



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Leben und Wirken der Physikerin Franziska Seidl“

verfasst von / submitted by

Anna Elisabeth Kopf

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 412 445

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Physik UF Biologie und Umweltkunde

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Franz Sachslehner

Abstract

Um das Lebenswerk von Franziska Seidl in die Geschichte der Fakultät für Physik der Universität Wien einzuordnen, wird in dieser Arbeit auf ihre Tätigkeit in der Lehre, der Aus- und Weiterbildung von (angehenden) Lehrpersonen und ihre Arbeiten auf dem Gebiet des Ultraschalls eingegangen. Dazu wurden auch Dokumente aus ihrem Nachlass als Quelle herangezogen und die von ihr entwickelte UNI-Ultraschall- Demonstrationsapparatur aus der historischen Sammlung der Fakultät für Physik wieder in Betrieb genommen, um einige von ihr geplante Experimente zu rekonstruieren.

Mit Hilfe der von Franziska Seidl entwickelten UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur für den Frequenzbereich um 3 MHz war es möglich, Ultraschall mittels Schlierenoptik und des Debye-Sears-Effekts optisch abzubilden. So konnten auch die Brechung und Fokussierung des Ultraschalls anschaulich gezeigt werden und die Anregung elastischer Schwingungen in einem Glaszylinders im polarisierten Licht dargestellt werden. Es war ebenfalls möglich auf zwei verschiedene Varianten die Wellenlänge des Schalls experimentell zu ermitteln. Zusätzlich konnte das Prinzip der Werkstoffprüfung mit Ultraschall gezeigt werden.

Neben den rekonstruierten Experimenten wird auch auf einige ihrer Publikationen im Bereich des Ultraschalls hingewiesen und auf ihre Tätigkeiten im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und im Bereich der Lehrer*innenausbildung eingegangen, welcher bis heute fortbesteht. 1968 erhielt Seidl das große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich.

Danksagung

Es scheint mir ein Ding der Unmöglichkeit ein Studium und auch die dazugehörige Abschlussarbeit alleine zu meistern. Deshalb möchte ich die Gelegenheit ergreifen und einigen Personen danken:

- Ein großes Dankeschön verdienen all meine Freunde und Freundinnen. Jede*r braucht mal eine Schulter um sich anzulehnen. Danke, dass ihr so viele Schultern habt. Ohne die gemütlichen Abende im Clash, das während meiner Studienzeit zu einem weiteren Wohnzimmer wurde, die fruchtbaren Diskussionen bis spät in die Nacht und all die Abenteuer die wir gemeinsam erlebt haben, wäre diese Zeit nur mit einem Bruchteil an Freude erfüllt gewesen.
- Ich möchte auch gerne meinen Eltern danken, für die finanzielle und persönliche Unterstützung im Studium.
- Im Studium soll nicht nur das Fachwissen ausgebaut werden, die Universität soll auch ein Ort sein, an dem die Persönlichkeit wachsen kann und man über den Tellerrand blicken soll. Was in den Lehrveranstaltungen zu kurz kam, konnte ich im Roten Vektor kompensieren. Danke, dass ihr mich alle über die Jahre dazu gebracht habt, mich politisch zu bilden, die Welt um mich herum kritisch zu betrachten, zu reflektieren, eine Diskussionskultur kennen zu lernen und zu lernen, für das was im Leben wichtig ist, einzustehen. Bleibt immer wachsam und kritisch!
- Dank der Österreichischen Zentralbibliothek für Physik war es mir möglich, Zugriff auf den Nachlass und die Personalakte von Franziska Seidl zu bekommen. Dies war mir eine große Hilfe bei den Recherchen zum Leben von Franziska Seidl – Danke dafür!
- Mein ganz besonderer Dank gilt Dr. Tilgner. Er hat der historischen Sammlung der Fakultät für Physik die UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur zukommen lassen, der Österreichischen Zentralbibliothek für Physik seine persönlichen Fotografien von Franziska Seidl zu Verfügung gestellt (wie in Abbildung 1 und 2) und stand mir mit Rat und Tat bei Seite, als es um das Wiederbeleben der Experimente mit der UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur ging.
- Schlussendlich möchte ich mich für das ausführliche Feedback, die Hilfestellung beim Experimentieren und die angenehme Zusammenarbeit bei meinem Betreuer Franz Sachslehner bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Leben der Franziska Seidl	3
2.1	Frühes Leben	3
2.2	Studium	3
2.3	Zeit als Vorlesungsassistentin	4
2.4	Mitarbeit im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts	4
2.5	Wissenschaftliches Arbeitsfeld	4
2.6	Habilitation	5
2.7	NS-Zeit und Zweiter Weltkrieg	5
2.8	Nachkriegszeit	7
2.9	Späte Jahre	9
2.10	Bleibende Eindrücke	11
3	Ultraschall	13
3.1	Erzeugung von Ultraschallwellen	14
3.1.1	Direkter und inverser piezoelektrischer Effekt	14
3.1.2	Magnetostriktiver Effekt	16
3.2	Eigenschaften des Ultraschalls	17
3.2.1	Reflexion und Brechung	17
3.2.2	Beugung	21
3.3	Beugung von Licht an Ultraschall	22
3.3.1	Beugung von Licht an longitudinalen Ultraschallwellen	22
3.3.2	Beugung von Licht an transversalen Ultraschallwellen	24
3.4	Sichtbarmachung von Ultraschall	26
3.4.1	Toepler'sches Schlierenverfahren	26
3.5	Erste Anwendungen des Ultraschalls in der Zeit von 1930 bis 1950	29
3.6	Anwendungen des Ultraschalls Heute	34
4	Experimenteller Teil	36
4.1	UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur	36
4.2	Beugung des Lichtes an Ultraschall und Bestimmung der Schallwellenlänge	39
4.2.1	Versuchsaufbau und Durchführung	39
4.2.2	Resultate	41
4.3	Abstrahlung von Ultraschall	47
4.3.1	Versuchsaufbau und Durchführung	47
4.3.2	Resultate	48
4.4	Brechung der Ultraschallwellen	50
4.4.1	Versuchsaufbau und Durchführung	50

4.4.2	Resultate	52
4.5	Materialprüfung mit Ultraschall	57
4.5.1	Versuchsaufbau und Durchführung	57
4.5.2	Resultate	58
4.6	Sichtbarmachung von Ultraschallschwingungen in einem Glaszylinder	61
4.6.1	Versuchsaufbau und Durchführung	61
4.6.2	Resultate	64
5	Zusammenfassung	69
6	Anhang	77

1 Einleitung

Das Leben und Wirken der Physikerin Franziska Seidl hat für die Entwicklung der Physik an der Universität Wien besondere Bedeutung. Sie ist die erste Frau in der Physik, die eine akademische Langzeitkarriere einschlug. Ernst Lecher, bekannt von der Lecherleitung und wichtiger Mitplaner beim Neubau und der Ausstattung der physikalischen Institute in der Strudlhofgasse, förderte ihr Talent. Zeitlich gesehen bildet, anschaulich gesagt, Franziska Seidl eine Brücke zwischen den ersten Jahrzehnten im neuen Physikgebäude der Universität Wien und der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg bis in die 1970er Jahre.

Diese Arbeit möchte Licht auf das Leben von Franziska Seidl werfen, auf einige ihrer Publikationen zum Thema Ultraschall genauer eingehen und schlussendlich ein paar Experimente nach ihrer Anleitung rekonstruieren. Die Arbeit richtet sich an alle, die sich für die Geschichte einzelner Personen in der Physik interessieren oder auch anschauliche Experimente zum Thema Ultraschall kennenlernen möchten. Dies kann zum Beispiel besonders für (zukünftige) Lehrpersonen von Bedeutung sein, da die Versuche größtenteils phänomenologischer Natur sind und Ultraschall durch seine vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten auch im Alltag der Schüler und Schülerinnen eine Rolle spielt.

Franziska Seidl studierte von 1918 bis 1922 Physik, Mathematik und Chemie an der Universität Wien. Ihre Dissertation *Über eine neue Messung kurzer Zeiten mit dem Helmholtzpendel* [28] schrieb sie bei Ernst Lecher, bei welchem sie bereits während ihrer Studienzeit eine Anstellung hatte, welche sie später als wissenschaftliche Hilfskraft fortsetzte [12]. Aus ihrer Zeit mit Lecher nahm sie die große Bedeutung von Experimenten für den Lernprozess mit und kam über ihn auch zum Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, für welchen sie in den nächsten Jahrzehnten große Dienste vollbrachte (vgl. Abbildung 33- 36 im Anhang). Ihr Forschungsschwerpunkt verlagerte sich im Laufe der Zeit auf piezoelektrische Kristalle und den somit naheliegenden Ultraschall (vgl. Abbildung 33- 36 im Anhang). Hierbei beschäftigte sie sich mit den besonderen Eigenschaften und Wirkungen des Ultraschalls und gilt als erste Person aus Österreich, die sich mit dieser Thematik auseinandersetzte (vgl. Abbildung 44 im Anhang).

1932 habilitierte Franziska Seidl für Experimentalphysik und wurde nach dem Anschluss Österreichs an Deutschland zur Dozentin neuer Ordnung ernannt und erhielt 1942 eine außerplanmäßige Professur (vgl. Abbildung 37 im Anhang). Diesen Titel verlor sie jedoch nach dem Krieg und musste erneut um die Verleihung des Titels außerordentliche Professorin ansuchen (Vergleich Abbildung 47 im Anhang). Zur gleichen Zeit, im April 1945 übernahm Seidl auch die interimistische Leitung des physikalischen Institutes, bis Professor Ehrenhaft 1947 aus der Emigration zurückkehrte [12]. Ab 1945 beschäftigte sich Seidl noch intensiver mit der Aus- und Weiterbildung von (künftigen) Lehrer*innen. So hatte sie die Leitung des Schulversuchspraktikums inne und ab 1947 wurden regelmäßige Fortbildungswochen für Lehrpersonen aus Physik und Chemie durch den Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts abgehalten [18]. 1958 wurde Seidl zur außerordentlichen Universitätsprofessorin ernannt und 1963 zur ordentlichen Professorin

erhoben und im selben Jahr von ihrer Lehrverpflichtung befreit, wobei Seidl noch bis 1967 weiter in der Lehrer*innenausbildung und -weiterbildung tätig war und ihr Amt als Präsidentin des Vereins ausübte (vgl. Abbildung 39 und 40 im Anhang und [12]). 1968 erhielt Seidl das große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich [18]. Im Alter von 90 Jahren starb Franziska Seidl am 15.6.1983 (vgl. Abbildung 38 im Anhang). Seit 2018 gibt es im Wiener Straßenverzeichnis auch eine Franziska-Seidl-Straße [2].

Einen großen Bestandteil dieser Arbeit stellen die Experimente dar, die mit der von Franziska Seidl entwickelten UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur durchgeführt wurden. Zu beachten ist, dass es sich hier um die Demonstration historischer Experimente handelt. Anders als bei modernen Ultraschallexperimenten dieser Art, befinden sich die elektrischen Zuleitungen und der Schwingquarz unisoliert in der Flüssigkeit, welche die Schallwellen sichtbar machen soll. Franziska Seidl konzipierte, wie damals üblich, ihre Ultraschallapparatur für elektrisch isolierende Flüssigkeiten wie Tetrachlorkohlenstoff. Hiermit sei darauf hingewiesen, dass diese Substanz wegen toxischer und möglicherweise kazerogener Wirkung nur in wissenschaftlichen Ausnahmefällen verwendet werden sollte.

Mit Hilfe dieser Apparatur ist es möglich, Ultraschall mittels des Debye-Sears-Effekts und der sogenannten Schlierenoptik sichtbar zu machen. Dies soll dazu dienen, Ultraschall optisch darstellen zu können, um einen möglichst phänomenologischen Zugang zu diesem Thema zu bieten.

Insbesondere stehende Ultraschallwellen fungieren als Beugungsgitter für Licht, es entstehen Spektren, die es ermöglichen die Schallwellenlänge zu berechnen. Zweck der Apparatur ist es auch, die Bündelung und Brechung von Ultraschall zu zeigen, als auch das Potential von Ultraschall in der Werkstoffprüfung zu demonstrieren. Abschließend soll auch gezeigt werden, dass ein ultraschallerzeugendes Quarzplättchen auch elastische Schwingungen in einem Glaszylinder anregen kann, welche mittels polarisierten Lichts im Dunkelfeld dargestellt werden können.

Um die durchgeführten Experimente mit der UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur besser zu verstehen, werden in dieser Arbeit auch benötigte Grundlagen zum Thema Ultraschall vorgestellt. Neben dem Verständnis für die Versuche, soll dieses Theoriekapitel auch dazu dienen, einige von Franziska Seidls Publikationen vorzustellen.

2 Das Leben der Franziska Seidl

2.1 Frühes Leben

Am 01.07.1892 wurde Franziska Vicari in Wien geboren. Ihre Mutter hieß Marie Vicari, deren Mädchennamen war Anton, ihr Vater Franz Vicari war Geschäftsinhaber. In Ihrer Kindheit und frühen Jugend besuchte sie fünf Klassen der Volksschule und drei Klassen der Bürgerschule, wo sie an zusätzlichen Ergänzungskursen und Musikunterricht teilnahm ([12] und vgl. Abbildung 37 im Anhang).

Im Jahr 1911 heiratete sie Wenzel Seidl, welcher an der Universität Wien studierte und am deutschen Gymnasialkonvikt in Mährisch-Weißkirchen im heutigen Tschechien unterrichtete. Dorthin folgte ihm Franziska Seidl, kehrte jedoch nach Wien zurück, als Wenzel 1916 im ersten Weltkrieg starb. Aufgrund des Zerfalls Österreich-Ungarns war Sie nun aber tschechische Staatsbürgerin [12].

2.2 Studium

Nach Wenzels Tod strebte Franziska Seidl eine wissenschaftliche Karriere in der Physik an. Um Herrn Dr. Heribert Tilgner, Franziska Seidls ehemaligen wissenschaftlichen Assistenten, frei aus einem Gespräch mit ihm zu zitieren, meinte Wenzel einst zu Franziska, sie würde sich um die Physik kümmern, wenn er sterben würde. So absolvierte Franziska Seidl am 30.10.1918 die Externistenmatura am k.k. Franz Josef Realgymnasium in Wien, um sich an der Universität Wien zu inskribieren. Hier studierte sie von 1918 bis 1922 Physik, Mathematik und Chemie [12].

In einer durch die Österreichische Zentralbibliothek für Physik zu Verfügung gestellten kurzen Autobiographie von Franziska Seidel, welche als eingescanntes Dokument im Anhang in den Abbildungen 33 bis 36 zu finden ist, beschreibt sie ihre Studienzeit. Zu Seidls Studienzeit war es üblich im ersten Semester zu verschiedenen Arbeiten in den Laboratorien der Universität herangezogen zu werden. In diesem Semester hatte Franziska Seidl die Möglichkeit bei Professor F. Ehrenhaft unter Anleitung seines damaligen Assistenten Dr. Joseph Mattauch unterschiedliche experimentelle Arbeitsmethoden kennenzulernen. Unter Ehrenhaft und Mattauch, welcher später Professor an der Universität Wien und Direktor am Max Planck Institut für Chemie in Mainz wurde, konnte sie an Versuchen zum (vergeblichen) Nachweis von Subelektronen, Korrekturen des Stoke'schen Widerstandsgesetzes und an Untersuchungen des Lichtdruckes mitarbeiten.

In ihrem zweiten Semester erhielt Franziska Seidl von Ernst Lecher ihr Dissertationsthema *Über eine neue Messung kurzer Zeiten mit dem Helmholtzpendel* [28] und promovierte am 07.12.1923 zum Doktor der Philosophie (vgl. Abbildung 33 bis 36 im Anhang).

2.3 Zeit als Vorlesungsassistentin

Zu ihren zahlreichen Tätigkeiten an der Universität Wien zählten zunächst bereits während der Studienzeit eine Anstellung bei Professor Lecher am I. Physikalischen Institut, welche sie ab 01.01.1923 als wissenschaftliche Hilfskraft fortsetzte, bis sie schlussendlich ab 1924 planmäßige Assistentin wurde [12]. So war sie Vorlesungsassistentin für die berühmte Vorlesung aus der Experimentalphysik, die Lecher hielt, die von allen Studierenden der Naturwissenschaften besucht wurde. Im Laufe dieser Tätigkeiten bei Lecher entdeckte Franziska Seidl ihre Freude am Experimentieren und erkannte den großen Wert und die Notwendigkeit des Experimentierens. So berichtet sie von strenger Kritik seitens Lechers an Vorbereitungen für Versuche, wodurch sichergestellt werden konnte, dass die Vorführung dieser in der Vorlesung fehlerfrei ablaufen würden. Hier kamen auch öfter überdimensionierte Vorlesungsgeräte zum Einsatz, welche vom Vorgänger Lechers - Victor v. Lang - entwickelt wurden, welcher für sein glänzendes Experimentiervermögen bekannt war (vgl. Abbildung 33 bis 36 im Anhang).

2.4 Mitarbeit im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

Während ihrer Zeit als Vorlesungsassistentin kam Seidl über Lecher, dem damaligen Präsidenten des Vereins, mit dem Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts in Kontakt. So wurde sie 1926 mit dem Verein bekannt gemacht, nachdem sie ihren ersten größeren Experimentalvortrag gehalten hatte. Von diesem Zeitpunkt an, sah sie es als ihre Pflicht an, Lehrpersonen aus Physik und Chemie an höheren Schulen eine Hilfe zu sein, in dem sie die Lehrer*innen durch Vorführungen von Experimenten und Kommunikation neuester Forschungsergebnisse jährlich auf dem neuesten Stand hielt (vgl. Abbildung 33 bis 36 im Anhang).

2.5 Wissenschaftliches Arbeitsfeld

Vor ihrer Habilitation beschäftigte sich Franziska Seidl mit Untersuchungen des Absorptions- und Phasengrenzpotentials schwer angreifbarer Gläser. Als später dann Lechers Nachfolger, Egon von Schweidler, Seidls Vorgesetzter wurde, änderten sich auch ihre Forschungsschwerpunkte. Schweidler beschäftigte sich mit Anomalien dielektrischer Erscheinungen und atmosphärischer Elektrizität, wodurch auch Seidl in diese Gebiete eingeführt wurde (vgl. Abbildung 33 bis 36 im Anhang).

Zusätzlich beschäftigte sie sich mit dem physikalischen Verhalten piezoelektrischer Kristalle bezüglich Änderungen der Piezokonstante als Folge von Einwirkungen durch Korpuskular- und Röntgenstrahlen. Außerdem interessierte sie sich für die Frequenzänderung von Schwingkristallen als Folge von Strahlungseinwirkung. Durch die zahlreichen Versuche, welche sich

mit piezoelektrischen Kristallen beschäftigten, lag das Feld der Ultraschallforschung sehr nahe. So beschäftigte sich Seidl von nun an auch mit Schalloptik, Schallabsorption, Schallgeschwindigkeiten in Flüssigkeiten und Gasen und führte auch Untersuchungen von Festkörpern mittels Ultraschall durch (vgl. Abbildung 33 bis 36 im Anhang).

Um röntgentechnische Arbeitsmethoden kennen zu lernen, arbeitete Seidl vor ihrer Habilitation 1932 für jeweils drei Monate im das Siemens-Laboratorium in Berlin und bei Professor Schiebold in Leipzig (vgl. Abbildung 33 bis 36 im Anhang). Neben ihren Tätigkeiten in der Forschung, betreute sie zahlreiche Dissertationen und wirkte in einigen Praktika mit [12].

In der Zeit von 1926 bis 1956 verfasste Franziska Seidl über 30 wissenschaftliche Arbeiten. Darunter befinden sich zahlreiche Arbeiten über das Verhalten piezoelektrischer Kristalle und über Ultraschall (vgl. Abbildung 41 bis 43 im Anhang). Insbesondere seien die Arbeiten *Besondere Eigenschaften und Wirkungen des Ultraschalls*, *Elektrische Leitfähigkeit flüssiger Dielektrika und ihre Änderung durch Ultraschall*, *Physikalisches zum Ultraschall* und *Ultraschall und seine Anwendungen* hervorgehoben, welche beim Verfassen dieser Arbeit, besonders im Kapitel 3.5, eine große Hilfe darstellten.

2.6 Habilitation

Als sie 1932 um eine Habilitation ansuchte, wurde diesem Ansuchen nachgekommen, jedoch lediglich mit einer Beschränkung auf Experimentalphysik [12]. Die diesbezügliche Abstimmung in der philosophischen Fakultät fiel einstimmig und ohne Stimmenthaltungen positiv aus (vgl. Abbildung 37 im Anhang).

Etwa ein Jahr später erhielt sie auch die Zulassung als Privatdozentin, wodurch sie ab dem Wintersemester 1933/34 regelmäßig Vorlesungen hielt [12].

2.7 NS-Zeit und Zweiter Weltkrieg

Als es 1938 zum Anschluss Österreichs an Deutschland kam, wurde Seidl, wie viele andere, zur Dozentin neuer Ordnung ernannt, später erhielt sie eine Beförderung zur Dozentin mit Diäten. 1942 erhielt sie eine außerplanmäßige Professur und übernahm die Leitung der Vorlesung und Übung *Physik für Mediziner*, für welche sie bereits die letzten 17 Jahre als Assistentin arbeitete [12].

Auch im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts änderten sich die Umstände für Franziska Seidl. Für den Verein von großer Bedeutung war auch die Einstellung der seit 1925 erscheinenden Zeitschrift *Physik und Chemie* zu Beginn der nationalsozialistischen Herrschaft [19].

Karl Bruno, ab 1912 bereits Stellvertretender Obmann des Vereins, wurde am 5. April 1938 zum Unterbevollmächtigten des kommissarischen Leiters der kulturellen Verbände

und Organisationen (also gewissermaßen zum kommissarischen Leiter des Vereins) ernannt. Am 3. April 1939 wurde vom Stillhaltekommissar für Vereine, Organisationen und Verbände mitgeteilt, der Verein könne selbstständig bestehen bleiben, wenn die folgenden Satzungsänderungen durchgeführt werden. Einige der wichtigsten Änderungen sollen hier genannt werden[19]:

- Einführung des Arierparagraphen.
- Die Ernennung eines neuen Leiters beziehungsweise einer neuen Leiterin wird von der Zustimmung des zuständigen Hoheitsträger der NSDAP abhängig gemacht.
- Umstellung auf das Führerprinzip.
- Hauptversammlungen sind von nun an beim Polizeipräsidenten anzumelden.
- Vortragsprogramme müssen dem Leiter des Kreisringes für Volksaufklärung und Propaganda zur Genehmigung vorgelegt werden [19].

Um weiterhin selbstständig agieren zu können, werden die Satzungsänderungen in einer Ausschusssitzung am 5. April 1939 beschlossen. Bald darauf, am 12. April, wird die Freistellung des Vereins mitgeteilt, während Regierungsrat Dr. Karl Müllner, welcher seit 1908 als Kassier im Verein tätig war, zum Leiter und Franziska Seidl, welche bis zu diesem Zeitpunkt lediglich Ausschussmitglied war, zu seiner Stellvertreterin ernannt wurde [19].

Im Juni 1940 wurde Georg Stetter zum Vereinsführer gewählt, was im August 1940 durch die NSDAP-Kreisleitung bestätigt wurde. Franziska Seidls Posten wurde jedoch erst im April 1941 bestätigt. Nach längerer Pause wurde im Juni 1941 die Vereinstätigkeit wieder neu aufgenommen, durch ein von Seidl organisiertes Vortragsprogramm mit einem Vortrag von Josip Sliskovic über Moderne Röhren und Rundfunkempfänger [19].

Seit Beginn der nationalsozialistischen Herrschaft war der NS-Lehrerbund nicht mit der Selbstständigkeit des Vereins einverstanden. Dr. Bauer, der Gausachbearbeiter für Mathematik und Naturlehre, welcher vor 1938 ein Ausschussmitglied des Vereins war, wollte den Verein in den NS-Lehrerbund unterordnen. Dies hätte zur Folge gehabt, dass nur noch Lehrer und Lehrerinnen Mitglieder des Vereins sein könnten und auch die Leitung des Vereins von Dr. Bauer übernommen worden wäre. Während der Verein im Juni 1941 seine Arbeit wieder aufnahm, warnte Bauer alle Lehrer und Lehrerinnen vor den Machenschaften des Vereins. Als Stetter weiterhin für die Unabhängigkeit des Vereins eintrat, forderte er von Bauer dieses Schreiben zurückzunehmen. Dieser wäre dazu bereit gewesen, wäre er zum stellvertretenden Leiter ernannt worden. Da dies bedeutet hätte, dass Seidl ihre Position als stellvertretende Leiterin verloren hätte, sprach sich Stetter dagegen aus. Durch ein Schreiben von Stetter an den Kreisleiter der NSDAP, in welchem er Bauers Schreiben als Erpressung beschrieb, wurde erreicht, dass Bauer seine Warnung am 20.6.1942 zurückzog [19].

2.8 Nachkriegszeit

Die Vorlesung *Physik für Mediziner*, welche sie 1942 übernommen hatte, hielt Franziska Seidl bis Kriegsende, während sie im selben Jahr, im April 1945, auch die interimistische Leitung des I. Physikalischen Instituts übernahm. Diese Position hatte sie inne, bis 1947 Professor Ehrenhaft aus der Emigration wieder nach Wien zurückkehrte [12].

Laut einer am 19.07.1945 verlautbarten Verordnung, verlor Franziska Seidl ihren Titel als außerplanmäßige Professorin. Personen welche den Titel apl.a.o.Prof. (außerplanmäßige*r außerordentliche*r Professor*in) nach dem 13. März 1938 erhalten hatten, mussten um die Verleihung des Titels außerordentliche*r Professor*in erneut ansuchen (vgl. Abbildung 48 im Anhang). In diesem Ansuchen (vgl. Abbildung 47 im Anhang) beschrieb Seidl, wie vom Staatsamt für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten gefordert, ihre wissenschaftlichen Tätigkeiten, aber auch ihre Lehre. So kann ihrem Schreiben entnommen werden, dass sie bis zu diesem Zeitpunkt Abteilungsvorstand am ersten physikalischen Institut war, ein Ultraschalllabor einrichtete und sie sich intensiv mit Ultraschall, Schalloptik, Schwingkristallen und Röntgenstrahlung auseinandersetzte. Sie war ebenso mit dem gesamten Lehrbetrieb aus Physik für Mediziner*innen betraut, stattete das Praktikum mit Geräten aus, die auf dem neuesten Stand der damaligen Technik waren und hielt ab dem Sommersemester 1945 auch die Hauptvorlesung in Experimentalphysik für Physiker*innen, Chemiker*innen und Pharmazeut*innen. Zusätzlich war sie auch für das physikalische Praktikum für Pharmazeut*innen und das Praktikum für Vorgeschnittene für Physiker*innen zuständig. Auf die Verleihung des Titels außerordentliche Professorin musste sie trotz ihrer großen Leistungen noch lange warten.

In ihren Forschungsarbeiten beschäftigte sich Franziska Seidl intensiv mit Ultraschall, Röntgenstrukturanalysen und Dielektrika, jedoch lag ihr Fokus ab 1945 auf der Ausbildung der Lehramtskandidat*innen. So hatte sie die Leitung des Schulversuchspraktikums seit 1945 inne und führte mehrere Lehrveranstaltung ein, welche besonders auf die Bedürfnisse der Lehramtskandidat*innen angepasst waren.

Mit Lehramtskandidat*innen und Lehrer*innen beschäftigte sie sich ab 1946 noch intensiver im Rahmen des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, zu dessen Vorsitzenden sie ernannt wurde, und war weiters Prüferin für das Lehramt an Schulen [12]. Der Verein wurde am 24.08.1945 beim zuständigen Staatsamt für Inneres neu angemeldet, selbstredend mit der vor dem Krieg geltenden Satzung. Die ersten Vereinstätigkeiten wurden am 10. Oktober 1945 wieder aufgenommen, die erste Hauptversammlung, bei der Franziska Seidl zur Obfrau und Müllner zu ihrem Stellvertreter gewählt wurden, fand am 16. März 1946 statt [18].

So kurz nach dem Krieg, war der Wiederaufbau der Lehrmittelsammlungen von größtem Interesse, weshalb dies eines der hauptsächlichen Arbeitsfelder des Vereins war. So wurde vom Bundesministerium für Unterricht die Zentralstelle zum Wiederaufbau der Lehrmittelsammlung für den physikalischen Unterricht an Mittelschulen eingerichtet, für welche Franziska Seidl, als interimistische Leiterin des I. Physikalischen Instituts, zwei Räume zu

Verfügung stellte. Dadurch sollte ein klares Statement gesetzt werden, dass sich Hochschulen am Aufbau der Lehrplangestaltung für Mittelschulen beteiligen wollen. Diesbezüglich war Seidl überaus unerfreut darüber, dass die Hochschulen und der Verein nicht in die Lehrplanung an Schulen involviert waren und bemühte sich darum Gleichgesinnte auf der Universität Wien, der technischen Hochschule und im Stadtschulrat zu finden [18].

Im ersten Vereinsjahr nach dem Krieg konnten bereits zwei Gedächtnisfeiern, zehn Versuchsvorfürungen in Schulen, sechs Vorträge und drei Exkursionen unter der Leitung von Franziska Seidl organisiert werden. Um für die aufgezählten Veranstaltungen Vortragende zu finden, suchte Seidl in dieser Zeit auch Kontakt zu Firmen, um Vortragende für das Schuljahr 1945/1946 zu finden. Neben Firmen wurde auch Kontakt zu den Physikern Hans Thirring und Stefan Meyer und den Chemikern Haller und Klemens aufgenommen und zusätzlich der Regierungsrat Müller um Hilfe gebeten, sich um Vortragende aus Lehrer*innenkreisen zu kümmern [18].

Während ihrer Zeit im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und im Schulversuchspraktikum kam Franziska Seidl zur Erkenntnis, dass die Leitung des Schulversuchspraktikums spezielle Methoden benötigt und auch im Beruf stehende Lehrer*innen durch jährliche Fortbildungswochen den Kontakt zur Universität nicht verlieren sollten (vgl. Abbildung 33 bis 36). So führte sie bereits im ersten Vereinsjahr nach dem Krieg neben dem Schulversuchspraktikum noch ein Seminar ein, in welchem Studierende selbst Experimente vorführen mussten und das Hantieren mit physikalischen Apparaten üben konnten. Um den Kontakt zwischen Hochschulen und Mittelschulen zu verbessern, bemühte sich Seidl um eine Hilfskraft für das Seminar, die selbst aktive Lehrerin war [18].

1946 verfolgte Franziska Seidl das Bestreben die Vereinszeitung, welche im Krieg nicht mehr herausgebracht wurde, wieder ins Leben zu rufen. Auf Grund von Papierknappheit konnte die Zeitung nicht erneut publiziert werden, jedoch erschienen von nun an Sonderdrucke für Vorträge und vierteljährliche Mitteilungsblätter mit Ankündigungen von Tagungen und Veranstaltungen, Buchrezensionen und Kurzberichte über Vereinsveranstaltungen [18].

