Bussum: 1960.
- [3] **Lottermoser, W.:** Nachhallzeiten in Barockkirchen. Acustica 2(1952)3, S. 109...111.
- Venzke, G.:** Die Raumakustik der Kirchen verschiedener Baustilepochen. Acustica 9(1959)3, S. 151...154.
- Furrer, W.:** Raum- und Bauakustik, Lärmabwehr. 2. Aufl. Basel 1961.
- Cremer, L.:** Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. Bd. 2: Statistische Raumakustik. Stuttgart: Hirzel 1961.
- [4] **Lottermoser, W.:** Vergleichende Untersuchungen an Orgeln. Akust. Beih. 3(1953)1, S. 129...138.
- [5] **Trendelenburg, F., E. Thienhaus und E. Franz:** Klangeinsätze an der Orgel. Akust. Z. 1(1936)2, S. 59...76.
- [6] **Lottermoser, W. und J. Meyer:** Verdeckungseffekt bei Orgelspektren. Acustica 8(1958)6, S. 398.
- [7] **Meyer-Eppler, W.:** Elektrische Klangzeugung. Bonn: Dümmel 1949.
- [8] **Kelletat, H.:** Zur Bachstimmung. Musikinstrum. 9(1960), S. 268.
- [9] **Lottermoser, W. und J. Meyer:** Hör-Test über die Eignung elektronischer Orgeln für Kirchenmusik. Elektron. Rdsch. 15(1961)5, S. 217...220.
- [10] **Meyer, J.:** Über die Resonanzeigenschaften und Einschwingvorgänge von labialen Orgelpfeifen. Diss. T. H. Braunschweig 1960.
- Lottermoser, W. und J. Meyer:** Über den Einfluss des Materials auf die klanglichen Eigenschaften von Orgelpfeifen. Metall 16(1962)2, S. 108...111.
- [11] **Lottermoser, W. und J. Meyer:** Über das Anstrichgeräusch bei Geigen. Instrum.-Bau-Z. 15(1961)12, S. 382...386.

Adressen der Autoren:

Dr. W. Lottermoser, Bliesstrasse 2, Braunschweig, und Dr.-Ing. J. Meyer, Humboldtstrasse 21, Braunschweig (Deutschland).

Paketförder- und Verteilanlagen bei der Post

Von F. Tüscher, Bern

621.867 : 656.882(494)

Kein Zweig des Postbetriebes wird durch die sprunghafte Zunahme des Verkehrsvolumens so beeinflusst wie der Paketdienst, im besondern die Paketämter. (Fig. 1). Die Auswirkungen machen sich geltend sowohl auf den Personalbestand als auch auf die Betriebsfläche, auf Raum und auf Verbindungen. Die Statistik zeigt, dass die Schweiz ohnehin in bezug auf aufgegebene Pakete pro Kopf der Bevölkerung mit Abstand an der Spitze aller Länder steht (Fig. 2). Diese Tatsachen haben auf die Planung der Postdienstgebäude massgebenden Einfluss. Es war deshalb ver-

ständlich, dass die Technik zuerst beim Paketdienst eingesetzt wurde, wo schon mit einfachen fördertechnischen Einrichtungen rasch und wirksam Hilfe möglich ist. Es soll Aufgabe des nachfolgenden Aufsatzes sein, die Grundlagen zum Bau von Paketförder- und Verteilanlagen aufzuzeichnen, sowie auf einige bereits ausgeführte oder in Ausführung begriffene Einrichtungen dieser Art hinzuweisen.

1. Paketförderanlagen

Naheliegend ist die Anwendung des Schwergewichtsprinzips für die Förderung, d. h. die Verwendung von Rutschen, seien es geradlinige, um 90° oder mehr umleitende oder spiralförmige. Dieses Förderelement ist in zahlreichen Fällen für sich allein oder im Zusammenhang mit einer Reihe anderer technischer Anlagen eingesetzt. Die Rutschen (Fig. 3), für

