

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 21 (1948)  
**Heft:** V

**Artikel:** Über die Eignung von Ammoniumphosphatkristallen als  
Ultraschallgeneratoren  
**Autor:** Bömmel, Hans  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-111918>

### **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:** 04.02.2026

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

## Über die Eignung von Ammoniumphosphatkristallen als Ultraschallgeneratoren

von Hans Bömmel.

(15. VII. 1948.)

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen über die piezoelektrischen und elastischen Eigenschaften von  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  und  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -Kristallen sowie über deren Verwendung als elektrische Filter an Stelle von Quarz veröffentlicht<sup>1)</sup>. Diese Kristalle haben gegenüber Quarz den Vorteil, dass man sie selbst züchten und in relativ grossen Dimensionen und beliebigen Mengen herstellen kann.

Es war daher von Interesse, auch die Eignung von Platten oder Stäben aus diesen Kristallen als Ultraschallgeneratoren zu untersuchen, da die erwähnten Vorteile hier besonders ins Gewicht fallen würden, z. B. wegen der hohen Kosten, die mit der Anschaffung von Quarzplatten grosser Dimensionen verbunden sind. Im Folgenden werden daher einige orientierende Versuche beschrieben, welche bezweckten, die Eignung von  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -Kristallen als einigermaßen intensive Ultraschallquellen zu untersuchen. Bisher sind dem Verfasser nur wenige Angaben aus der Literatur bekannt<sup>2)</sup> in denen die Verwendung solcher Kristalle als schwacher Ultraschallimpulsgeneratoren erwähnt wird.

Für diese Versuche stand zunächst ein kleiner Hochfrequenz-generator zur Verfügung, der eine maximale Ausgangsspannung von 155—160 V lieferte und einen Frequenzbereich von ca. 0,8 bis 7,5 MHz besass.

Als Ultraschallquelle diente eine rechteckige  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -Platte von 15,1·15,3 mm<sup>2</sup> Querschnitt und 1,71 mm Dicke<sup>3)</sup>, die nach Angabe des Herstellers so geschnitten war, dass ihre Flächennor-

<sup>1)</sup> Betr. der sehr umfangreichen Literatur, siehe z. B.: W. G. CADY, Piezoelectricity, McGRAW — HILL BOOK Co. Inc., New York and London 1946.

<sup>2)</sup> W. P. MASON, Proc. A.S.M.E. (Mai 1947); W. P. MASON, W. O. BAKER, H. J. McSKIMIN, J. H. HEISS, Phys. Rev. **73**, 1074 (1948). Nach Beendigung dieser Arbeit erfuhr der Verfasser anlässlich einer Diskussion mit Herrn Dr. W. MERZ vom physikalischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, dass dieser seiner Zeit nichtpublizierte Untersuchungen ausgeführt hatte, die ähnliche Resultate ergaben.

<sup>3)</sup> Der Verfasser möchte an dieser Stelle der Firma Brown-Boveri, Baden, für die freundliche Überlassung der Kristalle bestens danken.

male mit den drei Kristallachsen gleiche Winkel bildete (d. h. ein sogenannter L-Schnitt). Bekanntlich ist bei einem solchen Schnitt der longitudinale Effekt, d. h. die Amplitude der Dickenschwingung, am grössten.

Auf diese Platte wurden vermittelt Kathodenzerstäubung Silberschichten als Elektroden aufgebracht.

Als Halterung diente für den ersten der unten beschriebenen Versuche ein Messingrahmen, dessen Öffnungsquerschnitt ca.  $14 \cdot 14 \text{ mm}^2$  betrug, und gegen dessen Rand der Kristall durch eine kleine Bronzefeder gedrückt wurde, wobei Rahmen und Feder als Spannungszuführungen dienten. Bei den übrigen Versuchen wurde eine Pinzette aus zwei kleinen voneinander isolierten Bronzefedern als Halterung verwendet. Mit dieser Kristallplatte wurden nun folgende Versuche ausgeführt:

