

Die Kavitationserosion kann in einfacher Weise mit Ultraschall hervorgerufen werden, da hierbei der zur Kavitationsauslösung erforderliche Energieaufwand besonders gering ist.

In allen Versuchen wurde Kavitation in Wasser ausgelöst, auf besondere Entgasung des Wassers wurde verzichtet in der Annahme, daß zur Erosion die Gasblasenschwingungen mit ihren relativ schwachen Druckspitzen nur unerheblich beitragen. Die Wassertemperatur betrug 20–25°C. Als Kavitationsgrenzfläche wurde zunächst Aluminium verwendet; es zeigte sich jedoch, daß die harte Oxydhaut das Studium des primären Erosionsvorgangs erschwerte. Daher wurden die Untersuchungen an Kupfer weitergeführt.

Da bekanntlich der Kavitationseinsatz von der verwendeten Ultraschall-Frequenz abhängig ist, wurden zunächst verschiedene Frequenzen zur Kavitationsauslösung benutzt (20, 30, 430, 1200 kHz). Bei hohen Frequenzen (430 kHz) wurde ein Quarzschwinger (Schalleistung 300 W) und ein fokussierender Reflektor verwendet. Bei 20 bzw. 30 kHz kamen magnetostruktive bzw. keramische Schwinger zur Anwendung. Die Anordnung wurde so gewählt, daß der Kavitationsangriff möglichst verteilt („in Schleierform“) auftrat, die Beschallungsstärke und -zeit wurde so gering wie möglich gehalten.

Obwohl die zur Kavitation erforderliche Schallstärke je nach Frequenz sehr verschieden war (z. B. 2–8 W pro cm<sup>2</sup> bei 20 kHz und bis zu 500 W/cm<sup>2</sup> bei 430 kHz), ergab die Untersuchung bei allen Frequenzen das gleiche Erosionsbild, so daß daraufhin stets bei der tiefsten, den kleinsten Energieaufwand erfordernden Ultraschallfrequenz gearbeitet wurde.

Die Beschallungszeit wurde je nach Schallstärke, Frequenz und Art der zu beschallenden Metallocberfläche von 3 sec bis 5 min gewählt. In einzelnen Versuchen wurde zwischen Ultraschallschwinger und Probe eine schallweiche, dünne Gummimembrane eingebracht, um gegebenenfalls vom Schwinger selbst erodierte Partikelchen vom Erosionsvorgang am Versuchsobjekt auszuschließen. In diesen Fällen mußte länger (1½ Std.) be-

\* Abb. 1 und 2 auf Tafel S. 514 b.

schallt werden, um sichtbare Kavitationsspuren am Objekt zu erhalten.

Die Untersuchung der kavitierten Metallocberflächen erfolgte licht- und elektronenmikroskopisch. Bereits bei den ersten Beobachtungen an beschalltem Aluminium fielen deutlich verschiedene mikroskopische Bereiche mit unterschiedlicher Erosion auf (Abb. 1\*). An Hand stereoskopischer Aufnahmen ergab sich weiterhin, daß die Strukturen – im wesentlichen handelte es sich dabei um schuppenförmige Gebilde – in Bereichen einheitlichen Kavitationsangriffes eine einheitliche Orientierung aufwiesen. Es wurde daraufhin vermutet, daß die Orientierung der durch den Erosionsvorgang hervorgerufenen Oberflächenstrukturen mit derjenigen des Kristalles in Zusammenhang stehen könnte. Die Folge davon wäre, daß die einheitlich erodierten und orientierten Bereiche mit einzelnen Körnern und die Bereichsgrenzen mit Korngrenzen identisch wären. Die weiteren Untersuchungen an Kupfer bestätigten diese Vermutung vollauf. So wurden z. B. polierte Cu-Flächen leicht angeätzt, um die Korngrenzen sichtbar zu machen und anschließend unter Wasser beschallt. Ein Vergleich der Oberflächenbilder vor und nach der Beschallung ergab, daß sowohl die Materialabtragung durch Kavitation als auch die durch die Erosion verursachten Strukturen von Korn zu Korn verschieden sind (vergl. stereoskopische Abb. 2). Das tiefe Aushöhlen der Korngrenzen wird dadurch verursacht, daß die Kavitation, wie auch aus anderen Untersuchungen hervorgeht, bevorzugt an Rillen angreift. Durch die vorhergegangene Ätzung waren also die Korngrenzen besonders kavitationsempfindlich. Die ungeätzten Proben zeigten nach der Beschallung ein qualitativ gleiches Bild, jedoch waren die Korngrenzen nur noch als Begrenzungslinien von Feldern einheitlicher Strukturorientierung und Erosion sichtbar, nicht mehr als tief eingeschnittene Linien.

