

# **Schriftenreihe zur Geschichte der Akustik**

**Heft 1**

**Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert –  
ein Streifzug durch die Geschichte der Akustik**

Prof. Dr. Peter Kötzsch  
Lehrstuhlinhaber für Technische Akustik i. R.  
Technische Universität Dresden

**Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)**

# Schriftenreihe zur Geschichte der Akustik

## Heft 1

### Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert - ein Streifzug durch die Geschichte der Akustik

Prof. Dr. Peter Köttsch  
Lehrstuhlinhaber für Technische Akustik i. R.  
Technische Universität Dresden

#### Herausgeber:

**Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)**  
Voltastraße 5  
Gebäude 10-6  
13355 Berlin  
[www.dega-akustik.de](http://www.dega-akustik.de)

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.  
Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA), Berlin, 2010  
ISBN: 978-3-9808659-7-5

© 2010 by Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)

## Vorwort zur Schriftenreihe

Was heißt und zu welchem Ende studiert man Akustikgeschichte? Mit dieser Variation („Akustik“ statt „Universalgeschichte“) eines berühmten, von Friedrich Schiller behandelten Themas, wird hinterfragt, was seit einigen Jahrzehnten immer selbstbewusster als bedeutend erkannt wird: die kritische Beschäftigung mit der Geschichte von Naturwissenschaft und Technik.

Zahlreiche Einrichtungen und Aktivitäten belegen großes Interesse am nachzeichnenden Verständnis der historischen Entwicklung der Naturwissenschaften wie auch der Mittel, Wege und Bedingungen technischen Wandels. Dies gilt nicht nur für die „Universalhistoriker“, sondern insbesondere auch für die jeweilige Fachdisziplin selbst. Die dabei im Vordergrund stehenden Motivationen und Interessen sind freilich unterschiedlich.

Jedes zielstrebige Suchen nach neuer Erkenntnis und neuen Lösungen setzt ein fundiertes Wissen um frühere Erkenntnisse und Lösungen voraus. Auch die Geschichte von Akustik und technischer Akustik belegt dieses „aus der Geschichte lernen“ mit unzähligen Beispielen. Und so ist das Wissen um die historische Entwicklung akustischer Einsichten und Lösungen ein untrennbarer Bestandteil unserer ureigenen fachlichen Qualifikation.

Da die Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik aber auch unser gesamtes kulturelles und gesellschaftliches Leben wesentlich mitbestimmt, ist sie in den letzten Jahrzehnten auch Gegenstand der allgemeinen Geschichtswissenschaft geworden. Wohlklang und Missklang haben größten Einfluss auf unser Befinden wie auch auf die Freude, den Nutzen, die Akzeptanz und die Umweltverträglichkeit der Gegenstände unseres Alltags - und damit auf uns und unsere Geschichte.

Akustisches Geschichtswissen ist also beides: ein spezifisch fachliches und ein allgemein kulturelles Gut, und somit fester Bestandteil jeder guten Fach- und Allgemeinbildung.

Es ist deshalb höchste Zeit, der Geschichte der Akustik die ihr zukommende Aufmerksamkeit zu widmen und zu ermöglichen. Und genau dies tut die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) nun mit einer Schriftenreihe, die mit dem vorliegenden Heft beginnt und die mit weiteren Beiträgen in loser Folge fortgesetzt wird.

Am Anfang stehen dabei mehrere Hefte, die wir dem beharrlichen Interesse unseres Kollegen Peter Köttsch verdanken. Ausgehend von eigenen Studien und Recherchen hat er in zahlreichen spannenden Vorlesungen, Vorträgen und Aufsätzen das Material für eine bunte erste Heftfolge mit vielen Bildern zusammengetragen, die die DEGA nun als Schriftenreihe „Beiträge zur Geschichte der Akustik“ veröffentlicht.

Im Vordergrund dieser ersten Beiträge stehen die Leistungen „herausragender Akustiker“, die unser Fach in ganz besonderer Weise geprägt haben und so seine Entwicklung exemplarisch aufzeigen. Mit wachsender Zahl der Hefte wird das Mosaik dieser besonderen Beiträge herausragender Persönlichkeiten sich zu einem immer feineren Gesamtbild der historischen Entwicklung unseres Fachs zusammenfügen.

Daneben sollen später auch eher thematisch gekennzeichnete Entwicklungszusammenhänge beschrieben werden, die über Einzelpersonen zeitlich und inhaltlich hinausreichen. Denn neben großen Taten sind es häufig auch ganz andere, etwa soziale und kulturelle Bedingungen oder interdisziplinäre Anwendungen, die Fortschritt einfordern, Entwicklungen ermöglichen und unsere akustische Umwelt verändern. Man denke nur an Musik und Lärm, an die Vielfalt der Klänge, die uns umgeben.

Das Feld ist also weit, und ich bin mir sicher, dass dieses und die kommenden Hefte neben dem passiven auch ein aktives historisches Interesse wecken, das zu weiteren Beiträgen und Beteiligungen an der Schriftenreihe führen wird.

Zum Gelingen freilich braucht die Schriftenreihe vor allem eins: viele interessierte Leser, die der Geschichte unseres Fachs erst ihren Zweck, ihr „Ende“ (s.o.) geben können. Denn „immer hat Geschichte zwei Komponenten: das, was geschehen ist, und den, der das Geschehene von seinem Ort in der Zeit sieht und zu verstehen sucht (Golo Mann)“. Und der - für sich und sein Fach - so daraus lernt.

Ihm wünschen wir - neben aller Bildung - vor Allem viel Freude beim Lesen. Denn die lohnt jede Mühe, auch die beim Erstellen des Hefts. Und übertrifft jeden Dank, den wir hier gleichwohl mit Nachdruck all denen aussprechen, die diese Schriftenreihe ermöglicht haben. Im Namen der DEGA und aller Leser gilt dieser Dank in ganz besonderer Weise dem Verfasser, Prof. Peter Költzsch, der mit Fleiß und Energie die vielen Fakten und Bilder zusammengetragen hat.

Durchstreifen Sie diese mit Spaß und Einsicht, lassen Sie sich anstecken von der Freude an den Taten unserer fachlichen Vorfahren, lesen und lernen Sie aus der Geschichte der Akustik!

Joachim Scheuren  
Präsident der DEGA

## Mottos:

*Was ist die Wahrheit der Geschichte? Wie „es“ war, oder vielmehr wie A und B und M und N waren.*

Hartmut von Hentig (in: Golo Mann zum 70. Geburtstag, 1979), entnommen aus: H. Jäckel: Menschen in Berlin 2000

*Tradition ist Bewahrung des Feuers und nicht Anbetung der Asche.*

Gustav Mahler

*To understand a science, it is necessary to know its history.*

Autor unbekannt

*Ohne Erinnerung – keine Zukunft*

Seine Exzellenz Tomislav Limov, Botschafter von Bosnien-Herzegowina in der Bundesrepublik Deutschland am 11.7.2009

*Das Fach Wissenschaftsgeschichte dient der Selbstvergewisserung der Wissenschaft und ihrer einzelnen Disziplinen und entspricht damit dem kulturellen Auftrag der Universität. Wer studiert, muss auch einen fundierten Einblick in die Entstehung und Entwicklung seiner eigenen Fachdisziplin erhalten.*

Prof. Dr. Bernhard Kempen, Präsident des Deutschen Hochschulverbandes, März 2008

*It is interesting to note how many famous acousticians actually did major work in other fields: YOUNG in optics, HELMHOLTZ in optics, electricity, and thermodynamics; RAYLEIGH in many fields, including gases, electricity, and optics. And, very often, scientists, world-famous in other fields, have published one or two papers in acoustics ... noting the contributions to acoustics from such great names as EINSTEIN, DEBYE, SCHRÖDINGER, and SCHWINGER, to name a few.*

Robert. T. Beyer

*Je weiter man zurückblicken kann, desto weiter wird man vorausschauen.*

Winston Churchill

## Inhalt

Vorwort zur Schriftenreihe	3
Kap. 1. Einführung und Vorbemerkungen zu Heft 1	7
Kap. 2. Entstehung der Fachgebietsbezeichnung „Akustik“	12
Kap. 3. Zeittafel zur Geschichte der Akustik	18
Kap. 4. Zur Auswahl großer Wissenschaftler in diesem ersten Streifzug durch die Geschichte der Akustik	19
Kap. 5. Akustik in der Antike	25
Kap. 6. Pythagoras von Samos – „Alles ist Zahl“	25
Kap. 7. Akustik antiker Theater	39
Kap. 7.1. Marcus Vitruvius Pollio (Vitruv)	39
Kap. 7.2. Beispiele zu den Theatern der Antike	49
Kap. 8. Marin Mersenne – Mathematiker und Experimentator	65
Kap. 9. Athanasius Kircher - „in uno omnia“	81
Kap. 10. Akustische Preisträger wissenschaftlicher Akademien im 18. und 19. Jahrhundert	130
Kap. 11. Hermann von Helmholtz – „the intellectual giant“	133
Kap. 12. Georg von Békésy – der akustische Nobelpreisträger	166
Schlussbemerkungen	199
Literaturverzeichnis	203
Bildnachweis	206

## Kapitel 1.

### Einführung und Vorbemerkungen zu Heft 1

Es wird der Versuch gestartet, die Geschichte des Fachgebietes der Akustik in Form einer Schriftenreihe zu gestalten, die von der Deutschen Gesellschaft für Akustik herausgegeben wird. Dabei sollen die Inhalte der einzelnen Hefte von unterschiedlichster Art sein, d. h. die geplanten historischen „Bausteine“ sollen mosaikartig zum Gesamtbild des vielfältigen Entstehungs- und Entwicklungsgeschehens einer modernen physikalischen, technischen, psychoakustischen Fachdisziplin beitragen. Diese freie Gestaltungsmöglichkeit kommt einerseits der Gewinnung von Autoren und Mitstreitern entgegen, andererseits aber sicher auch dem unterschiedlichen Informationsbedürfnis zur Geschichte des Fachgebietes. Bei allen diesen Darstellungen soll berücksichtigt werden, dass mit dieser Schriftenreihe ein kulturhistorischer Beitrag zur Geschichte der Naturwissenschaften und Technik geleistet werden soll und dass diese Beiträge auch „unterhaltend“, anschaulich und bildend sein sollen.