1. Zunächst wurden diejenigen Frequenzen festgestellt, bei denen eine merkliche Ultraschallemission erfolgte. Als Indikator hierfür

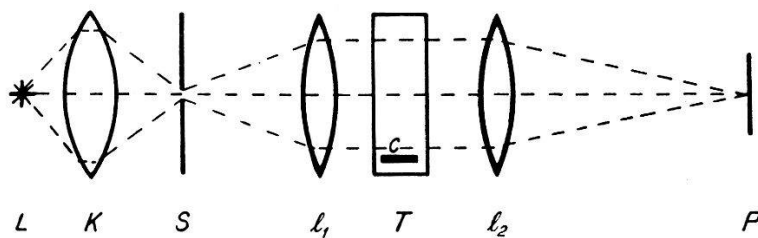


Fig. 1.

diente das Auftreten von Beugungsbildern, indem das Schallfeld in der üblichen Weise als Beugungsgitter für Licht verwendet wurde. Die Anordnung zeigt Fig. 1. Als Lichtquelle  $L$  diente eine Glühlampe mit geradem Drahtwendel, der durch den Kondensor  $K$  auf den Spalt  $S$  abgebildet wurde. Das von diesem ausgehende Licht wurde mit der Linse  $l_1$  ( $f = 50 \text{ cm}$ ,  $\varnothing = 5 \text{ cm}$ ) parallel gemacht und durchsetzte den Ultraschalltrog  $T$ . Mit der Linse  $l_2$  ( $f = 100 \text{ cm}$ ,  $\varnothing = 9,5 \text{ cm}$ ), die sich dicht hinter  $T$  befand, wurde der Spalt auf den Schirm  $P$  abgebildet. Gegenüber dem Kristall  $C$  befand sich in  $T$  eine schallabsorbierende Schicht von Glaswatte, um stehende Wellen möglichst zu vermeiden. Als Flüssigkeit wurde Petroleum verwendet.

Die Frequenzmessung erfolgte durch Vergleich der Frequenz des verwendeten  $HF$ -Generators mit derjenigen eines geeichten Messsenders, indem im Lautsprecher eines kleinen Empfängers auf das Verschwinden des Schwebungstones eingestellt wurde. Es wurde jeweils diejenige Frequenz bestimmt, bei der die Anzahl der sichtbaren Beugungsbilder resp. deren Intensität am grössten war.

Tabelle 1 zeigt das Ergebnis dieser Messung. Die Zahl der sichtbaren Beugungsspektren gibt dabei ein grobes Mass für die Schallintensität.

Tabelle 1.

Frequenz kHz	Anzahl der maximal sichtbaren Beugungsspektren	Relative Intensität $I_{966} = 1$
966	6	1,00
983	5	0,90
1248	1	0,20
1282	1	0,20
1319	1	0,25
1354	1	0,20
1348	1	0,20
1432	3	0,45
1618	1	0,30
1818	1	0,15
2910	2	0,30
3245	4	0,75
4385	1	0,25
4530	3	0,60
4820	1	0,35
5820	3	0,50
6770	2	0,35
7120	2	0,35

Zur genaueren Bestimmung der relativen Schallintensitäten an den verschiedenen Resonanzstellen wurde jeweils die Intensitätsabnahme des Spektrums nullter Ordnung bei Einschalten des Schallfeldes gemessen. Nach der Theorie der Beugung des Lichtes an Ultraschallwellen ist diese Intensitätsänderung solange der Schallintensität proportional, als keine höheren als die zweiten Beugungsordnungen auftreten, d. h. bei hinreichend geringer Schallintensität und Schallfeldtiefe. Deshalb wurde die *HF*-Spannung am Kristall jeweils soweit vermindert, dass die obige Bedingung erfüllt war, und nachträglich die gemessene Intensitätsänderung der nullten Ordnung auf eine willkürlich gewählte Normalspannung umgerechnet, wobei vorausgesetzt wurde, dass die Schallintensität dem Quadrat der angelegten *HF*-Spannung proportional sei.