Nach den Untersuchungsergebnissen ist somit die kristallographische Orientierung der Körner von Einfluß auf die Stärke der Kavitationserosion. Dies kann auf Unterschiede in der Abtrennarbeit und auch auf verschiedenen starke Anreicherung von Kavitationskeimen an der Grenzfläche Metall – Flüssigkeit zurückzuführen sein.

## Über die Planung und den Bau von Orgeln auf akustischer Grundlage

Von W. LOTTERMOSER

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
(Z. Naturforschg. 11 a, 515–517 [1956]; eingegangen am 30. April 1956)

Herrn Professor TREDELENBURG zum 60. Geburtstag gewidmet

Durch die Anwendung der Oktavsiebanalyse bei Messung der Einschwingvorgänge<sup>1</sup> und Partialtonzusammensetzungen<sup>2</sup> von Orgelklängen war es möglich, die

<sup>1</sup> F. TREDELENBURG, E. THIENHAUS u. E. FRANZ, Akust. Z. 1, 59 [1936]; 3, 7 [1938].

Ursachen für die hervorragende Klangwirkung der wertvollen Barockorgeln aufzuklären. Nachdem eine Reihe neuer und alter Orgeln verschiedener Typen<sup>3</sup> untersucht worden war, interessierte die Aufgabe, modernen Orgeln durch akustische Planung und Abgleich ähnliche Klangqualitäten zu verleihen, wie sie die hochwertigen Instrumente besitzen.

Um dieses Ziel zu erreichen, können zwei Wege beschritten werden: Entweder ist die Raumakustik als gegeben hinzunehmen und die Orgel an den Raum anzupassen oder aber sind die Mensuren der Orgel als gegeben zu betrachten und die Raumakustik auf die

<sup>2</sup> W. LOTTERMOSER, Z. Naturforschg. 5 a, 159 [1950].

<sup>3</sup> W. LOTTERMOSER, Acustica Beih. 3, 129 [1953].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Orgel hin zu gestalten<sup>4</sup>. Das erste Verfahren wurde bei dem Nachbau der Totentanz-Orgel in St. Marien (Lübeck)<sup>5</sup> und bei dem Neubau der großen Orgel in St. Nikolai (Siegen)<sup>6</sup> angewandt. Im Falle des Neubaus der PRÄTORIUS-Orgel in der Aula der Universität Freiburg<sup>7</sup> lagen die Mensuren durch Überlieferung vorher fest. Hier konnte der Raum so ausgestaltet werden, daß die Orgel zu guter Wirkung kommt. Beim Wiederaufbau der FRITZSCHE-Orgel von 1623 in St. Katharinen (Braunschweig)<sup>8</sup> konnten wesentliche Korrekturen durch Nachmessung angebracht werden, wodurch auch dieses Instrument so weit gebracht wurde, barocke Klangfarben zu erzeugen.