Bei einigen der Streifzüge durch die Geschichte der Akustik soll der Grundsatz verfolgt werden, dass ein wissenschaftliches Fachgebiet immer von Personen betrieben und entwickelt wird, dass der Fortschritt im Fachgebiet und die Qualität der Erkenntnisse von den individuellen Leistungen der betreffenden Wissenschaftler bestimmt worden sind und dass sich damit die Entwicklung eines Fachgebietes aus der Summe dieser persönlichen Leistungen von Wissenschaftlern ablesen lässt. Diese Art der Streifzüge priorisieren also nicht direkt die Entwicklung des Fachgebietes Akustik oder einzelner Teilgebiete der Akustik, wie z. B. die Entwicklung des Telefons, die Entwicklung der Wellengleichung, die Entwicklung der Aeroakustik oder die Historie des Ultraschalls, sondern sie spiegeln nur indirekt alle diese Entwicklungen wider, und zwar durch die Mosaiksteine des biographischen, bibliographischen und wissenschaftlich-personengebundenen Materials der "Großen" des Fachgebietes. Kurz gesagt, diese Hefte der Schriftenreihe realisieren die Arbeitsmethode der Historiker, nicht auszuweisen, wie "es" war, sondern wie A und B und M und N waren, die "es" gestaltet haben (sinngemäß nach: H. v. Hentig in H. Jäckel „Menschen in Berlin“, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart/München 2000), oder, anders ausgedrückt (nach Plutarch): „*Denn ich schreibe nicht Geschichte, sondern zeichne Lebensbilder*“.

Bei den großen Wissenschaftlern der „akustischen Weltgeschichte“ werden sowohl Wissenschaftler berücksichtigt, die ein gesamtes Lebenswerk zum Fachgebiet Akustik vorzulegen haben, als auch Wissenschaftler, die nur mit wenigen, u. U. nur mit einer einzigen Arbeit zur Entwicklung der Akustik beigetragen haben. Wenn dabei in einer solchen Zusammenstellung selbst die größten Wissenschaftler der Menschheitsgeschichte, wie Leonardo da Vinci, Newton, Einstein, Debye, Schrödinger u. a. m. aufgeführt werden, so sollen diese Wissenschaftskoryphäen damit keinesfalls für das Fachgebiet der Akustik vereinnahmt werden. Es lässt aber die in der akustischen Wissenschaftsgeschichte (meines Wissens) bisher nicht untersuchte Erscheinung erkennen, dass sich zahlreiche dieser Ausnahmewissenschaftler auch mit besonderen akustischen Fragen beschäftigt haben. Des Wei-

### Entdeckung irrationaler Zahlen:

Aus dem Satz des Pythagoras konnte die Existenz irrationaler Zahlen abgeleitet werden. Wird in einem Quadrat mit der Seitenlänge 1 die Länge der Diagonale berechnet, so ergibt sich aus dem Satz des Pythagoras:  $1^2 + 1^2 = 2$ . Daraus folgt die Frage, ob die Länge dieser Diagonalen eine rationale Zahl ist, also durch einen Bruch  $p/q$  dargestellt werden kann. Die Pythagoreer wussten bereits, dass dies nicht möglich ist: der Pythagoreer Hippasos von Metapont (5. Jh. v. Chr.) soll bei geometrischen Betrachtungen am Pentagramm, dem Zeichen ihres Geheimbundes, diese Irrationalität von Zahlen entdeckt haben.

Die antiken Unterlagen berichten, dass das Weltbild der Pythagoreer durch diese Entdeckung der Irrationalität schwer gestört wurde. Es war für sie nicht vorstellbar, dass bei ihrem Grundsatz „Alles ist Zahl und Harmonie“ etwas existieren sollte, das als Zahl nicht ausdrückbar ist, das unmessbar ist, das der klaren Gesetzmäßigkeit ganzer Zahlen zuwiderläuft. Man folgerte deshalb, dass die Irrationalität wohl nicht zu den Zahlen gehört. Es wird auch berichtet, dass die Entdeckung irrationaler Zahlen zu einer Spaltung des Geheimbundes der Pythagoreer geführt hat. Und schließlich gibt es die Legende, dass dieser Pythagoreer Hippasos von Metapont, der die Irrationalität entdeckt hatte, als Verräter geächtet, aus der Gemeinschaft der Pythagoreer ausgestoßen und im Meer ertränkt worden ist. *Damit war das Weltbild der Pythagoreer gerettet!*

### Zur Astronomie der Pythagoreer:

Die Pythagoreer beschäftigten sich auch mit astronomischen Problemen. Sie bauten dabei auf mesopotamische und frühgriechische Erkenntnisse auf, fügten diesen aber auch eigene Überlegungen bzw. Beobachtungen hinzu. Insbesondere verknüpften sie ihr Wissen zu den Zahlenverhältnissen und der daraus abgeleiteten Harmonie mit den Bewegungen der Planeten.

### Zur Musiktheorie, zur Akustik:

„Alles ist Zahl“, „Alles ist Zahl und Harmonie“, „Die Zahl enthält alles andere, und es gibt ein Verhältnis aller Zahlen zueinander“. Diese, Pythagoras zugeschriebenen Aussagen (Iamblichos, Aristoteles, Aristoxenes) beschreiben die Grundthese des pythagoreischen Weltbildes. Diese Grundthese der Pythagoreer zu Zahl und Harmonie wurde mit Hilfe der Musiktheorie bestätigt: Sie experimentierten auf dem Monochord. Bei diesem ist über einen quaderförmigen Resonanzkörper eine Saite gespannt, die durch ein angehängtes Gewicht (über eine Rolle) gespannt wird. Mit einem beweglichen Steg konnte die Saitenlänge verändert werden.

Pythagoras untersuchte die Tonhöhe in Abhängigkeit von der Saitenlänge. Die durch Unterteilung der Saite erzeugten Töne stehen in bestimmten Proportionen zum ursprünglichen Grundton der ganzen Saite. Wird mit Hilfe des Stegs die Saite im Verhältnis 1/2 geteilt, wird die Oktave erhalten; bei der Teilung im Verhältnis 2/3 folgt die Quinte, beim Verhältnis 3/4 die Quarte. Die Pythagoreer schlussfolgerten daraus: Allen harmonischen Intervallen liegen einfache Zahlenverhältnisse zugrunde (siehe dazu auch das Werk von Euklid „*sektion canonis*“). Die Pythagoreer betrachteten also keine absoluten Tonhöhen, sondern Tonverhältnisse, die dem Verhältnis der Saitenlängen entsprechen.

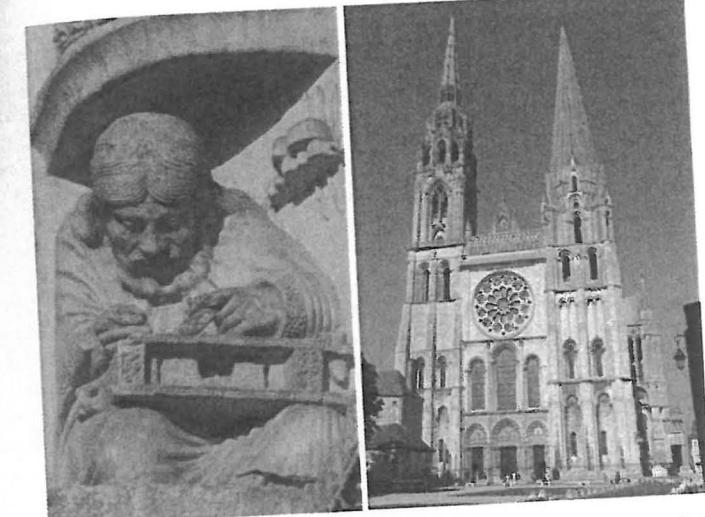


Bild 6.5:

Pythagoras mit dem Monochord, Skulptur an der Kathedrale von Chartres [by courtesy of Tilman Evers]  
rechts die Kathedrale von Chartres (Frankreich) [Foto: Roby]



Bild 6.6:

Musikalische Analysen, vorgeführt von Pythagoras  
Holzschnitt aus „Theorica musice“ von Franchinus Gaffurius  
(Franchino Gaffurio), Mailand 1492  
[by courtesy of Prof. Thomas J. Mathiesen, Thesaurus Musicarum  
Latinarum, Center for the History of Music Theory and Literature,  
Indiana University, Bloomington, USA]

Das sogenannte Pythagoreische Tonsystem ist ein Stimmungsprinzip in der Musik. Es kann – mit den später entwickelten Hilfsmitteln – auch aus dem Quintenzirkel abgeleitet werden: dieser wird durch den Aufbau von reinen Quinten (2:3) gebildet. 12 aufeinandergesetzte, reine Quinten umfassen den Tonraum von 7 Oktaven und ergeben alle Töne der chromatischen Tonleiter. Zwischen dem letzten Ton His und dem Ton C verbleibt allerdings eine Differenz: das ist das sogenannte "Pythagoreische Komma": Es berechnet sich aus dem Frequenzverhältnis:  $(3/2)^{12} / 2^7 = 1,013.643.265$ .

Zu diesem pythagoreischen Stimmungsprinzip gab es in den Jahrhunderten immer wieder Verbesserungsvorschläge, so z. B. im 15. Jahrhundert der Vorschlag des italienischen Musiktheoretikers Franchinus Gaffurius (in dem Werk "Practica musicae" 1496, siehe dazu auch das Bild 6.6) zu einer Aufteilung des pythagoreischen Kommas auf alle Quinten. Damit wird auf die Reinheit der Quinten verzichtet; dafür präferiert man die Reinheit der Terz (weite Verbreitung, vor allem bei den Tasteninstrumenten). Ab dem 17. Jahrhundert folgt dann die temperierte Stimmung mit der Aufteilung der Oktave in exakte 12 gleich große Intervalle (Halbtontschritte); damit ist nur die Oktave ein exakt reines Intervall, allerdings wird die geringfügige Unreinheit der anderen Intervalle vom Menschen nicht bemerkt. Sie wird u. a. von J. S. Bach erstmals 1722 in dem Werk „Das Wohltemperierte Klavier“ verwendet.