Die Intensitätsmessung erfolgte vermittelt einer Sperrschichtzelle, vor der sich eine Spaltblende geeigneter Breite befand, welche nur das Spektrum nullter Ordnung hindurchliess.

2. Um sich ein Bild über die Grösse der Dämpfung des unter den erwähnten Bedingungen schwingenden Kristalls machen zu können, wurde die Breite der Resonanzkurven bei 966 und 3245 kHz gemessen. Die Anordnung hierfür war die gleiche wie die oben beschriebene. Fig. 2 zeigt die bei 966 kHz erhaltene Kurve. Da bei derart geschnittenen Kristallplatten immer gleichzeitig Kompressions- und Scherungsschwingungen erregt werden, sowie wegen der Kopplung zwischen den verschiedenen Schwingungen, weisen solche Platten bekanntlich ein sehr kompliziertes Frequenzspektrum

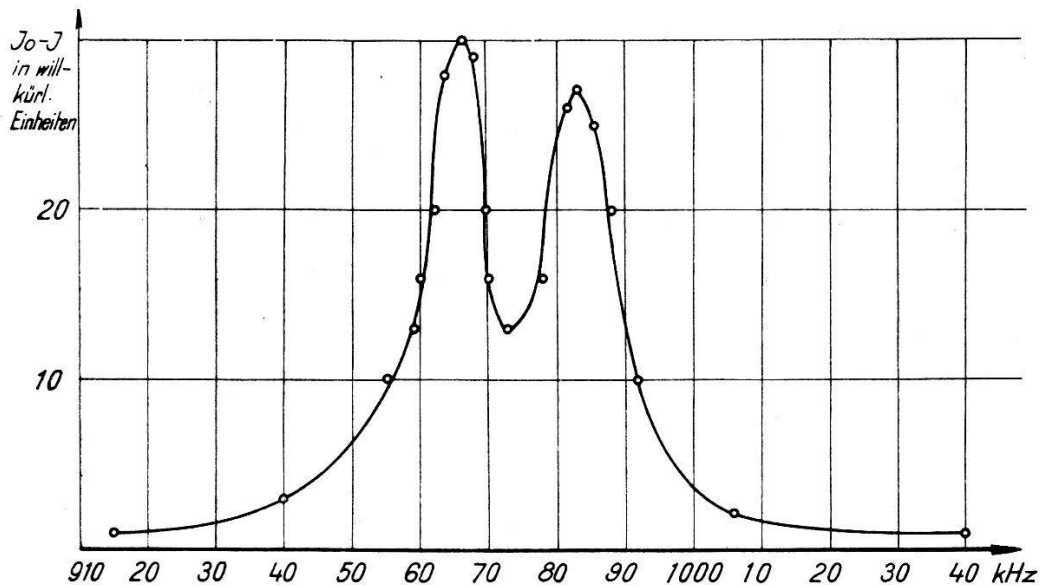


Fig. 2.

auf. Auf diese Tatsache dürfte das beobachtete Doppelmaximum der in Fig. 2 gezeigten Resonanzkurve zurückzuführen sein.

Bei 3245 kHz ergab sich eine normale Resonanzkurve von ca. 60 kHz Halbwertsbreite.

3. Da, wie erwähnt, die Kristallplatte eine sehr komplizierte Schwingungsform besitzen und daher natürlich auch ein inhomogenes Schallfeld erzeugen muss, wurde mit einer Schlierenanordnung die Struktur des Schallfeldes untersucht. Zu diesem Zweck wurde die Anordnung der Fig. 1 in der Weise abgeändert, dass der Spalt  $S$  durch eine Lochblende ersetzt und die Linse  $l_2$  in ca. 180 cm Abstand vom Trog gebracht wurde. Von den in der Brennebene von  $l_2$  entstehenden Beugungsbildern wurde die nullte Ordnung durch ein kleines Scheibchen ausgeblendet, und somit das Schallfeld nur durch das in die höheren Ordnungen gebeugte Licht abgebildet.