Die Idee der Fortbildungswoche präsentierte Seidl erstmals im Februar 1947 in einer Ausschusssitzung. Verhandlungen mit der damaligen Bundesregierung fruchteten und führten zur Zustimmung für die Veranstaltung und finanzielle Unterstützung wurde gewährleistet [18]. So sollten die Lehrpersonen durch Vorträge und Exkursionen auf dem neuesten Stand der Forschung gehalten werden. In den Fortbildungswochen wurde den Lehrpersonen auch Zugang und Informationen zu neuen Lehrmitteln und Unterrichtsvorfürungen gewährt (vgl. Abbildung 33 bis 36). Zusätzlich wollte sie die Vernetzung zwischen Lehrerinnen und Lehrern aus den verschiedenen Bundesländern fördern, sie zum gemeinsamen Arbeiten animieren. Zudem sollten in diesen Fortbildungswochen Tipps und Tricks für das Unterrichten anhand von methodischen Vorträgen an die Lehrpersonen heran getragen werden. Das Programm sollte durch Lehrmittel- und Buchausstellungen, Referate und Besuche technischer Betriebe abgerundet werden [18].

Die erste Fortbildungswoche fand im Jahr 1947 vom 5. bis 10. Mai statt. Sie beinhaltete drei Vorträge von Franziska Seidl zum Thema moderne Röntgenphysik und noch weitere drei Vorträge über moderne Kernphysik und weiters Unterrichtsvorführungen und Exkursionen. Die Veranstaltung war ein großer Erfolg und fand von diesem Zeitpunkt an regelmäßig statt. In den nächsten Jahren hielt Franziska Seidl mit ihren Assistent*innen, Fr. Dr. Desoyer, Fr. Dr. Berner und Herrn Dr. Tilgner, mehr als 25 Experimentalvorträge im Rahmen der Fortbildungswochen. Später wurde die Fortbildungswochen noch um Unterrichtsvorführungen in Schulen und Exkursionen in verschiedene Betriebe und Forschungslaboratorien erweitert. Auch Firmen, die Lehrmittel herstellen, wurden von Seidl zu den Fortbildungswochen eingeladen, um deren neueste Geräte vorzustellen. Neben den Forschungsvorträgen aus der Physik und der Chemie, waren auch weitere Naturwissenschaften, wie Biologie, Meteorologie und Astronomie, aber auch allgemeine philosophische, pädagogische und didaktische Themen in Form von Vorträgen vertreten. Dabei kamen der didaktische und pädagogische Input hauptsächlich von Seiten der Lehrerinnen und Lehrer [18].

Außerdem wurden durch Seidls Initiative Zweigstellen des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts in St. Pölten und Salzburg gegründet. Diese waren aber nur kurz tätig [18].

In den folgenden Jahren nahmen die Tätigkeiten neben der Fortbildungswoche, wie weitere Exkursionen und Fachvorträge, immer weiter ab, bis sie in den 70er Jahren gar nicht mehr stattfanden [18].

2.9 Späte Jahre

Im Jahre 1954 erschien im Teubner Verlag das *Lehrbuch der Physik für Mediziner und Biologen*, welches neben Ernst Lecher und Hans Schreiber auch Franziska Seidl als Autorin auflistet.

Als Franziska Seidl im Jahr 1957 das Pensionsalter von 65 Jahren für Angestellte des österreichischen Staates erreichte, suchte Professor Thirring darum an, eine Lehrkanzel zu schaffen und Franziska Seidl zur außerordentlichen Univeritätsprofessorin zu ernennen [12].

Laut Kommissionsbericht, waren an der Kommissionssitzung bezüglich des Extraordinariats für Frau Franziska Seidl vom 28.10.1957 Dekan Kühn, Hofreiter, Karlik, Korninger, Schmid, Stetter und Thirring beteiligt (vgl. Abbildung 39 und 40). Die Stimmen von Schrödinger und Sexel wurden auf Thirring übertragen. In dieser Sitzung wurde von Kühn berichtet, dass sich mit großer Wahrscheinlichkeit budgetär eine außerordentliche Lehrkanzel für Experimentalphysik ausgehen würde. Da die Ernennung zu einer außerordentlichen Professorin für gewöhnlich recht lange dauert, Franziska Seidl in dieser Zeit keine ihrer besonders für Lehramtskandidat*innen wichtigen Lehrveranstaltungen halten könne, und Franziska Seidl auch bald das Pensionsalter erreichen würde, zeigte sich das BMfU

willing, die Ernennung durchzuführen, sobald der Antrag vorliegen würde. Ein Extraordinariat wäre schon lange für Frau Seidl geplant gewesen. So war beim BMfU bereits 1947 ein dies betreffender Antrag mit einstimmigen Beschluss des Professor*innenkollegiums eingelangt, welcher aber aufgrund eines fehlenden freien Dienstpostens abgelehnt wurde. Seit 1957 wurde das Extraordinariat aber in die Anträge für den Dienstpostenplan mit aufgenommen. Das Ziel des Extraordinariates war die praktische Ausbildung der Physik-Lehramtskandidat*innen in der Technik des wissenschaftlichen Experimentierens, was auf einzigartige Weise durch die Lehrveranstaltungen von Frau Seidl gewährleistet wurde. Die Abstimmung in beschriebener Kommissionssitzung fiel einstimmig für Frau Seidl aus (vgl. Abbildung 39 und 40 im Anhang).

So wurde Seidl 1958 zur außerordentlichen Professorin ernannt und wurde bei ihrer Eme-



Abbildung 1: Franziska Seidl an ihrem 70. Geburtstag. Auf dem Tisch ist eine Küvette mit Quarzhalterung und Reflektor und die UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur erkennbar. *Quelle: Zentralbibliothek für Physik.*

ritierung im Jahr 1963 zur ordentlichen Professorin erhoben und im selben Jahr von ihrer Lehrverpflichtung befreit, wobei sie bis 1967 noch weiter in der Lehrer*innenaus- und -weiterbildung tätig war und ihr Amt als Präsidentin des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts ausübte [12]. Die Erhebung zur ordentlichen Professur wurde durch ihre Leistungen in pädagogischer Hinsicht an der Universität und ihren großen Einsatz für die Fortbildungswoche begründet [18]. Durch den großen Erfolg der Fortbildungswochen, wurde Franziska Seidl für Vorträge nach Tutzing am Starnbergersee (1958), nach Paris (1960) und London (1961) eingeladen. Zudem organisierte sie 1962 eine große OECD-Tagung in Salzburg und Wien [18] (OECD steht für Organisation für *Economic Co-operation and Development* oder auf Deutsch *Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung*).

Franziska Seidl starb am 15.6.1983 im Alter von 90 Jahren in Neunkirchen einen natürlichen Tod [vgl. Abbildung 38]. Durch eine Unterhaltung mit Herrn Heribert Tilgner konnte in Erfahrung gebracht werden, dass sie am 23.06.1983 um 14:20 Uhr am Wiener Zentralfriedhof (Gruppe 40, Reihe 1, Nr. 8) beerdigt wurde.

2.10 Bleibende Eindrücke

Im Jahr 1968 erhielt Franziska Seidl das große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich, nachdem die philosophische Fakultät eine sichtbare Auszeichnung einforderte. Auch der Verein zeigte ihr Anerkennung durch die Ernennung zur Ehrenpräsidentin [18].

Auch von ihren Kollegen und Kolleginnen wurde Franziska Seidl hoch geschätzt. So schrieb Hans Thirring, damals Direktor des Instituts für theoretische Physik an der Universität Wien, einst über sie, dass es ihr Verdienst war, dass die Physik und Technik des Ultraschalls in Österreich eingeführt wurde und sie die erste Expertin aus Österreich in diesem Gebiet war. Weiters erwähnte er ihren mutigen Widerstand gegen die Nazi Propaganda und lobte sie für ihre Arbeit als Institutsleiterin in der schwierigen Zeit nach dem Krieg (vgl. Abbildung 44 im Anhang).

Auch Kurt Eckerl von der wissenschaftlichen Vereinigung Ultraschall beschreibt Frau Seidl als die Person, die sich in Österreich am längsten mit den Problemen des Ultraschalls auseinander setzte (vgl. Abbildung 32 im Anhang).

Um einen Eindruck davon zu bekommen, was für einen Einfluss ihre Tätigkeit im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und ihre Lehre auf die Nachwelt hatten, muss nur ein Blick in den Briefverkehr zwischen Franziska Seidl und den verschiedensten Menschen geworfen werden. So schrieb zum Beispiel der damalige Ladeschulrat für Niederösterreich ein Dankeschreiben an Seidl, in dem er sie für ihre großen Verdienste bei der Durchführung der Fortbildungswochen lobt. Dabei ist sich der Verfasser des Briefes überaus bewusst darüber, dass ihr Handeln nicht nur Auswirkungen auf die Teilnehmer*innen der Fortbildungswoche hat, sondern auch auf deren Schülerinnen und

Schüler (vgl. Abbildung 45 im Anhang).

Dr. Othmar Preininger sagte einmal (1992) über Franziska Seidl: „*Sie war ebenso wie ihr Lehrer Lecher eine ganz hervorragende Vortragende. Sie konnte auch schwierige physikalische Inhalte so vermitteln, dass sie von vielen, oder vielleicht allen Studenten verstanden wurden. Sie hat also die Aufbereitung der Physik für das Verständnis vieler als eine ganz große Aufgabe gesehen und damit den Lehrern für Physik Hilfsmittel gegeben und Unterweisungen gegeben, die sie vorher nicht in diesem Umfang bekommen haben. Dies ist ihr Hauptverdienst wahrscheinlich auf längere Sicht. Sie hat damit den Mittelschulunterricht in Österreich, für Jahre, vielleicht Jahrzehnte, sehr positiv beeinflusst.*“[3]

So schrieb auch 1956 Martha Pilar an Frau Seidl, um ihren Dank auszudrücken, für die Bemühungen die Seidl zeigte, um Schülerinnen und Schülern durch die Förderung von Lehrpersonen zu unterstützen (vgl. Abbildung 46 im Anhang). Sie spricht davon, die durch Seidl gewonnenen Fertigkeiten in die Tat umzusetzen. Im selben Brief wird aber auch noch eine ganz andere Thematik angesprochen. So bedankt sich Frau Pilar bei Franziska Seidl dafür, dass sie als Beispiel voran geht und zeigt, dass auch Frauen in der Wissenschaft Seite an Seite mit ihren männlichen Kollegen auf einer Augenhöhe arbeiten können.



Abbildung 2: 70. Geburtstag von Franziska Seidl. In den Fotos sind folgende Personen mit Nummern versehen: 1) Hans Thirring, 2) Georg Stetter, 3) Franziska Seidl, 4) Berta Karlik, 5) Erich Schmid, 6) Hans Warhanek. *Quelle: Zentralbibliothek für Physik, bearbeitet durch Anna Kopf.*

3 Ultraschall

Bei Schallwellen regt ein schwingender Körper (zum Beispiel die Saite eines Instruments oder Stimmbänder) seine Umgebung zu periodischen Schwingungen an, welche sich in Form von Schallwellen ausbreiten. Dies äußert sich in Form von periodisch auftretenden Druckschwankungen. Das Ausbreiten einer Schwingung wird also als Welle bezeichnet, welche durch gekoppelte Schwingungen von benachbarten Teilchen zustande kommt. Benachbarte Teilchen sind durch die elastischen Eigenschaften des jeweiligen Mediums aneinander gekoppelt [33].

Eine Voraussetzung für die Ausbreitung von Schallwellen ist also das Vorhandensein eines Übertragungsmediums. Zudem muss je nach Art des Übertragungsmediums auch die Art der Welle unterschieden werden [33].

Von **Longitudinalwellen** ist die Rede, wenn die Auslenkung der Teilchen um ihre Ruhelage parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle erfolgt. Longitudinalwellen können sich in Medien mit Volumselastizität ausbreiten, dazu zählen Medien der Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig. Dabei muss eine elastische rückstellende Kraft existieren, die der Volumsänderung entgegen wirkt [33].

Bei **Transversalwellen** findet die Auslenkung der Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung statt. Dabei greifen Schubkräfte an den ausgelenkten Massenpunkten an, um sie wieder in ihre Ruhelage zurückzubringen. Dies ist der Grund weshalb sich elastische Transversalwellen ausschließlich in Festkörpern fortpflanzen können [33].

Als Ultraschallwellen bezeichnet man akustische Wellen, in einem Frequenzbereich, der für das menschliche Ohr nicht wahrnehmbar ist. Da das Wahrnehmungsvermögen von Individuum zu Individuum unterschiedlich ist und unter anderem auch vom Alter abhängt, wird Ultraschall in der Regel als Schallwelle mit einer Frequenz von über 20 kHz bezeichnet [17].

Um Ultraschall zu erzeugen, bieten sich keine herkömmlichen Musikinstrumente oder menschliche Stimmbänder an. Im folgenden Kapitel werden zwei Effekte vorgestellt mit deren Hilfe Ultraschallwellen erzeugt werden können. Zusätzlich werden Eigenschaften von Schall (beziehungsweise Ultraschall im besonderen) und Anwendungen des Ultraschalls, die sich auf Grund seiner kleinen Wellenlänge und hohen Frequenz ergeben, besprochen.

3.1 Erzeugung von Ultraschallwellen

3.1.1 Direkter und inverser piezoelektrischer Effekt

1880 erkannten Jacques und Pierre Curie bei Versuchen mit Turmalinkristallen, dass durch mechanische Verformung dieser an deren Oberfläche elektrische Ladungen entstehen, welche proportional zur Verformung sind. Durch Krafteinwirkung entlang der polaren Achsen, bilden sich mikroskopische Dipole innerhalb der Einheitszelle. Die Summe der Dipolfelder erzeugt eine messbare elektrische Spannung [16].

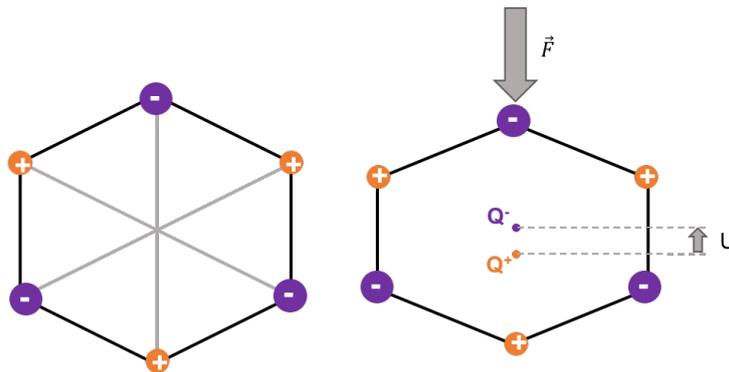


Abbildung 3: Diese Abbildung soll den piezoelektrischen Effekt veranschaulichen. *Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [16], S. 640.*

Abbildung 3 zeigt eine hexagonale Anordnung von Atomen mit polaren Achsen (graue Linien), welche die Voraussetzung für den piezoelektrischen Effekt darstellen. Das Vorkommen von polaren Achsen zeigt uns, dass in diesem Kristallsystem keine Inversionssymmetrie besteht. So sind polare Achsen als Achsen definiert, deren Enden nicht vertauschbar sind (die Kristallstruktur lässt sich also durch eine 180° Drehung um eine zur polaren Achse senkrechten Achse nicht in sich selbst überführen) [16]. In Kristallen wie dem in Abbildung 3 mit mehr als einer polaren Achse kann keine spontane Polarisation auftreten, jedoch kann die Polarisation durch Krafteinwirkung induziert werden. Wie in der Abbildung zu erkennen ist, liegt auf der linken Seite der Ladungsschwerpunkt der negativen und positiven Ladungen im Schwerpunkt des Sechsecks (Schnittpunkt der Verbindungen der Eckpunkte, dargestellt als graue Linien, welche ebenso die polaren Achsen darstellen). Wirkt nun eine mechanische Kraft entlang einer der polaren Achsen, verschieben sich der negative und positive Ladungsschwerpunkt in entgegengesetzte Richtungen (als Q^- und Q^+ dargestellt), wodurch eine Potentialdifferenz entsteht. Substanzen mit dieser Eigenschaft werden als piezoelektrisch bezeichnet.

Im Folgenden werden wir den inversen piezoelektrischen Effekt betrachten. Hierbei wird eine elektrische Spannung an das Kristallsystem angelegt, wodurch es, je nach Polung, zur Kontraktion beziehungsweise Expansion des Kristalles entlang der polaren Achsen kommt [16]. Abbildung 4 veranschaulicht diesen Vorgang.

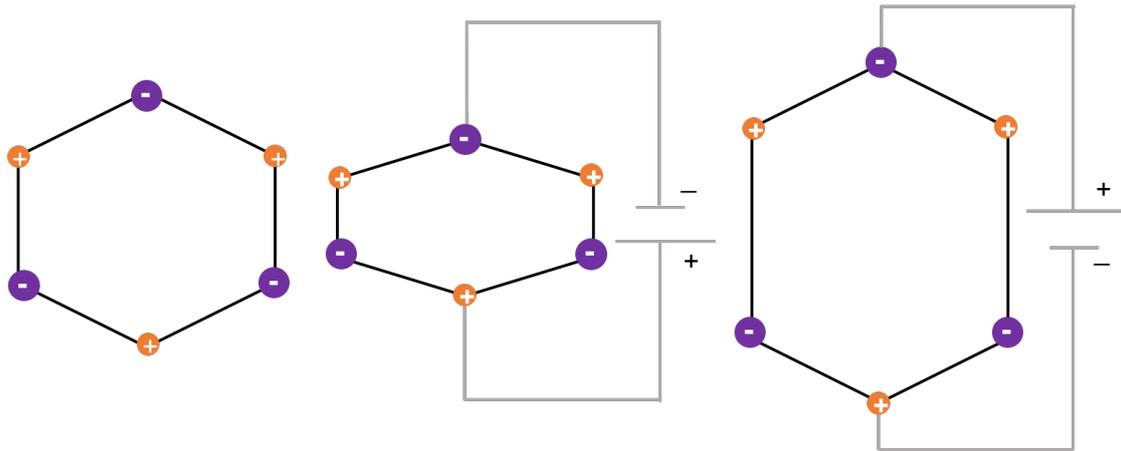


Abbildung 4: Inverser Piezoeffekt. *Zeichnung: Anna Kopf.*

Man kann sich nun leicht vorstellen, dass durch die Kombination des Vorgangs im mittleren und des Vorgangs im rechten Teil der Abbildung 4 eine mechanische Schwingung erzeugt werden kann. Wie alle anderen mechanischen Systeme, lässt sich auch ein piezoelektrischer Kristall zum Schwingen anregen. Der Unterschied besteht darin, dass er durch eine elektrische Wechselspannung zum Schwingen angeregt werden kann. Diese mechanische Schwingung rufen wiederum eine elektrische Wechselspannung hervor [16].

Die Frequenz der mechanischen Schwingungen ist dabei lediglich von der Schallgeschwindigkeit im jeweiligen Kristall und den Abmessungen des Körpers abhängig. Da das Verhalten des Systems mit einer geeigneten Halterung weitgehend von Umwelteinflüssen unabhängig ist, eignet es sich gut als Oszillator.

Die Kompression und Ausdehnung des piezoelektrischen Kristalls ist dann maximal, wenn der angelegte Wechselstrom dieselbe Frequenz wie die Eigenfrequenz des Kristalls besitzt [25].

Umso dünner der Kristall ist, desto höher ist dessen Eigenfrequenz. So ergibt sich für eine Quarzplatte mit einer Dicke von 0,1 mm eine Eigenfrequenz von 30 MHz [25].

Besonders geeignet zur Schwingungsanregung ist laut Franziska Seidl ein Röhrensender in Dreipunktschaltung mit angeschaltetem Piezoquarz oder ein aus einem Wechselstromnetz getriebener induktiv rückgekoppelter Röhrensender mit induktiv angeschaltetem Piezoquarz [29].

Mehrere Materialien weisen einen piezoelektrischen Effekt auf. Um als Erzeuger von Ultraschall zu dienen, müssen die Materialien neben einem piezoelektrischen Effekt, der groß genug sein muss, auch genügend mechanische Festigkeit aufweisen [27]. So werden neben Quarz meist keramische Werkstoffe aus Bariumtitanat eingesetzt. Hierbei zeigt Bariumtitanat zwar einen kleineren elektrischen Widerstand als Quarz, weshalb kleinere Spannungen benötigt werden, jedoch zeigt sich eine hohe Temperaturabhängigkeit der Schwingfrequenz. So kommt Bariumtitanat also nur zum Einsatz, wenn Frequenzänderungen keinen Einfluss auf die Anwendung haben [25].

3.1.2 Magnetostruktiver Effekt

Der magnetostruktive Effekt lässt sich auf ähnliche Weise wie der direkte und indirekte piezoelektrische Effekt beschreiben.

Dabei beschreibt der magnetostruktive Effekt die Längenänderung ferromagnetischer Stoffe im Magnetfeld. So kann ein Nickelstab in einer mit Wechselstrom durchflossenen Spule zu periodischen Längenänderungen angeregt werden. Hier zeigt sich, dass die Längenänderung unabhängig von der Stromrichtung ist und die mechanische Schwingung des ferromagnetischen Material mit doppelter Frequenz des anregenden Wechselstroms erfolgt. Dabei können Schwingungen mit Frequenzen von 20-175 kHz erzeugt werden. Oberhalb dieses Frequenzbereiches werden für die Erzeugung von Ultraschallwellen ausschließlich piezoelektrische Materialien verwendet [25].

3.2 Eigenschaften des Ultraschalls

In diesem Abschnitt der Arbeit werden Eigenschaften des Ultraschalls, Brechung, Reflexion und Beugung von Ultraschall beschrieben. Besonders wird auf die Brechung eingegangen, da diese im späteren Verlauf der Arbeit, in Kapitel 4.4, experimentell behandelt wird.

3.2.1 Reflexion und Brechung

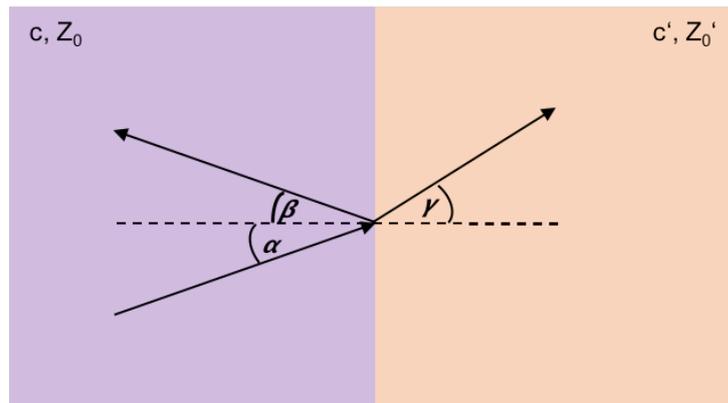


Abbildung 5: Diese Skizze zeigt den Übergang von Schallwellen durch eine Grenzschicht, welche zwei Medien mit unterschiedlichen Brechungsindizes voneinander trennt. *Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17], S. 46.*

Bei sogenannten ebenen Wellen kann ein kleiner Ausschnitt der Wellenfront, die weit von der punktförmigen Quelle entfernt ist, näherungsweise als Ebene beschrieben werden. Zudem breitet sich die Welle in Richtung der Strahlen aus, welche zueinander parallel verlaufen [33].

Trifft eine solche Welle auf eine Grenzfläche, welche zwei Medien unterschiedlicher akustischer Brechungsindizes, beziehungsweise unterschiedlichen Wellenwiderständen Z_0 und Z_0' und unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten c und c' , von einander trennt, tritt ein Teil der Welle in das zweite Medium ein (Transmission), der übrige Teil wird reflektiert (Reflexion). Für die weitere Beschreibung der Reflexion und Transmission wird zunächst der Wellenwiderstand definiert:

$$Z_0 = \varrho_0 \cdot c \quad (3.1)$$

Hierbei beschreibt ϱ_0 die Dichte des Mediums auf der linken Seite in Abbildung 5. Analog lässt sich für die rechte Seite schreiben:

$$Z_0' = \varrho_0' \cdot c' \quad (3.2)$$

Nun gilt bei der Reflexion, dass der einfallende Strahl und der reflektierte denselben Winkel mit dem Lot einschließen. Es lässt sich also schreiben:

$$\alpha = \beta \tag{3.3}$$

Hierbei sind α und β der Abbildung 5 zu entnehmen.

Wie groß der Anteil der reflektierten und transmittierten Schallenergie ist, hängt von der Oberflächenbeschaffenheit der Grenzfläche ab. So handelt es sich bei glatten Wänden und Fußböden um gute Reflektoren, während Vorhänge, Tapeten und Polstermöbel Schall gut absorbieren [33].

Um den transmittierten Teil der Schallwelle aus der in Abbildung 5 gezeigte Situation zu beschreiben, kann das Snellius'sche Brechungsgesetz aus der Optik analog für akustische Wellen verwendet werden [33].

Es gilt:

$$\frac{c}{c'} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \tag{3.4}$$

Der Winkel γ , der von Lot und transmittiertem Strahl eingeschlossen wird, ist also abhängig vom Winkel α des einfallenden Strahls und den Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Wellen in den beiden Medien c und c' .

Eine Brechung zum Lot kommt zu stande, wenn $c > c'$, eine Brechung vom Lot für den Fall, dass $c < c'$.

Dieses Verhalten kann auch durch das Fermat'sche Prinzip erklärt werden, welches besagt, dass Wellen zwischen zwei Punkten stets den Weg durchlaufen, dessen Laufzeit für die Welle ein Minimum darstellt [34]. Sowohl für den transmittierten als auch den reflektierten Anteil der Schallwelle ist zu beachten, dass es an der Grenzschicht zwischen den beiden Medien zu einer Änderung der Phase und der Amplitude der Welle kommt [17].

Weiters können für die Situation in Abbildung 5 mittels der Schallwiderstände Z_0 und Z'_0 ein Reflexionsfaktor R und ein Transmissionsfaktor T definiert werden [17]:

$$R = \frac{Z'_0 \cos(\alpha) - Z_0 \cos(\gamma)}{Z'_0 \cos(\alpha) + Z_0 \cos(\gamma)} \tag{3.5}$$

$$T = \frac{2Z'_0 \cos(\alpha)}{Z'_0 \cos(\alpha) + Z_0 \cos(\gamma)} \tag{3.6}$$

Bei Medien mit einem Schallwiderstand von $Z'_0 = \infty$ und einem daraus resultierendem Reflexionsfaktor von $R = 1$, spricht man von schallharten Medien. Als schallweiche Medien bezeichnet man dann diejenigen, welche einen Schallwiderstand von $Z'_0 = 0$ und einen Reflexionsfaktor von $R = -1$ aufweisen [17].

Überlegt man sich nun, dass der Brechungswinkel γ niemals größer als 90° sein kann, erscheint es einleuchtend, dass ein Grenzeinfallswinkel existieren muss, ab welchem keine Transmission mehr stattfindet. Es zeigt sich, dass für Einfallswinkel $\alpha < \alpha_g$ das Brechungsgesetz erfüllt ist, und für Winkel $\alpha > \alpha_g$ Totalreflexion auftritt und keine gebrochene Welle

existiert. Dabei ist der Grenzwinkel α_g wie folgt beschrieben [17]:

$$\alpha_g = \arcsin\left(\frac{c}{c'}\right) \quad (3.7)$$

Analog zum Grenzwinkel für Totalreflexion existiert auch ein Fall für den keine Reflexion auftritt und der Transmissionsfaktor gleich 1 ist. Für diesen Fall müssen die Bedingungen $\rho'_0/\rho > c/c' > 1$ oder $\rho'_0/\rho < c/c' < 1$ erfüllt sein. Für den Einfallswinkel, bei dem die Grenzschicht komplett durchlässig wird, also $T = 1$ und $R = 0$, gilt [17][24]:

$$\sin(\alpha_{T=1}) = c \cdot \sqrt{\frac{Z_0'^2 - Z_0^2}{(cZ_0')^2 - (c'Z_0)^2}} \quad (3.8)$$

Für den Fall $\alpha = 0$, also senkrecht einfallen der Schallwelle, vereinfachen sich die beiden Gleichungen 3.5 und 3.6 auf

$$R = \frac{Z_0' - Z_0}{Z_0' + Z_0} \quad (3.9)$$

und

$$T = \frac{2Z_0'}{Z_0' + Z_0} = 1 + R. \quad (3.10)$$

Die bis jetzt beschriebene Situation setzte voraus, dass die beiden involvierten Medien Flüssigkeiten oder Gase sind. Im folgenden Abschnitt wird jedoch auf den Fall eingegangen, dass es sich um eine Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Festkörper handelt. Dafür soll die folgende Abbildung 6 zur Veranschaulichung dienen.

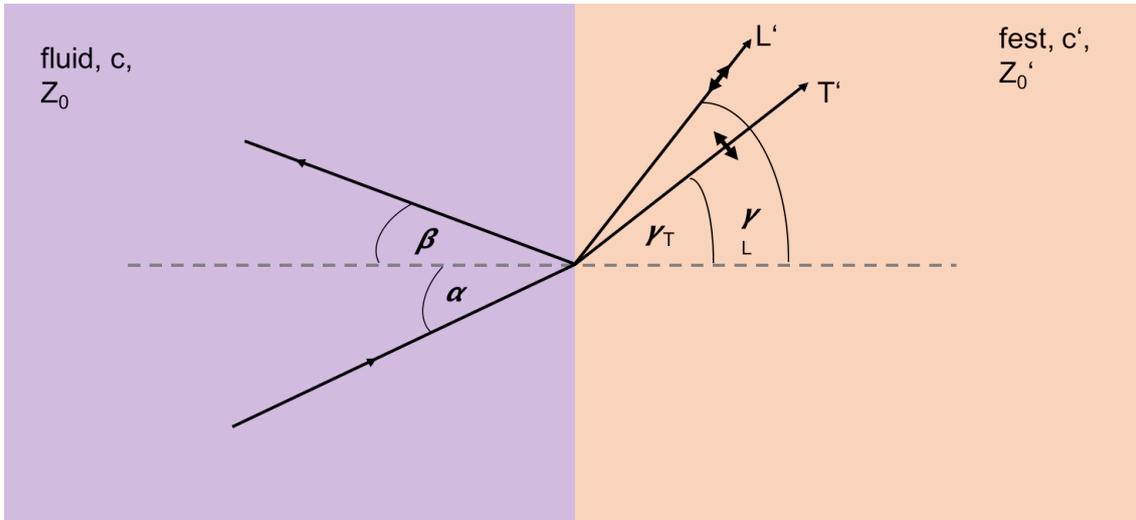


Abbildung 6: Diese Skizze zeigt den Übergang von Schallwellen durch eine Grenzschicht, welche ein Fluid und einen Festkörper voneinander trennt (Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17], S. 50).

In der Skizze 6 stellt die linke, violette Fläche eine Flüssigkeit dar, die rechte, orange Fläche einen Festkörper. Die Schallwelle trifft unter dem Winkel α auf die Grenzfläche, wird

im Winkel β (mit $\alpha = \beta$) reflektiert. Im Bereich des Festkörpers muss bei der transmittierte Welle zwischen einem longitudinalen Anteil L' und einem transversalen Anteil T' unterschieden werden. Die transversale Welle schließt mit dem Lot den Winkel γ_T ein, die longitudinale den Winkel γ_L . Wie bereits in Abbildung 5 ist auch hier zu beachten, dass in den beiden Zonen, die von der Grenzschicht getrennt werden, unterschiedliche Schallgeschwindigkeiten c und c' gelten und verschiedene Schallwiderstände Z_0 und Z'_0 vorhanden sind.

