

Technischer Bericht Nr. 104
des Heinrich-Hertz-Instituts
- Berlin-Charlottenburg -

Über die Klangerzeugung in Orgelpfeifen

von

Dipl. -Ing. HARTMUT ISING
aus Berlin

Von der Fakultät für Elektrotechnik
der Technischen Universität Berlin
zur Verleihung der akademischen Würde

Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

Berlin 1969

D 83



Über die Klangerzeugung in Orgelpfeifen

von

Dipl. -Ing. HARTMUT ISING
aus Berlin

Von der Fakultät für Elektrotechnik
der Technischen Universität Berlin
zur Verleihung der akademischen Würde

Doktor - Ingenieur
genehmigte Dissertation

Berlin 1969

D 83



Eingereicht am 18. Dezember 1968

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Februar 1969

1. Bericht: Professor Dr.-Ing. L. Gremer

2. Bericht: Professor Dr.-Ing. H. Gobrecht

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Literaturübersicht	5
2. Akustische Untersuchungen an der Versuchspfeife	10
2.1 Versuchspfeife	10
2.21 Mündungskorrekturen	13
2.22 Einfluß des pendelnden Strahls im Pfeifenmaul	14
2.3 Verluste	16
2.4 Impedanz der Pfeife	20
3. Optischer Versuchsaufbau	23
3.1 Wahl des Kontrastgases	23
3.2 Wahl der Optik	23
3.21 Schlierenoptik	23
3.22 Interferometeroptik	23
3.3 Beschreibung des Versuchsaufbaus	25
3.31 Fundament	25
3.32 Strahlengang der Interferometeroptik	25
3.33 Justiereinrichtung	28
3.34 Kohärenzlängen	28
3.35 Stroboskopische Betrachtung und Hochfrequenzfilmaufnahmen	28
3.4 Empfindlichkeit des Interferometers auf Schalldruck	30
4. Strahlbewegung	32
4.1 Synthese der Strahlbewegung aus einer erzwungenen und zwei freien Schwingungen	32
4.11 RAYLEIGH'sche Stabilitätsrechnung	34
4.2 Vergleich zwischen theoretisch und experimentell bestimmten Strahlformen	37
4.3 Theoretisch und experimentell bestimmte Strahlformen beim Vorläuferton	42
5. Anregung der Orgelpfeife	43
5.1 Phase zwischen Schallschnelle und Luftzufuhr	43

5.2	Nichtlinearität der Anregung	44
5.3	Messung der Schallerzeugung eines vor einer Schneide pendelnden Luftstrahls	46
5.4	Sirenenexperimente	50
5.41	Sirene am geschlossenen Rohreingang	51
5.42	Sirene am offenen Rohreingang	53
5.421	Sirene am offenen Rohreingang als Monopolquelle	53
5.422	Sirene am offenen Rohreingang als Dipolquelle	55
5.423	Sirene am offenen Rohreingang als Summe aus Monopol- und Dipolquelle	56
5.43	Anregung der Pfeife mit einer Sirene	57
5.5	Regelkreisschema	58
5.6	Berechnung der Pfeifenerregung	60
5.61	Monopolanteil der Pfeifenerregung	60
5.62	Dipolanteil der Pfeifenerregung	60
5.63	Gesamte Pfeifenerregung	61
5.7	Impedanz der Pfeifenerregung	61
5.71	Linearer Bereich der Anregungsimpedanz	61
5.72	Nichtlinearer Bereich der Anregungsimpedanz	65
6.	Zusammensetzung der Ortskurven	65
6.11	Nichtlinearer Bereich	65
6.12	Linearer Bereich	68
6.2	Vergleich zwischen theoretisch und experimentell bestimmten Werten	69
6.3	Überblasener Pfeifenton	72
7.	Näherungsmethode zur Bestimmung des optimalen Arbeitspunktes der Orgelpfeife	73
8.	Zusammenfassung	77
	Literatur	80

Über die Klangerzeugung in Orgelpfeifen

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem stationären Klang von labialen Pfeifen. Im Gegensatz zu Zungenpfeifen und Rohrblatteinstrumenten wie Klarinette und Oboe, wo die Zunge oder das Blatt eine Ventilsteuerung bewirkt, wird bei labialen Pfeifen der Luftstrahl selbst vom Schallfeld bewegt und erzeugt durch periodische Luftzufuhr in einem Resonator selbsterregte Schwingungen. Pfeifen dieser Art waren schon im Altertum bekannt und gebräuchlich. Auch die ersten Versuche, den Vorgang dieser Klangerzeugung zu erklären, liegen weit zurück.

1. Literaturübersicht

Bereits H. v. HELMHOLTZ gibt in seiner "Lehre von den Tonempfindungen" folgende Beschreibung des Vorganges: /1/

"Wie eine Gasflamme von jedem Luftstrom, der ihre Fläche trifft, fortgeweht und gegen die eine oder andere Seite geneigt wird, so auch der blattförmige Luftstrom an der Mündung einer Orgelpfeife. Die Folge davon ist, daß zur Zeit, wo die Oszillation der in der Pfeife enthaltenen Luftmasse die Luft durch die Enden der Pfeife eintreten macht, auch der blattförmige Luftstrom des Mundstückes nach innen geneigt wird, und nun seine ganze Luftmenge in das Innere der Pfeife treibt. Während der entgegengesetzten Schwingungsphase dagegen, wo die Luft durch die Enden der Pfeife austritt, wird auch das Luftblatt seine ganze Masse nach außen werfen. Dadurch wird nun bewirkt, daß gerade zu den Zeiten, wo die Luft in der Pfeife am meisten verdichtet ist, noch mehr Luft vom Gebläse hineingetrieben und die Verdichtung also auch das Arbeitsäquivalent der Luftschwingungen vergrößert wird, während