Wie zu erwarten, zeigte sich in den meisten Fällen eine sehr komplizierte Struktur des Schallfeldes, vgl. Fig. 3, 4, 5 und 6, doch

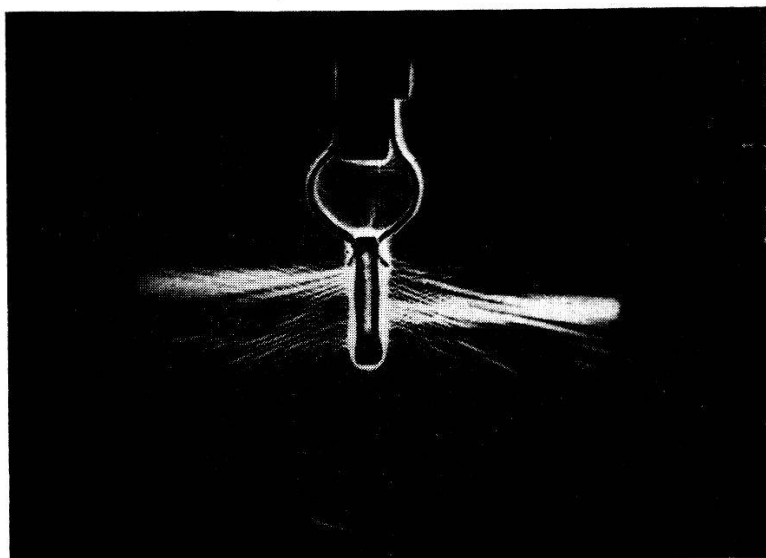


Fig. 3.  
Schlierenbild bei 3245 kHz.

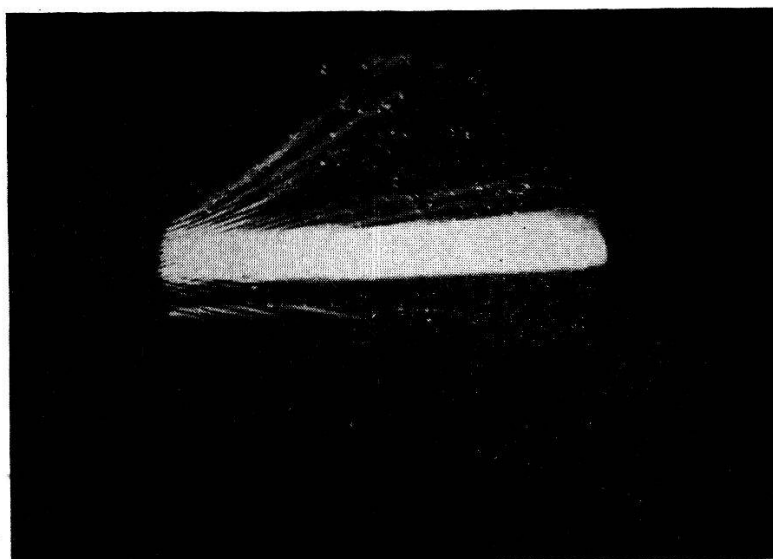


Fig. 4.  
Schlierenbild bei 3240 kHz.

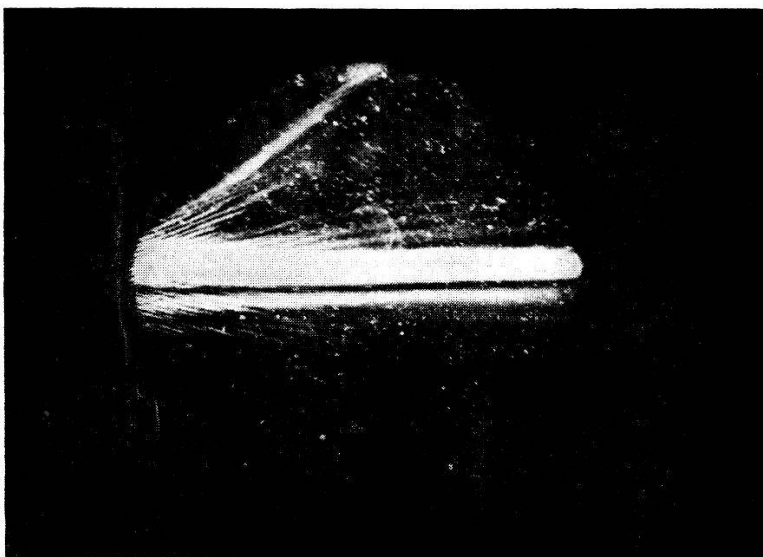


Fig. 5.  
Schlierenbild bei 3255 kHz.