Auch in dieser Situation sind die Gleichungen 3.10 und 3.9 gültig, solange nur Longitudinalwellen zulässig sind und der Schalldruck als maßgebliche Schallfeldgröße verwendet wird. Will man nun einen schiefen Einfall der Schallwelle, also $\alpha \neq 0$, betrachten, müssen gewisse Eigenschaften des Festkörpers berücksichtigt werden. In Festkörpern wirken nicht nur Normalkräfte (Schubkräfte), sondern auch Tangentialkräfte (Scherkräfte), während in Flüssigkeiten und Gasen nur Normalkräfte auftreten. An einer Grenzfläche zwischen Festkörper und Flüssigkeit müssen diese Tangentialkräfte verschwinden, was nur dann geschehen kann, wenn es zu einer Wellenumwandlung kommt. So wandelt sich eine ankommende Longitudinalwelle teilweise in eine transversale Welle um und aus einer einlaufenden Transversalwelle, deren Schwingungsebene in der Einfallsebene liegt, entsteht eine longitudinale Schallwelle. Für Transversalwellen deren Schwingungsebene senkrecht auf die Einfallsebene steht, gelten für die Reflexion und Transmission weiterhin die Gleichungen 3.5 und 3.6. Auch für diese Situation gilt das Brechungsgesetz in folgender Form [17].

$$\frac{\sin(\alpha)}{c} = \frac{\sin(\gamma_T)}{c'_T} = \frac{\sin(\gamma_L)}{c'_L} \quad (3.11)$$

Wenn nun $c'_T > c$ und

$$\alpha > \arcsin\left(\frac{c}{c'_T}\right) \quad (3.12)$$

gilt, kann kein Schall in den Festkörper eindringen und wir sprechen wiederum von Totalreflexion. Wenn jedoch eine Situation betrachtet wird, in welcher $c'_L > c$ gilt und der Einfallswinkel α im Intervall $\arcsin(c/c'_L) < \alpha < \arcsin(c/c'_T)$ liegt, kann im Festkörper eine reine Transversalwelle beobachtet werden [17].

Zu guter Letzt lässt sich für die Aufteilung der Amplituden der beiden Wellen, folgendes schreiben:

$$\frac{A'}{B'} = -\frac{c'_L \cos(2\gamma'_T)}{c'_T \sin(2\gamma'_L)} \quad (3.13)$$

Hier steht A' für die Amplitude der gebrochenen Longitudinalwelle und B' für die Amplitude der gebrochenen transversalen Welle [17].

3.2.2 Beugung

Wir betrachten nun einen Fall, in dem ein Teil der akustischen Welle abgeschnitten wird. Eine ebene Welle trifft also auf einen Spalt. Wider Erwarten breitet sich die Welle hinter dem Hindernis nicht geradlinig in Strahlrichtung aus, stattdessen breiten sich hinter dem Spalt kreisförmige Wellen aus. Es wirkt, als wäre der Spalt eine neue punktförmige Schallquelle, von der sich Wellen kreisförmig ausbreiten. Beim Durchtreten des Spaltes werden die Schallwellen also abgelenkt, was wir als Beugung oder Diffraktion bezeichnen [33].

Es zeigt sich, dass der Spalt nun als neue punktförmige Quelle betrachtet werden kann, wenn die Öffnung in Relation zur Wellenlänge klein ist. Ist die Spaltöffnung deutlich größer als die Wellenlänge, zeigen sich am Spaltrand Störungen der Welle, weiter vom Rand entfernt breitet sich die Welle jedoch ungestört geradlinig aus. Für den Fall Spaltöffnung $\gg \lambda$ sind Beugungseffekte also vernachlässigbar klein [33].

In diesem Phänomen liegt auch der Grund für das Auflösungsvermögen von Sonargeräten (**s**ound **n**avigation **a**nd **r**anging). Ist das zu ortende Objekt kleiner als die verwendete Wellenlänge, wird sich die Welle um das Objekt beugen und nicht reflektiert werden. Somit kann das Objekt nicht geortet werden. Bei registrierbaren Objekten ist die Positionsunsicherheit von derselben Größenordnung wie die Wellenlänge. Wegen der kleinen Wellenlänge von Ultraschall und der damit einhergehenden kleinen Positionsunsicherheit, eignet sich dieser besonders gut für die Ortung und wird vom Menschen hauptsächlich zur Ortung von U-Booten verwendet. Im Tierreich können Fledermäuse, mit dem von ihnen erzeugten Schall mit einer Frequenz von ~ 120000 Hz noch Insekten aufspüren, welche $\sim 2,8$ mm groß sind [33].

Die hier genannten Eigenschaften gelten analog auch für elektromagnetische Wellen. Dabei ist nur zu beachten, dass die Lichtgeschwindigkeit in Medien nicht von denselben Eigenschaften abhängt, wie die Schallgeschwindigkeit. So dient eine Konkavlinse für Schall als Sammellinse, für Licht jedoch als Streulinse.

3.3 Beugung von Licht an Ultraschall

Dass Licht an Ultraschall gebeugt wird, wird sich in den Experimenten die in dieser Arbeit besprochen werden, zu Nutzen gemacht um Ultraschallwellen und deren Eigenschaften sichtbar zu machen.

Um den Unterschied zwischen der Beugung an longitudinalen und transversalen Ultraschallwellen zu verdeutlichen, sollen die folgenden Skizzen 7 und 8 zeigen, wie sich die beiden Wellenarten fortpflanzen.

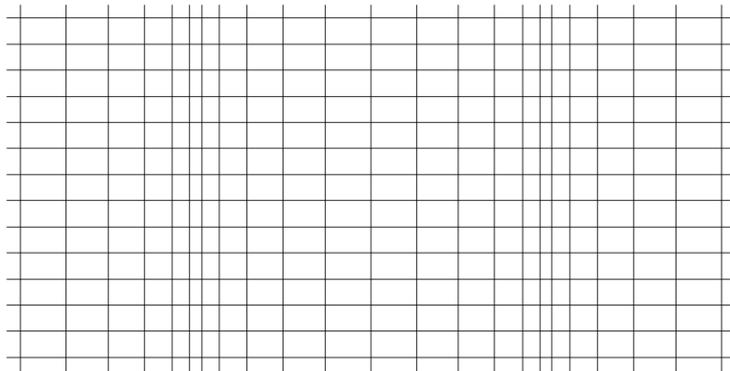


Abbildung 7: Ausbreitung einer Longitudinalwelle. *Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17] S. 40.*

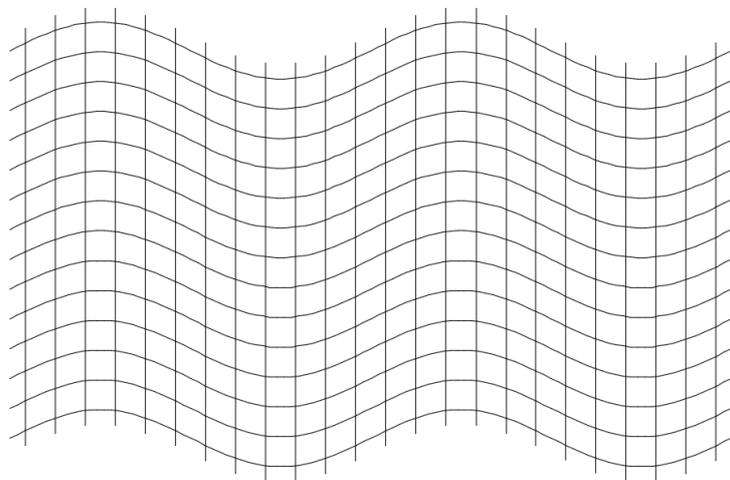


Abbildung 8: Ausbreitung einer Transversalwelle. *Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17], S. 40.*

3.3.1 Beugung von Licht an longitudinalen Ultraschallwellen

Breitet sich eine Ultraschallwelle longitudinal in Flüssigkeiten oder Gasen aus, führt dies zu periodischen Verdichtungen und Verdünnungen des Mediums. Diese Kompression und Expansion führt zu sich ändernden optischen Brechungsindizes, was sich zeigt, wenn Licht senkrecht auf das durchschallte Medium trifft. Dieses Verhalten der Materie soll durch

Abbildung 7 verdeutlicht werden. Der Brechungsindex einer Flüssigkeit ist größer, umso höher deren Dichte ist. In der Ultraschallwelle, die sich in der Flüssigkeit ausbreitet, variiert die Dichte und somit auch der Brechungsindex periodisch. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, treten Stellen mit erhöhter Dichte entlang der Ausbreitungsrichtung periodisch auf. Tritt Beugung eines Lichtbündels, das eine harmonische Ultraschallwelle senkrecht durchquert, auf, wird dieses Phänomen als Debye-Sears-Effekt bezeichnet [17][21].

Diesen Effekt kann man sich zu Nutzen machen, um Ultraschallwellen quantitativ nachzuweisen. Dafür wird ein ähnlicher Aufbau verwendet, wie auch für die Experimente dieser Arbeit. Dabei wird ein paralleles monochromatisches Lichtbündel auf die Flüssigkeit gerichtet. Mit einer weiteren Sammellinse hinter der flüssigkeitsgefüllten Küvette wird ein scharfes Bild der Lichtquelle auf einem Schirm abgebildet. Wird nun die Wechselspannungsquelle am piezoelektrischen Kristall eingeschaltet, welcher sich in der Flüssigkeit befindet, breitet sich in der Flüssigkeit ein Schallwellenfeld aus, welches in Folge der Periodizität der sich bildenden Druckänderungen, wie ein optisches Gitter mit der Schallwellenlänge λ als Gitterkonstante fungiert. Wie von der Beugung von Licht an herkömmlichen Gittern bekannt, sind am Schirm jeweils unter und über der Abbildung der Lichtquelle, weitere Abbildungen dieser erkennbar. Diese werden als Beugungsbilder oder Intensitätsmaxima erster, zweiter, usw. Ordnung bezeichnet, während für das ursprüngliche Bild die Bezeichnung Beugungsbild beziehungsweise Intensitätsmaximum nullter Ordnung üblicher Weise verwendet wird [17].

Dabei rührt das Intensitätsmaximum m -ter Ordnung von Licht her, welches durch das Ultraschallwellenfeld um den Winkel ϑ_m relativ zur ursprünglichen Ausbreitungsrichtung des Lichtes abgelenkt wurde. Der Ablenkwinkel ist also darauf zurückzuführen, dass das Licht, je nachdem an welcher Stelle es das Schallfeld passiert, sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreitet [17][21]. Dieses Phänomen wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit noch genauer erklärt.

Von gängigen optischen Gittern, ist bekannt, dass für den Ablenkwinkel Folgendes gilt [34]:

$$\sin(\varphi_n) = n \frac{\lambda}{g} \quad (3.14)$$

Dabei bezeichnet n die Ordnung des Beugungsmaximums, φ_n den Ablenkwinkel n -ter Ordnung, λ die Wellenlänge des Lichtes und g die Gitterkonstante [34].

Analog dazu lässt sich für das Ultraschallgitter Folgendes schreiben [17]:

$$\sin(\vartheta_m) = m \frac{\Lambda}{\lambda} \quad (3.15)$$

Hier bezeichnet ϑ_m den Ablenkwinkel m -ter Ordnung, m die Ordnung des Beugungsmaximums, Λ die Wellenlänge des Lichts und λ die Wellenlänge des Schalls [17].

Die lokalen Schwankungen der Lichtgeschwindigkeit aufgrund der sich periodisch ändernden optischen Dichte in der Schallwelle, führen zu entsprechenden Phasendifferenzen des

Lichtes [17]. Laut dem Hygens-Fresnell'schen Prinzip kann jeder Punkt, der von einer ebenen Wellenfront getroffen wird, als Ausgangspunkt einer neuen Kugelwelle betrachtet werden [34]. Die so hervorgerufenen Wellen werden als Sekundärwellen bezeichnet. Diese kugelförmigen Sekundärwellen löschen sich jedoch infolge von destruktiver Interferenz in fast jeder Ausbreitungsrichtung aus, mit Ausnahme jener, in der sich alle von gleichphasig angeregten Punkten der betrachteten Ebene hervorgerufenen Sekundärwellen gleichphasig, also konstruktiv, überlagern. Konstruktive Interferenz findet statt, wenn der Gangunterschied Δs von benachbarten Sekundärwellen einem ganzzahligen Vielfachen der Lichtwellenlänge entspricht. Wegen dieser Eigenschaft, wird diese Art von Gitter auch Phasengitter genannt [17].

Dieser experimentelle Aufbau kann auch für stehende Schallwellen adaptiert werden, indem ein Reflektor in die beschallte Flüssigkeit eingebracht wird. Eine stehende Welle kann als Überlagerung von zwei entgegengerichteten Wellen gleicher Amplitude verstanden werden. Hierbei ist zu beachten, dass Licht, das von einer stehenden Welle gebeugt wird, zunächst von der einen Welle und dann von der zweiten Welle erneut gebeugt wird. So lässt sich also sagen, dass ein resultierendes Intensitätsmaximum aus Lichtbestandteilen besteht, welche aus unterschiedlichen Vorgeschichten stammen [17].

In diesem Fall ist zu beachten, dass als Gitterkonstante lediglich die halbe Wellenlänge des Ultraschalls zu verstehen ist. Durch Vermessen der Abstände zwischen den Beugungsbildern, können Rückschlüsse auf die Wellenlänge und somit auf die Schallgeschwindigkeit getroffen werden [17].

Wird dasselbe Experiment mit nicht-monochromatischem Licht durchgeführt, kommt es, aufgrund der Wellenlängenabhängigkeit der Beugung am Gitter zur spektralen Aufspaltung des Lichtes in seine Bestandteile [17].

3.3.2 Beugung von Licht an transversalen Ultraschallwellen

Lichtbeugung an transversalen Ultraschallwellen lässt sich in lichtdurchlässigen Festkörpern beobachten. Die Beugung lässt sich in transversalen Wellen aber nicht direkt auf Dichteschwankungen zurückführen, sondern wird durch elastische Scherkräfte erklärt. Die Scherung, die durch Transversalwellen verursacht wird, resultiert in einer optischen Anisotropie. Im Körper sind also unterschiedliche Brechungsindizes aufzufinden, weshalb Licht, welches dieses Objekt durchläuft, eine Phasendifferenz aufweist. Die hier beschriebene optische Anisotropie wird als Spannungsdoppelbrechung bezeichnet [17].

Bei Betrachtung von Abbildung 8 ist erkennbar, dass einzelne Volumenelemente des Festkörpers, bei Durchschallung geschert werden. So werden aus den zunächst rechteckigen Volumenelementen Rauten. Trifft nun paralleles Licht senkrecht auf die Zeichenebene (also auch senkrecht auf die Ausbreitungsrichtung der Welle), hängt der Brechungsindex in jedem einzelnen Volumenelement von der Polarisationsrichtung des Lichtes ab. Ist der Polarisationswinkel bezüglich der Schallausbreitungsrichtung kleiner als $+45^\circ$ resultiert als

Beugungsbild je nach Schwingungszustand entweder ein Minimum oder ein Maximum. Bei einem Polarisationswinkel von -45° , tritt das gegenteilige Extremum auf [17].

So wie sich beliebig polarisiertes Licht gedanklich in die oben beschriebenen Polarisationskomponenten zerlegen lässt, kann auch das resultierende Beugungsbild durch Zusammensetzung der oben genannten Beugungsbilder kombiniert werden. Auch in diesem Fall kann der Beugungswinkel durch Gleichung 3.15 beschrieben werden, wobei zu beachten ist, dass für die Schallwellenlänge nun die transversale Wellenlänge einzusetzen ist, welche kleiner als die longitudinale Wellenlänge ist [17].

Um die Beugung an transversalen Ultraschallwellen zu zeigen, wird nicht zwangsläufig polarisiertes Licht benötigt. Die Verwendung von zwei Polarisationsfiltern beziehungsweise gekreuzten Nicol'schen Prismen kann aber dazu genutzt werden, nicht-gebeugtes austretendes Licht und Licht, welches am longitudinalen Anteil der Schallwelle gebeugt wurde, auszublenden [17].

3.4 Sichtbarmachung von Ultraschall

3.4.1 Toepler'sches Schlierenverfahren

Eine besonders anschauliche Methode um Ultraschallwellen sichtbar zu machen, beruht auf dem Debye-Sears-Effekt. Beim Toepler'schen Schlierenverfahren wird paralleles Licht durch eine flüssigkeitsgefüllte Küvette mit eingebrachtem Schwingquarz gestrahlt und auf einen Schirm abgebildet. An der Stelle, an der auf dem Schirm die Abbildung der Lichtquelle zu sehen ist, wird eine Blende eingebracht, welche das direkte Licht der Lichtquelle abschirmt. Wird nun die Flüssigkeit durch Einschalten der Wechselspannungsquelle am piezoelektrischen Kristall in Schwingung versetzt, tritt Beugung des Lichts am Schwinggitter auf, und am Schirm sind Beugungsbilder höherer Ordnung zu sehen. Es handelt sich also um eine Abbildung einer im Schallwellenfeld liegenden Ebene. Diese Methode, bei welcher das von der Lichtquelle direkt einfallende Licht abgeschirmt wird, wird als Dunkelfeldbeobachtung bezeichnet. Idealerweise wird zum Abbilden eine Linse verwendet, deren Brennweite so gewählt ist, dass sie gleichzeitig die Lichtquelle auf die Blende und das Schallwellenfeld auf dem Schirm abbildet [17].

Je nach zu untersuchendem Ultraschallfeld, müssen unterschiedliche Lichtquellen verwendet werden. Verwendet man keinen Reflektor, betrachtet man also eine fortschreitende Welle, welche mit stroboskopischem Licht sichtbar gemacht werden muss, um stets dieselbe Phase der Welle abzubilden [17].

Weiters ist es auch möglich, das Schallwellenfeld mittels Hellfeldbeobachtung sichtbar zu machen. Dafür wird eine Schlierenblende verwendet, welche lediglich das unabgelenkte Licht der Lichtquelle durchlässt und Beugungsbilder höherer Ordnung abschirmt. Hier erscheinen schallführende Bereiche in eindrucksvollen Farben [17].

Weiters sind in den folgenden Abbildungen 9 und 10 zwei Strahlengänge dargestellt, wodurch die Schlierenmethode verwirklicht werden kann. Beide dieser Verfahren wurden von Franziska Seidl verwendet und sind in der Anleitung zur UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur wiedergegeben [30].

In Abbildung 9 ist dargestellt, dass die Lichtquelle 1 mit dem Kondensator 2, beide sind Teil der Richtlampe, auf eine kleine Lochblende 3 fokussiert wird. Hinter der Lochblende wird das Licht mit einer Sammellinse 4 auf ein kleines Scheibchen 6 konzentriert, wodurch kein direktes Licht auf den Schirm 8 fällt. Wird nun die mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllte Küvette 5, in der sich dank dem angeregtem Schwingquarz ein Ultraschallfeld ausbildet, in den Strahlengang, zwischen der Sammellinse 4 und dem Scheibchen 6, gestellt, wird das Licht durch die Druckverläufe im Ultraschallwellenfeld abgelenkt. So gelangt das Licht am Scheibchen vorbei. Dieses abgelenkte Licht kann nun mit Hilfe einer Sammellinse 7 auf dem Schirm abgebildet werden [30].

Eine andere Art um die Schlierenmethode experimentell umzusetzen ist in Abbildung 10 gezeigt.

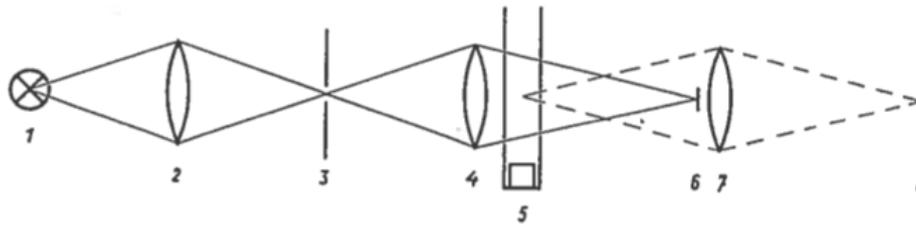


Abbildung 9: Aufbau zum Sichtbarmachen von Ultraschall mittels Schlierenmethode nach [30].

Hier bezeichnet L die Lichtquelle und K den Kondensator, welche zusammen Teil der Richtlampe sind. Diese wird so eingestellt, dass der konvergente Lichtstrahl durch einen horizontalen Spalt B scharf begrenzt wird. Das Lichtbündel wird durch die Linse I parallel gerichtet und Linse II bildet sowohl den Spalt B als auch die Schliere S auf den Schirm Sch ab. In B' wird dann ein weiterer horizontaler Spalt eingebracht, welcher das Licht des ersten Spaltes B weitgehend abschirmt. Erfährt das Licht auf Grund der Schliere eine Ablenkung, wird es durch den Spalt nicht mehr abgeschirmt [30].

Diese Methode (Abbildung 10) wurde auch für die Versuche in dieser Arbeit verwendet.

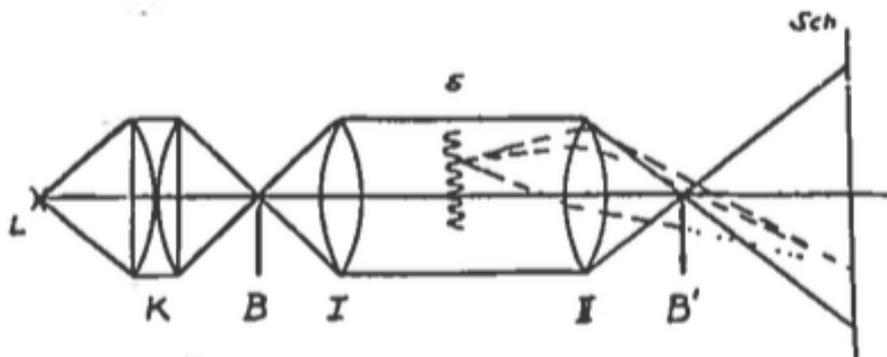


Abbildung 10: Anderer Aufbau zur Sichtbarmachung von Ultraschall mittels Schlierenmethode nach [30].

Die sogenannte Schliere ist in diesem Fall also wie beschrieben das Ultraschallwellenfeld, da sie Dichteschwankungen in der Flüssigkeit erzeugt. Jedoch auch eine thermische Bewegung aufgrund von Wärme (zum Beispiel durch abgegebene Körperwärme an Händen, oder wie in Abbildung 26 zu sehen ist, die Erwärmung der Flüssigkeit durch Absorption des Ultraschalls) kann durch die Schlierenmethode sichtbar gemacht werden. Weiters können auch Salzkörner eine Schliere darstellen. So wurde beispielsweise der Aufbau ohne Ultraschall getestet, indem in die Küvette Leitungswasser eingefüllt wurde und Salzkörner eingestreut wurden. Das Licht wird an den kleinen Salzkristallen anders gebrochen, als

durch das Wasser. So werden die Salzkörner als helle Punkte am Schirm sichtbar. Sind die Salzkörner aber vollkommen im Wasser aufgelöst, tritt diese Ablenkung nicht mehr auf und die hellen Punkte am Schirm sind nicht mehr sichtbar.

3.5 Erste Anwendungen des Ultraschalls in der Zeit von 1930 bis 1950

Herstellung von Emulsionen

Unter Emulsionen versteht man die Mischung aus prinzipiell unmischbaren Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Öl und Wasser, Toluol und Natriumoleat oder Quecksilber und Wasser. Die Vermischung dieser kann unter anderem durch den Einsatz eines Ultraschallwellenfeldes begünstigt werden [13]. Hierfür ist das Phänomen der Kavitation ausschlaggebend: Durch das Ultraschallwellenfeld kommt es in der Flüssigkeit in periodischen Abständen zu Kompression und Expansion. Ist dieser Schallwechseldruck groß genug, kann es an Positionen der Expansion durch Zerreißen der Flüssigkeit zu Hohlräumbildungen kommen, in welche gelöste Gase aus der Flüssigkeit eintreten können. Während der Kompressionsphase fallen diese Hohlräume in sich zusammen. So kann bereits nach wenigen Sekunden eine Trübung von Flüssigkeiten beobachtet werden, die in einer Küvette durch einen piezoelektrischen Kristall in Schwingung versetzt werden [25].

Die Emulgierung wird zwar deutlich verbessert durch die Anwesenheit von Gasen in den Flüssigkeiten, Bondy und Söllner präsentierten aber auch ein Erklärungsmodell für das Durchmischen von Wasser und Quecksilber ohne das Vorhandensein von Gasbläschen im Vakuum. So beschreiben sie, dass Wasser an der Grenzschicht durch den Ultraschall in das Quecksilber gedrückt wird, wodurch Wasser Blasen entstehen, die von einer dünnen Quecksilberschicht umgeben sind. Platzen diese Blasen bei Kompression durch das Wellenfeld, wird Quecksilber ins Wasser geschleudert [13][29].

Für die Emulsionsbildung zeigt sich auch eine Frequenzabhängigkeit. So zeigt sich eine besonders effektive Emulsionsbildung von Petroleum und Wasser bei einer Schallfrequenz von 140kHz , wobei sie noch bis 1160kHz stattfindet [29].

Entgasung von Flüssigkeiten und Schmelzen

Die Kavitation kann auch zur Entfernung von Gaseinschlüssen aus Flüssigkeiten und Schmelzen genutzt werden. Die in der Verdichtungsphase auftretenden Hohlräume, in welche Gase aus der Flüssigkeit eindiffundieren können, steigen in der Flüssigkeit auf und entweichen ihr so [25].

Das Aufsteigen von Bläschen lässt sich schon bei geringen Schallintensitäten beobachten. Da diese Art der Entgasung auch bei Schmelzen funktioniert, wird sie besonders gern bei Glasschmelzen angewandt um hochreine optische Gläser herzustellen. Weil sich für diese Anwendung kleinere Ultraschallfrequenzen besser eignen, wird hier zur Erzeugung des Schalls auf den magnetostriktiven Effekt zurück gegriffen [26].

Weiters kann durch das Einwirken von Ultraschall auf Metallschmelzen der Schmelzpunkt dieser herabgesetzt werden und der Erstarrungsprozess beschleunigt werden. Zudem kann eine Kornverfeinerung erreicht werden, wenn das Erstarren in einem Ultraschallwellenfeld stattfindet [23][26].

Medizinische Anwendungen

Bei Versuchen mit Fröschen, Fischen und Protozoen im Ultraschallwellenfeld konnten schädliche Folgen auf diese gezeigt werden. So kam es bei den Tieren zu Lähmungerscheinungen, teilweise zum Tod und die Protozoen wurden zerstört. Auch diese negativen Wirkungen sind auf die Kavitation zurückzuführen, die im Körper der Lebewesen auftritt und durch das Vorhandensein von Gasblasen verstärkt wird [29]. Die Wirkung auf Mikroorganismen ist dabei abhängig von der Intensität, der Wellenlänge, der Frequenz und der Beschallungsdauer. Je nach Intensität des Ultraschall sind die Wirkungen reversibel oder irreversibel, wobei Kavitationen auftreten müssen um Zellzerstörung herbeizuführen [27]. Jedenfalls konnte gezeigt werden, dass sich Typhusbazillen bei Frequenzen von etwas 4600kHz komplett abtöten lassen, während dieses Ergebnis für Staphylokokken und Streptokokken nur teilweise reproduziert werden konnte [29].

Materialprüfung

Um Fehlstellen in einem zu prüfenden Material zu finden, nutzt man, dass sich Schallwellen in unterschiedlichen Medien unterschiedlich schnell ausbreiten. Der Schallwiderstand, oder auch Schallkennimpedanz Z_0 ergibt sich durch das Produkt der Dichte ρ des Mediums, und die Schallgeschwindigkeit c in diesem:

$$Z_0 = \rho \cdot c \quad (3.16)$$

Es zeigt sich, dass in isotropen Materialien die Schallgeschwindigkeit höher ist als in Materialien mit Fehlstellen [25].

In der Praxis wird ein sogenannter Schallkopf verwendet, bei dem es sich um eine Halterung mit Schwingquarz handelt, welcher in direktem Kontakt mit dem zu prüfenden Material steht. So gibt der durch eine Wechselfspannung in Schwingung versetzte Schallkopf eine Störung an den Prüfstoff weiter. Auf der dem Schallkopf gegenüber liegenden Seite des Prüfstoffs befindet sich eine Quarzplatte, die durch die Störung im Prüfmaterial ebenfalls in Schwingung versetzt wird. Dies führt, aufgrund des direkten piezoelektrischen Effekts, zur elektrischen Aufladung der Quarzplatte, was in einer hochfrequenten Wechselfspannung resultiert, die nach Verstärkung und Gleichrichtung mit einem Milliamperemeter messbar ist [25].

Eine andere Methode stellt der Einsatz ein und desselben piezoelektrischen Kristalls als Schallgeber und -nehmer dar. Bei der als *Impuls-Echo-Verfahren* bezeichneten Methode bekommt der Schwingquarz von einem Hochfrequenzgenerator ca. sechzig 1-10 ms anhaltende Spannungsimpulse pro Sekunde. Diese Schallimpulse werden entweder am Boden der Probe oder an einer Fehlstelle reflektiert, am piezoelektrischen Kristall wiederum in Spannungspulse umgewandelt, verstärkt und dann einer Kathodenstrahlröhre zugeführt.

Dort sind die vom Quarz ausgesandten Schallimpulse und die am Boden bzw. an Fehlstellen reflektierten Schallimpulse auf einem Leuchtschirm in Form von Zacken erkennbar. Die reflektierten Signale werden dabei als Echo bezeichnet, was sich in der Namensgebung des Verfahrens widerspiegelt [25].

Um eine genaue Lokalisierung der Fehlstelle zu bewerkstelligen, muss zuvor eine Eichung mit einem fehlerfreien Prüfobjekt durchgeführt werden, in welches an einer bekannten Stelle eine Fehlstelle eingebracht wird, um so feststellen zu können, in welcher Tiefe sich (nicht gezielt eingebrachte) Fehlstellen befinden [25].

Um auch kleine Fehler nachweisen zu können, muss darauf geachtet werden, dass die Wellenlänge kleiner als die Fehlstelle ist, um Beugungserscheinungen zu vermeiden. Dies ist mit ein Grund, wieso sich hochfrequenter Ultraschall besonders gut für diese Methode eignet. So finden diese Untersuchungen in der Materialprüfung oft mit Bariumtitanat-Keramiken als Schallgeber statt, welche Frequenzen von 15 MHz erzeugen können, was dazu führt, dass Materialfehler in der Größenordnung von 10^{-6} mm nachweisbar sind [25].

Weitere Vorteile des Ultraschalls in der Materialprüfung liegen darin, dass die Untersuchungen durchgeführt werden können, ohne dem Material jegliche Schäden zuzufügen. Auch die größere Reichweite im Vergleich zu Röntgenstrahlung, was auch die Prüfung in dicken Materialien erlaubt, stellt einen Gewinn dar [25].

Koagulation in Aerosolen

In einem Schallwellenfeld erfahren Teilchen in periodischen Zeitintervallen abstoßende beziehungsweise anziehende Kräfte auf ihre benachbarten Teilchen. In anisotropen Aerosolen sind unterschiedliche große Teilchen vorhanden, welche während dem Schwingen unterschiedliche Amplituden besitzen [29]. So kommt es bei sehr intensivem Ultraschall zu Kollisionen der Teilchen, welche sich zusammenballen und als Niederschlag absinken [25]. Diese zusammengeballten Teilchen können dann durch Fallzeitmessungen oder durch Messung der Lichtabsorption bestimmt werden [14][29].

So können also Aerosole durch Beschallung mit Ultraschall von Verschmutzungen gereinigt werden.

Depolymerisation

Unter Depolymerisation versteht man das Aufspalten von Polymeren (also Moleküle wie zum Beispiel Mehrfachzucker welche aus vielen identen Subeinheiten bestehen) in kleinere Bestandteile.