Die Pythagoreer prägten auch den Begriff der Tetrakty, eine Vierergruppe von Zahlen mit besonderer Bedeutung: bei ihnen war das die Tetrakty 1, 2, 3 und 4 mit der Summe 10. Diese Vierergruppe verbanden sie mit den von ihnen präferierten harmonischen Intervallen: die Quarte mit 4:3 (als Verhältnis der Saitenlängen beider Töne), die Quinte entsprechend mit 3:2, die Oktave mit 2:1. Diese Tetrakty gemalt, befindet sich in der Privatbibliothek Papst Julius II. im Vatikan.



Bild 6.7: „Die Schule von Athen“  
Gemälde von Raffael, im Vatikan, Rom 1510

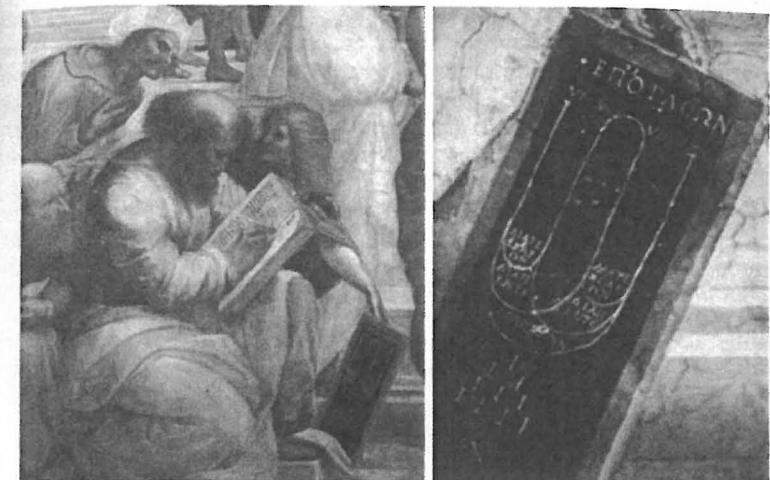


Bild 6.8: Ausschnitt aus dem Gemälde „Die Schule von Athen“ von Raffael  
Links: Pythagoras, ein Engel hält eine Tafel  
Rechts: auf der Tafel sind erkennbar: die pythagoreische Tonleiter und darunter die Tetrakty  $1+2+3+4=10$

In diesem Gemälde ist vorn links Pythagoras dargestellt, mit der Tonleiter des Pythagoras und der Tetrakty  $1+2+3+4=10$  (Darstellung der Dreieckszahlen). [Raffael hat hinter dem Pythagoras einen Araber dargestellt: es ist der arabische Arzt, Philosoph und Aristoteles-Kommentator Averroes (Ibn Rušd), der im 12. Jahrhundert in Cordoba und Marrakesch lebte. Dass Raffael diesen arabischen Wissenschaftler Averroes, der etwa 1.700 Jahre nach der Blütezeit der griechischen Antike gelebt hat, in sein Gemälde „Die Schule von Athen“ gesetzt hat, soll die Leistungen der arabisch-muslimischen Wissenschaftler des Mittelalters als Mittler der antiken Kultur in den Okzident und als Wissenschaftler mit eigenständigen Beiträgen würdigen.]

[Für das Folgende siehe auch: Harald Böttger "Harmonices mundi", Abschiedsvorlesung, gehalten am 27. Januar 2005 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Naturwissenschaften]

Nach Auffassung der Pythagoreer konnte durch die Erkenntnisse zu Zahl, Zahlenverhältnisse und Harmonie die Musik mathematisch exakt beschrieben werden. Damit wurde erstmals in der Wissenschaftsgeschichte eine Erscheinung aus der Natur mit den Mitteln der Mathematik codiert. Durch die pythagoreischen Erkenntnisse haben sich Töne als verkörperte Zahlen herausgestellt, qualitative Unterschiede werden auf quantitative zurückgeführt. Die Pythagoreer übertrugen diese Erkenntnisse auf die beobachteten Erscheinungen im Kosmos und – in kühner Weise – auch auf Ethik und soziale Ordnung der menschlichen Gesellschaft. Sie hielten die Zahlenverhältnisse der harmonischen Intervalle für kosmologische Invarianten. Zahl und Harmonie waren für die Pythagoreer das Weltprinzip, das die Ordnung in der Welt beherrscht.

Dazu einige Zitate:

Aus der „Metaphysik“ des Aristoteles:

„Die Pythagoreer erkannten die Eigenschaften und Verhältnisse der Harmonien in den Zahlen. Nachdem die Natur also schon hinsichtlich aller übrigen Aspekte durchweg Zahlen abzubilden und die Zahlen das Erste in der gesamten Natur zu sein schienen, nahmen sie an, dass die Elemente der Zahlen auch Elemente aller seienden Dinge seien und dass die ganze Welt Harmonie und Zahl sei. Und alle Entsprechungen, die sie bei den Zahlen und Harmonien in Bezug auf die Eigenschaften und Teile der Welt sowie hinsichtlich der ganzen Weltordnung fanden, verknüpften sie und banden sie in ihre Lehre ein.“

Und an anderer Stelle:

„Die Pythagoreer meinten, dass die Prinzipien der Mathematik auch die Prinzipien allen Seins darstellten. Nachdem aber von Natur aus die Zahlen in der Mathematik das Erste sind, meinten sie, in den Zahlen eine große Menge extremer Übereinstimmungen zu den seienden und werdenden Dingen zu erkennen, mehr als im Feuer, in der Erde und im Wasser. So sei eine Eigenschaft der Zahlen etwa die „Gerechtigkeit“, eine andere hingegen „Seele und Geist“.“

Und der Pythagoreer Philolaos von Kroton (5. Jhd. v. Chr.):

„Und in der Tat hat ja alles, was erkannt wird, Zahl; denn, dass sich ohne diese irgend etwas denken oder erkennen lässt, ist nicht möglich.“

Zu Pythagoras und zur Bedeutung der pythagoreischen Denkweise für die moderne Naturwissenschaft äußerte sich Werner Heisenberg [u. a. in: „Schritte über Grenzen. Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft“. Piper-Verlag München 1971] :

„Vielmehr soll der Weg genauer geschildert werden, der .... uns unmittelbar an die Probleme des Schönen heranbringt. Dieser Weg beginnt in der Schule des Pythagoras. In ihr soll der Gedanke entstanden sein, dass die Mathematik, die mathematische Ordnung, das Grundprinzip sei, von dem aus die Vielfalt der Erscheinungen verständlich gemacht werden könnte....

In diesem Schülerkreis [des Pythagoras] spielte – und das war für die spätere Zeit das Entscheidende – die Beschäftigung mit Musik und Mathematik eine wichtige Rolle. Hier soll von Pythagoras die berühmte Entdeckung gemacht worden sein, dass gleichgespannte schwingende Saiten dann harmonisch zusammenklingen, wenn ihre Längen in einem einfachen rationalen Zahlenverhältnis stehen. **Die mathematische Struktur, nämlich das rationale Zahlenverhältnis als Quelle der Harmonie – das war sicher eine der folgenschwersten Entdeckungen, die in der Geschichte der Menschheit überhaupt gemacht worden sind.**

Das harmonische Zusammentönen zweier Saiten ergibt einen schönen Klang. Das menschliche Ohr empfindet die Dissonanz durch die aus den Schwebungen entstehende Unruhe als störend, aber die Ruhe der Harmonie, die Konsonanz, als schön. Die mathematische Beziehung war damit auch die Quelle des Schönen.“

Dazu auch Galileo Galilei:

„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik abgefasst.“

Immanuel Kant:

„In jeder reinen Naturlehre ist nur so viel an eigentlicher Wissenschaft enthalten, als Mathematik in ihr angewandt werden kann.“

Und Oswald Spengler in „Der Untergang des Abendlandes“ (C. H. Beck München 1923):

„Als man im Kreise der Pythagoreer um 540 zu der Einsicht kam, dass das Wesen aller Dinge die Zahl sei, da wurde nicht ‘in der Entwicklung der Mathematik ein Schritt vorwärts getan’, sondern es wurde eine ganz neue Mathematik aus der Tiefe des antiken Seelentums geboren.....

Jener Ausspruch, dass die Zahl das Wesen aller sinnlich greifbaren Dinge darstelle, ist der wertvollste der antiken Mathematik geblieben. Mit ihm ist die Zahl als Maß definiert worden. Darin liegt das ganze Weltgefühl einer dem Jetzt und Hier leidenschaftlich zugewendeten Seele. Messen in diesem Sinne heißt etwas Nahes und Körperhaftes messen.“

Und abschließend (mit leicht kritischen Aspekten) Erwin Schrödinger in „Die Natur und die Griechen“ (Rowohlt Hamburg 1956):

„Die Grunddoktrin der Pythagoreer soll gewesen sein: ‚Dinge sind Zahlen‘, doch sagen manche Berichte, um das Paradoxon abzuschwächen, ‚Dinge sind wie Zahlen‘, analog den Zahlen. Wir wissen nicht wirklich, was mit diesem Grundsatz eigentlich gemeint war. Höchstwahrscheinlich entsprang er, als eine unkritische Verallgemeinerung von wirklich imponierender Kühnheit und Größe, der berühmten Entdeckung des Pythagoras, dass die Unterteilung der Saite im Verhältnis kleiner



Bild 6.9: Denkmal des Pythagoras in Pythagoreio (Samos)  
[Foto: Wolfgang Volk, Berlin, mit freundlicher Genehmigung]

*ganzer Zahlen musikalische Intervalle hervorbringt, die, zur Harmonie eines Liedes komponiert, uns bis zu Tränen rühren können und sozusagen unmittelbar zur Seele sprechen. ..... Wahrscheinlich von Philolaos stammt das Gleichnis: die Seele sei die Harmonie des Körpers, sie gehöre zu ihm wie die Töne zum Musikinstrument, das sie erzeugt.“*

Zum Abschluss noch zwei Anhänge zu Pythagoras:

Erstens: die Pythagoras-Legende:

Pythagoras, an einer Schmiede vorbeikommend, hörte die Geräusche der schlagenden Schmiedehämmer. Er machte sich Gedanken über den harmonischen Klang der Hämmer. Nach dem Wiegen der Hämmer soll er festgestellt haben, dass vom schwersten Hammer der tiefste Ton erzeugt würde und dass bei vier Schmiedehämmern mit den Gewichtsverhältnissen 12:9:8:6 der Grundton und dazu die musikalischen Intervalle Quarte, Quinte und Oktave in diesem Klang der Hämmer auftreten.