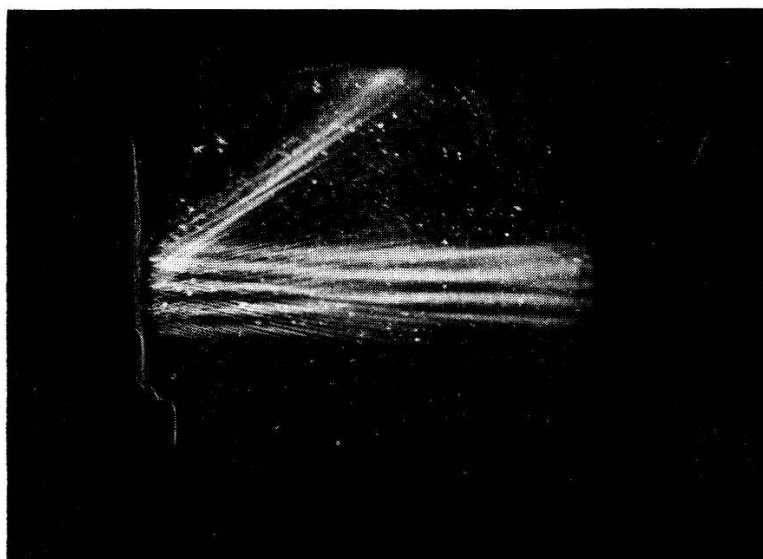


Fig. 6.  
Schlierenbild bei 4845 kHz.

gibt es, wie z. B. Fig. 7 zeigt, auch Frequenzen, bei denen eine relativ „homogene“ Abstrahlung erfolgt. Diese komplizierte Struktur hängt natürlich von der Frequenz ab und ändert sich meist schon sehr stark bei kleinen Variationen derselben.

4. Um einen *Anhaltspunkt* über die emittierte Schallenergie zu erhalten, wurde die pro Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge in einem Kalorimeter gemessen. Dieses bestand aus einem mit Korkdeckel versehenen kleinen Dewargefäß, in welches der Kristall und ein mit  $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ -Teilung versehenes Thermometer eingeführt wurden. Als Kalorimeterflüssigkeit wurde wieder Petroleum verwendet.

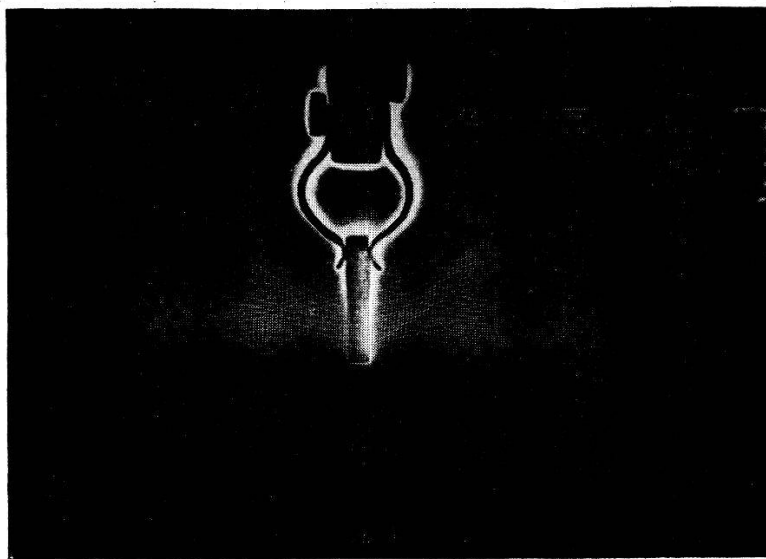


Fig. 7.