Durch das Messen der Zähigkeit von Substanzen, welche von der Größe der Moleküle abhängig ist, konnte gezeigt werden, dass durch das Einwirken von Ultraschall auf eine Substanz die darin enthaltenen Moleküle aufgespalten werden. So wurde zum Beispiel die

Kette der Stärke in fünf bis sechs Teile aufgebrochen, während das Disaccharid Saccharose in zwei Monosaccharide aufgespalten wurde. Da es durch Absorption der Schallwellen zu einem Temperaturanstieg in der wässrigen Saccharose- beziehungsweise Stärkelösung kommt, muss das Experiment gekühlt werden, um die thermische hydrolytische Spaltung der Saccharide ausschließen zu können. Die Aufspaltung der Moleküle konnte auch beobachtet werden, als das Experiment bei einer konstanten Temperatur von maximal 50°C durchgeführt wurde, was die rein thermische Hydrolyse ausschließen lässt, welche erst ab 160°C stattfinden würde [4][29].

Die Vermutung liegt nahe, dass die Zerstörung auf Zusammenstöße aufgrund des Schallwellenfeldes zurückzuführen ist [32][29].

Erhöhung der Leitfähigkeit

Betrachten wir Flüssigkeiten wie zum Beispiel Tetrachlorkohlenstoff, treten dort Komplexionen, welche zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit entscheidend sind, auf. Unter einem Komplexion versteht man ein zentrales ladungstragendes Molekül, welches von neutralen Molekülen umgeben ist [29].

Um nun die Leitfähigkeit zu steigern, kann entweder die Anzahl der Ladungsträger erhöht werden, oder deren Beweglichkeit gesteigert werden. Im vorliegenden Fall kommt es bei der Beschallung von Tetrachlorkohlenstoff zur Aufspaltung dieser Komplexionen, wodurch eine höhere Leitfähigkeit erzielt werden kann. Auch bei diesem Effekt konnte gezeigt werden, dass es sich nicht um einen rein thermischen Effekt handelt [26][29].

Bereits Messungen von W. Meyer stellten eine Erhöhung der Leitfähigkeit fest, jedoch wurden diese durch Verunreinigungen erklärt [22]. Um als Grund für die erhöhte Leitfähigkeit die Verunreinigung und die erhöhte Temperatur ausschließen zu können, entwarf Franziska Seidl einen Versuchsaufbau, mit dem sich Verunreinigungen so gut wie möglich ausschließen ließen [26]. In diesem Aufbau wurde besonders darauf Wert gelegt, den Ultraschallraum vom Messraum zu trennen. Zusätzlich wurden die Elektroden allseitig durch Erdung des Gefäßes abgeschirmt. Um während den Messungen ein konstantes Ultraschallwellenfeld gewährleisten zu können, sind im Aufbau Fenster vorgesehen, wodurch das Schallwellenfeld optisch, mittels Schlierenmethode, beobachtet werden konnte [26].

Um Unreinheiten der verwendeten Flüssigkeiten an sich ausschließen zu können, wurden sowohl undestillierter Tetrachlorkohlenstoff, als auch dreifachdestillierter Tetrachlorkohlenstoff, sowie Hexan und Toluol verwendet. Bei allen verwendeten Flüssigkeiten wurden höhere Stromwerte gemessen, während sie mit Ultraschall beschallt wurden, im Vergleich zu Werten derselben Flüssigkeiten, ohne Beschallung. Bei undestilliertem Tetrachlorkohlenstoff zeigten sich für die Stromwerte mit (I_{US}) und ohne Ultraschall (I_0) folgende Werte [26]:

$$I_0 = 22,2 \cdot 10^{-14} A$$

$$I_{US} = 29,3 \cdot 10^{-14} A$$

Bei Versuchen mit elektrisch gereinigtem Tetrachlorkohlenstoff waren die Ergebnisse sehr ähnlich. Neben der Tatsache, dass der Effekt auch bei gereinigten Flüssigkeiten gemessen werden konnte, deutet auch das sehr schnelle An- und Absteigen der Stromwerte beim Ein- und Ausschalten des Ultraschallfeldes darauf hin, dass das Ergebnis nicht auf Verunreinigungen zurückzuführen ist. Auch wenn sich von der schwingenden Membran Teilchen lösen würden, welche die Leitfähigkeit der Flüssigkeit erhöhen könnten, wäre dieser Effekt nicht unmittelbar nach Einschalten des Ultraschallwellenfeldes bemerkbar, da der Abstand zwischen der Membran und den Elektroden hinreichend groß gewählt wurde. Um weiters das Herausschlagen von Ladungsträgern aus der Elektrode zu vermeiden, wurden nur kleine Feldstärken verwendet [26].

Schließlich lässt sich das plötzliche Ansteigen des Stroms, welcher dann über die Dauer, in der das Ultraschallwellenfeld wirkt, konstant auf einem maximalen Wert liegt und nach dem Ausschalten des Ultraschalls wieder abrupt auf den Ausgangswert absinkt, gut mit der Hypothese der Komplexionen vereinbaren. Zu Beginn kommt es zur vermehrten Aufspaltung der Komplexionen, welche sich gleichzeitig auch wieder Rekombinieren, weshalb sich bald ein Gleichgewicht einstellt. Nach Abschalten vom Ultraschall dominiert die Rekombination und der Strom sinkt schnell wieder auf den Ursprungswert zurück [26].

Dieser Versuch zeigt, dass Verunreinigungen alleine nicht für die erhöhte Leitfähigkeit beschallter Flüssigkeiten zuständig sein kann.

Wirkung auf chemische Prozesse

Bei der Beschallung von chemischen Reaktionen konnte eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit festgestellt werden. So zeigte sich, dass Jod aus Kaliumjodid schneller ausgeschieden wird, wenn die Reaktion in einem Ultraschallwellenfeld stattfindet. Während des Experiments kam es zu einer Temperaturerhöhung auf 50°C, was laut Beuthe als Grund für die erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit ausgeschlossen werden konnte, da das gleiche Experiment mit einer Erhöhung der Temperatur auf 50°C, aber ohne Schallwellenfeld, nicht die gleiche Jodausscheidung zu Folge hatte [11][29].

Unterwassersignaltechnik

Für die Unterwassersignaltechnik eignet sich Ultraschall besonders gut, da sich die Wellen aufgrund der sehr kleinen Wellenlängen streng bündeln und gerichtet abgestrahlt werden können [25].

3.6 Anwendungen des Ultraschalls Heute

In der **Medizin** gilt Ultraschall heute als eines der am häufigsten verwendeten diagnostischen Bildgebungsverfahren. In der Notfallmedizin wird er für schnelle Überblicksbilder verwendet und auch in der Tumordiagnostik und Anästhesiologie wird er angewendet. Da hier der/die Patient*in keinen Schaden durch ionisierende Strahlung nimmt, ist der Ultraschall gerade in der Geburtshilfe und der Gynäkologie von besonders großer Bedeutung [20].

Die verschiedenen Gewebetypen im menschlichen Körper weisen unterschiedliche Schallgeschwindigkeiten auf, wodurch es zu Reflexion, Streuung und Brechung kommt, und auch Teile des Ultraschalls absorbiert werden. Betrachtet man Gleichung 3.9 und zieht in Betracht, dass die einzelnen akustischen Impedanzen der Gewebe nur sehr gering voneinander abweichen, kann daraus geschlossen werden, dass Ultraschall recht ungestört in die Tiefen des menschlichen Körpers eindringen kann. Trotzdem wird genügend Schall reflektiert um eine Bildgebung mittels Impuls-Echo-Prinzips zu bewerkstelligen [20].

Um mögliche Nebenerscheinungen zu besprechen, muss die Absorption und Kavitation beachtet werden. Die Absorption des Schalls und somit der Temperaturanstieg im Körper, ist abhängig von der Dauer der Beschallung, der Durchblutung und dem frequenzabhängigen Absorptionsvermögen des jeweiligen zu untersuchenden Gewebe. Bei Ultraschallintensitäten von $I < 100mW/cm^2$ konnten bisher keine biologisch relevanten Erwärmungen festgestellt werden. Für die Kavitation ist die Schallfrequenz und der sogenannte Spitzenschalldruck ausschlaggebend. Bei dem für Diagnoseverfahren eingesetztem Ultraschall, ist es äußerst unwahrscheinlich, dass Kavitation in Weichgewebe oder Flüssigkeiten auftritt [20].

Hingegen Ultraschall mit entsprechender Intensität und erhöhter Behandlungsdauer, wird sehr wohl in der Tumorthherapie verwendet. Hierbei wird hochintensiver Ultraschall stark fokussiert [20].

In der **Werkstoffprüfung** hat der Ultraschall noch stets seine Anwendung. Diese Anwendung beruht noch auf demselben Prinzip, wie zu Franziska Seidls Zeiten. Um möglichst kleine Fehler aufspüren zu können, müssen sehr große Frequenzen verwendet werden. Neben der Beobachtung des transmittierten Schalls, besteht auch die Möglichkeit die Reflexion an inneren Fehlern mit der an fehlerfreien Stellen zu vergleichen. Beim sogenannten Durchschallungsverfahren, welches im Versuch in Kapitel 4.5 demonstriert wird, kann die Tiefe, in welcher die Fehlstelle sich befindet, nicht bestimmt werden. Um die Tiefenlage von Fehlstellen bestimmen zu können, wird das Impuls-Echo-Verfahren angewendet, bei welchem der Prüfkopf gleichzeitig einen Schallsender und -empfänger enthält. Der Sender gibt in gewissen zeitlichen Abständen Ultraschallimpulse ab. In der Zeit zwischen dem Aussenden der Impulse, dient der Prüfkopf als elektronischer Empfänger für an der Fehlstelle reflektierten Schall. Da die Dicke der Probe bekannt ist und somit auch bekannt ist, in welchen zeitlichen Abständen von der Rückwand des Prüflings reflektiert wird, kann

die Tiefe der Fehlstelle bestimmt werden [35].

Auch in der **Reinigung** von Gegenständen wird Ultraschall heute noch eingesetzt. Dabei wird der zu reinigende Gegenstand in einen Behälter eingebracht, welcher mit einem flüssigen Reinigungsmittel, wie zum Beispiel Ethanol, gefüllt ist. In dieser Flüssigkeit wird das Objekt starkem Ultraschall ausgesetzt. Die in der Flüssigkeit auftretende Kavitation führt dazu, dass mechanische Kräfte auf das zu säubernde Objekt wirken und die Reinigungsflüssigkeit in Bewegung versetzt wird, wodurch Schmutzpartikel vom Objekt weggeführt werden und saubere Reinigungsflüssigkeit zum Objekt hinkommt [17].

4 Experimenteller Teil

4.1 UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur

In allen der folgenden Versuche fand die UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur Anwendung. Die Apparatur besteht aus mehreren Bestandteilen. So beinhaltet sie einen Hochfrequenzgenerator, welcher in Abbildung 11 zu sehen ist. Der Hochfrequenzgenerator



Abbildung 11: UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur, Frequenzgenerator. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

kann mit zwei verschiedenen Spulen betrieben werden, sodass Frequenzen von entweder ca. 3 MHz beziehungsweise ca. 6 MHz erzeugt werden können. So soll es ermöglicht werden, den Schwingquarz in seiner Grund- und in einer Oberschwingung anzuregen [30]. Der Frequenzgenerator wurde in den Versuchen in dieser Arbeit lediglich mit der 3 MHz Spule betrieben, da die 6 MHz Spule nicht mehr funktionstüchtig ist, wobei durch Verstellen des Reglers ohne angeschlossenen Quarz erzeugte Frequenzen im Bereich von 2,95 MHz bis 4,84 MHz gemessen werden konnten (vgl. Abbildungen 12 und 13). Mit angeschlossenen Quarz konnten Frequenzwerte von 2,6 bis 4 MHz festgestellt werden.

Ebenfalls Teil der UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur sind diverse Küvetten und Halterungen für den Schwingquarz, welche teilweise mit einem Reflektor verbunden sind (vgl. Abbildung 15), oder die Möglichkeit bieten verschiedene Bauelemente einzubringen. Es war von Franziska Seidl ursprünglich gedacht, dass an der Halterung auch ver-

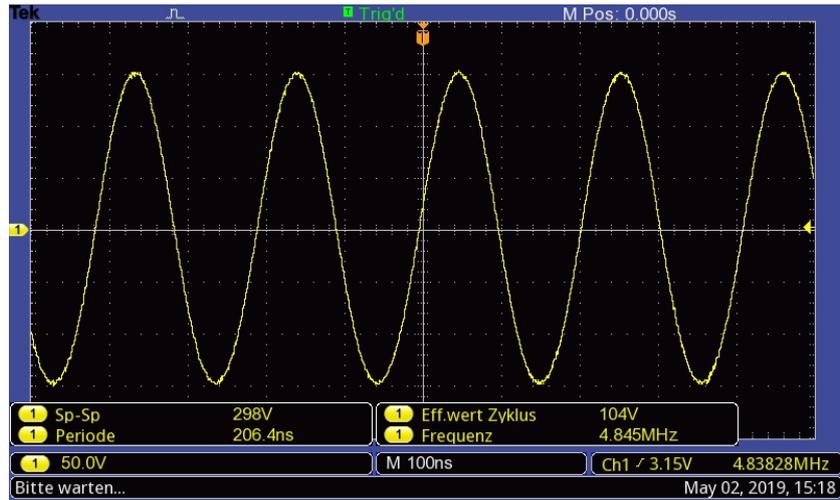


Abbildung 12: Frequenzmaximum des Frequenzgenerators. *Quelle: Franz Sachslehner.*

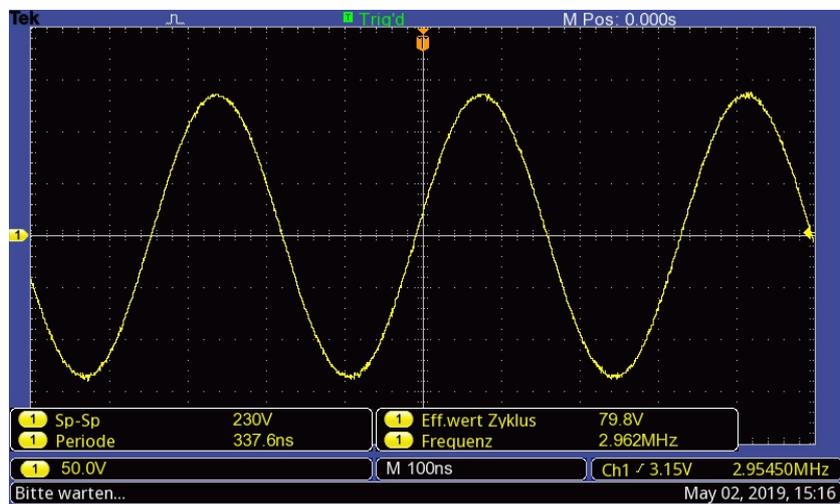


Abbildung 13: Frequenzminimum des Frequenzgenerators. *Quelle: Franz Sachslehner.*

schiedene schalloptische Elemente, wie ein Prisma aus Metall, oder eine Linse aus Plexiglas angebracht werden können. Einige dieser Bauteile waren leider nicht mehr auffindbar, weshalb auch nicht alle Versuche aus der Anleitung für die UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur durchgeführt werden konnten (vgl. [30]). Um aber die Versuche in Kapitel 4.4 und 4.5 durchführen zu können, ließ Franz Sachslehner eine Halterung bauen, mit der die Linse aus Plexiglas und auch der Plexiglasquader mit der Bohrung, welche in der historische Sammlung noch vorhanden waren, in die Küvette eingebracht werden konnten. Die dazu verwendete Küvette und die Halterung für den Quarz und die Linse sind in Abbildung 21 erkennbar. Für den letzten Versuch, in Kapitel 4.6, wurde keine Küvette verwendet, lediglich eine einfache Halterung für den Quarz, welche in Abbildung 28 gezeigt ist.

Alle verwendeten Halterungen sind so konzipiert, dass das Quarzplättchen (ca. 20 mm Breite, 20 mm Länge und Dicke 1 mm) von einer federbelasteten Metallplatte gegen zwei

Metallbacken gedrückt wird, die durch das Quarzplättchen nur seitlich minimal berührt wird, damit der Quarz so wenig wie möglich am Schwingen gehindert wird [30].

4.2 Beugung des Lichtes an Ultraschall und Bestimmung der Schallwellenlänge

In diesem Versuch soll gezeigt werden, dass Licht an Ultraschallwellen gebeugt wird. Dabei eignet sich eine stehende Ultraschallwelle besonders gut, da diese als optisches Strichgitter betrachtet werden kann. Dieses Experiment soll also den Debye-Sears-Effekt, welcher in Kapitel 3.3.1 genauer beschrieben ist, anschaulich demonstrieren.

Zudem wird mit Hilfe des Debye-Sears-Effekt die Wellenlänge des Schalls bestimmt.

4.2.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Bedarfsliste

- 1 Richtlampe nach Spindel und Hoyer (12 V)
- 1 Spaltblende
- 1 Irisblende
- 1 verstellbares (neigbares) Tischchen
- 1 korrigierte Konvexlinse (mit Brennweite 20 cm)
- Küvette mit Quarzhalterung und höhenverstellbarem Reflektor
- 1 große Lochblende
- 1 Schirm
- UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur
- Einige Milliliter Tetrachlorkohlenstoff
- 1 optische Bank
- 2 Kabel
- Stativ

Auf einer stabilen, schweren optischen Bank wird die Versuchsanordnung gemäß Abbildung 14 aufgebaut.

Hierbei bezeichnet a die Lichtquelle, b eine horizontale Spaltblende, c eine Irisblende, d eine Konvexlinse mit Brennweite 20 cm, e die mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllte Küvette, in der eine Halterung mit dem Schwingquarz g und einem Reflektor f eingebracht ist, h eine große Lochblende um möglichst viel Streulicht abzuschirmen und i einen Schirm beziehungsweise eine Leinwand. Eine solche Anordnung von Reflektor und Quarz wird auch als Interferometer bezeichnet. Die Abstände in der Skizze sind in Zentimetern angegeben.

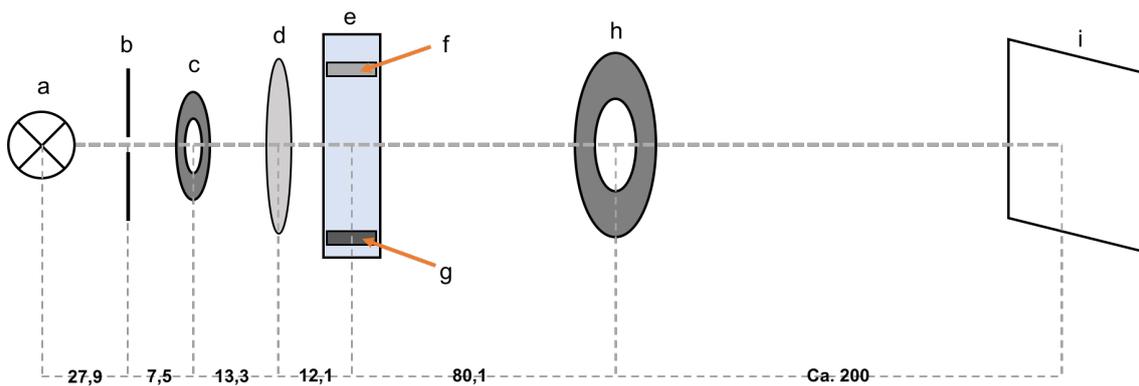


Abbildung 14: Versuchsanordnung, um Beugung am Schallwellengitter mit einem ausgeleuchteten Spalt als Lichtquelle zu beobachten. *Zeichnung: Anna Kopf.*

Für den Versuch in diesem Kapitel 4.2 und im nächsten Kapitel 4.3 wurde eine Quarzhalterung verwendet, die auch gleich mit dem Reflektor verbunden ist. Die mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllte Küvette mit der Quarzhalterung und dem Reflektor und den Anschlüssen für die Kabel ist in Abbildung 15 zu sehen.

Diese Halterung kann mit dem Hochfrequenzgenerator für 3 MHz vom UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparat verbunden werden und so den piezoelektrischen Quarz in Schwingung versetzen [30]. Der mit der Quarzhalterung verbundene Reflektor lässt sich mit Hilfe einer Mikrometerschraube verstellen, um so den Abstand zwischen Quarz und Reflektor zu ändern.

Um den Versuch aufzubauen, wird wie folgt vorgegangen: Bei der Positionierung des Spaltes b wird darauf geachtet, dass dieser gut von der Richtlampe a ausgeleuchtet wird. Mit der bikonvexen Linse d wird nun am Schirm beziehungsweise auf der Leinwand ein scharfes Bild des Spaltes erzeugt. Wird im Anschluss die mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllte Küvette e mit dem Quarz g und dem Reflektor f in den Strahlengang gestellt, erscheint das Bild nicht mehr so scharf, da die Lichtstrahlen den Tetrachlorkohlenstoff passieren müssen. Um erneut ein scharfes Bild zu erhalten, wird die Position der Linse leicht angepasst [30].

Nach Einschalten des Hochfrequenzgenerators sind über- und unterhalb der ursprünglichen Abbildung des Spaltes weitere Bilder dieses zu sehen. Hierbei handelt es sich um Beugungsbilder höherer Ordnung. Die stehende Schallwelle wirkt für das Licht also wie ein Gitter, an welchem Beugung auftritt. Um die Abbildung zu optimieren, kann nun der Abstand zwischen Reflektor und Quarz durch Verstellen der Mikrometerschraube, geändert werden. Besonders erfreuliche Ergebnisse zeigen sich, wenn der Abstand zwischen Reflektor und Quarz genau einem ganzzahligen Vielfachen der halben Schallwellenlänge entspricht, da diese Anordnung zu einer schönen stehenden Welle führt.

Weiters ist beim Aufbauen der Anordnung zu beachten, dass in der Küvette so wenig wie möglich Luftblasen enthalten sind. Dafür wird der Tetrachlorkohlenstoff in die Küvette eingefüllt und erst danach die Quarzhalterung mit dem Reflektor eingeführt. Nun wird die Küvette schief gehalten und mit der Halterung des öfteren hoch und runter gefahren, um

Luftblasen zu entfernen, da auch Blasen im Tetrachlorkohlenstoff durch die Schlierenoptik auf dem Schirm sichtbar wären.

4.2.2 Resultate

Die folgenden Bilder in Abbildung 16 zeigen das auf der Leinwand entstehende Beugungsbild. Umso genauer der Abstand zwischen Reflektor und Quarz der halben Schallwellenlänge entspricht, desto mehr Beugungsordnungen sind erkennbar [30].

So kann man im oberen Bild in Abbildung 16 Beugungsmaxima bis zur vierten Ordnung erkennen, im unteren Bild nur Beugungsordnung null, ein, zwei und drei, was dafür spricht, dass im oberen Bild der Abstand zwischen Reflektor und Quarz besser eingestellt war.

In Abbildung 16 ist ebenfalls erkennbar, dass die Beugung des Lichts wellenlängenabhängig ist. Da nicht monochromatisches Licht, sondern weißes verwendet wurde, kommt es zu einer Aufspaltung des Lichtes in seine spektralen Bestandteile. Größere Wellenlängen werden stärker gebeugt als kleinere Wellenlängen, weshalb in den Bildern rote Streifen weiter außen erscheinen als blaue Streifen.

Mittels dieses Aufbaus ist es möglich, die Schallgeschwindigkeit im Tetrachlorkohlenstoff zu bestimmen. Durch Vermessen der Beugungsbilder und Kenntniss über den geometrischen Aufbau, kann die Wellenlänge des Schalls bestimmt werden. Dadurch lässt sich in Folge die Frequenz des Schalls, also die Frequenz mit der der Quarz angeregt wird, bestimmen.

Bei genauer Betrachtung der Aufnahmen (durch Vergrößerung des Bildes am Computerbildschirm), wie zum Beispiel dem unteren Bild in Abbildung 16, in welchem kein Weichzeichner verwendet wurde, können Rillen in der Leinwand im Beugungsspektrum erkannt werden. Da beim Experimentieren leider nicht darauf geachtet wurde, das Spektrum auszumessen, musste dieser, im Grunde genauere, Umweg genommen werden, um die Abstände zwischen den einzelnen Beugungsordnungen zu bestimmen.

Eine Rille entspricht 0,400 mm, wie ein Kalibrierfoto mit Maßband ergeben hat. Daraus kann man auf die Abstände zwischen den Ordnungen schließen. In diesem Fall wurde der rote Anteil des Spektrums betrachtet, und dafür eine Wellenlänge von $\Lambda = 770$ nm angenommen, welche die langwellige Begrenzung des roten Bereichs darstellt. So wurden für die Abstände zwischen nullter und höheren Ordnungen folgende Werte erhalten:

Ordnung	x_m (Abstand zur 0. Ordnung [mm])
m=1	7,83
m=2	13,47
m=3	19,74

Tabelle 1: Abstände zwischen den einzelnen Beugungsordnungen.

Um nun Rückschlüsse auf die Schallwellenlänge zu ziehen, muss in Gleichung 3.15 ein anderer Ausdruck für den unbekanntenen Beugungswinkel ϑ_m gefunden werden. Dafür wird

die geometrischen Anordnung des Versuchs betrachtet, und folgender Zusammenhang lässt sich erkennen:

$$\tan(\vartheta_m) = \frac{x_m}{a} \quad (4.1)$$

Hierbei steht x_m für die Abstände der einzelnen Beugungsordnungen zur nullten Beugungsordnung und a für den Abstand zwischen dem Schallgitter (also der Küvette mit dem Quarz) und dem Schirm. a entspricht in etwa 2,60m. Durch Umformen von Gleichung 4.1 und Einsetzen in Gleichung 3.15 ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\sin\left(\arctan\left(\frac{x_m}{a}\right)\right) = m \cdot \frac{\Lambda}{\lambda} \quad (4.2)$$

Um nun schlussendlich die Wellenlänge des Schalls bestimmen zu können, wird erneut umgeformt, und man erhält:

$$\lambda = \frac{m \cdot \Lambda}{\sin\left(\arctan\left(\frac{x_m}{a}\right)\right)} \quad (4.3)$$

Setzt man die Werte aus Tabelle 1 und für $m = 1, 2, 3$ ein, erhält man die Werte aus Tabelle 2.

Ordnung	Erhaltene Schallwellenlänge λ [mm]
m=1	0,256
m=2	0,297
m=3	0,304

Tabelle 2: Errechnete Schallwellenlängen.

So ergibt sich als durchschnittliche Schallwellenlänge ein Wert von

$$\lambda = (0,286 \pm 0,027)mm \quad (4.4)$$

Mit Kenntnis über die Schallgeschwindigkeit in Tetrachlorkohlenstoff von $c = 938m/s$ lässt sich leicht die Frequenz des Schalls berechnen (vgl. [7] S. 268):

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{938 \frac{m}{s}}{0,286mm} = (3,28 \pm 0,33)MHz \quad (4.5)$$

Diese Frequenz stimmt gut mit den Angaben für den Frequenzgenerator überein. Um die Schallgeschwindigkeit noch auf eine andere Art zu bestimmen, wird das folgende Bild 17 betrachtet.

Hier ist eine stehende Ultraschallwelle erkennbar. Um hiervon auf Schallwellenlänge schließen zu können, müssen gewisse Maße des Aufbaus bekannt sein. Die Dicke des Reflektors, welcher am rechten Bildrand erkennbar ist, entspricht in Realität 3,05 mm. Am Laptopbildschirm entspricht diese Dicke 25 mm. Dadurch kann durch einfache Schlussrechnung der reale Abstand zwischen Reflektor und Quarz bestimmt werden. Dieser beträgt am Bildschirm 100 mm, somit beträgt der Abstand in Wirklichkeit 12,2 mm. Nun können die dunklen Streifen im Bild gezählt werden, um mittels Division des Abstands durch die Anzahl der Streifen auf den Abstand zwischen den Streifen zu schließen. Es wurden 82 Streifen gezählt, somit ergibt sich als Abstand zwischen den Streifen ein Wert von $12,2 \text{ mm}/82 = 0,149 \text{ mm}$. Laut Kuttruff [17] und Bergmann [7] entsprechen diese Abstände bei fortlaufenden Wellen der Wellenlänge des Schalls, für stehende Wellen der halben Wellenlänge. So ergibt sich durch Multiplikation mit 2 für die Schallwellenlänge

$$\lambda = 0,298 \text{ mm}. \quad (4.6)$$

Diese Art der Auswertung wurde noch bei zwei weiteren Aufnahmen durchgeführt, wodurch sich eine durchschnittliche Schallwellenlänge ergibt:

$$\lambda = (0,296 \pm 0,004) \text{ mm} \quad (4.7)$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich für die Frequenz

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{938 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,296 \text{ mm}} = (3,17 \pm 0,07) \text{ MHz}. \quad (4.8)$$

Beide erhaltenen Werte für die Frequenz sind plausibel, da sie innerhalb der möglichen Erregerfrequenz des Frequenzgenerators liegen.