Und zweitens: ein Sonett von Adelbert von Chamisso:

**Vom pythagoreischen Lehrsatz**

*Die Wahrheit, sie besteht in Ewigkeit,  
Wenn erst die blöde Welt ihr Licht erkannt;  
Der Lehrsatz nach Pythagoras benannt  
Gilt heute, wie er galt zu seiner Zeit.  
Ein Opfer hat Pythagoras geweiht  
Den Göttern, die den Lichtstrahl ihm gesandt;  
Es taten kund, geschlachtet und verbrannte,  
Einhundert Ochsen seine Dankbarkeit.  
Die Ochsen seit dem Tage, wenn sie wittern,  
Daß eine neue Wahrheit sich enthüllte,  
Erheben ein unmenschliches Gebrüll;  
Pythagoras erfüllt sie mit Entsetzen;  
Und machtlos sich dem Licht zu widersetzen  
Verschließen sie die Augen und erzittern.*

Adelbert von Chamisso

Im Folgenden soll nunmehr die Akustik der antiken griechischen und römischen Theater sowie – vorangestellt – ein für die Akustik relevanter Architekt der Antike, Marcus Vitruvius Pollio, behandelt werden.

## Kapitel 7.

### Akustik antiker Theater

Hier soll zunächst der römische Baumeister, Architekt und Ingenieur Vitruv vorgestellt werden, von dem über Beiträge zur Akustik der Theater als auch zu anderen akustischen Problemen berichtet wird.

#### Kapitel 7.1.

##### Marcus Vitruvius Pollio (Vitruv)

Vitruv lebte etwa im 1. Jhd. v. Chr. Zu seinen Lebensdaten gibt es nur sehr unscharfe Angaben (z. B. um 85 bis 22 v. Chr. bzw. um 55 v. Chr. - 14 n. Chr.). Er soll für den römischen Diktator und Feldherren Julius Cäsar Kriegsmaschinen gebaut haben, nach dessen Ermordung dann für das Heer des Kaisers Augustus. Vitruv gilt als Architekt der Basilika zu Fanum Fortunae; er soll am Bau des Wassernetzes der Stadt Rom mitgewirkt haben. Ihm wird dabei insbesondere zugeschrieben, dass er eine gewisse Ordnung für die verwendeten Rohrgrößen und für das gesamte Rohrnetz eingeführt hat.



Bild 7.1:

Proportionsschema der menschlichen Gestalt nach Vitruv, skizziert von Leonardo da Vinci, 1485/90, Venedig, Galleria dell' Accademia [Foto: Luc Viatour]

Von Vitruv stammen die Angaben zum Proportionsschema der menschlichen Gestalt, der sogenannte „Vitruvianische Mensch“, das der berühmten Skizze von Leonardo da Vinci aus dem 15. Jahrhundert zugrunde liegt.

Vitruv bedeutendstes Werk „*De architectura libri decem*“ (Zehn Bücher über Architektur) entstand etwa zwischen 33 und 22 v. Chr. Es ist die einzige überlieferte Schrift der Antike über Architektur und Baukunst. Vitruv widmete das Werk dem Kaiser Augustus. Die bisher älteste bekannte Abschrift stammt aus dem 9. Jahrhundert; insgesamt sind bisher über 50 Handschriften dieses Werkes gefunden worden. Die erste Druckausgabe erschien 1486 in Rom, jedoch ohne Abbildungen, 1511 dann erstmals mit 136 Holzschnitten. Die erste Ausgabe in deutscher Sprache ist aus dem Jahre 1548 bekannt. Vergleicht man die verschiedenartigen Ausgaben des Vitruvschen Werkes, über die Jahrhunderte gesehen, so fallen insbesondere die sehr unterschiedlichen bildlichen Darstellungen auf, wie das weiter unten anhand der antiken Theater gezeigt wird. Vitruvs Werk hatte ursprünglich keine Illustrationen; diese wurden erst in die Druckfassungen im ausgehenden Mittelalter, insbesondere in der Renaissance, eingefügt.

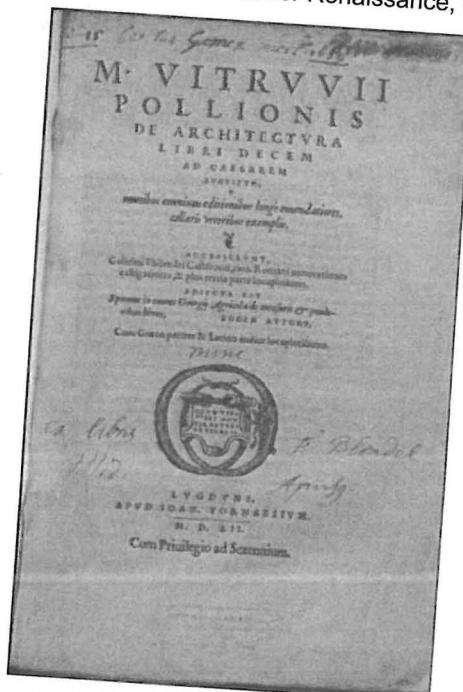


Bild 7.2: Vitruvs Hauptwerk in einer lateinischen Ausgabe von 1552:  
Vitruvius, Marcus Pollio: „*De architectura libri decem ad Caesarem Augustum, omnibus omnium editionibus longé emendatores, collatis veteribus exemplis*“. Lyon: Tournes, 1552, 447 Seiten.  
[Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]

In diesem Werk „*De architectura libri decem*“ erläutert Vitruv die antike Baukunst; er bewertet und beschreibt die klassisch griechische und die zeitgenössische römische Architektur. Er zitiert frühere Baumeister und deren Leistungen: das Buch gilt als Schlüssel zum Verständnis antiker Baukunst. Das Werk enthält auch Hinweise zur Akustik der Theater und zur Akustik durch Tongefäße.

#### Zur Akustik:

Die Aussagen zur Akustik in dem Werk „*De architectura libri decem*“ beziehen sich u. a. auf die Schallausbreitung im Theater („Das Theater und dessen gesunde Anlage“), zum Vergleich der Schallausbreitung mit den Wellen auf einer Wasseroberfläche, zu den Reflexions- und Echoerscheinungen des Schalls, zur Lehre von der Harmonie (Tonlage der Stimme, Tonleiter, Intervalle, Stimmungen, Konsonanzen), zur Wasserorgel.

Der Vitruv zugeschriebene Vergleich zwischen den Wasserwellen und den Schallwellen ist im 3. Kapitel des 5. Buches enthalten:

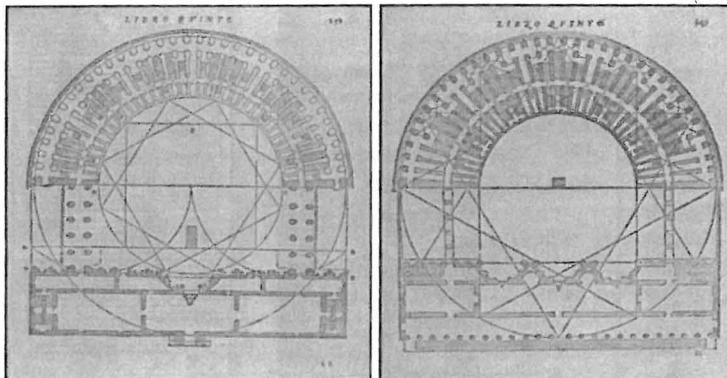
„Die Stimme aber ist ein fließender Hauch und in Folge der Luftbewegung durch das Gehör vernehmlich; sie bewegt sich in unendlichen kreisförmigen Rundungen fort, wie in einem stehenden Wasser, wenn man einen Stein hineinwirft, unzählige Wellenkreise entstehen, welche wachsend sich so weit als möglich vom Mittelpunkte ausbreiten, wenn nicht die engste Stelle des Wassers sie unterbricht, ....; denn so bringen die ersten Wellenkreise, wenn sie durch Störungen unterbrochen werden, zurückwogend die Kreislinien der nachfolgenden in Unordnung.“

Nach demselben Gesetze bringt auch die Stimme solche Kreisbewegungen hervor, aber im Wasser bewegen sich die Kreise auf der Fläche bleibend nur in der Breite fort; die Stimme aber schreitet einerseits in der Breite vor und steigt andererseits stufenweise in die Höhe empor. Wenn also, wie im Wasser bei den Kreislinien der Wellen, so auch bei der Stimme keine Störung die erste Welle unterbricht, so bringt diese weder die zweite, noch die folgenden in Unordnung, sondern alle gelangen ohne Widerhall zu den Ohren der ganz unten und der ganz oben Sitzenden.“

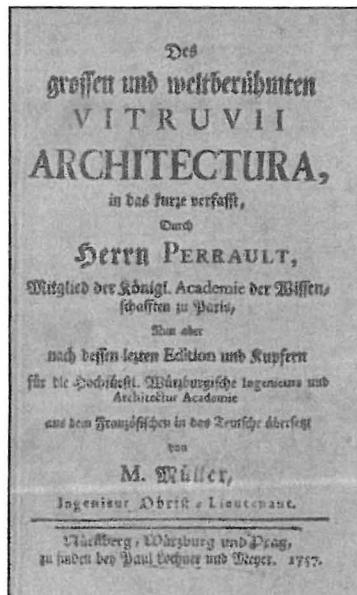
#### Zur Akustik der Theater:

Das Buch (in einer Ausgabe aus dem Jahre 1865/1908) enthält die Kapitel „Das Theater und dessen gesunde Anlage“, „Die Lehre von der Harmonie“, „Die Schallgefäß des Theaters“, „Die Gestaltung des Theaters“, „Das Theater der Griechen“, „Über die Wahl zusammenklingender Plätze für die Theater“ und „Die Säulenhallen hinter der Bühne und die Promenaden“.

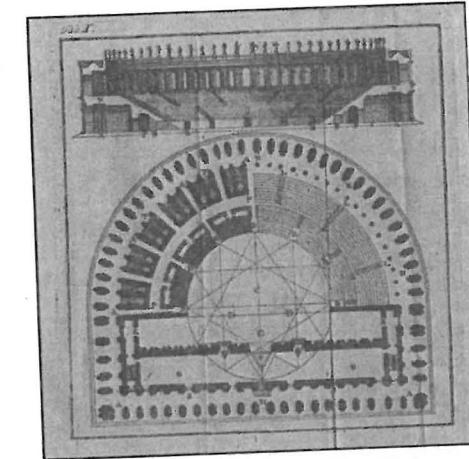
Im Folgenden sollen zunächst, wie bereits angedeutet, einige Darstellungen zu den Theaterformen (griechisch – römisch) aus den unterschiedlichen Auflagen des Vitruvschen Werkes gezeigt werden.