Schlierenbild bei 4810 kHz.

Bei einer Flüssigkeitsmenge von 100 g und einer angelegten HF-Spannung von 155 V wurde bei der Frequenz von 966 kHz innerhalb von 30 Minuten eine Temperaturerhöhung von  $0,85^{\circ}\text{C}$  beobachtet, wobei die Temperatur linear mit der Zeit zunahm. Nach Abschalten der HF-Spannung nahm die Temperatur in der gleichen Zeit nicht merklich ab, so dass die Wärmeverluste vernachlässigt werden konnten. Da es sich bei dieser Messung aus den unten erwähnten Gründen nur um eine grössenordnungsmässige Bestimmung handeln konnte, wurde auch die Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes vernachlässigt.

Ein Versuch bei dem die Frequenz des HF-Generators um etwa  $\pm 60\text{ kHz}$  gegen die obige Resonanzfrequenz des Kristalls verstimmt worden war, ergab nach 30 Minuten keine merkliche Temperaturerhöhung.



Nimmt man die spezifische Wärme von Petroleum zu 0,51 cal/g Grad an, so berechnet sich aus den obenstehenden Daten die pro sec erzeugte Wärmemenge zu 0,024 cal/sec, was einer Leistung von 0,1 Watt entspricht.

Bei dem beschriebenen Versuch wurde natürlich die durch die dielektrischen Verluste und die innere Dämpfung des Kristalls verursachte Erwärmung mitgemessen. Die kurze zur Verfügung stehende Zeit und der durch die Nachkriegsverhältnisse bedingte Mangel an speziellen Hilfsmitteln erlaubten leider keine Bestimmung des hierdurch verursachten Fehlers. Aus dem negativen Resultat des Versuches bei verstimmtem HF-Generator und aus der Tatsache, dass die infolge der Erwärmung des Kristalls im Petroleum beobachtete Schlierenbildung nur minimal war, ergibt sich aber, dass die Erwärmung des Kristalls nur gering sein dürfte.

5. Abschliessend wurde ein Versuch zur Ermittlung der maximalen Belastbarkeit des Kristalls ausgeführt. Der Kristall wurde in horizontaler Lage in ein Petroleumbad getaucht und an einen stärkeren HF-Generator über eine variable Kapazität angeschlossen. Durch Verändern dieser Kapazität wurde die am Kristall liegende Spannung geregelt, wobei die Frequenz konstant auf 966 kHz gehalten wurde. Das Schwingen des Kristalls konnte an der Kräuselung der Flüssigkeitsoberfläche erkannt werden. Oberhalb etwa 300 V HF-Spannung war diese sehr deutlich sichtbar und verstärkte sich mit zunehmender Spannung bis zu relativ starkem Sprudeln. Bei 770 V erfolgte ein Durchschlag am Rande des Kristalls, wobei dieser in zwei Stücke zersprang. Es dürfte sich dabei um die Erreichung der Grenze der Durchschlagsfestigkeit, nicht aber um die Grenze der mechanischen Belastbarkeit gehandelt haben.

Die bei 770 V erreichte Schalleistung würde sich aus den in 4. angegebenen Daten, unter der Annahme, dass die emittierte Schallenergie proportional dem Quadrat der Spannung ist, zu ca. 2,5 Watt ergeben.

Die vorliegende Arbeit wurde im Istituto Nazionale di Elettroacustica in Rom ausgeführt. Ihre Ausführung wurde mir durch einen, zwischen dem Direktor dieses Institutes, Herrn Prof. Dr. A. GIACOMINI und Herrn Prof. Dr. EDGAR MEYER, vom physikalischen Institut der Universität Zürich, vereinbarten Assistentenaustausch ermöglicht, wofür beiden an dieser Stelle herzlichst gedankt sei. Ganz besonders möchte ich Herrn Prof. Giacomini für die überaus freundliche Aufnahme an seinem Institut, seine vielen Anregungen und sein Interesse an der Arbeit danken.