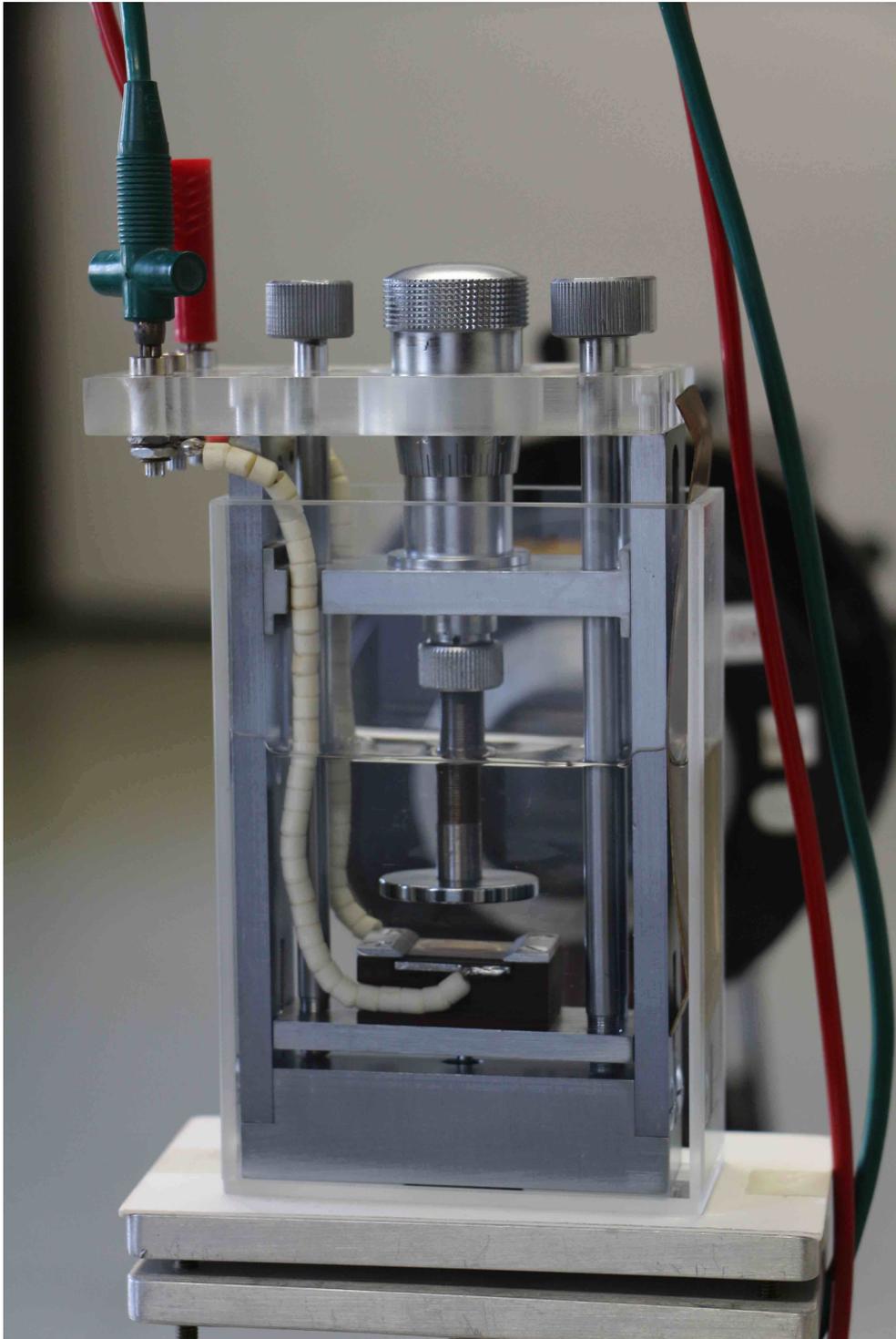


Abbildung 15: Glasküvette mit Tetrachlorkohlenstoff und eingebrachter Halterung für den Schwingquarz und den Reflektor. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

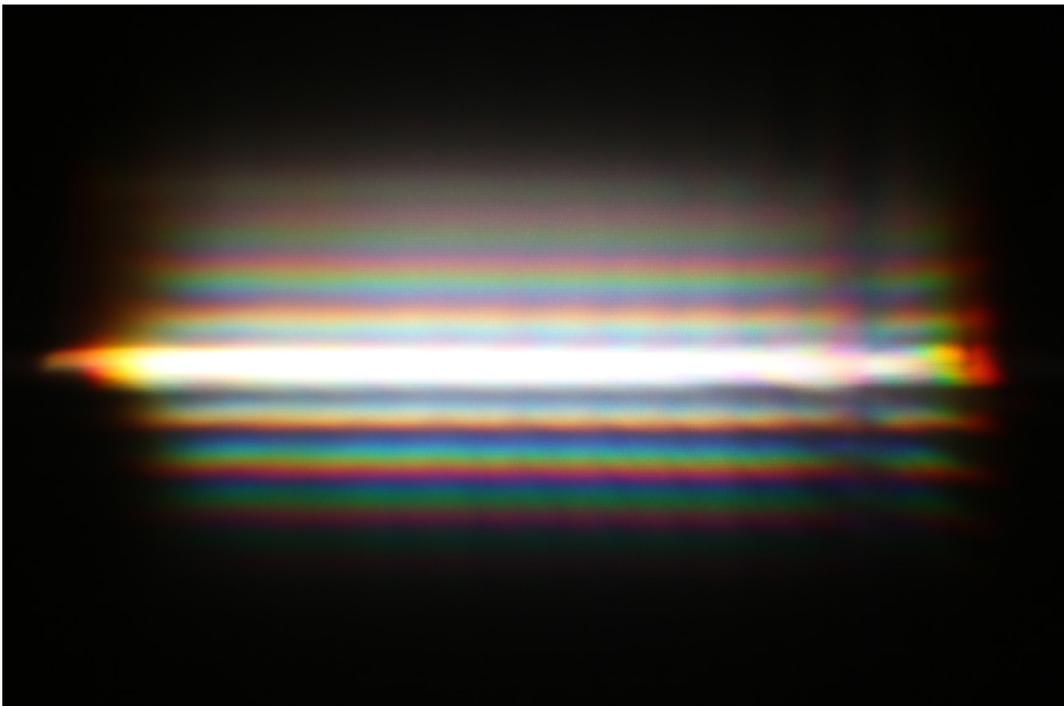
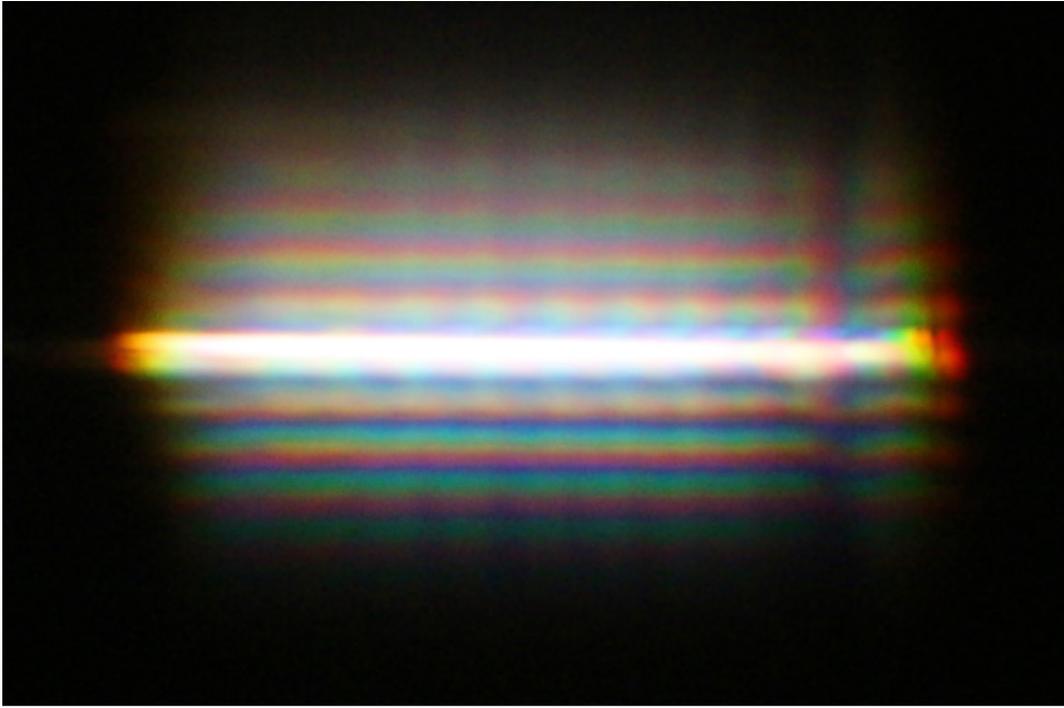


Abbildung 16: Beugung am Schallwellenfeld mit ausgeleuchtetem horizontalen Spalt als Lichtquelle. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

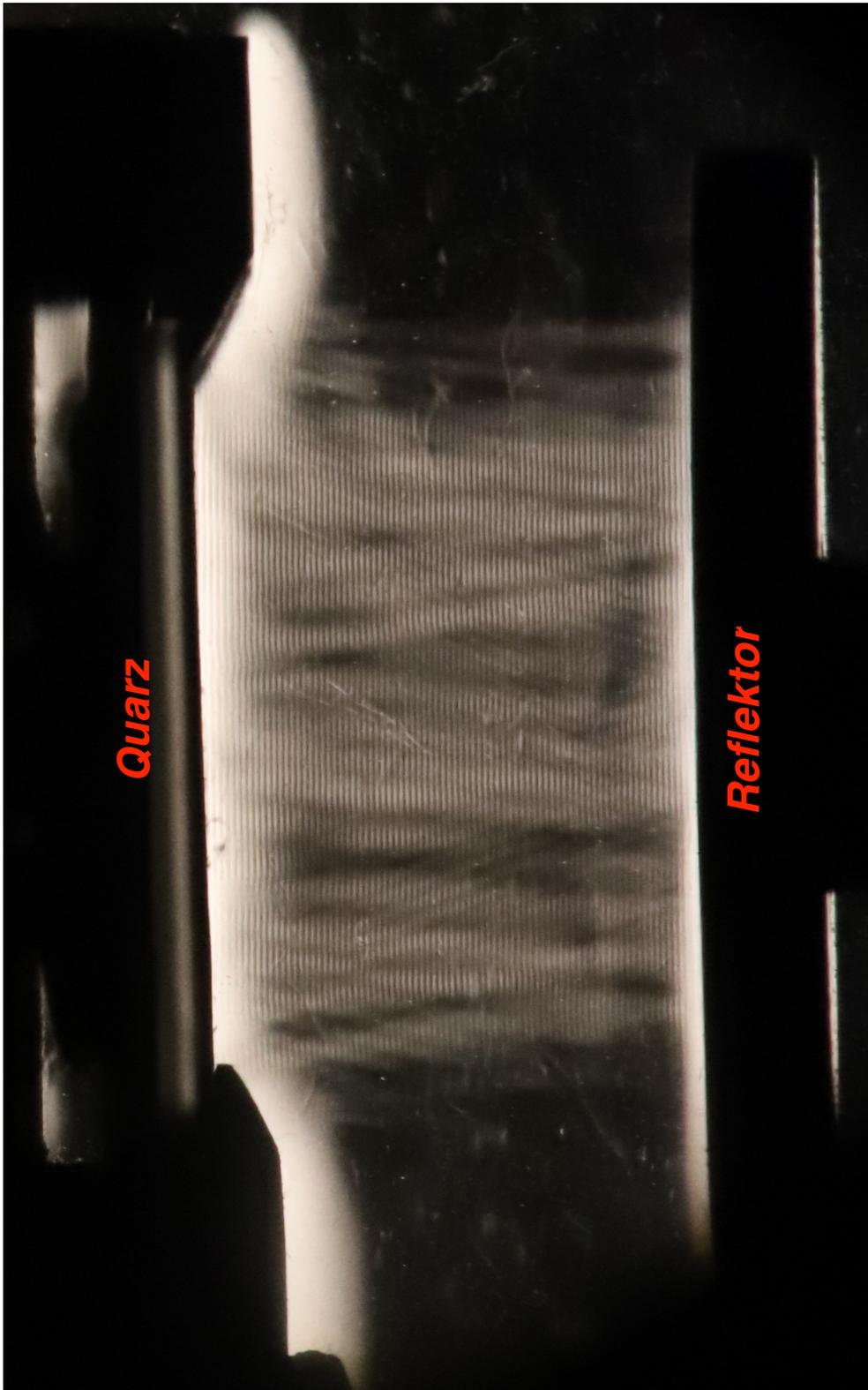


Abbildung 17: Stehende Ultraschallwelle. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

4.3 Abstrahlung von Ultraschall

In diesem Experiment soll demonstriert werden, dass sich Ultraschall (in diesem Fall also vom Quarzplättchen) senkrecht zum schwingenden Objekt ausbreitet. Dazu werden die Beugungsbilder, die am Schallwellengitter entstehen, beobachtet.

4.3.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Bedarfsliste

- 1 Richtlampe nach Spindel und Hoyer (12 V)
- 1 Punktgitter
- 1 Irisblende
- 1 verstellbares (neigbares) Tischchen
- 1 korrigierte Konvexlinse (mit Brennweite 20 cm)
- Küvette mit Quarzhalterung und höhenverstellbarem Reflektor
- 1 große Lochblende
- 1 Schirm
- UNI-Ultraschall-Demonstrations-Apparatur
- Ein paar Milliliter Tetrachlorkohlenstoff
- 1 Stativ
- 1 optische Bank (2m lang)
- 2 Kabel

Auf einer langen optischen Bank mit stabilem Stand wird die Versuchsanordnung wie in Abbildung 18 gezeigt, aufgebaut. Bei den einzelnen optischen Elementen handelt es sich um eine Richtlampe a , ein Punktgitter b , eine Irisblende c , eine korrigierte Konvexlinse d mit Brennweite 20 cm, einer Küvette e , welche mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllt ist. In die Küvette ist eine Halterung mit dem piezoelektrischen Kristall f und einem Reflektor g eingebracht. Diese Halterung mit der Küvette ist in Abbildung 15 zu sehen. Um überflüssiges Streulicht abzuschirmen, welches die Abbildung am Schirm i mit weniger klaren Konturen erscheinen lassen würde, wird eine Lochblende h mit großem Rand verwendet. Die Abstandsangaben in der Skizze sind in Zentimetern aufzufassen.

Für das Punktgitter b wurde, wie Seidl es beschrieben hat [30], ein kleines Stück schwarzes Papier ($250g/m^2$) verwendet, in welches in 2 mm Abständen mit einer Zirkelnadel Löcher

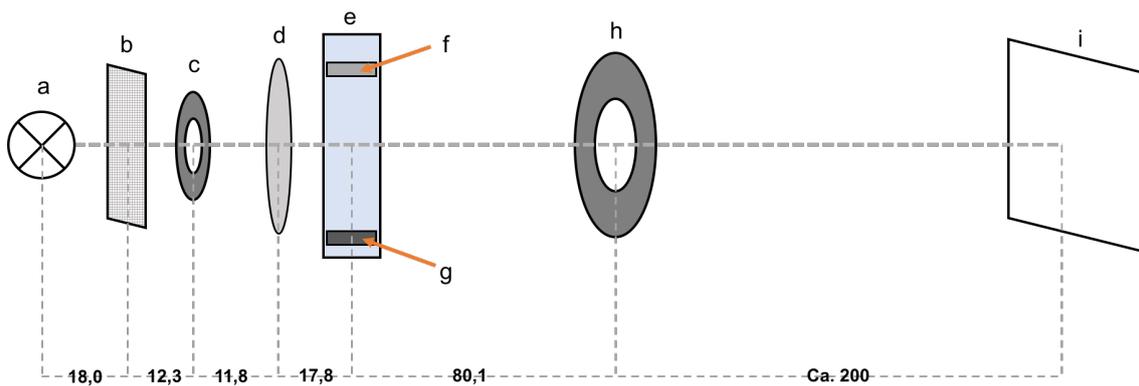


Abbildung 18: Versuchsanordnung, um Beugung am Schallwellengitter mit einem ausgeleuchteten Punktgitter als Lichtquelle zu beobachten. *Zeichnung: Anna Kopf.*

gestochen wurden. Dieses Papierstück wurde dann mittels Klebestreifen auf einen optischen Reiter geklebt. Das improvisierte Punktgitter wird dann durch die Linse *d* scharf auf der Leinwand abgebildet. Wird die mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllte Küvette nun auch in den Strahlengang eingeführt, muss die Position der Linse leicht variiert werden, um wiederum ein scharfes Bild auf der Leinwand zu erhalten. Wird nun der Hochfrequenzgenerator eingeschaltet, bilden sich um die Gitterpunkte nach oben und unten Beugungsbilder [30].

4.3.2 Resultate

In Abbildung 19 sind die am Schirm erzeugten Bilder des Punktgitters zu sehen. Dabei ist im oberen Bild das Gitter abgebildet, mit ausgeschaltetem Hochfrequenzgenerator. Im unteren Bild ist der Frequenzgenerator eingeschaltet und Beugungsbilder sind erkennbar. Besonders erwähnenswert ist, dass sich die Beugungsbilder nur unter- beziehungsweise oberhalb der Löcher bilden. Dies ist ein eindeutiges Indiz für die Ausbreitungsrichtung des Schallwellenfeldes, welches hier als Gitter dient. Die Beugung tritt ausschließlich in der Ausbreitungsrichtung der Schallwelle auf, welche senkrecht zur Quarzplatte liegt. Der Effekt, welcher der auftretenden Beugung zu Grunde liegt ist hier, wie auch im Versuch in Kapitel 4.2, der in Kapitel 3.3.1 beschriebene Debye-Sears-Effekt. Hier, wie auch in Abbildung 16, kann bei genauerer Betrachtung erkannt werden, dass das Licht in seine spektralen Bestandteile zerlegt wird.

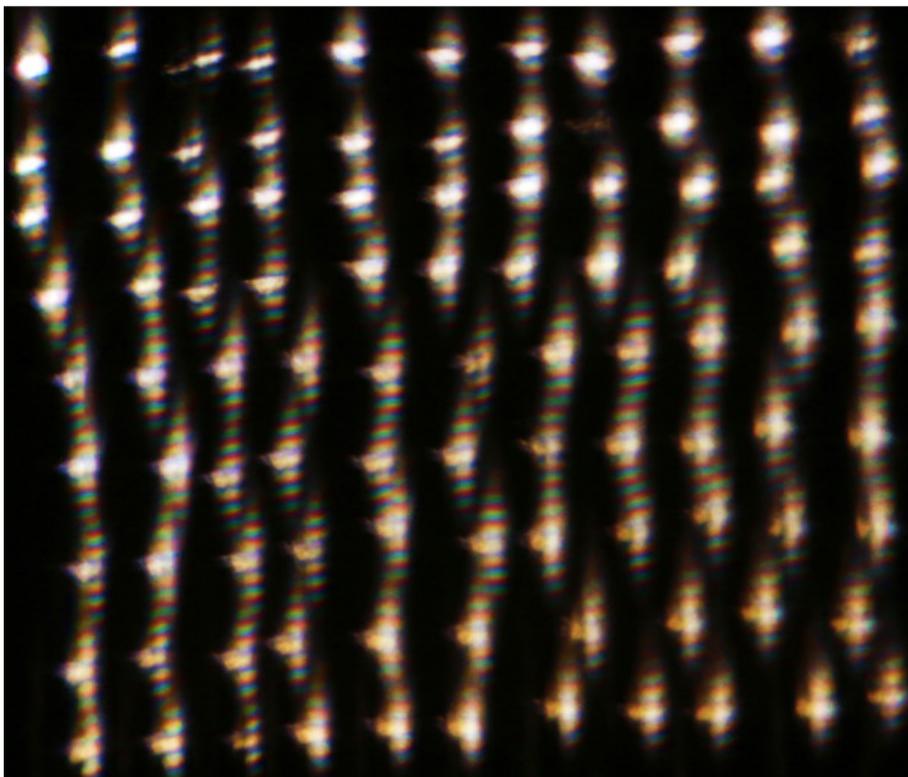
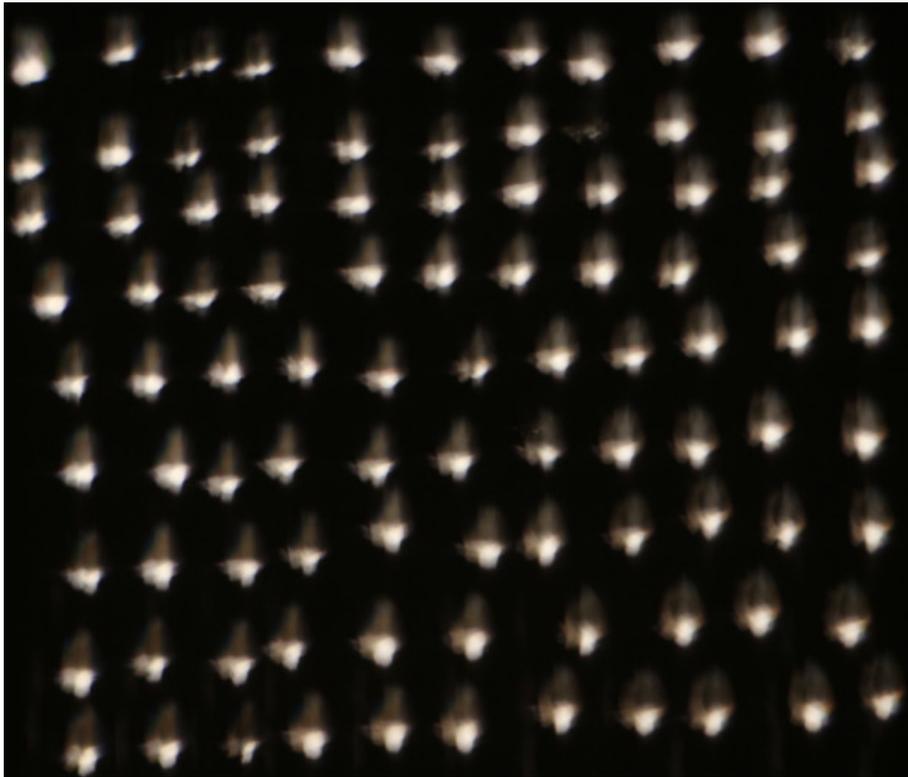


Abbildung 19: Oben: Abbildung des Punktgitters ohne Ultraschallwellenfeld. Unten: Abbildung des Punktgitters mit Ultraschallwellenfeld. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

4.4 Brechung der Ultraschallwellen

Ziel des Versuches ist es, zu zeigen, dass Schall, so wie auch Licht, gebrochen werden kann. Auf Grund seiner kurzen Wellenlänge lässt sich Ultraschall besonders stark brechen. Zudem soll verdeutlicht werden, dass auch bei Schall Brechung gezeigt werden kann, die brechenden Eigenschaften von Materialien aber anders wirken. So dient in diesem Versuch eine plankonkave Linse für Schall als Sammellinse, während dieselbe Linse für Licht als Streulinse fungieren würde.

4.4.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Bedarfsliste

- 1 optische Bank (2m lang)
- Küvette mit Tetrachlorkohlenstoff
- Quarzhalterung
- Plankonkave Linse aus Plexiglas mit Halterung (Die plankonkave Linse, hat die Form eines Quaders mit ausgenommenem halbem Zylinder. Der Quader hat eine Breite von 28,9 mm, eine Tiefe von 23,8 mm, an der dicksten Stelle eine Höhe von 11,8 mm und an der dünnsten Stelle eine Höhe von 3,1 mm. Der ausgesparte halbe Zylinder hat einen Durchmesser von 11,8 mm.)
- 1 Richtlampe nach Spindel und Hoyer (12 V)
- 1 verstellbares (neigbares Tischchen)
- 1 Irisblende
- 2 horizontale Spalte
- 1 Konvexlinse mit Brennweite 20 cm
- 1 Konvexlinse mit Brennweite 30 cm
- 1 Lochblende mit großem Rand
- 1 Leinwand/Schirm
- UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur
- 1 Stativ
- 2 Kabel

Die aufgelisteten optischen Elemente werden wie in Abbildung 20 auf der optischen Bank aufgebaut.

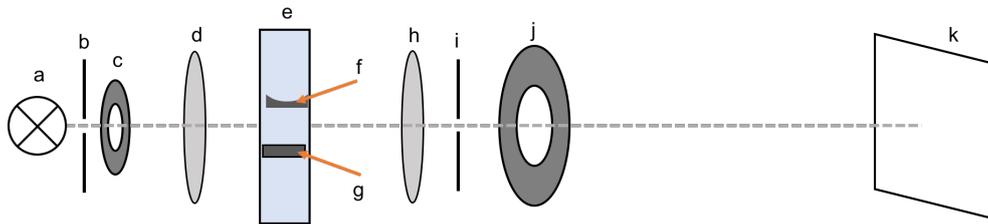


Abbildung 20: Versuchsaufbau um die Fokussierung von Ultraschallwellen zu zeigen *Zeichnung: Anna Kopf.*

In dieser Abbildung stellt *a* die Richtlampe dar, *b* und *i* sind horizontale Spaltblenden, *c* eine Irisblende. *d* und *h* sind korrigierte Konvexlinsen mit Brennweiten 20 cm und 30 cm. Mit *k* ist die Leinwand beziehungsweise der Schirm gekennzeichnet und mit *j* eine große Lochblende mit besonders großem Rand, welcher verhindert, dass Streulicht auf den Schirm *k* gelangt. In der Küvette *e* befindet sich Tetrachlorkohlenstoff, ein piezoelektrischer Quarz *g* und eine plankonkave Linse aus Plexiglas *f*. Die beschriebene Konstruktion ist in Abbildung 21 zu sehen.

Als Material für die plankonkave Linse eignet sich Plexiglas besonders gut, da es für Ultraschallwellen durchlässig ist.

Der Aufbau in Abbildung 20 entspricht der Anordnung, die für die Schlierenmethode verwendet wird. Dabei stellt das Ultraschallfeld im Tetrachlorkohlenstoff die Schliere dar, die auf dem Schirm im Dunkelfeld abgebildet werden kann. Dafür wird das Licht von der Richtlampe *a* durch den horizontalen Spalt *b* begrenzt, um dann mit der Linse *d* zu einem parallelen Lichtbündel gebrochen zu werden. Die zweite Linse *h* erzeugt nun vom Spalt *b*, aber zeitgleich auch vom Ultraschallfeld in der Küvette *e* ein Bild auf der Leinwand *k*. Die Spaltblende *i* kann nun so positioniert werden, dass sie das Licht, welches vom Spalt *b* herrührt, abschirmt. So entsteht ein Dunkelfeld, wodurch am Schirm nur noch Licht erscheint, welches durch Beugung am Ultraschallwellenfeld nicht von der Spaltblende abgedeckt wird. Vor Ausblendung des regulären Lichts kann mit einer Hilfslinse (z.B. $f=15$ cm) nach dem Spalt *i* kontrolliert werden, ob der normale Strahlengang gut justiert ist, also ob der Spalt *i* mit der Hilfslinse gut ausgeleuchtet abgebildet wird.

Bei der Positionierung der Plexiglaslinse ist darauf zu achten, dass im am Schirm erscheinenden Bild, am Rande der Linse keine Schatten erkennbar sind. Die Schatten würden dafür sprechen, dass die Linse in Relation zur optischen Achse nicht korrekt ausgerichtet ist. Durch Kippen des Tischchens, auf dem die Küvette steht und durch Neigen und Heben des Stäbchens aus Messing an dem die Linse befestigt ist, wird eine optimale Stellung erzielt.

Weiters ist beim Einsetzen der Linse in die Küvette zu beachten, dass sie sich oberhalb des piezoelektrischen Kristalls befindet. Zum einen ist dies notwendig, um die gesamte

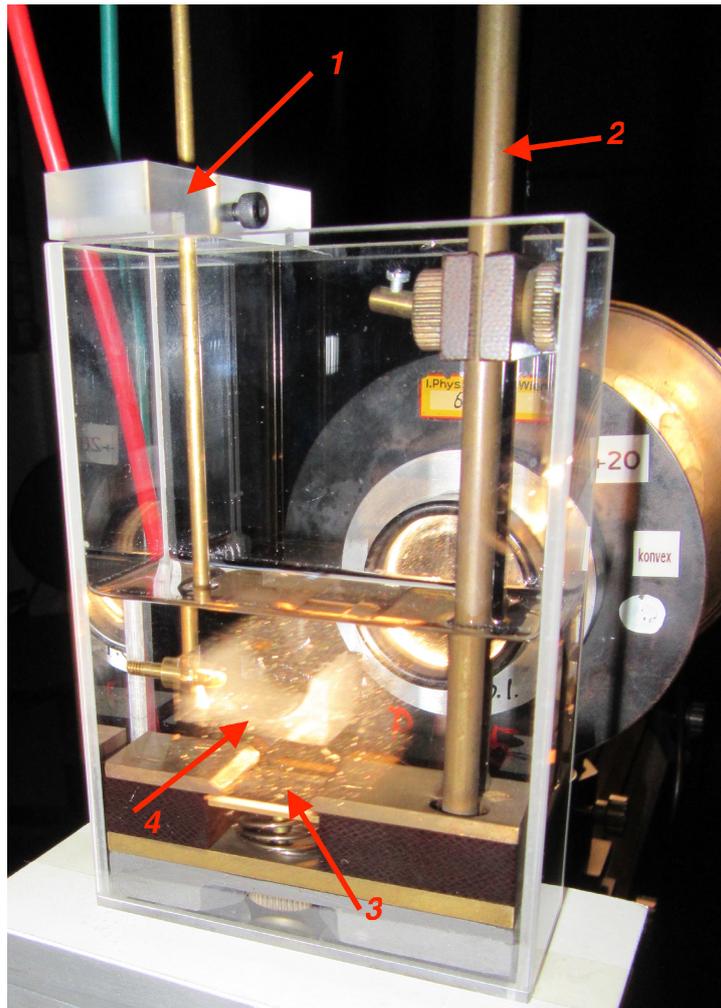


Abbildung 21: Küvette mit Tetrachlorkohlenstoff, Plexiglaslinse und Quarzhalterung. (1) zeigt die Halterung aus Plexiglas, die mit zwei Einsenkungen auf dem Rand der Küvette platziert werden kann. Diese Halterung ist über ein Stäbchen mit der plankonkave Plexiglaslinse (4) verbunden, damit diese verkippt werden kann. Mit (3) ist der Schwingquarz beziffert und mit (2) die Anschlüsse für Kabel. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

Linse gleichmäßig zu beschallen, es sollte aber gleichermaßen darauf geachtet werden, dass die Schallwellen in einem senkrechten Winkel auf die plane Oberfläche der Linse treffen, weshalb auch für diesen Zweck die Linse durch Verschieben und Verkippen des Stäbchens ausgerichtet wird.

4.4.2 Resultate

Wie in Abbildung 22 zu erkennen ist, dient eine plankonkave Linse für Schall, im Gegensatz zum Verhalten von Licht, als Sammellinse. So lässt sich in gewissem Abstand hinter der Linse ein Fokuspunkt erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall im Plexiglas höher ist als im umgebenden Tetrachlorkohlenstoff.

Für Licht würde gelten, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit tendenziell in Flüssigkeiten höher ist als in Festkörpern. Da es sich bei der plankonkaven Linse eigentlich um eine Zylinderlinse handelt, ist auch der Fokuspunkt in Wahrheit eine Fokuslinie, welche weder auf der Leinwand, noch auf dem Foto in Abbildung 22 erkennbar ist, weil sie parallel zur optischen Achse verläuft und somit senkrecht auf die Leinwand steht. Die hier gezeigte Eigenschaft des Ultraschalls, dass er sich leicht bündeln und richten lässt, findet auch in der Nachrichtenübermittlung seine Anwendung [30].

In Abbildung 23 kann, wie auch in Abbildung 22 angedeutet, erkannt werden, dass es scheinbar nicht nur einen Fokuspunkt gibt. Es scheint, als würde unterhalb des Hauptfokuspunktes noch ein weiterer erscheinen, in dem sich aber nicht so viele Ultraschallstrahlen bündeln.

In Abbildung 24 ist die Vergrößerung jenes Ausschnitts zu sehen, in welchem sich scheinbar ein weiterer Fokuspunkt befindet. Bei genauer Betrachtung, kann jedoch erkannt werden, dass es sich lediglich um sich kreuzende Schlieren handelt. Möglicherweise spielen eine nicht ganz optimale Justierung der Plexiglaslinse oder feine Risse in ihr eine Rolle bei der Entstehung dieser Schliere.

Ebenfalls lassen sich in Abbildung 22 und 23 zwischen Quarz und Linse und auch hinter der Linse dunkle und helle Streifen erkennen. Diese sind vergleichbar mit jenen in Abbildung 17 und stellen stehende Ultraschallwellen dar [25].