**Bild 7.3:** Darstellung des griechischen und römischen Theaters aus einer italienische Ausgabe von 1629: Vitruvius: „I dieci libri dell' architettura“. Korrigierte und ergänzte Neuauflage der Ausgabe Venedig 1567. - Venedig: Vecchi 1629, 506 Seiten. [Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]



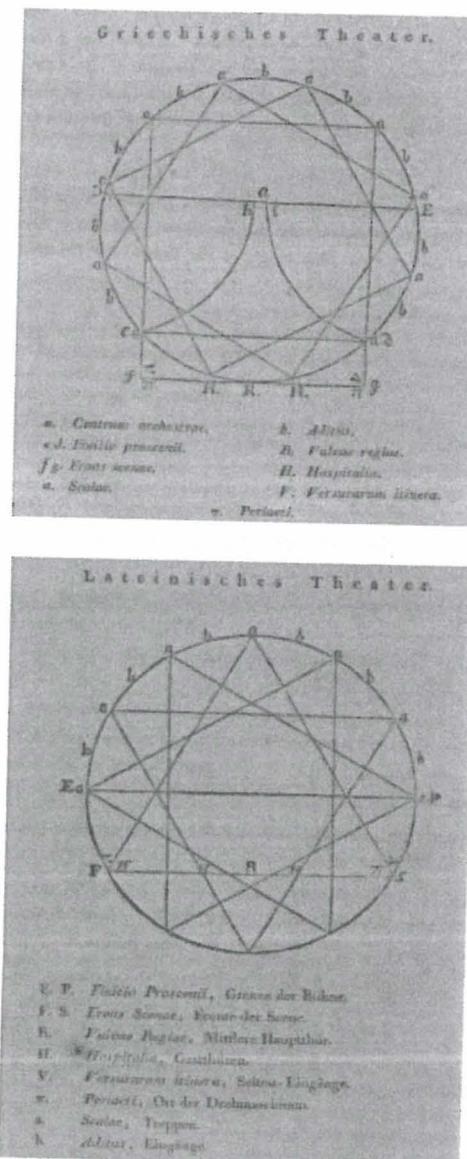
**Bild 7.4:** Deutsche Übersetzung einer französischen Kurzausgabe des Vitruvschen Werkes von 1757 „Des grossen und weltberühmten Vitruvii Architectura“. Paul Lochner und Meyer, Nürnberg, Würzburg und Prag 1757, 167 Seiten und 10 Kupfertafeln. [Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]



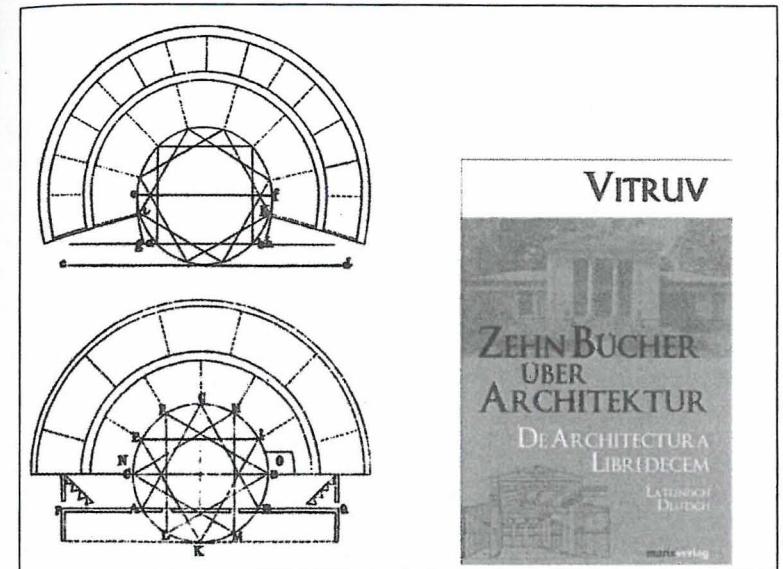
**Bild 7.5:** Darstellung eines römischen Theaters aus dem Werk „Des grossen und weltberühmten Vitruvii Architectura“, siehe dazu Bild 7.4. [Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]



**Bild 7.6:** Deutsche Ausgabe des Vitruvschen Werkes: „Des Marcus Vitruvius Pollio Baukunst: aus der römischen Urschrift „Des Marcus Vitruvius Pollio Baukunst“ übersetzt von August Rode“. G. J. Göschen, Leipzig 1796. [Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]



**Bild 7.7:** Schematische Darstellung des griechischen und römischen (lateinischen) Theaters aus dem Werk „Des Marcus Vitruvius Pollio Baukunst: aus der römischen Urschrift übersetzt von August Rode“, siehe dazu Bild 7.6  
[Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]



**Bild 7.8:** Grundriss-Skizze eines griechischen und eines römischen Theaters.  
Aus: „De architectura libri decem“ von Vitruv. Deutsche Ausgabe (nach der Fassung von 1865/1908), Marix-Verlag GmbH Wiesbaden 2009

Im 5. Buch vermittelt Vitruv seine Erkenntnisse zum Theater, für das im Forum ein Ort auszuwählen ist, „der möglichst gesund ist, .... denn die Bürger werden, die ganze Zeit hindurch mit Weib und Kind bei den Spielen sitzend, durch die Ergötzung gefesselt .....“. Man muss sorgfältig „sein Augenmerk darauf richten, dass der Ort nicht dumpftönend sei, sondern dass an demselben die Stimme sich möglichst hell ausbreiten könne. Dies wird aber geschehen können, wenn ein Ort ausgewählt ist, wo die Stimme nicht durch Widerhall gestört wird.“

Vitruv beschreibt Angaben zur Höhe des Daches in Bezug auf die Schallausbreitung bis zu den höchsten Stufenreihen, zur Gestaltung des Bühnenhintergrundes und der Orchestra, zur Stufung der Reihen („Die alten Baumeister haben bei ihren Untersuchungen über das Steigen der Stimme, den Spuren der Natur folgend, die Stufenfolge der Theater eingerichtet und unter Beobachtung der Tonmessung der Mathematiker und der Gesetze der Musik es angestrebt, dass jede Stimme auf der Bühne heller und wohlklingender zu den Ohren der Zuschauer gelange. .... So sind auch die Einrichtungen der Theater, nach den Gesetzen der Harmonie zur Verstärkung der Stimme berechnet, von den Alten festgestellt worden.“), zur Bühnenerhöhung, Angaben zum Baumaterial, über die Stimmwirkungen an unterschiedlichen Plätzen, über „misstönende Orte“, „rings auseinandertönende Orte“, „widerhallende und zusammenklingende Orte“ zu finden. „Wer also sich dieser Vorschriften bedienen wird, wird vorzügliche Theaterbauten zustande bringen.“

Vitruv werden auch Angaben zu Schauspielermasken mit Schalltrichtern (Sprachrohren) sowie zur Wirkung von paraboloidförmigen Deckengewölben zur Schallreflexion zugeschrieben.

#### Zu den Vasen des Vitruv:

In verschiedenen Abschnitten seines Buches und besonders in dem Kapitel „Die Schallgefäße des Theaters“ sind Angaben zu den „ehernen Gefäßen“ zu entnehmen:

„Die ehenen Gefäße in den Theatern, welche die Griechen Echeia (Resonanzen) nennen, die man in den Kammern unter den Sitzreihen in mathematischer Berechnung nach den Tonabständen aufstellt, werden nach musikalischen Akkorden oder Zusammenstimmungen geordnet, indem man die Quart, Quint und Doppeloktave im Umkreise verteilt, damit der Schall von der Bühne, sobald er der Verteilung der Gefäße entsprechend an dieselben anschlägt, durch Verstärkung vermehrt deutlicher und angenehmer zu den Ohren der Zuschauer gelange.“

Es werden unterschiedliche Anordnungen in kleinen und großen Theatern beschrieben. Zu ihrer Wirkung: „So wird nach dieser Berechnung die Stimme, von der Bühne aus wie von einem Mittelpunkte sich im (Halb)-Kreis verbreitend und durch die Berührung an die Höhlungen der einzelnen Schallgefäße schlagend, die Deutlichkeit erhöhen und durch die Klangverbindung eine entsprechende Konsonanz hervorrufen.“

Vitruv schreibt des Weiteren: "Wenn man aber fragt, in welchem Theater solche Schallgefäße angebracht seien, so können wir in Rom keines aufweisen, wohl aber in den Landschaften Italiens und in den meisten Städten der Griechen, auch haben wir als Gewährsmann den L. Mummius, der nach der Zerstörung des Theaters der Korinther die ehenen Schallgefäße nach Rom brachte und sie als Götteranteil von der Kriegsbeute weihend dem Tempel der Luna zueignete. Auch haben viele geschickte Baukünstler, welche in unbedeutenden Städten Theater errichteten, aus Mangel an Geldmitteln also tönende, irdene Fässer ausgewählt, und indem sie dieselben nach der angegebenen Berechnung zusammenstellten, die tüchtigsten Wirkungen erzielt."

In einer Fußnote wird in der Ausgabe des Vitruv-Buches von 1865/1908 an dieser Textstelle mitgeteilt, dass sich von den berüchtigten Schallgefäßen des Vitruv in den antiken Theatern zurzeit noch keine Spuren gefunden haben.