Im folgenden soll der Gang der Arbeiten an den genannten Instrumenten kurz geschildert werden. Alle diese Orgeln besitzen durchweg Schleifladen mit mechanischer Traktur. Bei diesen Systemen stehen bekanntlich alle Pfeifen verschiedener Register, die zu einer Taste gehören, auf einem Luftraum, der sog. Tonkanzelle. Es kommt deswegen zu Mitnahme- und Kopp lungserscheinungen, was sich besonders im Plenum auswirkt, wenn die Prinzipale, Oktaven und Mixturen zusammenklingen. Nach dem Anschlag der Taste erscheinen, wie Oktavsboszillogramme<sup>9</sup> zeigen, zunächst plötzlich die hohen Partialtöne, die vorwiegend von den Mixturpfeifen erzeugt werden. Durch sie wird aber das Einschwingen der dazu harmonisch eingestimmten Pfeifen tiefer Frequenzlage beschleunigt. Es kommt zu äußerst präzisen, schlagartigen Klangeinsätzen, welche an die es Cembalos erinnern. Außerdem wurden alle Pfeifen ohne Kernstiche intoniert, so daß bei Einzel pfeifen die bekannten Vorläufertöne und -geräusche<sup>1</sup> gemessen werden konnten, die zur Verdeutlichung der Ansprache wirkungsvoll beitragen. Außerdem ist der Spieler infolge der reibungslosen Übertragung der Abstrakten der genannten modernen Instrumente in der Lage, die Klangeinsätze zu beeinflussen<sup>10</sup>. Schlägt er die Tasten schnell herunter, so entsteht das Vorläufengeräusch mit voller Amplitude, drückt er die Tasten sanft herunter, bleibt das Vorläufengeräusch weg<sup>11</sup>. Ein Organist, der sich die notwendige Anschlagskultur angeeignet hat, besitzt also auf diesen Instrumenten besondere Anschlagsmöglichkeiten, was sich vor allem bei der Wiedergabe polyphoner Werke günstig auswirkt.

Zu diesen Qualitäten hinsichtlich des Einschwingvorgangs kommen solche in den Strukturen der Klangspektren, bei welchen die typischen Eigenschaften hochwertiger Barockorgeln reproduziert werden konnten.

<sup>4</sup> W. LOTTERMOSER, Beitrag in „Klangstruktur der Musik“, Berlin 1955.

<sup>5</sup> Die Untersuchungen geschahen im Auftrag des Kirchenbauamts Lübeck in Zusammenarbeit mit E. KEMPER u. Sohn, Orgelbau/Lübeck.

<sup>6</sup> Die Untersuchungen geschahen im Auftrag des Staatshochbauamts Siegen und der Ev. Kirchengemeinde Siegen in Zusammenarbeit mit E. KEMPER u. Sohn, Orgelbau/Lübeck, und Organist H. WINTER/Siegen.

<sup>7</sup> Die Untersuchungen geschahen im Auftrag des Wiederaufbaubüros der Universität Freiburg, in Zusammenarbeit mit Prof. D. DR. GURLITT und E. F. WALKER u. Cie, Orgelbau/Ludwigsburg. Eine Sonderschrift über die Orgel erscheint in einigen Wochen.

Im Falle der Marienkirche zu Lübeck wurde dies dadurch erreicht, daß vor der Planung der Orgel die spektrale Schallverteilung im Raume gemessen wurde. Zu dem Zweck wurde ein Lautsprecher mit allseitiger Richtwirkung<sup>12</sup> an die Stelle gesetzt, wo die Orgel hinkommen sollte. Er strahlte ein sog. weißes Rauschen ab. Im Schiff der Kirche wurde an verschiedenen Stellen mit dem DIN-Lautstärkemesser von Siemens & Halske und Oktavsieb gemessen, wie sich die Schalldrucke in den einzelnen Filterbereichen verhielten. Entsprechend dem Frequenzverlauf der Nachhallzeit erfuhren die tiefen Frequenzen eine Schwächung von etwa 18 dB, während die hohen Frequenzen um 30 dB geringer wurden. Diese Entfernungsabhängigkeiten wirken sich im gleichen Maß in den Klängen der Orgel aus. Um dem zu begegnen, wurden die Pfeifen der Baßlagen relativ eng, die der hohen Lagen relativ weit entworfen, wodurch eine Kompensation des Frequenzganges der Entfernungsabhängigkeit erreicht wurde. Interessanterweise ähnelt diese Tendenz der Mensurentwicklung der zerstörten Orgel von 1477.

Um die Wirkungssphäre der neuen Orgel möglichst groß zu machen, wurde sie nicht wie früher in einer Seitenkapelle aufgestellt, sondern auf einer Empore im Chorraum. Um die Abstrahlung zu verbessern, wurde hinter dem Werk eine massive, glattgetünchte Mauer aufgeführt, welche in ihrem oberen Teil eine hohlspiegelartige Krümmung erhielt und dadurch den Schall der Pfeifen nach vorn und unten in den Altarraum wirft. Die gegenüberliegenden Säulen und Wände sorgen für eine weitere Verteilung in den Raum hinein.