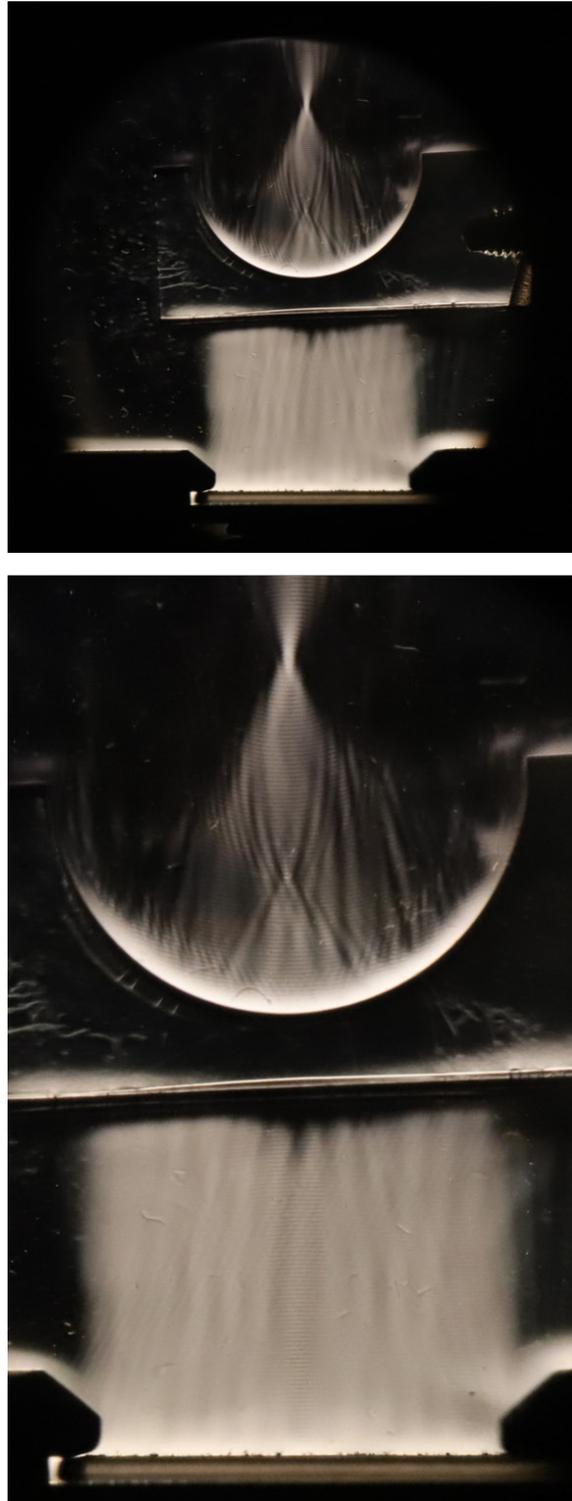


Abbildung 22: Fokussierende Wirkung einer plankonkaven Linse auf Ultraschallstrahlen. Im oberen Bild ist das gesamte Sichtfenster der Schlierenoptik zu erkennen, im unteren ein Ausschnitt daraus. Jeweils am unteren Bildrand ist der Quarz erkennbar, in der Mitte die plankonkave Linse und oberhalb dieser ein Fokuspunkt. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

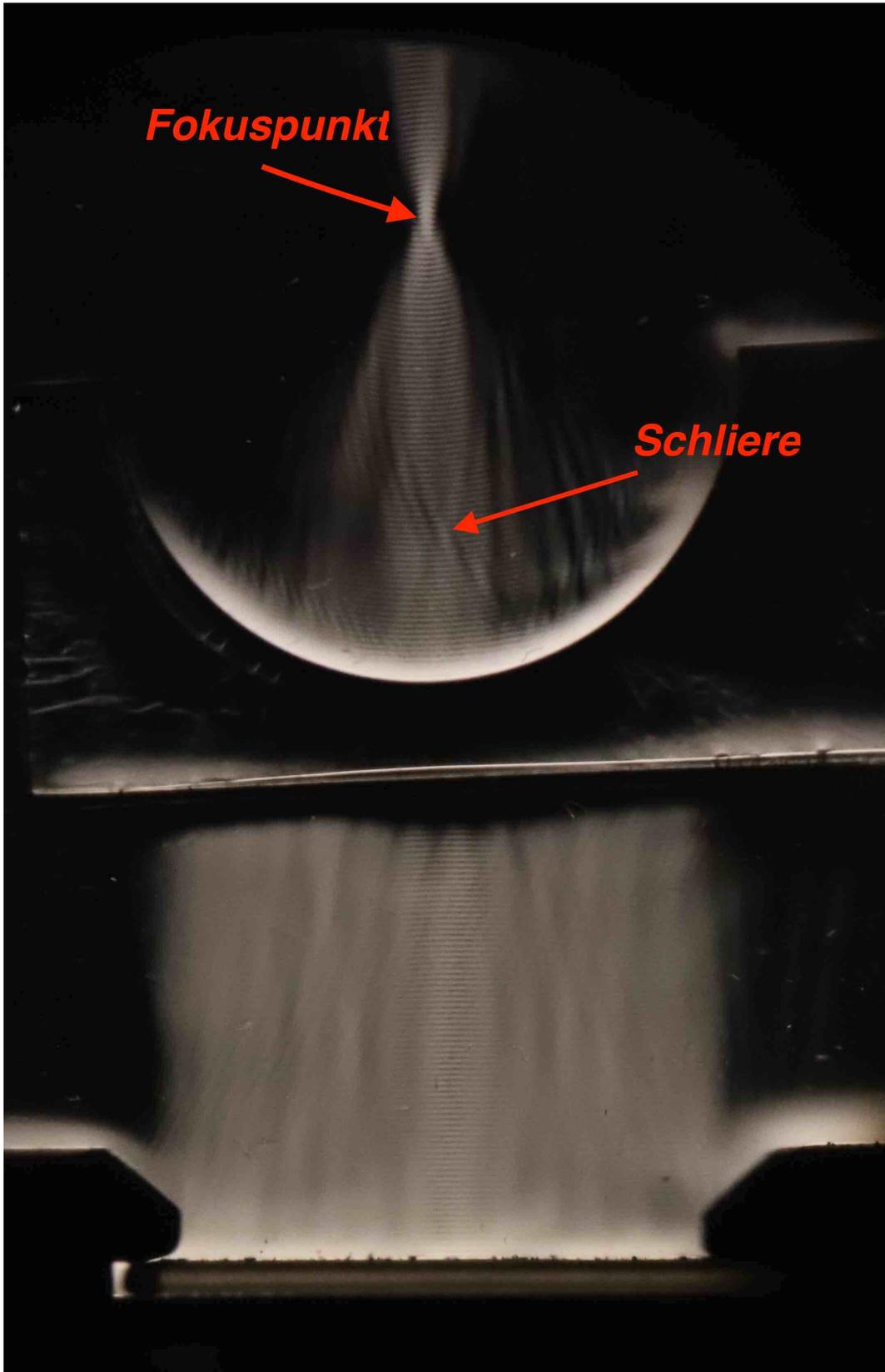


Abbildung 23: Fokussierende Wirkung einer plankonkaven Linse auf Ultraschallstrahlen mit einer gekennzeichneten Schliere. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

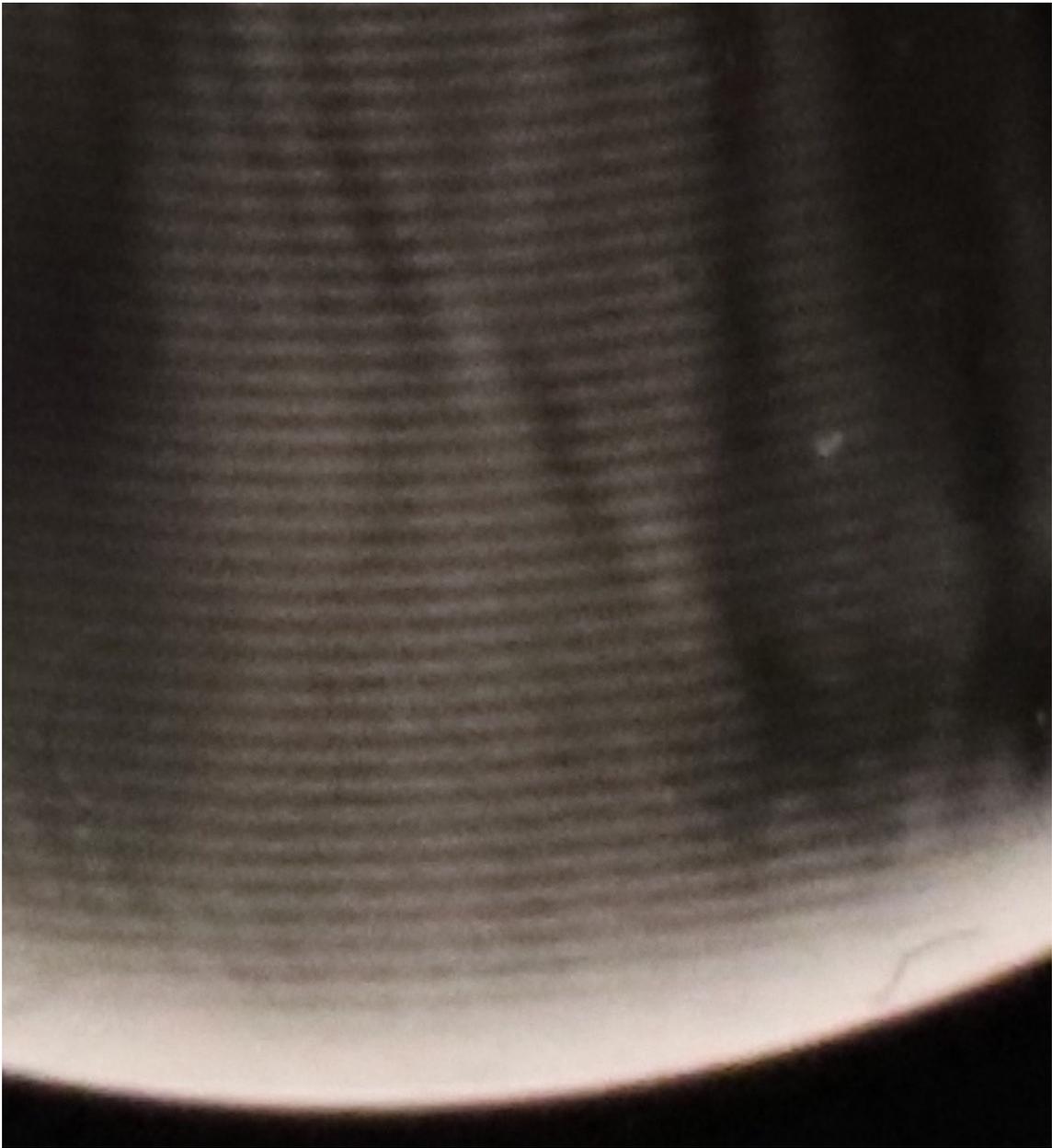


Abbildung 24: Vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 23. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

4.5 Materialprüfung mit Ultraschall

Ziel dieses Versuches ist es, zu zeigen, auf welchem Prinzip die Materialprüfung mittels Ultraschall beruht. Dabei wird hier die Prüfung von Objekten mit Hilfe der Schlierenmethode demonstriert, während in der Realität meistens auf unterschiedliche Ultraschallempfänger gesetzt wird, welche reflektierten beziehungsweise transmittierten Ultraschall messen. Wie die Materialprüfung in der Praxis funktioniert, ist in Kapitel 3.5 genauer beschrieben.

4.5.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Bedarfsliste

- 1 optische Bank (2m lang)
- Küvette mit Tetrachlorkohlenstoff
- Quarzhalterung
- Plexiglasplatte mit Bohrung und Halterung (Die Abmessungen der Plexiglasplatte entsprechen einer Höhe von 6,9mm, einer Tiefe von 24mm und einer Breite von 29,1mm.)
- 1 Richtlampe nach Spindel und Hoyer (12 V)
- 1 verstellbares (neigbares) Tischchen
- 1 Irisblende
- 2 horizontale Spalte
- 1 Konvexlinse mit Brennweite 20 cm
- 1 Konvexlinse mit Brennweite 30 cm
- 1 Lochblende mit großem Rand
- 1 Leinwand/Schirm
- 2 Kabel
- 1 Stativ
- UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur

Der Versuchsaufbau um zu demonstrieren, wie die Materialprüfung mit Ultraschall funktioniert, entspricht demselben wie in Abbildung 20. Lediglich die plankonkave Plexiglaslinse wird durch einen flachen Plexiglasquader mit Bohrung ersetzt. Die vorliegende Situation wird hier also auch mit der Schlierenmethode beobachtet. Der Plexiglasquader wird so in die Küvette eingebracht, dass die Bohrung parallel zur optischen Achse und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Ultraschalls liegt. Beim Einbringen und Verschieben des Plexiglasquaders ist besonders darauf zu achten, dass das Plexiglas parallel zum Quarz liegt und auch zur optischen Achse korrekt ausgerichtet ist. Dabei ist bei der Abbildung am Schirm besonders auf die (im Bild) oben erscheinende Kante des Plexiglasquaders zu achten. Wie in Abbildung 25 zu erkennen ist, ist auf der Oberkante des Plexiglasses ein dunkler Schatten sichtbar. Um die Breite dieses Schattens zu minimieren, also um die Platte möglichen parallel zum Quarz auszurichten, wird zum einen das Tischchen, auf dem die Küvette steht, verkippt, aber auch die Halterung, an der das Plexiglasstück befestigt ist, verschoben und verkippt. Verschwindet der Schatten vollkommen, ist sichergestellt, dass die Anordnung relativ zur optischen Achse gut ausgerichtet ist.

4.5.2 Resultate

Der helle Streifen am unteren Bildrand in Abbildung 25 stellt den Quarz dar, welcher für Licht durchlässig ist. Die hellen Streifen zu beiden Seiten des Quarzes entstehen durch Reflexion und Beugung des Lichts an der Halterung. Zwischen Quarz und dem Plexiglasquader ist ein mehr oder weniger homogenes Schallwellenfeld erkennbar.

Da auf der anderen Seite des Plexiglasses auch helle Bereiche erkennbar sind, lässt sich feststellen, dass das Plexiglas für Ultraschall durchlässig ist. Jedoch scheint an der Stelle hinter der Bohrung ein Schallschatten vorzuliegen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass Ultraschall in Luft beinahe zu hundert Prozent absorbiert wird.

Die Eigenschaft des Ultraschalls, dass er auch schon bei sehr kleinen Lufteinschlüssen beinahe vollkommen absorbiert wird, nimmt man sich auch bei der Materialprüfung zu Nutzen. So können Materialien auf Fehlstellen in der Kristallstruktur untersucht werden. Meist wird für die Materialprüfung nicht die Schlierenmethode verwendet, sondern ein Ultraschallempfänger um festzustellen ob mehr oder weniger Ultraschall durch das Material gelangt. In der Praxis wird dabei zunächst der Ultraschallempfänger durch die bekannte Position einer Fehlstelle kalibriert, um dann bei unbekanntem Proben feststellen zu können, in welcher Tiefe im Material die Fehlstellen positioniert sind. Der Versuch in diesem Kapitel sollte aber ausschließlich veranschaulichenden Zwecken dienen, weshalb auf jegliche Normierungen oder Kalibrierungen verzichtet wurde. Aus Abbildung 25 lässt sich aber dennoch gut erkennen, auf welchem Prinzip die Materialprüfung mit Ultraschall beruht. Weitere Informationen zu diesen Methoden sind in Kapitel 3.5 zu finden.

Zusätzlich lassen sich noch weitere Schlieren, die nicht vom Ultraschall selbst herrühren, erkennen. Diese sind in Abbildung 26 mit Pfeilen hervorgehoben. Bei diesen Schlieren



Abbildung 25: Erste Aufnahme des Beschallten Plexiglasquaders mit Bohrung. Am unteren Bildrand ist das Quarzplättchen erkennbar, mittig die Plexiglasplatte mit Bohrung und oberhalb davon ein schallfreier Raum. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

handelt es sich vermutlich um thermische Bewegungen in der Flüssigkeit, die durch die Absorption des Ultraschalls im Tetrachlorkohlenstoff entstanden sind. Durch die Absorption des Schalls kommt es zu Temperaturzunahme, was zugleich zu Druckunterschieden führt, welche für das Licht unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten mit sich bringt, die durch die Schlierenmethode sichtbar gemacht werden können.

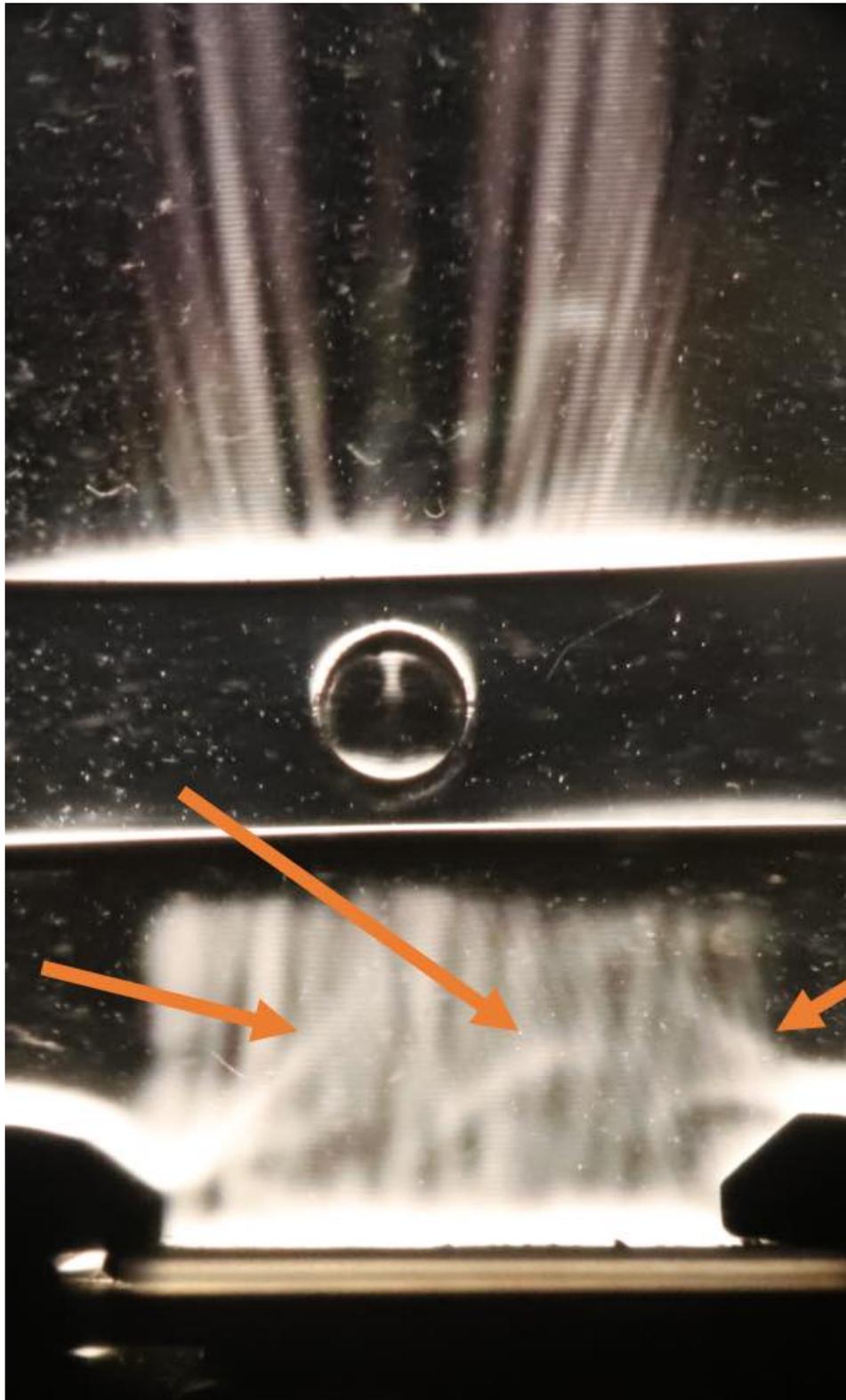


Abbildung 26: Zweite Aufnahme des beschallten Plexiglasquaders mit Bohrung. Hervorgehobene Schlieren. Am unteren Bildrand ist das Quarzplättchen erkennbar, mittig die Plexiglasplatte mit Bohrung und oberhalb davon ein schallfreier Raum. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

4.6 Sichtbarmachung von Ultraschallschwingungen in einem Glaszylinder

Zweck des Versuchs ist es, elastische Eigenschwingungen von einem Glaszylinder in linear polarisiertem Licht sichtbar zu machen. Um den elastischen Schwingungszustand durchsichtiger Objekte sichtbar zu machen, können diese Objekte in linear polarisiertem Licht zwischen zwei aufeinander senkrecht stehenden Nicolschen Prismen oder zwischen Polarisationsfiltern, die ebenfalls aufeinander senkrecht stehen, betrachtet werden. Das auffälligen dunklen Achsenkreuze, die von der Stellung der linearen Polarisatoren abhängen, können mit zwei $\lambda/4$ -Plättchen, jeweils eines vor und nach der Probe, eliminiert werden, da dann zirkular polarisiertes Licht auf die Probe trifft [9].

4.6.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Bedarfsliste

- 1 Richtlampe nach Spindel und Hoyer (12 V)
- 2 Polarisationsfilter
- 2 Irisblenden
- 1 Projektionsobjektiv
- 1 Schirm (in diesem Aufbau wurde ein Whiteboard verwendet)
- 1 Glaszylinder: Der Zylinder, mit einem Durchmesser von 18,7 mm und einer Höhe von 19,9 mm, besteht aus reinem BK7 – Glas. Dabei handelt es sich um ein besonders reines Glas, welches praktisch rein von Einschlüssen und Blasen ist und gleichmäßig Transmission im sichtbaren Bereich des Lichtes aufweist (vgl. [1]). Grund- und Deckfläche sind poliert, die Mantelfläche mattiert.
- 1 Optische Bank
- 1 Tischchen
- 1 Quarzhalterung: Es handelt sich um eine Halterung mit Anschlüssen für den Frequenzgenerator, in die ein versilbertes Quarzplättchen (ca. 1 mm dick, 20 mm lang und 20 mm breit) eingebracht ist. Für die Schwingungsanregung wird die Fläche des Quarzplättchens senkrecht zur elektrischen Achse orientiert. Die Halterung gewährleistet auch, dass das Abstrahlen von Schwingungsenergie auf die Unterlage vermieden wird. Zusätzlich sollte die Grundschiwingung oder eine der Oberschwingungen des Quarzplättchens mit der anzuregenden Frequenz des Glaszylinders übereinstimmen oder zumindest nahe an dieser Frequenz liegen [8].

- UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur
- 2 Kabel
- 1 Stativ
- Paraffinöl

Auf einer optischen Bank werden die aufgelisteten optischen Elemente entsprechend der folgenden Skizze in Abbildung 27 aufgebaut. Die Abstände zwischen den einzelnen Bauteilen sind in cm angegeben.

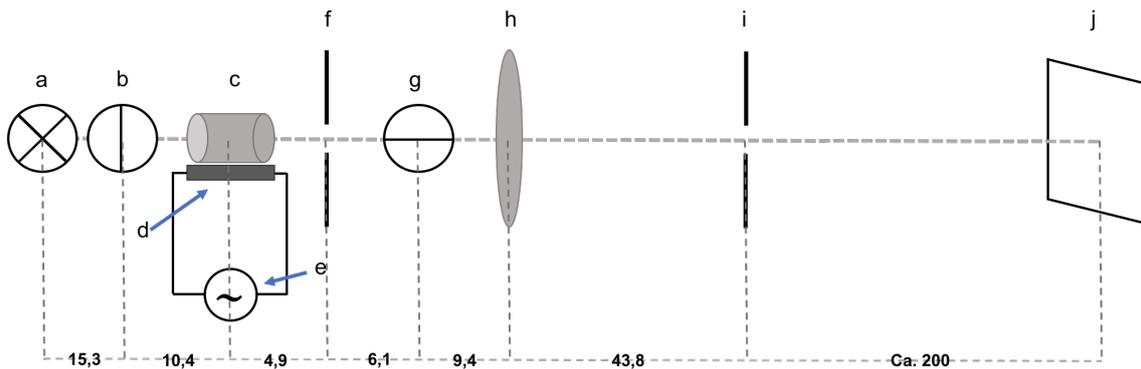


Abbildung 27: Versuchsaufbau um die Schwingungsformen eines Glaszylinders zu betrachten. Verwendete Bauteile: Richtlampe (a), Polarisationsfilter (b und g), Glaszylinder (c), Quarz (d), Frequenzgenerator (e), Irisblenden (f und i), Projektionsobjektiv (h), Schirm (j). *Zeichnung: Anna Kopf.*

Zunächst wird auf der optischen Bank nur die Richtlampe montiert. Durch das Verändern des Abstandes zwischen Lichtquelle und Kondensator in der Richtleuchte wird sichergestellt, dass der Strahlengang weitestgehend parallel verläuft und die Lampenwendel an die Stelle des Projektionsobjektives abgebildet wird. Anschließend werden die Polarisationsfilter, das Tischchen mit der Quarzhalterung und das Projektionsobjektiv eingebracht. Bei der Positionierung des Projektionsobjektives wird darauf geachtet, dass die Quarzhalterung scharf auf dem Schirm abgebildet wird. Schließlich wird ein Tropfen Paraffinöl mithilfe eines Glasstäbchens auf den Quarz aufgebracht und der Glaszylinder mit der Mantelfläche parallel zur optischen Achse auf die Halterung gelegt. Hierbei dient das Paraffinöl einerseits als gute akustische Koppelung zwischen Quarz und Glas, vereinfacht aber auch gleichzeitig das Ausrichten des Zylinders, da dieser durch die Adhäsionskräfte nicht mehr so leicht verrutschen kann [8]. Um den Glaszylinder möglichst parallel zur optischen Achse auszurichten, betrachtet man auf dem Schirm den Rand der Deck- bzw. Grundfläche. Wirkt der Kreis gleichmäßig und nicht an manchen Stellen dicker oder dünner, sind Deck- und Grundfläche senkrecht auf die optische Achse ausgerichtet. Dies wird zunächst durch das grobe Ausrichten mit der Hand bewerkstelligt, für die Feinjustierung werden dann die Stellschrauben am Tischchen verwendet, welche in Abbildung 28 auf der Unterseite des Tischchens erkennbar sind.

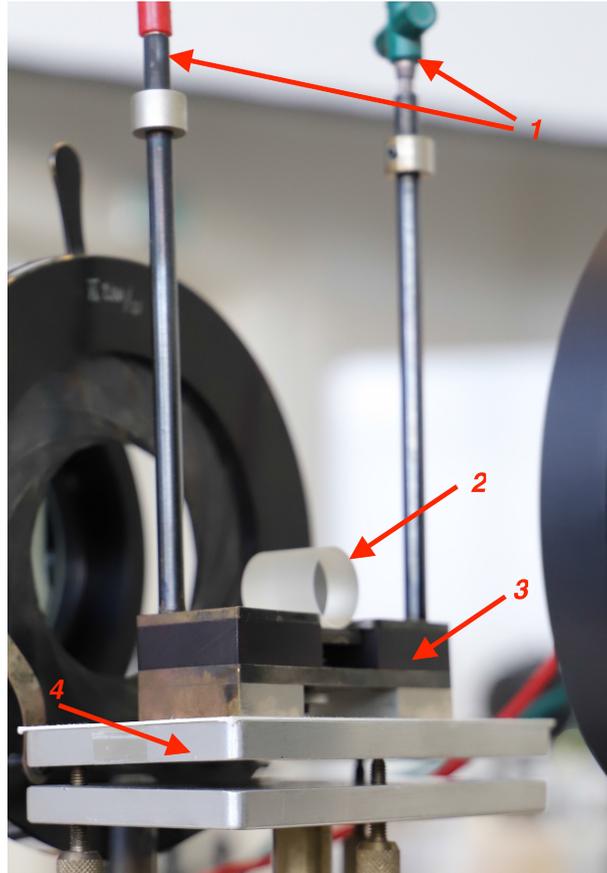


Abbildung 28: Die Quarzhalterung mit dem Glaszylinder ist abgebildet. Dabei sind mit (1) die Anschlüsse für die Kabel gekennzeichnet, (2) bezeichnet den Glaszylinder, (3) die Quarzhalterung, die auf einem verstellbaren Tischchen (4) mit Stellschrauben steht. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

Während des Aufbaus wird die Richtlampe nur mit 4 V betrieben, die Polarisationsfilter stehen parallel zueinander und der Frequenzgenerator ist noch nicht eingeschalten. Das Einbringen der Irisblenden dient dem Abschirmen von Licht, welches nicht den Zylinder passiert. Dabei wird die Blendenöffnung so gewählt, dass Zylinder und Quarz noch am Schirm abgebildet werden. In diesem Aufbau wurde für die Irisblende f ein Öffnungsdurchmesser von 57 mm gewählt, für die Irisblende i ein Öffnungsdurchmesser von 37 mm. Um die Kabel, welche Frequenzgenerator und Quarzhalterung verbinden, aus dem Strahlengang zu halten und sie keinem Zug auszusetzen, werden sie über ein Stativ von der Halterung zum Generator geführt. Sobald alles aufgebaut ist, muss noch darauf geachtet werden, dass der Raum möglichst gut abgedunkelt ist. Zudem wird nun die Richtlampe mit 12V betrieben, der Frequenzgenerator ist ebenfalls eingeschalten und die beiden Polarisationsfilter werden senkrecht zueinander eingestellt.

4.6.2 Resultate

Die Bilder in den Abbildungen 29, 30 und 31 zeigen die am Schirm erscheinenden Schwingungsformen. Prinzipiell können diese Bilder als Chladni'sche Klangfiguren des Zylinderquerschnitts interpretiert werden [10].

Die Bilder entstanden bei unterschiedlichen Frequenzen, die im Bereich von 2,6 MHz bis 4 MHz lagen (vgl. Kapitel 4.1). Da es sich bei diesem Versuch um ein Demonstrationsexperiment handelt, welches auf rein phänomenologischer Ebene Schwingungen zeigen soll, gibt es keine detailliertere Auswertung, jedoch können die erhaltenen Bilder mit jenen von Ludwig Bergmann verglichen werden [10] [9]. Der schwingende Glaszylinder wird optisch doppelbrechend und wirkt auf Licht somit als Polarisator. Wird er zwischen zwei Polarisationsfiltern positioniert, erscheinen Stellen hell, an denen der Zylinder radial und tangential unterschiedlich stark gedehnt wird. Dunkle Stellen treten auf, wenn das Glas radial und tangential gleich stark gedehnt wird [10]. Unterschiedliche elastische Verformung im an sich isotropen Glas führt zu einer Spannungsdoppelbrechung, die für die hellen Stellen des mit linear polarisiertem Licht durchstrahlten Zylinders verantwortlich ist. Da Polarisator und Analysator (also die beiden Polarisationsfilter vor und hinter dem Glaszylinder) gekreuzt sind, somit eine Dunkelfeldbeobachtung durchgeführt wird, wäre ohne schwingungsbedingte elastische Doppelbrechung das Bild komplett dunkel [9].

Weiters beobachtet Bergmann, dass sich bei minimaler Änderung der Erregerfrequenz der äußerste Rand der Schwingungsformen dreht, während der mittlere Teil in Ruhe verharrt [9]. Diese Beobachtung konnte bei uns nicht gemacht werden, was darauf zurückgeführt werden könnte, dass die Erregerfrequenzen in dieser Arbeit von jenen bei Bergmann stark abweichen. Bergmann arbeitete mit einer Anregungsfrequenz von 700 bis 1540 kHz [9], während hier im Bereich von 2,6 bis 4 MHz gearbeitet wurde.

Er spricht auch von sich wiederholenden Schwingungsfiguren, welche wir, wie in Abbildung 30 zu sehen, auch reproduzieren konnten [9]. Auch die ersten beiden Zeilen in Abbildung 31 zeigen jeweils ähnliche Schwingungen.

Die in Abbildung 30 jeweils nebeneinander platzierten Figuren zeigen sich wiederholende Schwingungsformen. Sie wiederholen sich bei unterschiedlichen Frequenzen und sind teilweise an unterschiedlichen Stellen im Zylinder oder unterschiedlich oft erkennbar.

Von ihm wurde auch dokumentiert, dass der Rand des Zylinders und das Zentrum voneinander scheinbar unabhängig schwingen, da sich ganz andere Schwingungsformen zeigen. Dies kann in unserem Fall auch in der Vielfältigkeit der Bilder in Abbildung 29, 30 und 31 erkannt werden.