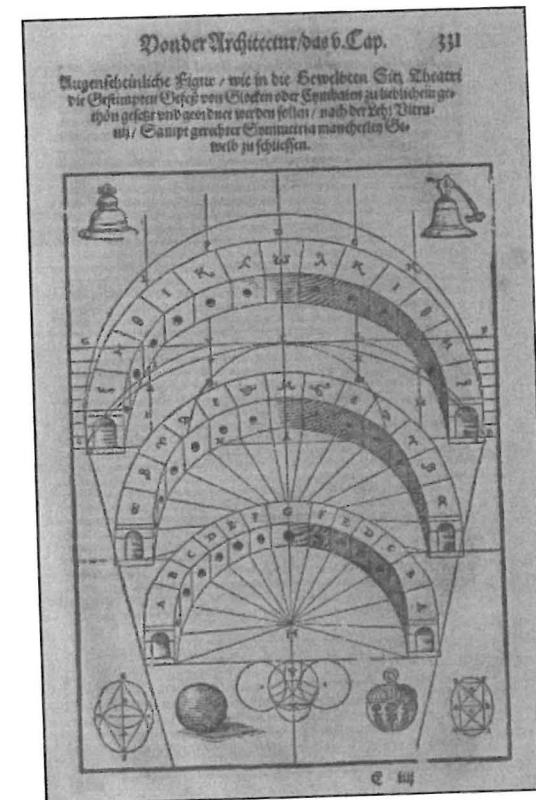


Bild 7.9:

Abbildung zu den Schallgefäßen im Theater, aus einer deutschen Ausgabe des Werkes von Vitruv „Zehen [zehn] Bücher von der Architectur und künstlichem Bauen: ein Schlüssel und eynleitung aller Mathematischen und Mechanischen Kuünst, Scharffsinniger fleissiger nachtrachtung opder Speculation künstlicher Werck ...“ Druck Sebastian Henricpetri, Basel 1614, S. 613 [Quelle: Bibliothek Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin]

Aber Vitruv beschreibt in seinem Werk im 16. Kapitel des 10. Buches noch eine weitere Anwendung von Schallgefäßen, und zwar für Kriegszwecke:

"Als bei der Belagerung von Apollonia die Feinde eine Mine gruben und so, ohne dass die Belagerten eine Ahnung davon hätten, in die Stadt einzudringen gedachten, die Apolloniaten aber durch Kundschafter davon in Kenntnis gesetzt worden waren, verloren diese, durch die Nachricht aus der Fassung gebracht und in Folge des Schreckens ganz ratlos, vollständig den Mut. Weil sie weder wissen konnten, wann, noch wo die Feinde hervorbrechen würden. Da ließ der Alexandriner Trypho, der dort als Architekt sich niedergelassen, innerhalb der Mauern mehrere Gegenminen ziehen und so den Boden durchfurchend dieselben noch

etwa eine Pfeilschussweite über die Mauern hinaus führen, in allen aber Bronzegefäße aufhängen. In einem von diesen Stollen nun, welcher die Mine der Feinde kreuzte (d. h. wohl oberhalb der feindlichen Mine hinwegführte), begannen die aufgehängten Gefäße bei den Schlägen der eisernen Arbeitsgeräte der Feinde zu tönen, und daraus erkannte man, in welcher Richtung die Feinde ihre Mine trieben und einzudringen gedachten. Als so die endliche Bestimmung des Stollens erkannt war, ließ er Bronzegefäße mit heißem Wasser und Teer über den Köpfen der Feinde und Menschenkot und glühenden Sand zusammenbringen, dann nachts zahlreiche Löcher in die Mine bohren und plötzlich alles durch dieselben hinabgießen, wodurch er alle Feinde, die in der Mine waren, tötete."

#### Akustische Erläuterungen zu den „Vasen des Vitruv“:

Über diese Art von Schallgefäßen wird aus antiken Theatern berichtet, aber auch aus Kirchen des Mittelalters und späterer Jahrhunderte. Sie waren aus Bronze, Ton oder Stein gestaltet; ihre Formen waren hinsichtlich des Gefäßvolumens und des Gefäßhalses sehr unterschiedlich. Sie könnten jeweils als akustische Resonatoren (Helmholtz-Resonatoren) gewirkt haben.

Zur realistischen Einschätzung einer solchen Wirkungsweise wird aus dem Buch "Gute Akustik – aber wie?" von Prof. Walter Reichardt von der Technischen Universität Dresden sinngemäß zitiert („Gute Akustik, aber wie? Gespräche eines Experten für Raumakustik mit Konzert- und Theaterbesuchern, Dirigenten, Schallplattenfreunden, Architekten und Tontechnikern“. VEB Verlag Technik Berlin 1979):

In den antiken Freilufttheatern wurden in der Nähe der vorderen Sitzreihen „Tonvasen“ eingebaut, die auf verschiedene Tonhöhen abgestimmt waren. Was sie akustisch bewirkt haben sollen, ist nicht überliefert. Wir wissen heute, dass es sich um ‚HELMHOLTZ-Resonatoren‘ handelt, die einerseits verstärkende Wirkung haben (bei geringer Eigendämpfung), andererseits aber auch dem Schallfeld Energie entziehen, die dann bei größeren Dämpfungen in der Eigenschwingung des Resonators vernichtet wird (Dissipation, Umwandlung in Wärmenergie).

Die durch Ausgrabungen gefundenen Vasen waren auf die tiefen Lagen der menschlichen Stimme abgestimmt. Das macht in Innenräumen Sinn, da in den Vokalen (tiefe Lage) viel mehr Schallenergie enthalten ist als in den hochfrequenten, schwächeren Konsonanten, Zischlauten, An- und Ablauten, so dass damit die Sprachverständlichkeit verbessert werden kann.

Was sollten aber diese Resonatoren im Freien? Hier kann man sich nur vorstellen, dass echoartige Rückwürfe (von Gebäudeteilen, von der Szenenrückwand u. a.) mit Hilfe der Tonvasen abgeschwächt werden sollten.

Dass diese „akustischen Vasen“ in Kirchen des Mittelalters und der frühen Neuzeit tatsächlich verwendet worden sind, beschreibt u. a. Victor Desarnaulds in seiner Dissertation (Lausanne 2002). Beispiele aus dieser Arbeit sind im folgenden Bild dargestellt.

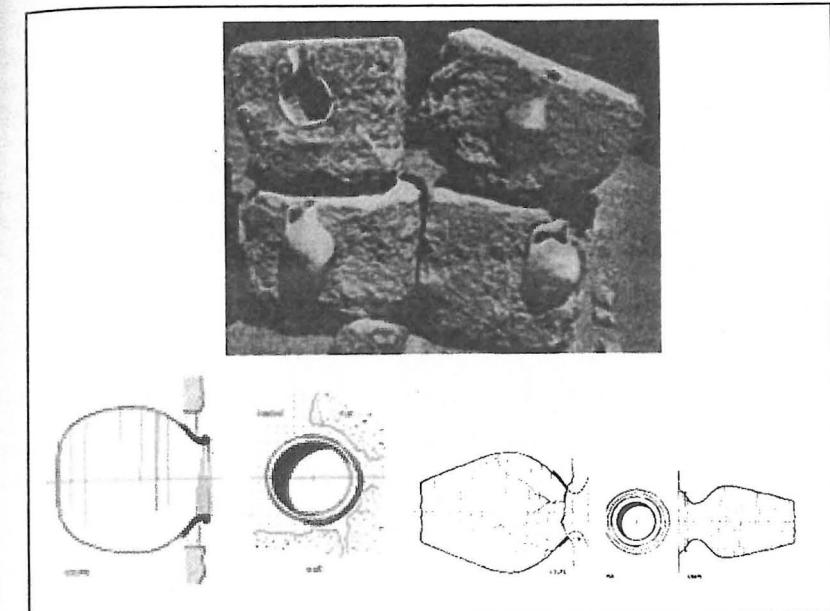


Bild 7.10: Akustische Vasen eingebaut in Steinblöcke (Wände, Gewölbe) romanischer und gotischer Kirchen des 11. bis 16. Jahrhunderts, Aus: V. Desarnaulds, Dissertation Lausanne 2002 [mit freundlicher Genehmigung von Dr. Desarnaulds]

## Kapitel 7.2.

### Beispiele zu den Theatern der Antike

Mit einigen Beispielen griechischer und römischer Theater der Antike, deren Vergleich und der Beschreibung ihrer akustischen Eigenschaften, soll zur Entschleierung des Mythos der Akustik dieser antiken Theater beigetragen werden. Beginnen wir mit dem Theater von Epidauros im Süden Griechenlands, auf der Halbinsel Peloponnes.

#### Theater von Epidauros (Griechenland):

Als Architekt dieses Theaters wird Polyclitos, der Jüngere, ein Bildhauer, angegeben. Er wirkte im 4. Jhd. v. Chr. (435 – 360 v. Chr.). (Sein Vater, Polyclitos der Ältere, 480 – 420 v. Chr., war gleichfalls ein berühmter Bildhauer der Antike.) Polyclitos dem Jüngeren werden auch Ausführungen Korinthischer Kapitelle zugeschrieben (Archäologisches Museum Epidauros).



Bild 7.11: Korinthisches Kapitell, Bildhauer: Polykleitos der Jüngere  
[Quelle: Archäologisches Museum Epidauros] © 2000 Grisel Gonzalez  
(<http://www.grisel.net> All Rights Reserved; by courtesy of G. Gonzalez)

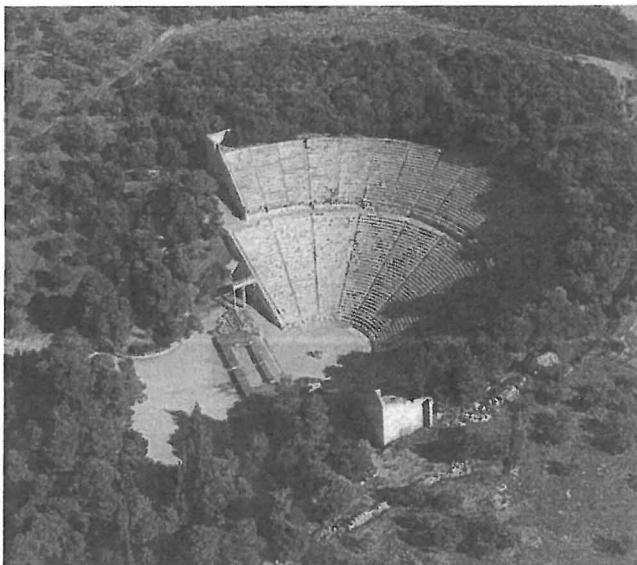


Bild 7.12: Theater von Epidauros

Das Theater von Epidauros wurde bereits im Altertum wegen seiner Symmetrie, Harmonie und Schönheit gepriesen, so z. B. durch den Schriftsteller und Historiker Pausanias:

*„Die Epidaurier haben im Heiligtum ein, wie ich meine, höchst sehnswertes Theater. Die römischen Theater übertreffen alle sonst bei weitem an prachtvoller Ausstattung, an Größe ... Was aber Harmonie und Schönheit betrifft, welcher Architekt könnte sich da verdient mit Polykleitos messen? Denn Polykleitos war es, der ... dieses Theater ... errichtete.“*

[nach MSN Encarta: Der griechische Schriftsteller und Historiker Pausanias bereiste im 2. Jahrhundert n. Chr. Griechenland, Italien sowie Teile Asiens und Afrikas. In seinem Hauptwerk „Periegesis tas Hellados“, ein Führer durch Griechenland, beschreibt er u. a. die Kunstwerke der griechischen Antike. Dieses Werk erwies sich als großartige Quelle für die Geschichte, Architektur, Kunst, Philosophie und Religion der Antike.]