Das beschriebene Verfahren wurde auch bei der neuen Orgel in Siegen angewandt. Außer der klassischen Werkaufteilung der Orgel in Form des Hauptwerks, Rückpositivs, Oberwerks und Pedalwerks wurde hier noch ein Echowerk aufgestellt, in welchem schwelbar Register nach süddeutscher Art und höhere Aliquote wie Septime, None und Undezime untergebracht wurden. Da in dieser Kirche ein ähnlicher Frequenzgang der Entfernungsabhängigkeit wie in Lübeck gemessen wurde, erfolgte die Bemessung der Pfeifenmensuren in ähnlichem Sinne. Darüber hinaus wurde besonderer Wert auf Herausarbeitung der Formantlagen bei Mixturen, Scharffs u. ä. Stimmen gelegt. Durch eine zweckentsprechende Disposition und Repetition der Chöre sowie eine besondere Mensurgestaltung wurden jedem der 5 Werke ganz spezifische Klangfar-

<sup>8</sup> Die Untersuchungen geschahen auf Anregung von Pastor STANGE und Organist ALTEMARK im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Zusammenarbeit mit O. DUTKOWSKI, Orgelbau/Braunschweig.

<sup>9</sup> Die Methode der Oktavsboszillographie wurde zuerst von F. TRENDLENBURG angegeben. Z. techn. Phys. 16, 513 [1935].

<sup>10</sup> W. LOTTERMOSER, Arch. Musikw. 9, 148 [1952].

<sup>11</sup> Die Frage der Funktionen und Beeinflussungsmöglichkeiten verschiedener Traktursysteme wird zur Zeit in der PTB von W. LINHARDT bearbeitet.

<sup>12</sup> H. KÖSTERS u. H. HARZ, Techn. Hausmitt. NWDR 12, 206 [1951].

ben erteilt, so daß beim Anschlagen der verschiedenen Plena in gleicher Tastenlage verschiedene gefärbte Klänge hörbar werden. Außerdem unterscheiden sich die einzelnen Werke durch ihre örtliche Lage und die Schalldruckniveaus. Abb. 1 gibt das Ergebnis von Oktavsiebanalysen beim jeweils gleichzeitigen Anschlag

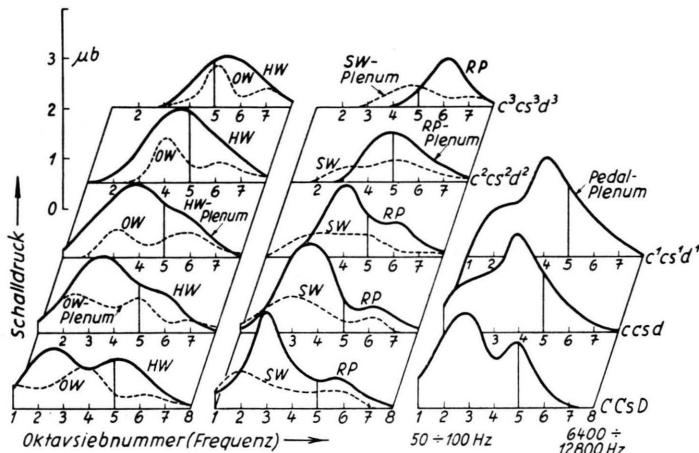


Abb. 1.

der C Cis D-Tasten wieder. Die ermittelten Kurven be- weisen eindeutig, daß die vorliegende Aufgabe gelöst werden konnte. Wegen der Diskussion der Kurven sei auf eine frühere Arbeit<sup>4</sup> hingewiesen.