Bis auf eine kleine Ausnahme besteht die Rolle dieser Aufnahmen als Veranschaulichung der breiten Vielfalt an Schwingungsformen. Das linke Bild in der ersten Zeile in Abbildung 30 zeigt jedoch etwas mehr: Hier ist eine rein radiale Dehnungsschwingung zu sehen. Diese Art der Schwingung ist von größerer Bedeutung, da sie auch rechnerisch behandelt werden kann. Sie entsteht durch gleichzeitiges Auftreten einer radialen und tangentialen

Spannung, wobei die einzelnen Spannungsellipsen radialsymmetrisch über den Zylinderquerschnitt verteilt sind. Die Anzahl der sichtbaren Ringe ist hier abhängig von der Ordnungszahl der Oberschwingung. Dabei repräsentieren die hellen Ringe Stellen an denen die elastische Doppelbrechung ein Maximum hat, während diese an den dunklen Stellen Null beträgt. Die Position des dunklen Achsenkreuzes ist auf die Lage der beiden Polarisations Ebenen der Polarisationsfilter zurückzuführen [9].

Ein weiteres interessantes Phänomen lässt sich in Abbildung 31, im rechten Bild in der letzten Zeile, erahnen. Es liegt ein ähnliches Ergebnis wie bei Bergmanns Untersuchungen an Glasringen [8] vor: Dieses Bild lässt sich als stehende Longitudinalwelle entlang des Zylinderumfangs interpretieren. Es können 78 helle Druckbäuche gezählt werden, somit handelt es sich um die 78. Oberschwingung. Bergmann stellte fest, dass Glasringe und Glaszylinder praktisch idente Schwingungsformen aufweisen, lediglich fehlt bei ersteren der innere Teil [8].

Ein Detail, das die hier gezeigten Bilder von jenen von Bergmann unterscheidet, ist der helle Streifen am oberen Bildrand, welcher bei Bergmann nicht erkennbar war. Dieser Streifen stellt den Schwingquarz da, welcher für Licht durchlässig ist und somit hell auf dem Schirm erkenntlich ist. Vermutlich wurde dieser von Bergmann mit einer Blende abgedeckt.

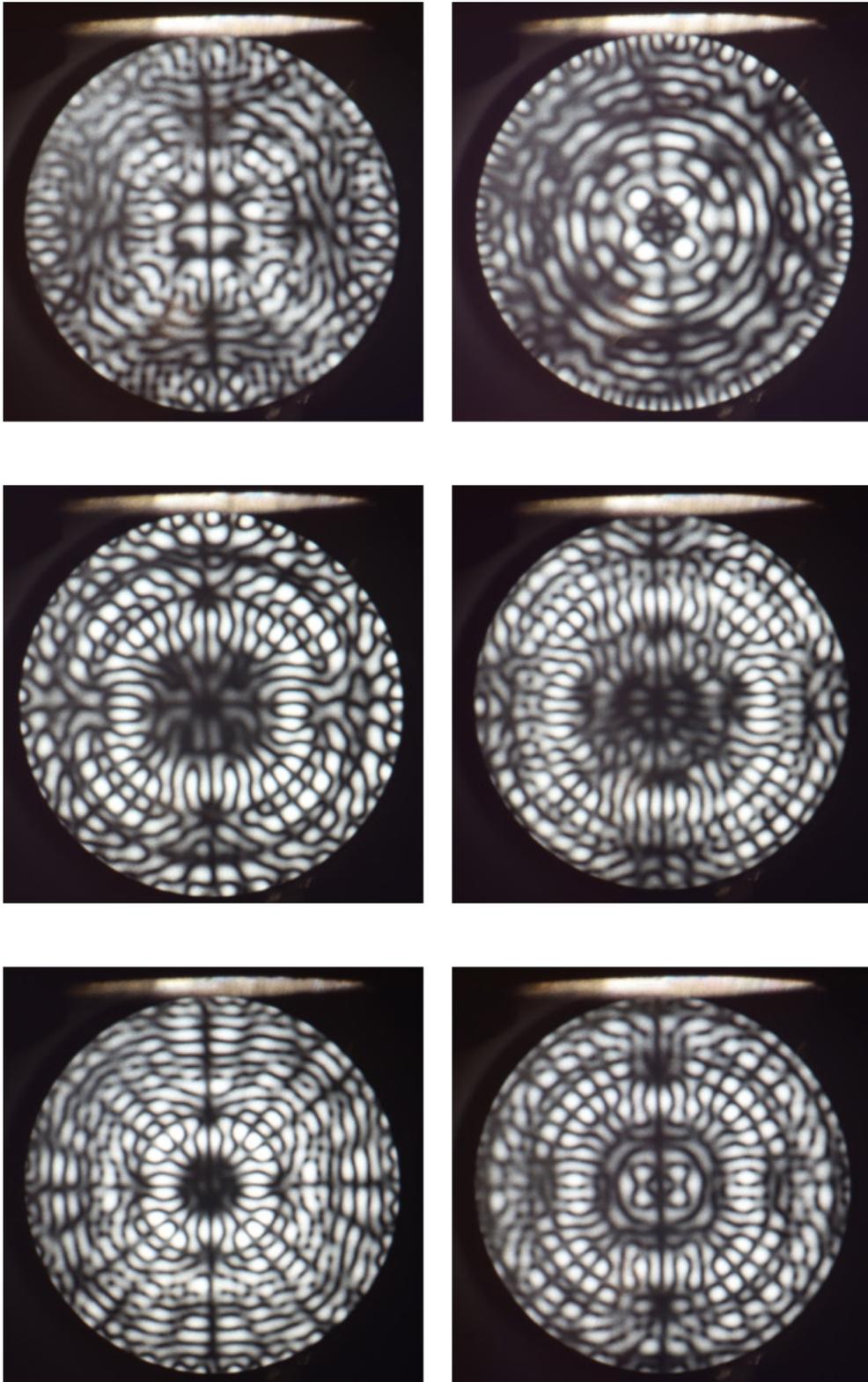


Abbildung 29: Schwingungsformen bei unterschiedlichen Frequenzen. Diese Abbildungen stehen auf dem Kopf, der am obigen Bildrand erkennbare Quarz, liegt unterhalb des Glaszylinders. *Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.*

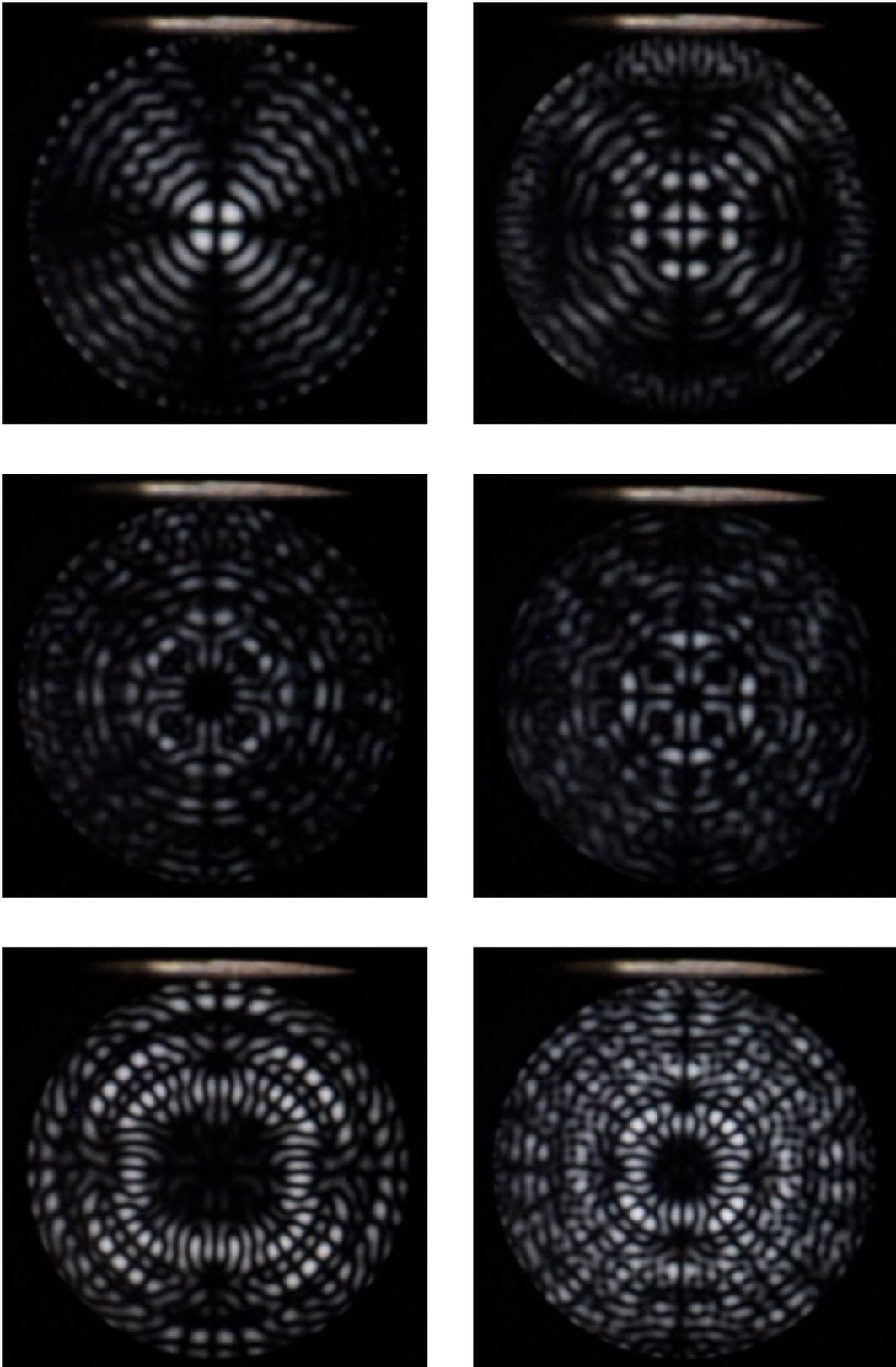


Abbildung 30: Ähnliche Schwingungsfiguren. Diese Abbildungen stehen auf dem Kopf, der am obigen Bildrand erkennbare Quarz, liegt unterhalb des Glaszylinders.
Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.

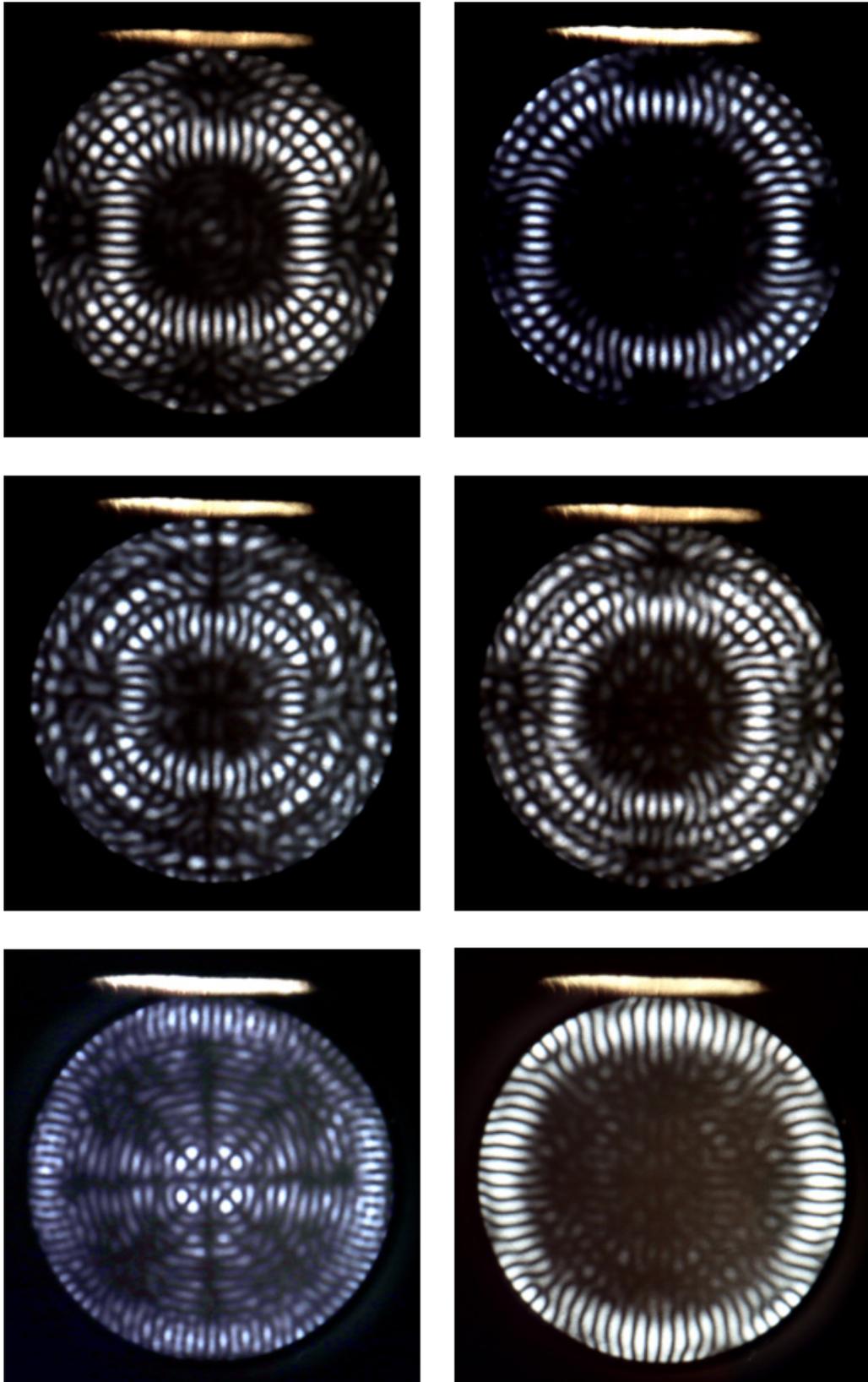


Abbildung 31: Weitere Schwingungsfiguren. Diese Abbildungen stehen auf dem Kopf, der am obigen Bildrand erkennbare Quarz, liegt unterhalb des Glaszylinders.
Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.

5 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Lebenswerk von Franziska Seidl. Von ihren frühen Jahren als Physikerin bis hin zu ihrem Engagement im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts wird ein umfassendes Bild von Franziska Seidls Tätigkeiten gezeichnet. Der genannte Verein erfüllt noch heute die wichtige Aufgabe der Lehrer*innenfortbildung im Bereich Physik und Chemie.

Nach der Beschreibung ihres Werdegangs im I. Physikalischen Institut der Universität Wien und der Vorstellung ihres wissenschaftlichen Arbeitsbereichs fokussiert sich die vorliegende Arbeit auf den Bereich Ultraschall, der ab dem Jahr 1930 neben der Lehre für Seidl ein zentrales Thema wird.

So wird auf mehrere ihrer Werke zum Thema Ultraschall aufmerksam gemacht, und auch ihr Weg hin zu diesem Thema beschrieben. Ihre vielseitigen Tätigkeiten in der Lehre werden vorgestellt, wobei ein Hauptaugenmerk auf ihrem Arbeiten im Bereich der Aus- und Weiterbildung von Lehrer*innen liegt. Die von ihr ins Leben gerufene Fortbildungswoche, die Schaffung eines Seminars für Lehramtskandidat*innen und die großen Leistungen, die sie im Rahmen des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterricht vollbracht hat, werden besonders hervorgehoben.

Um Seidls Arbeiten zum Ultraschall und besonders die nachgestellten historischen Experimente zu verstehen, war es notwendig einige Grundlagen zu behandeln. Dazu gehören die Darlegung der Schlierenoptik, die verwendet wird, um Ultraschallwellen in der Flüssigkeit sichtbar zu machen, weiters die Brechung von Ultraschallwellen, als auch die Beugung von Licht an (stehenden) Ultraschallwellen, die als Debye-Sears-Effekt bezeichnet wird.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Ultraschalls, wie sie Seidl in den 1950ern beschrieb, werden aufgezeigt. Ergänzend wird auf die gegenwärtige Bedeutung des Ultraschalls in der Medizin, Werkstoffprüfung und bei der Reinigung hingewiesen.

Im experimentellen Teil dieser Arbeit wurde die von Franziska Seidl entwickelte UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur und verschiedene dazugehörige Experimentiereinsätze mit Schwingquarzplättchen sowie Küvetten verwendet um verschiedene anschauliche Versuche zum Thema Ultraschall im Frequenzbereich von ca. 3 MHz durchzuführen. Mittels dieser Apparatur, die damals typischerweise für die Verwendung mit Tetrachlorkohlenstoff gebaut wurde (unisolierte elektrische Zuleitungen zum Schwingquarz in der Flüssigkeit) konnte gezeigt werden, dass Ultraschall mit Hilfe der Schlierenmethode sichtbar gemacht werden kann. Auch die Beugung von Licht an stehenden Ultraschallwellen konnte mittels des von Franziska Seidl konstruierten Interferometers gezeigt werden (Debye-Sears-Effekt). Zudem konnte veranschaulicht werden, wie die Materialprüfung mittels Ultraschall funktioniert. Auch die Fokussierung und Brechung von Ultraschall konnte visualisiert werden und die elastischen Schwingungen eines Glaszylinders konnten mit polarisiertem Licht im Dunkelfeld dargestellt werden. Durch die Beugung von Licht an Ultraschall konnte auch die Schallwellenlänge des Ultraschalls auf zwei unterschiedliche Arten bestimmt werden. Derartige Ultraschallexperimente sind mittlerweile Standardexperimente in vielen Physik-

praktika.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Arbeit sich tiefgehend mit dem Lebenswerk von Franziska Seidl auseinandersetzt, dabei stark auf ihre Tätigkeit in der Lehre und Fortbildung eingeht und sich bei ihren wissenschaftlichen Arbeiten auf die ausführliche Beschreibung ihrer Forschung im Bereich des Ultraschalls fokussiert.

Literatur

- [1] Zuletzt aufgerufen am 23.02.2019 um 16:20. URL: <https://www.pgo-online.com/de/BK7.html>.
- [2] Zuletzt aufgerufen am 30.06.2019 um 13:51 Uhr. URL: [https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Donaustadt_\(Stra%C3%9Fennamen\)](https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Donaustadt_(Stra%C3%9Fennamen)).
- [3] Zuletzt aufgerufen am 16.06.2019 um 16:18 Uhr. URL: <https://lise.univie.ac.at/index1.html>.
- [4] Szalay A. "Die Zerstörung von hochpolymeren Molekülen mittels Ultraschallwellen". In: 164A (2019-05-28T13:38:17.489+02:00 1933), S. 234. DOI: 10.1515/zpch-1933-16420. URL: <https://www.degruyter.com/view/j/zpch.1933.164.issue-1/zpch-1933-16420/zpch-1933-16420.xml>.
- [5] Daniela Angetter und Michael Martitschnig. *Biographien österreichischer [Physiker]innen - Eine Auswahl*. Österreichisches Staatsarchiv, 2005.
- [6] Joachim Berber, Heinz Kacher und Rudolf Langer. *Physik in Formeln und Tabellen*. Teubner, 2003.
- [7] Ludwig Bergmann. *Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik*. 5. Aufl. S. Hirzel Verlag Zürich, 1949.
- [8] Ludwig Bergmann. "Eigenschwingungen von Glasringen". In: *Zeitschrift für Physik* (1958).
- [9] Ludwig Bergmann. "Eigenschwingungen von Glaszylindern". In: *Zeitschrift für Physik* 125.405-417 (1947).
- [10] Bergmann und Schaefer. *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band I, Mechanik, Akustik, Wärme*. 9. Aufl. Walter De Gruyter, 1974.
- [11] H. Beuthe. "Über den Einfluß der Ultraschallwellen auf chemische Prozesse". In: *Zeitschrift für Physikalische Chemie* (1933).
- [12] Brigitte Bischof. *Physikerinnen - 100 Jahre Frauenstudium an den Physikalischen Instituten der Universität Wien- Broschüre zur Ausstellung*.
- [13] C. Bondy und K. Söllner. "On the mechanism of emulsification by ultrasonic waves". In: *Trans. Faraday Soc.* 31 (0 1935), S. 835–843. DOI: 10.1039/TF9353100835. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/TF9353100835>.
- [14] O. Brandt und K. Freund. "Über die Aggregation von Aerosolen mittels Schallwellen". In: *H. Z. Physik* <https://doi.org/10.1007/BF01349422> (1935).
- [15] Rudolf Gross. *Festkörperphysik*. ger. 2012. ISBN: 3-486-71486-4.
- [16] Rudolf Gross und Achim Marx. *Festkörperphysik*. Oldenbourg Verlag, 2012.
- [17] Heinrich Kuttruff. *Physik und Technik des Ultraschalls*. ger. S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1988. ISBN: 3777604275.

- [18] Karl Lintner. “Die Zeit der Obmannschaft von Prof. Seidl”. In: *Plus Lucis* 2 (1996).
- [19] Karl Lintner. “Reflexionen über die hundertjährige Geschichte des Vereins”. In: *Plus Lucis* 2 (1994).
- [20] *Medizinische Physik : Grundlagen – Bildgebung – Therapie – Technik*. ger. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Spektrum, 2018. ISBN: 9783662548011.
- [21] Erwin Meyer und Ernst-Georg Neumann. *Physikalische und Technische Akustik. Eine Einführung mit zahlreichen Versuchsbeschreibungen*. Friedr. Vieweg + Sohn GmbH, Verlag, Braunschweig, 1974.
- [22] Walter Meyer. “Strom, Durchschlag und Ultraschall in dielektrischen Flüssigkeiten”. In: *Zeitschrift für Physik* 102 (1936), S. 279.
- [23] G. Schmid und L. Ehret. “Die Wirkung intensiven Schalles auf Metallschmelzen”. In: *Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie* (1937).
- [24] Arnold Schoch. “Schallreflexion, Schallbrechung und Schallbeugung”. In: *ergebnisse der Exakten Naturwissenschaften* 23 (1950).
- [25] Franziska Seidl. “Besondere Eigenschaften und Wirkungen des Ultraschalls”. In: *Physikalische Blätter* 18.5 (1962), S. 207–215.
- [26] Franziska Seidl. “Elektrische Leitfähigkeit flüssiger Dielektrika und ihre Änderung durch Ultraschall”. In: *Zeitschrift für Physik* 116.5 and 6 (1940), S. 359–365.
- [27] Franziska Seidl. “Physikalisches zum Ultraschall”. In: *Wiener klinische Wochenschrift* 60.37 (1948).
- [28] Franziska Seidl. “Über eine neue Messung kurzer Zeiten mit dem Helmholtz Pendel”. Diss. Universität Wien, 1923.
- [29] Franziska Seidl. “Ultraschall und seine Anwendung”. In: *Österreichische Chemiker-Zeitung* 45.9/10 (1942), S. 102.
- [30] Franziska Seidl. *Ultraschall-Demonstrationsapparatur nach Universitäts-Professor Dr. F. Seidl*. Physik - Schwingungen und Schall P4/15.
- [31] Nachlass Franziska Seidl. Personalakte, Zentralbibliothek für Physik, eingescannt durch Anna Kopf.
- [32] Erich Thieme. “Über die Einwirkung von Ultraschallwellen auf Lösungen hochpolymerer Substanzen”. In: *Physikalische Zeitschrift* (1938).
- [33] Paul A. Tipler. *Physik*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford, 1998.
- [34] Paul Wagner, Georg Reischl und Gerhard Steiner. *Einführung in die Physik*. Bd. 2. facultas.vuw, 2012.

- [35] “Werkstoffprüfung”. ger. In: *Werkstoffkunde: Strukturen, Eigenschaften, Prüfung*. 18., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012, S. 365–404. ISBN: 9783834815873.

Abbildungsverzeichnis

1	Franziska Seidl an ihrem 70. Geburtstag. <i>Quelle: Zentralbibliothek für Physik</i>	10
2	70. Geburtstag von Franziska Seidl. In den Fotos sind folgende Personen mit Nummern versehen: 1) Hans Thirring, 2) Georg Stetter, 3) Franziska Seidl, 4) Berta Karlik, 5) Erich Schmid, 6) Hans Warhanek. <i>Quelle: Zentralbibliothek für Physik, bearbeitet durch Anna Kopf.</i>	12
3	Piezoelektrischer Effekt. <i>Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [16], S. 640</i>	14
4	Inverser Piezoeffekt. <i>Zeichnung: Anna Kopf.</i>	15
5	Brechung von Schallwellen <i>Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17], S. 46</i>	17
6	Brechung von Schallwellen an Grenzschicht zwischen Fluid und Festkörper. <i>Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17], S. 50</i>	19
7	Ausbreitung einer Longitudinalwelle. <i>Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17] S. 40.</i>	22
8	Ausbreitung einer Transversalwelle. <i>Zeichnung: Anna Kopf, vgl. [17], S. 40.</i>	22
9	Aufbau zum Sichtbarmachen von Ultraschall mittels Schlierenmethode nach [30].	27
10	Anderer Aufbau zur Sichtbarmachung von Ultraschall mittels Schlierenmethode nach [30].	27
11	UNI-Ultraschall-Demonstrationsapparatur, Frequenzgenerator. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	36
12	Frequenzmaximum des Frequenzgenerators. <i>Quelle: Franz Sachslehner.</i>	37
13	Frequenzminimum des Frequenzgenerators. <i>Quelle: Franz Sachslehner.</i>	37
14	Versuchsanordnung, um Beugung am Schallwellengitter mit einem ausgeleuchteten Spalt als Lichtquelle zu beobachten. <i>Zeichnung: Anna Kopf.</i>	40
15	Glasküvette mit Tetrachlorkohlenstoff und eingebrachter Halterung für den Schwingquarz und den Reflektor. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	44
16	Beugung am Schallwellenfeld mit ausgeleuchtetem horizontalen Spalt als Lichtquelle. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	45
17	Stehende Ultraschallwelle. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	46
18	Versuchsanordnung, um Beugung am Schallwellengitter mit einem ausgeleuchteten Punktgitter als Lichtquelle zu beobachten. <i>Zeichnung: Anna Kopf.</i>	48
19	Abbildung eines Punktgitters mit und ohne Ultraschallwellenfeld. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner</i>	49
20	Versuchsaufbau um die Fokussierung von Ultraschallwellen zu zeigen <i>Zeichnung: Anna Kopf.</i>	51
21	Küvette mit Tetrachlorkohlenstoff, Plexiglaslinse und Quarzhalterung. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner</i>	52
22	Fokussierende Wirkung einer plankonkaven Linse auf Ultraschallstrahlen <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	54

23	Fokussierende Wirkung einer plankonkaven Linse auf Ultraschallstrahlen mit einer gekennzeichneten Schliere. Am unteren Bildrand ist das Quarzplättchen erkennbar, mittig die plankonkave Plexiglaslinse und oberhalb dieser der fokussierte Ultraschall. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	55
24	Vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 23. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	56
25	Erste Aufnahme des Beschallten Plexiglasquaders mit Bohrung. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	59
26	Zweite Aufnahme des beschallten Plexiglasquaders mit Bohrung. Hervorgehobene Schlieren. Am unteren Bildrand ist das Quarzplättchen erkennbar, mittig die Plexiglasplatte mit Bohrung und oberhalb davon ein schallfreier Raum. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	60
27	Versuchsaufbau um die Schwingungsformen eines Glaszylinders zu betrachten. <i>Zeichnung: Anna Kopf</i>	62
28	Quarzhalterung mit Glaszylinder. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner</i>	63
29	Schwingungsformen bei unterschiedlichen Frequenzen. Diese Abbildungen stehen auf dem Kopf, der am obigen Bildrand erkennbare Quarz, liegt unterhalb des Glaszylinders. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	66
30	Ähnliche Schwingungsfiguren. Diese Abbildungen stehen auf dem Kopf, der am obigen Bildrand erkennbare Quarz, liegt unterhalb des Glaszylinders. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	67
31	Weitere Schwingungsfiguren. Diese Abbildungen stehen auf dem Kopf, der am obigen Bildrand erkennbare Quarz, liegt unterhalb des Glaszylinders. <i>Quelle: Anna Kopf und Franz Sachslehner.</i>	68
32	Briefverkehr zwischen Dr. Kurt Eckel und Franziska Seidl. <i>Quelle: [31]</i>	77
33	Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 1/4). <i>Quelle: [31]</i>	78
34	Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 2/4). <i>Quelle: [31]</i>	79
35	Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 3/4). <i>Quelle: [31]</i>	80
36	Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 4/4). <i>Quelle: [31]</i>	81
37	Kurzbiographie von Franziska Seidl. <i>Quelle: [31]</i>	82
38	Sterbeurkunde von Franziska Seidl. <i>Quelle: [31]</i>	83
39	Kommissionsbericht betreffend die außerordentliche Professur von Franziska Seidl (Teil 1/2). <i>Quelle: [31]</i>	84
40	Kommissionsbericht betreffend die außerordentliche Professur von Franziska Seidl (Teil 2/2). <i>Quelle: [31]</i>	85
41	Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten von Franziska Seidl (Teil 1/3). <i>Quelle: [31]</i>	86
42	Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten von Franziska Seidl (Teil 2/3). <i>Quelle: [31]</i>	87

43	Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten von Franziska Seidl (Teil 3/3) <i>Quelle: [31]</i> . Hierbei handelt es sich nicht um eine vollständige Liste ihrer Publikationen. Ergänzend sind noch <i>Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption von Ultraschallwellen</i> , I. Teil, Math.phys. Semesterberichte, Bd. 8, (1961), S.47; <i>Eigenschaften und Wirkungen des Ultraschalls</i> , Physikal. Blätter, Jg. 18, (1962), S. 207 und das Österreichische Patent auf das erste membranlose Kristalltelefon zu erwähnen [3]. Dieses Kristalltelefon wird von Franziska Seidl bereits 1926 schriftlich erwähnt [5].	88
44	Letter of Reference von Hans Thirring über Franziska Seidl. <i>Quelle: [31]</i> . .	89
45	Schriftverkehr zwischen dem niederösterreichischen Landesschulrat und Franziska Seidl. <i>Quelle: [31]</i>	90
46	Schriftverkehr zwischen Martha Pilar und Franziska Seidl. <i>Quelle: [31]</i> . . .	91
47	Brief an das Staatsamt für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten um um die Verleihung des Titels ao. Prof. anzusuchen. <i>Quelle: [31]</i>	92
48	Erlass des Staatsamtes für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten. <i>Quelle: [31]</i>	93

6 Anhang

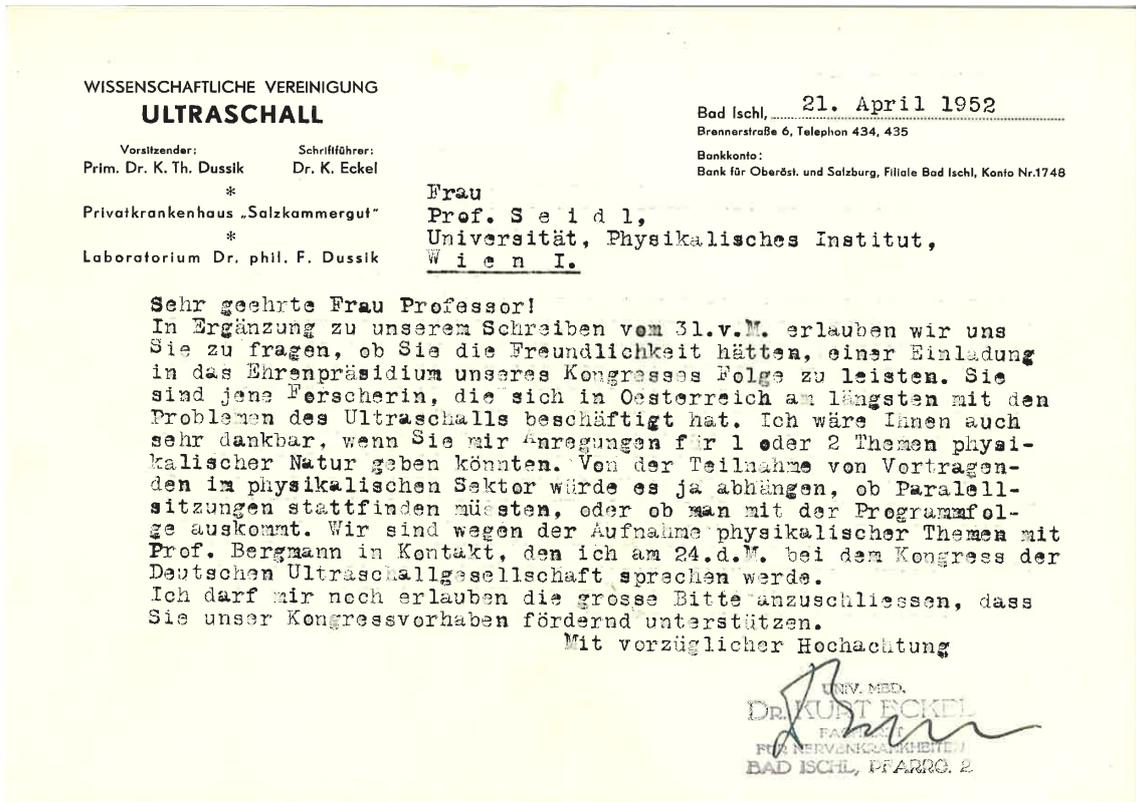


Abbildung 32: Briefverkehr zwischen Dr. Kurt Eckel und Franziska Seidl. *Quelle: [31]*

- 2 -

Nach meiner Promotion zum Doktor der Philosophie 1924
 Franziska SEIDL, geb. am 1. Juli 1892 in Wien. Seit in seiner
 berühmten Vorlesung zur Experimentalphysik, die von allen
 stud. Ich maturierte am Realgymnasium in Wien I für Knaben und
 nahm nach Beendigung des I. Weltkrieges mein Studium aus
 Mathematik-Physik am Physikalischen Institut der Wiener
 Universität auf. Mein Einführungsemester in wissenschaftliche
 Arbeiten, das sogenannte Kulissemester, in dem man zu den, was
 verschiedensten im Labor notwendigen Arbeiten herangezogen
 wird, machte ich bei Prof. F. Ehrenhaft unter Anleitung seines
 damaligen Assistenten Dr. Josef Mattauich, der zur Zeit Professor
 an der Universität und Direktor am Max Planck-Institut für
 Chemie in Mainz ist. Erfreulicherweise erlebte ich kein Kuli-
 semester üblicher Art, da ich Gelegenheit hatte, verschiedene
 sehr interessante experimentelle Arbeitsmethoden kennen zu
 lernen. Im Ehrenhaft'schen Institut waren Arbeiten im Gang, die
 zum Nachweis von Subelektronen, d.h. von Unterschreitungen der
 Elementarladung an sehr kleinen Teilchen, unternommen wurden.
 Ferner befaßte man sich mit Korrekturen des Stokes'schen
 Widerstandsgesetzes, da man es zur Bestimmung des Radius
 dieser kleinen Teilchen verwendete, und die Abweichungen von
 der Elementarladung gerade auf die schwierige Bestimmung des
 Radius und der Dichte der Teilchen zurückgeführt wurde. Meinen
 Von besonderem Interesse waren aber auch Untersuchungen des
 Lichtdruckes an Teilchen von etwa 10^{-5} cm Durchmesser, die sehr
 intensiver Lichtstrahlung ausgesetzt wurden. Es war ein Erlebnis
 zu beobachten, wie diese kleinen Probekörper, die sich in dem
 von ihnen abgelenkten Licht je nach ihrer Größe verschieden-
 farbig zeigten, Bewegungen sowohl in Richtung der Lichtstrahlen
 als auch zum Licht hin ausführten. Diese Erscheinungen, die
 auf Lichtwirkung und Wärmewirkung zurückgeführt wurden, nannte
 Ehrenhaft Photophorese. Große Ehre und Freude, daß ich als Lecher
 Vor. Im darauffolgenden Semester erhielt ich von Ernst Lecher
 ein Thema zur Dissertation: "Über die Messung kurzer Zeiten
 mit dem Helmholtzpendel."