Das Theater von Epidauros, errichtet im Heiligtum des Asklepios und eingebaut in einen Berghang, fasste etwa 14.000 Zuschauer. Es besteht aus 34 Sitzreihen im unteren Bereich (erbaut im 3. Jhd. v. Chr.) und weiteren 20 Sitzreihen im oberen Bereich (ergänzt im 2. Jhd. v. Chr.). Die kreisförmige Orchestra für den Auftritt des Chores hat einen Durchmesser von ca. 20 m. Die Schauspieler traten auf einer erhöhten Bühne, dem Proszenium, auf, die nach hinten durch das Bühnengebäude (Szenengebäude, Skene) abgeschlossen wurde. Die Entfernung der obersten Sitzreihen von der Orchestra beträgt ca. 60 m, die Höhe über derselben ca. 22 m. Dieses Theater von Epidauros wird wegen seiner ausgezeichneten Akustik gelobt.

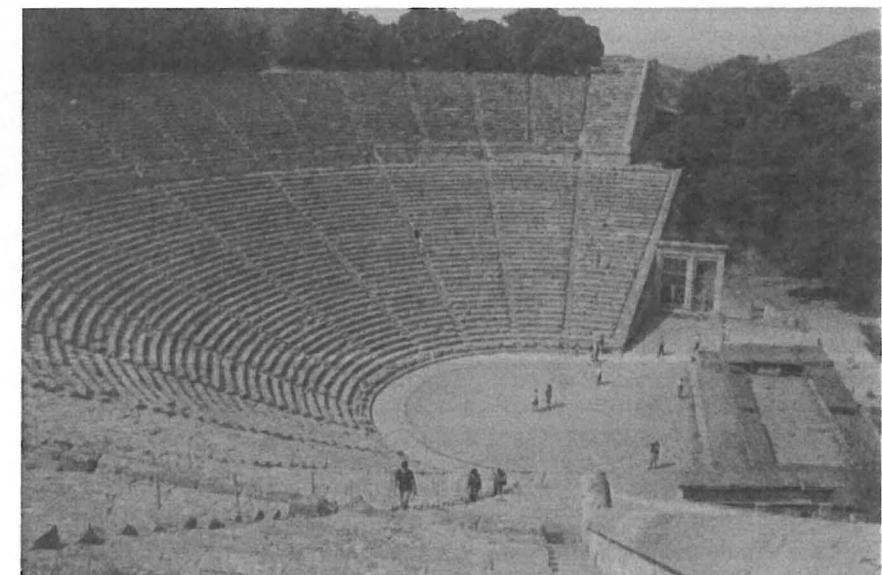
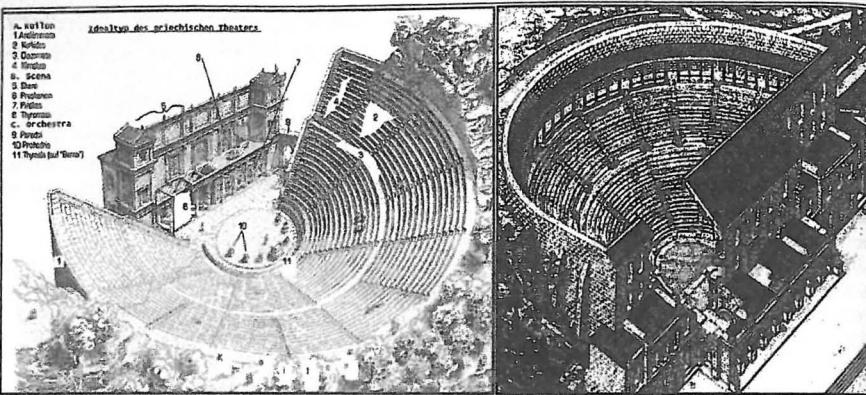


Bild 7.13: Theater von Epidauros, Orchestra und Zuschauerränge



**Bild 7.14:** Zur Akustik antiker griechischer und römischer Theater: Vergleich eines rekonstruierten griechischen mit einem römischen Theater:  
links: Rekonstruktion eines griechischen Theaters (Flammingo 2003)  
rechts: Rekonstruktion eines römischen Theaters  
(nach H.-J. Ederer, Vorlesungen zur Raumakustik)  
(siehe dazu auch die oben gezeigten Theaterskizzen aus dem Buch von Vitruv: Abbildungen 7.3, 7.5, 7.7 und 7.8)

#### Vergleich griechischer und römischer Theater sowie die akustisch-physikalischen Eigenschaften antiker Theater:

(nach H.-J. Ederer, G. Schroth und J. Meyer)

- Griechische Theater waren meist in einen natürlichen Bergabhang hineingebaut, sie waren größer und flacher als die römischen Theater. Das Kennzeichen des römischen Theaters war der deutlich größere Anteil umbauten Raumes, der auf die zunehmende Bedeutung der Sprachverständlichkeit in römischer Zeit schließen lässt.
- Die Theater hatten damals hinter der Bühne eine schallharte und hohe Bühnenrückwand sowie schallharte Bühnen-Seitenflächen und, besonders in römischer Zeit, einen schallharten und schalllenkenden (und damit schrägen) Überbühnenplafond und eine schallharte Zuschauerrückwand.
- Zwischen der Bühne und dem Publikum befand sich die sog. Orchestra, die als freie Fläche, sofern sie nicht durch einen Chor genutzt war, eine energetisch wichtige Bodenreflexion lieferte.
- Die Zuschauerränge waren sehr steil angeordnet. Damit hatte jeder Zuschauer freie Sicht auf die Bühne und die Orchestra, er konnte ungehindert die Schallreflexionen von der Orchestra empfangen.
- Die Bühne war meist erhöht angeordnet; die Akteure agierten zudem auf erhöhten Podesten. Dadurch konnten die Schallreflexionen von der Orchestra physikalisch voll genutzt werden.
- Bei bestimmten Anordnungen konnte auch eine Reflexion von der Bühnenrückwand (Skene) sowie eine Doppelreflexion von Rückwand und Bühnenfußboden auftreten.

Messungen zu den akustischen Reflexionen im Theater von Epidaurus ergaben Laufzeitverzögerungen dieser Rückwürfe von weniger als 30 ms gegenüber dem direkten Schall. Damit erklärt sich die große Deutlichkeit dieses Theaters (nach J. Meyer).

- Außerdem war der äußere Störschall sehr gering (zu Zeiten der Antike, aber auch wegen der abgesonderten Lage dieser Theater).
- Vereinzelt gab es Maßnahmen zur Tiefton-Schallabsorption in Bühennähe bzw. zur Schallverstärkung.
- Die Schauspieler verwendeten Theatermasken mit Schalltrichter. Alle Darsteller waren Männer, auch Frauenrollen wurden von Männern mit Schallmasken gespielt.

(Es gibt neuerdings auch die Vermutung, dass durch die regelmäßige Anordnung der Sitzreihen eine starke Dämpfung tief frequenter Schallenergieanteile in der Art eines Kammfilters auftritt und damit tieffrequente Störgeräusche gut unterdrückt werden. Siehe dazu Declercq/Dekeyser im Journal of the Acoustical Society of America 2007).

Das zu den akustischen Eigenschaften antiker Theater.

Nunmehr werden, nach dem eingangs bereits beschriebenen Theater von Epidaurus, noch einige weitere, gut erhaltene antike Theater erläutert.

#### Dionysos-Theater in Athen, am Hang des Felsens der Akropolis:

Die ersten Bauperioden (insgesamt neun) dieses griechischen Theaters stammen aus dem 6./5. Jhd. v. Chr., die steinernen Sitzreihen, in Richtung zur Akropolis aufsteigend, wurden um 330 v. Chr. errichtet. Das Theater umfasst 78 Sitzreihen (andere Angabe: 67?) mit etwa 17.000 Zuschauerplätzen, darunter 67 marmorne Ehrensitze (Prohedrie), u. a. für den Kaiser Hadrian. Des Weiteren gibt es eine großangelegte Orchestra (mit Marmorplatten belegt), das Bühnenhaus, zahlreiche Reliefs und eine Ausstattung mit Figuren.

Dieses Theater in Athen besitzt eine herausragende Bedeutung: hier wurde insbesondere nach den siegreichen Kriegen gegen die Perser – die griechische Theaterkultur geschaffen und vollendet. Die Tragödien von Aischylos, Euripides und Sophokles wurden hier aufgeführt. „Das Dionysos-Theater von Athen wurde zur Keimzelle und zum Ursprungsort des europäischen Theaters.“ (aus: Baedeker Griechenland).



Bild 7.15: Dionysos-Theater in Athen, am Hang des Felsens der Akropolis  
[Foto: BishkekRocks]

Theater Odeon des Herodes Atticus, gleichfalls am Hang des Akropolis-Hügels:

Dieses römische Theater aus dem Jahre 161 n. Chr. bietet auf 32, sehr steil ansteigenden Sitzreihen etwa 5.000 Zuschauern Platz. Es ist sehr gut erhalten, es wurde in den 1950er Jahren restauriert. Der römische Charakter zeigt sich in der geschlossenen Bebauung um die Spielfläche: Bühnenhaus mit Seitenflügeln, steile Zuschauerränge.