Bei der PRÄTORIUS-Orgel waren die Mensuren nach Maßen des PRÄTORIUS und COMPENIUS von Pfr. RÖSSLER angegeben worden. Die akustische Mitwirkung erstreckte sich bei diesem Vorhaben vor allem auf die Ausgestaltung des Raumes, der früher durch seine elliptische Form den Ruf schlechter Akustik besaß. Durch sägezahnförmige Staffelung der Wände wurde eine gegen früher bessere Schallverteilung erzielt, daneben wurden die Wände als Tiefenabsorber ausgebildet, so daß die Nachhallzeit mit 1,5 sec bei voller Besetzung auch für Orgelmusik angemessen erscheint. Bei 100 Hz hat der Frequenzgang der Nachhallzeit einen bisher als günstig angesehenen Anstieg, bei noch tieferen Frequenzen wird die Nachhallzeit kürzer. Auch bei dieser

Orgel konnten die charakteristischen spektralen Ver- teilungskurven barocker Instrumente gemessen werden.

Die Restauration der FRITZSCHE-Orgel in St. Kathari- nen (Braunschweig) war an sich bereits beendet, als die PTB zugezogen wurde, weil die Klangwirkung noch nicht befriedigte. Die Nachmessung ergab zu große

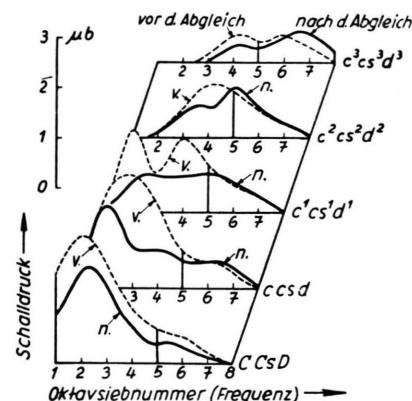


Abb. 2.

Schalldrucke in tiefen Lagen und keine höheren Ma- xima. In Zusammenarbeit mit dem Orgelbauer wurden die Baßpfeifen entsprechend abgedrosselt. Die Klang- verteilung im Hauptwerksplenum vor und nach dem Abgleich zeigen die Oktavsiebanalysen der Abb. 2. Bei dieser Orgel konnten, soweit es das vorhandene Klang- material gestattete, wie man sieht, Verbesserungen der Teiltonstruktur erzielt werden.

So konnten durch Verwertung akustischer For- schungsergebnisse neue Orgeln meßbar mit den Eigen- schaften hervorragender Barockorgeln ausgestattet wer- den, wodurch eine wesentliche Erhöhung ihres klang- lichen Wertes erreicht wurde.

Für die laufende Bereitstellung von Mitteln für Un- tersuchungen auf dem Gebiete der Orgelakustik sei auch an dieser Stelle der Deutschen For- schungsgemeinschaft herzlich gedankt.

## Zur Supraleitung im System Niob-Stickstoff

Von GÜNTER LAUTZ und ERICH SCHRÖDER

Aus dem Institut für technische Physik der Technischen Hochschule Braunschweig

(Z. Naturforsch. 11a, 517—519 [1956]; eingegangen am 20. April 1956)

Seit der Entdeckung der Supraleitung des Niobnitrids durch ASCHERMANN, FRIEDERICH, JUSTI und KRAMER<sup>1</sup> sind zahlreiche Arbeiten über das Verhalten dieser Sub-

stanz beim Übergang zur Supraleitung erschienen<sup>2, 3, 4, 5</sup>. Ein Teil dieser Untersuchungen basiert auf der Bestim- mung des elektrischen Widerstandes, wobei die verschie- den Autoren ihr Interesse insbesondere auf die äqui- atomare Verbindung richteten. Da das Niobnitrid zu den Einlagerungsverbindungen gehört, können die elektri- schen Messungen durch die Ausbildung von supraleiten- den Fäden verfälscht werden. Aus diesem Grund sind zur Kontrolle magnetische Messungen unerlässlich. Die ersten derartigen Versuche sind von HORN und ZIEGLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> G. ASCHERMANN, E. FRIEDERICH, E. JUSTI u. J. KRAMER, Phys. Z. 42, 349 [1941].

<sup>2</sup> F. H. HORN u. W. T. ZIEGLER, J. Amer. Chem. Soc. 69, 2762 [1947].

<sup>3</sup> D. B. COOK, M. W. ZEMANSKY u. H. A. BOORSE, Phys. Rev. 79, 1021 [1950].

<sup>4</sup> A. SELLMAIER, Z. Phys. 141, 550 [1955].

<sup>5</sup> H. RÖGENER, Z. Phys. 132, 446 [1952].