Abbildung 33: Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 1/4). Quelle: [31]

Nach meiner Promotion zum Doktor der Philosophie 1924 wurde ich von Prof. Lecher als Vorlesungsassistent in seiner berühmten Vorlesung aus Experimentalphysik, die von allen Studierenden der Naturwissenschaften besucht werden mußte, verwendet. Während dieser Zeit wurde in mir nicht nur die Freude zum Experimentieren geweckt, sondern auch das Verständnis für den Wert und die Notwendigkeit des Experiments. Lecher führte strengste Kritik an der Vorbereitung der Versuche, was zu einer klaglosen, sicheren Demonstration in der Vorlesung führte. Mit Vorliebe benützte er auch einige unter seinen Vorgänger Victor v. Lang hergestellte, überaus groß dimensionierte Vorlesungsgeräte. Victor von Lang war nicht nur durch seine Experimentierkunst, sondern auch durch die von ihm abgehaltenen Mediziner-Rigorosen aus Physik bekannt. Einmal stellte er die Frage: "Was versteht man unter Lumineszenz?"
Antwort: "Wenn man etwas schief anschaut, dann leuchtet es."
Victor v. Lang: "Ich schau Sie schon lange schief an, aber Sie Siemens-Laborator leuchten noch immer nicht."
Oder: "Wieso können Eisenschiffe auf Wasser schwimmen?"
Antwort: "Herr Hofrat, das glaube ich nicht." Leipzig.

Durch Ernst Lecher, dem damaligen Präsidenten des Vereins zur Förderung des Physikalischen und Chemischen Unterrichts wurde ich in den Verein eingeführt (1926), nachdem ich meinen ersten größeren Experimentalvortrag gehalten hatte. Seither verachtete ich es als meine Pflicht, jedes Jahr den Physikern und Chemikern an höheren Schulen entweder durch Vorführung von Versuchen oder durch Mitteilung neuer Forschungsergebnisse datenmäßig zu sein. Auf Grund der Erfahrungen, die ich hier und im wissenschaftlich befaßte ich mich damals mit Untersuchungen des Adsorptions- und Phasengrenzpotentials schwer angreifbarer Gläser mit Untersuchungen der Elektroosmose und Kataphorese. Es war für mich eine große Ehre und Freude, daß ich als Lechers Vorlesungsassistentin gelegentlich der Gedenkfeier für Ernst Lecher verlieren dürfen. In Vorträgen und durch Exkursionen sollen sie

Abbildung 34: Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 2/4). Quelle: [31]

Über die Fortschritte in der Fortbildung unterrichtet werden.
im Rahmen der Chemisch-Physikalischen Gesellschaft das nach ihm benannte Lecher-System mit der Lecher'schen Originalapparatur vorführen durfte, die nachher dem Technischen Museum der Stadt Wien übergeben wurde.

Lechers Nachfolger war Egon von Schweidler, der sowohl durch seine Arbeiten über die Anomalien der dielektrischen Erscheinungen, als auch durch bedeutende Arbeiten auf dem Gebiet der atmosphärischen Elektrizität bekannt war. Es ist verständlich, daß ich durch ihn viele Anregungen zu Arbeiten gleicher Gebiete erhalten habe. Auch interessierte ich mich für das physikalische Verhalten piezoelektrischer Kristalle hinsichtlich einer Änderung der Piezokonstante zufolge Einwirkung von Korpuskular- und Röntgenstrahlung, sowie für die Frequenzänderung von Schwingkristallen als Folge einer Strahlungseinwirkung.

Vor meiner Habilitation 1932 arbeitete ich drei Monate im Siemens-Laboratorium in Berlin, um röntgentechnische Arbeitsmethoden zu lernen. Später ging ich aus gleichen Gründen nochmals drei Monate zu Prof. Schiebold nach Leipzig.

Da ich mich immer wieder mit Schwingquarzen befaßte, lag es nahe, mich für Ultraschall zu interessieren, ein Gebiet, das ich noch heute mit Dissertanten bearbeite. Schalloptik, Schallabsorption, Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten und Gasen wurden vorwiegend behandelt. Desgleichen wurden auch Untersuchungen an Festkörpern angestellt.

Seit 1945 bin ich auch mit der Leitung des Lehramtskandidatenpraktikums betraut. Auf Grund der Erfahrungen, die ich hier und im Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts machte, kam ich zur Erkenntnis, daß die Führung dieses Praktikums eine spezielle Methode verlangt und daß die bereits im Beruf stehenden Lehrpersonen durch eine alljährlich stattfindende Fortbildungswoche den Kontakt mit der Universität nicht verlieren dürfen. In Vorträgen und durch Exkursionen sollen sie

Abbildung 35: Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 3/4). *Quelle:* [31]

über die Fortschritte in der Forschung unterrichtet werden.

Im Mai 1962 wurde die 16. Fortbildungswoche im Rahmen des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts abgehalten. Parallel mit den Vorträgen für Physiker und Chemiker an höheren Lehranstalten laufen solche für Physiker und Chemiker an Hauptschulen. Durch eine Ausstellung werden die Teilnehmer an der Fortbildungswoche über neueste Lehrmitteleerzeugnisse informiert. Auch Unterrichtsvorführungen werden in das Programm der Fortbildungswoche aufgenommen.

In der letzten Fortbildungswoche hielt ich meinen 18. Experimentalvortrag.

Nächstes Jahr mache ich mein Ehrenjahr.

1942 Titel eines außerordentlichen Universitätsprofessors

1957 Extraordinarius für Experimentalphysik

1961/62 Präsidentin der Chemisch-Physikalischen Gesellschaft

Seit 1946 Präsidentin des Vereins zur Förderung des

physikalischen und chemischen Unterrichts.

1960 Leitung der Internationalen Fortbildungswoche Wien-

Salzburg, subventioniert vom Bundesministerium für

Unterricht und der O.E.B.C.

der Elementarladung gerade auf die schwierige Bestimmung des

Radius und der Dichte der Teilchen zurückgeführt wurde.

Von besonderem Interesse waren aber auch Untersuchungen des

Lichtdruckes an Teilchen von etwa 10^{-5} cm Durchmesser, die sehr

intensiver Lichtstrahlung ausgesetzt wurden. Es war ein Erlebnis

zu beobachten, wie diese kleinen Probekörper, die sich in den

von ihnen abgelenkten Licht je nach ihrer Größe verschieden-

farbig zeigten, Bewegungen sowohl in Richtung der Lichtstrahlen

als auch zum Licht hinausführten. Diese Erscheinungen, die

auf Lichtwirkung und μ -Krauswirkung zurückgeführt wurden, nannte

Ehrenhaft Photophoresis.

Im darauffolgenden Semester erhielt ich von Ernst Lecher Lecher

ein Thema zur Dissertation: "Über die Messung kurzer Zeiten

mit dem Helmholtzpendel."

Abbildung 36: Kurze Autobiographie von Franziska Seidl (Teil 4/4). Quelle: [31]

PROF. DR. FRANZISKA SEIDL

Kurzbiographie

- 1892 Geboren am 1. Juli, Schulen in Wien, Musikunterricht
- 1911 Ehe mit Gymnasialprofessor Wenzel Seidl
- 1916 Prof. W. Seidl fällt in der Isonzoschlacht
Franziska Seidl nimmt Studien in Wien auf, die sie
- 1923 am 8. Dezember mit der Promotion abschließt. Ihr
Doktorvater war Ernst Lecher. Sie wird seine
Assistentin mit 1. Jänner 1923
- 1932 Habilitation für Experimentalphysik. Die entsprechende
Abstimmung in der philosophischen Fakultät ist
einstimmig positiv ohne Stimmenthaltungen
- 1942 Verleihung des Titels außerordentlicher
Universitätsprofessor
- 1945 Am 25. September Betrauung mit der interimistischen
Leitung der physikalischen Institute
- 1958 Am 27. Jänner Ernennung zum außerordentlichen
Professor
- 1960 Leitung und Organisation einer großen OEEC-Tagung in
Wien und Salzburg
- 1963 Am 30. September Emeritierung nach Absolvierung eines
vollen Ehrenjahres
- 1968 Verleihung des großen Ehrenzeichens für Verdienste um
die Republik Österreich
- 1983 Verstorben am 14. Juni

Zahlreiche Experimente, von denen eine Auswahl heute gezeigt
wird, wurden für und mit Frau Prof. Seidl von Dr. E. Desoyer und
Dr. H. Tilgner entwickelt.
Für den Gedächtnisvortrag am 23. Juni 1992 wurden sie von
Dr. H. Tilgner und Dr. V. Berner überarbeitet und vorbereitet .

Wien, am 22. Juni 1992

Abbildung 37: Kurzbiographie von Franziska Seidl. *Quelle: [31]*

28. Oktober 1957

K o m m i s s i o n s b e r i c h t

betreffend Extraordinariat für Frau Univ. Doz. (a. P.) Dr. F. Seidl

Die Sitzung der Kommission fand am Freitag, den 25. Oktober 1957 10 Uhr vormittag im Bibliothekszimmer des Institutes für Radiumforschung unter dem Vorsitz des Dekans Prof. Kühn statt.

Weiter anwesend die Mitglieder der Fakultät:

Hofreiter

Karlik

Korninger

Schmid

Stetter

Thirring

Die Kommissionsmitglieder Schrödinger und Sexl hatten Prof. Thirring gebeten, ihr Fernbleiben zu entschuldigen und der Kommission ihr Einverständnis mit dem Antrag mitzuteilen.

Der Dekan berichtet, daß mit Wahrscheinlichkeit bei der Beratung des Budgets eine ao. Lehrkanzel für Experimentalphysik bewilligt werden dürfte. Die vorgeschlagene Kandidatin Frau Prof. F. Seidl würde aber mit Ende des Kalenderjahres 1957 wegen Erreichung der Altersgrenze als Staatsangestellte pensioniert werden; die Durchführung der Ernennung zum ao. Professor dauert erfahrungsgemäß längere Zeit, so daß ihre nach Aussage der Physiker sehr notwendigen Vorlesungen und Übungen während dieser Zeit entfallen würden. Das BMFU hat sich entgegenkommender Weise bereit erklärt, wenn ein diesbezüglicher Antrag vorliegt, die Ernennung sofort nach Bewilligung des Dienstpostens durchzuführen und vorher vorzubereiten. In der nächsten Fakultätssitzung, vor Weihnachten, wäre es dann zu spät. Die anwesenden Professoren fassen die in der Eingabe zur Schaffung einer Lehrkanzel für Experimentalphysik bereits ausgedrückte Nominierung von Frau Prof. Seidl als Vorschlag auf. Prof. Stetter und Thirring stellen den diesbezüglichen Antrag an die Fakultät.

Abbildung 39: Kommissionsbericht betreffend die außerordentliche Professur von Franziska Seidl (Teil 1/2). *Quelle:* [31]

Der Plan der Verleihung eines Extraordinariates an Frau Prof. Seidl liegt bereits lange zurück: ein diesbezüglicher Antrag ging bereits an das BMF mit einstimmigen Beschluß des Professorenkollegiums vom 15.III.1947. Mangels eines freien Dienstpostens konnte aber dem Antrag nicht Folge gegeben werden und auch weitere Bewerbungen in den darauffolgenden Jahren blieben erfolglos. Das Extraordinariat wurde dann seit dem Jahre 1954 in die Anträge für den Dienstpostenplan aufgenommen, zuletzt in den Dienstpostenplan für 1958 mit Bringlichkeitsstufe I/3 laut Beschluß der Kommissionssitzung vom 27.III.1957, von der Fakultät am 3.IV.1957 genehmigt. In dieser Eingabe wurde bereits zum Ausdruck gebracht, daß der Zweck des verlangten Extraordinariates, die praktische Ausbildung der Lehramtskandidaten aus Physik in der Technik des wissenschaftlichen Experiments, in einmaliger Weise durch die Unterrichtsveranstaltungen von Frau Prof. Seidl erfüllt wird und sie daher für dieses Extraordinariat in Aussicht genommen ist. Diesem Zweck dienen unter anderem auch die Vorträge und die Fortbildungswoche des Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, dessen Leitung Frau Prof. Seidl seit langen Jahren inne hat.

Außer dieser erfolgreichen, auch im Ausland immer wieder anerkannten, pädagogischen Richtung, hat Prof. Seidl auch eine umfangreiche wissenschaftliche Tätigkeit entwickelt (Postkörperphysik, Ultraschall usw.), über die das beiliegende Schriftenverzeichnis Auskunft gibt. Ein Curriculum vitae liegt ebenfalls bei.

Die Kommission kam zu dem einstimmigen Beschluß, Frau Prof. Seidl für das in Aussicht gestellte Extraordinariat für Experimentalphysik vorzuschlagen.


Prof. Dr. Georg Stetter

Prof. Dr. Hans Thirring

Abbildung 40: Kommissionsbericht betreffend die außerordentliche Professur von Franziska Seidl (Teil 2/2). Quelle: [31]

- 12.) Über die Einwirkung von Röntgen- und Röntgenstrahlen auf
Piezoquarz.
Wiener Akad. Ber. IIa, 142, 1933
- 13.) Elektrische Leitfähigkeit von Bernstein bei verschiedenen
Drucken
Franziska Seidl
Verzeichnis wissenschaftlicher Arbeiten
ZS.f. Physik, 81, 18, 1934
- 14.) Einwirkung von Röntgen- und Gammastrahlen auf piezoelektrische
1.) Neue Beobachtungen am selbsttönenden Kristall
Phys.ZS. 27, 816, 1926
2.) Der selbsttönende Kristall als thermischer Effekt
Ann.d.Phys. 84, 384, 1927
3.) Ein interessanter Sprung in einem Piezoquarz
Naturw. 17, 781, 1929
16.) Elektrische Leitfähigkeit von Paraffin durch
Röntgen und γ -Strahlen
ZS.f. Physik, 101, 234, 1936
17.) Kristallphotoeffekt an
5.) Adsorptions- und Phasengrenzpotential schwerangreifbarer
18.) Gläser
Elektrische Verhalten von Selbsterwärmungskristallen,
die in elektrischen Feld
Wiener Akademie Ber. IIa, 140, 67, 1931
6.) Das Zustandekommen und die Beeinflussung der fallenden
Charakteristik des Schwingkristalles
ZS.f. Physik, 71, 227, 1931
19.) Elektrische Leitfähigkeit von belasteten Piezoquarzen
ZS.f. Physik, 75, 486, 1932
8.) Piezoelektrische Bestimmung der Zerreißfestigkeit von
dünnen Metall- Quarz- und Glasfäden.
ZS.f. Physik, 75, 735, 1932
9.) Einfluß der Temperatur und der Feldstärke auf die elektri-
sche Leitfähigkeit von Bernstein.
ZS.f. Physik, 76, 565, 1932
10.) Bemerkung zu der Arbeit von A.D. Goldhammer: Über den Einfluß
von oberflächlichen Ladungen auf die Leitfähigkeits-
messungen schlecht leitender Substanzen.
ZS.f. Physik, 86, 274, 1933
23.) Elektrische Leitfähigkeit in festen Isolatoren
Forschung und Fortschritte 9, 253, 1933

Abbildung 41: Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten von Franziska Seidl (Teil 1/3).
Quelle: [31]

- 12.) Über die Einwirkung von Radium und Röntgenstrahlen auf Piezoquarze.
Wiener Akad. Ber. IIa, 142, 1933
- 13.) Elektrische Leitfähigkeit von Bernstein bei verschiedenen Drucken
ZS.f. Physik, 91, 318, 1934
- 14.) Einwirkung von Röntgen- und Gammastrahlen auf piezoelektrische Kristalle.
ZS.f. Physik, 97, 671, 1935
- 15.) Normaler Leitungstrom und Rückstandserscheinungen von festem Paraffin durch Gammastrahlung beeinflussten Paraffin.
ZS.f. Physik, 99, 695, 1936
- 16.) Elektrische Leitfähigkeit von mechanisch beanspruchten Seignettesalzkrystallen.
ZS.f. Physik, 101, 234, 1936
- 17.) Kristallphotoeffekt an verfarbtem Seignettesalz
ZS.f. Physik, 99, 633, 1936
- 18.) Das elektrische Verhalten von Seignettesalzeinkristallen, die in elektrischen Feld aus gesättigter Lösung auskristallisierten.
Wiener Akad. Anz., 11, 1936
- 19.) Elektrische Leitfähigkeit der erstarrten Schmelze von Seignettesalzkrystallen
Wiener Akademie Ber. IIa, 145, 515, 1936
- 20.) Beobachtungen des täglichen Ganges der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre in Fulpmes im Stubaital.
Wiener Akad. Ber. IIa, 146, 249, 1937
- 21.) Der normale Ladungstrom in Seignettesalzkrystallen
Phys. ZS. 39, 714, 1938
- 22.) Mechanische Schwingungen eines piezoelektrisch angeregten Quarzes
ZS.f. Physik, 112, 362, 1939
- 23.) Elektrische Leitfähigkeit flüssiger Dielektrika und ihre Änderung durch Ultraschall
ZS.f. Phys. 116, 359, 1940

Abbildung 42: Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten von Franziska Seidl (Teil 2/3).
Quelle: [31]

24.) Ultraschall und seine Anwendung (Beinhaltet Anordnung zur Beugung des Lichtes an U.S.-Wellen und Apparat für chemische und biologische Untersuchungen nach P.Seidl)
Österr.Chemikerzeitung Jhg.45,102,1942

25.) Über die Ausbreitung des Schallwellenfeldes in Flüssigkeiten
Acta Physica Austriaca, Bd.1,2,155,1947

26.) Über das seignettelektrische Verhalten von RbH_2PO_4 und CaH_2PO_4
Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen, Bd.1,4,432,1949

27.) Der gegenwärtige Stand der Messung der Schalleistung und der Schallintensität
Del Nuovo Cimento, Serie IX, Vol.VII, S.2

28.) Schallabsorption in beschallten Transformatoren 81
Acta Physica Austriaca Bd.5,4,504,1952

29.) Beobachtungen an mit Ultraschall erzeugtem Olsprudel
Acustica, Vol.II, 45,1952

30.) Schallabsorption in beschallten Transformatoren 81
Over Ultrasonore Trillingen, 1952

31.) Physikalisches zur Ultraschalltherapie des Ohres
Monatszeitschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie, Heft 4/5/6, Jhg.87, S.82, 1953

32.) Schalldurchgang durch den menschlichen Knochen
Acustica, Vol.3, S.224, 1953

33.) Anwendung der Schlierenmethode in der Strömungslehre
Acta Physica Austriaca, Bd.VII,4,1953

34.) Über die Einwirkung verschiedener Strahlenarten auf Piezoquarze und Schwingkristalle
Acta Physica Austriaca, Bd.I,3,1956, S.169

35.) Über das Verhalten von Quarzkristallen bei der Mikrohärtprüfung
erscheint in der 23. Acta Phys.Austr.

Österr.Patent auf das erste membranlose Kristalltelefon

Abbildung 43: Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten von Franziska Seidl (Teil 3/3)
Quelle: [31]. Hierbei handelt es sich nicht um eine vollständige Liste ihrer Publikationen. Ergänzend sind noch *Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption von Ultraschallwellen*, I. Teil, Math.phys. Semesterberichte, Bd. 8, (1961), S.47; *Eigenschaften und Wirkungen des Ultraschalls*, Physikal. Blätter, Jg. 18, (1962), S. 207 und das Österreichische Patent auf das erste membranlose Kristalltelefon zu erwähnen [3]. Dieses Kristalltelefon wird von Franziska Seidl bereits 1926 schriftlich erwähnt [5].

L e t t e r o f R e f e r e n c e .

I have been knowing Dr.phil. Franziska Seidl since she began her studies at the Vienna University and I had the opportunity of watching her progress as a student and as a young academic teacher. It is Dr. Seidl's merit to have introduced Supersonic Physics and technique into Austria and she is the first Austrian expert in this field.

The exercises on demonstrations of physical experiment (Demonstrations Praktikum) for teachers at secondary school are done under her direction and she performed much good work in improving the instruction of teachers.

During the war she bravely resisted all Nazi propaganda and after the V.K.D. it was her lot to run the institute after the Nazi director had left. Her work, done at that time under very difficult conditions proved her efficiency as well as her noble character.

Dr. Hans Thirring
wien 9., Strudlhofgasse 13

Professor and director of the
Institute of Theoretical Physics

17 Dec. 1951

Abbildung 44: Letter of Reference von Hans Thirring über Franziska Seidl. *Quelle:* [31]

Landesschulrat für Niederösterreich

587 47

Wien, am 23. M a i 194 9

Beilagen:

Sehr geehrte Frau Professor !

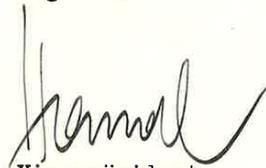
Der Landesschulrat für Niederösterreich ist sich der großen Verdienste wohl bewußt, die Sie sich bei der Durchführung der Fortbildungswoche für die Physiker und Chemiker des ho.Amtsbereiches erworben haben, und spricht Ihnen, hochgeschätzte Frau Professor, hiefür den wärmsten Dank aus. Das Bewußtsein, daß der Erfolg dieser Tagung nicht nur den Teilnehmern, sondern durch die Befruchtung des Unterrichtes auch der heranwachsenden Jugend zum Segen gereiche, möge Ihnen Lohn und Befriedigung für Ihre Mühe sein.

Mit dem Ausdrücke der vorzüglichen Hochachtung und Verehrung

ergebenst



Landesschulinspektor.



Vizepräsident.

Abbildung 45: Schriftverkehr zwischen dem niederösterreichischen Landesschulrat und Franziska Seidl. Quelle: [31]

Verehrte Frau Professor!

Nehmen Sie, bitte, in erster Linie
meinen herzlichsten Dank - nicht bloß einfach
in Worten - sondern einen tiefempfundeneren Dank
für all die Fürsorge, die da nötig ist, um diesen
herlichen Gedanken - die Jugend zu fördern, in-
dem die Lehrer gehoben werden - auch in die Tat
umzusetzen. Sie haben in mir Gedanken u. Gefühle
geweckt - wieder nachgerufen - seien Sie versichert,
auch ich werde diese hier gewonnen Anregungen
in die Tat umsetzen -

Darf ich aber auch noch ein anderes Kapitel
streifen. Es ist so erkenntlich und Sie sind ein lebendiger
Beweis dafür, daß eine studierte Frau nicht ihres Weib-
lichkeit zu entraten braucht, nicht Tradition u. Heimat
aufzugeben braucht und sich trotzdem u. sicherlich
deshalb so gut neben den Gelehrten, als ihresgleichen
zu stellen vermag. Möge Ihr verheerungswürdiges Bei-
spiel anderen nach Persönlichkeit zu streben!

Lange wird Gehörtes und Geschehenes in
mir nachklingen - haben Sie nochmals Dank!

In Verehrung Ihre

Martha Pilar
Laloburg
Georg-Kropfstr. 12

Darf ich gelegentlich um eine
Kurzbestätigung bitten -

30. 4. 1956 -

Abbildung 46: Schriftverkehr zwischen Martha Pilar und Franziska Seidl. Quelle: [31]

I. PHYSIKALISCHES INSTITUT
DER UNIVERSITÄT

WIEN

IX., BOLTZMANNGASSE Nr. 5

Wien, am 4. September 1945. 193

An das Staatsamt für Volksaufklärung, für Unterricht und
Erziehung und für Kultusangelegenheiten,
über das Dekanat der philosophischen Fakultät
der Universität

in Wien.

Da nach §24 in Verbindung mit §23, der am 19.7.1945
verlautbarten Verordnung vom 9.7.1945, St. G. Bl. No.76, die Ein-
richtung der apl.ao.Professoren aufgehoben ist, ersuche ich um
die Verleihung des Titels eines ao.Professors.

Meine Ernennung zum apl. Professor erfolgte am 24.IV. 1942.
Das Habilitationsfach ist Experimentalphysik.

Ich war ~~seit~~ der Verleihung des Titels eines apl.Prof.,
wie schon vorher, Abteilungsvorstand am I. Physikalischen Insti-
tut der Universität, richtete ein Ultraschalllaboratorium ein
und ließ von Dissertanten, von mir gestellte Themen meines For-
schungsgebietes bearbeiten.

Meine Forschungsgebiete sind: Ultraschall, Schalloptik,
Schwingkristalle und Röntgenstrahlen.

Da ich mit dem gesamten Lehrbetrieb aus Physik für Medi-
ziner betraut war, der aus Vorlesungen und Praktikum bestand,
stattete ich das Praktikum gänzlich neu mit modernen Meßinstru-
menten und Apparaten aus. Ich hatte auch die Rigorosen und die
vorärztlichen Prüfungen aus Physik abzuhalten und wurde des öf-
teren zum Vorsitz bei den Prüfungen aus Physiologie und Chemie
herangezogen.

Im Sommersemester 1945 wurde mir die Hauptvorlesung für
Physiker, Chemiker u. Pharmazeuten aus Experimentalphysik über-
tragen und auch das Physikalische Praktikum für Pharmazeuten,
sowie das Praktikum vorgeschrittener für Physiker.

Ferner möchte ich noch meine Tätigkeit als Obmann des
Vereines zur Förderung des Physikalischen und chemischen Unter-
richtes erwähnen.

Zahl: 945(10) aus 1944/45

Gesehen!

Wien, am 4. Sept. 1945
Der Dekan der philos. Fakultät

Gummy

F. Seidl

*Dr. Franziska Seidl
am I. Phys. Inst. d. Univ.
Wien, IX., Boltzmannsg. 5.*

Abbildung 47: Brief an das Staatsamt für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten um um die Verleihung des Titels ao. Prof. anzusuchen. Quelle: [31]

D e k a n a t
der philosophischen Fakultät
der Universität Wien.
Zl. 345 (10) aus 1944/45.

Wien, am 27. August 1945.

An Herrn
Prof. Dr. **Franziska Seidl**
in Wien.

Zu Erlass des Staatsamtes für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten, Z. 2338/III/4a/45, vom 24. Juli 1945.

Nach § 24 in Verbindung mit § 23, der am 19.7.1945 verlaublichen Verordnung vom 9.7.1945, St.G.Bl.Nr.76, ist die Einrichtung der apl. ao. Prof. aufgehoben. Alle Ernennungen zu diesem Amte sind widerrufen.

War ein apl.ao.Prof. schon vor dem 13. März 1938 als Privatdozent tätig, so kann er die Tätigkeit als Privatdozent im Ausmass der früheren Lehrbefugnis wiederaufnehmen, wenn nicht ein Grund für das Erlöschen der *venia docendi* nach § 21 eingetreten ist.

Für apl.ao.Professoren, die die Lehrbefugnis als Privatdozenten erst nach dem 13. März 1938 erlangt haben, gilt dasselbe wie für Privatdozenten ohne Titel (§ 23) d.h. sie haben um Bestätigung im Wege des zuständigen Professorenkollegiums anzusuchen.

Es haben nunmehr alle Privatdozenten mit dem Titel eines apl.ao.Professors um die Verleihung des Titels eines ao.Prof. bis spätestens 31. Dezember l.J. anzusuchen.

Sie werden daher aufgefordert, ein diesbezügliches Ansuchen an das Staatsamt für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten im Wege des Dekanates einzureichen. In dem Gesuch sind folgende Daten anzuführen:

Zitierung obigen Gesetzes,

Datum und Zahl des Ernennungsdekretes des Reichsministeriums in Berlin ,
bzw. der Bestätigung als apl.Prof.,

Habilitationsfach,

Kurze Angaben über die wissenschaftliche Tätigkeit seit der Verleihung des Titels eines apl.Professors.

D e r D e k a n :

Abbildung 48: Erlass des Staatsamtes für Volksaufklärung, für Unterricht und Erziehung und für Kultusangelegenheiten. *Quelle: [31]*