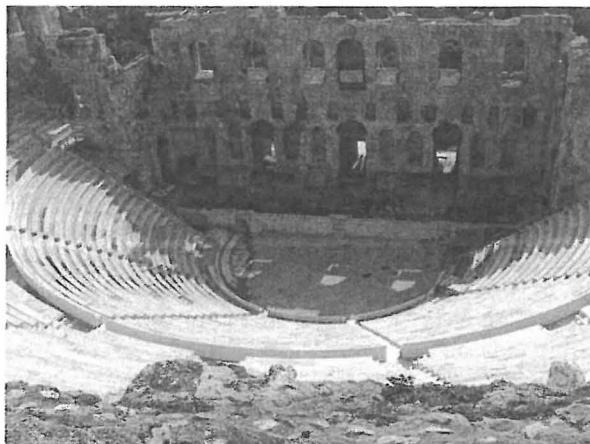


Bild 7.16: Theater Odeon des Herodes Atticus, gleichfalls am Hang des Akropolis-Hügels in Athen [Foto: Yair Haklai]

Theater von Pergamon (Westtürkei):

Dieses Theater in der heutigen Westtürkei ist das steilste Theater der Antike: der Anstieg der Sitzreihen beträgt etwa 40 m (senkrecht gemessen über der Orchestra). Der Zuschauerraum mit 80 Sitzreihen kann etwa 10.000 bis 15.000 Zuschauer fassen. Das Theater wurde Mitte des 3. Jhd. v. Chr. erbaut, ein Umbau (mit Vergrößerung) erfolgte im 2. Jhd. v. Chr., in der römischen Zeit.

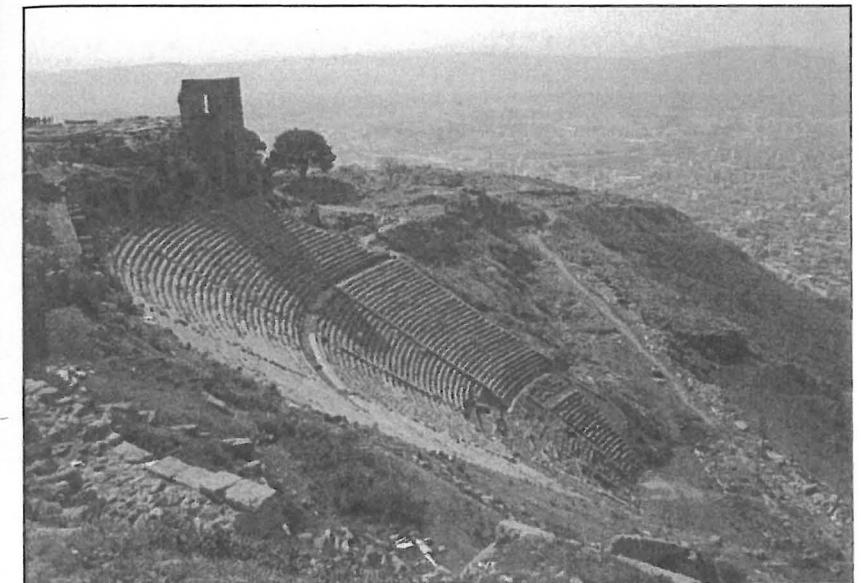


Bild 7.17: Theater von Pergamon (Westtürkei)

Theater von Pamukkale (Westtürkei):

Dieses römische Theater wurde unter Kaiser Severus (146 – 211 n. Chr.) erbaut. Es besitzt 52 Sitzreihen mit ca. 10.000 Zuschauerplätzen. Das Theater zeigt sich heute mit Orchestra, Proszenium und Skene in einem sehr guten Erhaltungszustand.

Theater von Ephesos (Westtürkei):

Dieses Theater ist eines der größten der antiken Welt mit etwa 25.000 Zuschauerplätzen. Ausgrabungen zeigen Reste eines hellenistischen Theaters aus dem 3. Jhd. v. Chr. Das heutige Große Theater wurde im 1. Jhd. n. Chr. begonnen, zu Beginn des 2. Jhd. unter Kaiser Trajan (98 – 117 n. Chr.) vollendet. Orchestra und Bühnenhaus (dreigeschossig) sind gut erhalten. Das Theater besaß im vorderen und seitlichen Bereich hohe Mauern.

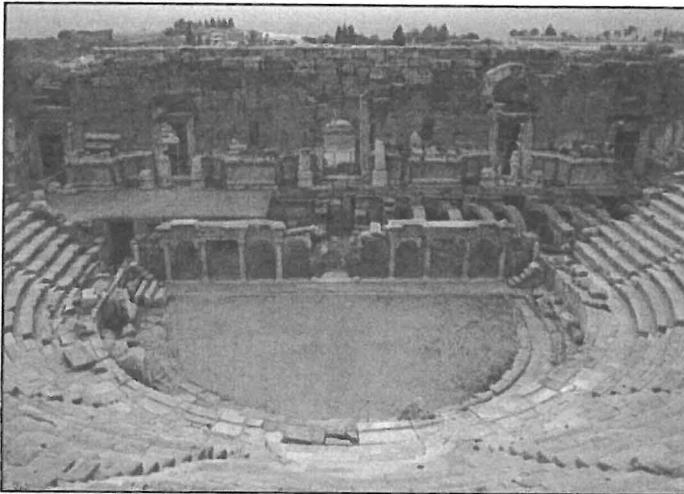


Bild 7.18: Theater von Pamukkale (Westtürkei)  
Blick auf Orchestra (halbrunder Platz), Proszenium (Bühne) und Skene  
(Bühnenhaus)



Bild 7.19: Theater von Pamukkale (Westtürkei), Blick auf die Zuschauerränge



Bild 7.20: Großes Theater von Ephesos (Westtürkei), Gesamtansicht im Berghang



Bild 7.21: Großes Theater von Ephesos (Westtürkei)  
Blick auf Orchestra und Bühnenhaus

Theater von Aphrodisias (Westtürkei):

Dieses Theater wurde im 1. Jhd. v. Chr. erbaut. Es besaß 10.000 Zuschauerplätze. Das Theater wurde erst im 20. Jhd. (ab 1966) ausgegraben.

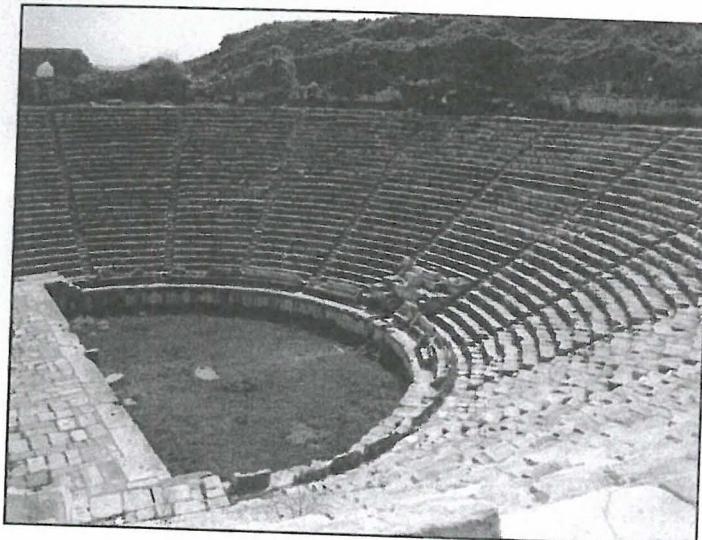


Bild 7.22: Theater von Aphrodisias (Westtürkei)  
Blick auf Orchestra und Zuschauerränge

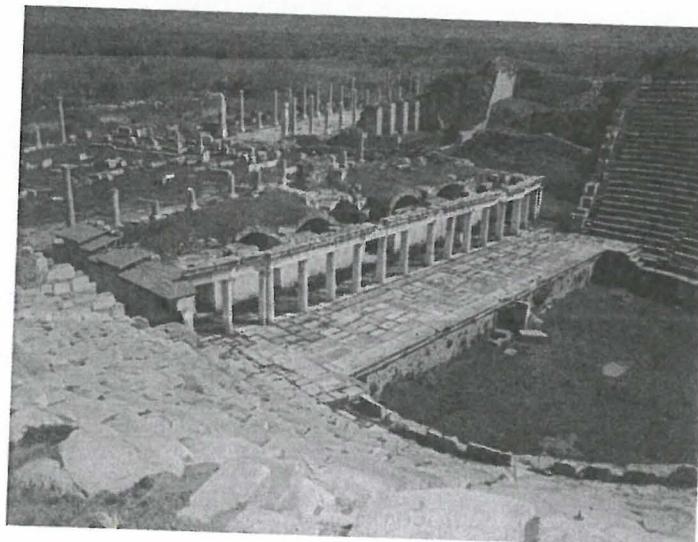


Bild 7.23: Theater von Aphrodisias (Westtürkei)  
Blick auf die Ruinen der Bühne und des Bühnengebäudes

Theater von Priene (Westtürkei):

Das ursprünglich griechische Theater wurde im 4. Jhd. v. Chr. erbaut, etwa zusammen mit der Gründung der Stadt (332 – 330 v. Chr.). Es wurde dann in römischer Zeit stark verändert. Das Theater hatte 50 Sitzreihen mit etwa 5.000 Zuschauerplätzen; der untere Teil der Sitzreihen ist gut erhalten, der obere Teil ist zerstört. Die Oberflächen der Sitzreihen sind mit Marmor verkleidet. Das Theater hatte ein Bühnengebäude, eine fast kreisförmige Orchestra, später ein Proszenium und bevorzugte Sitzreihen. Die Fassade des Bühnengebäudes war mit Holzplatten verkleidet. (nach: Suzan Bayhan: Priene – Miletos – Didyma 2004)

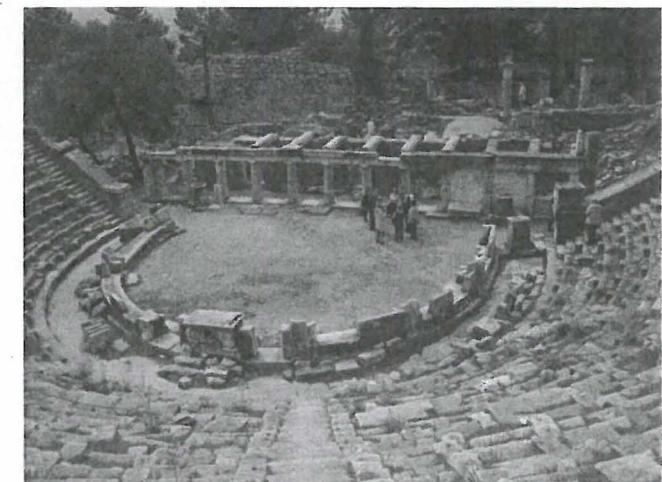


Bild 7.24: Theater von Priene (Westtürkei), Blick auf Orchestra, Skene (Bühnengebäude) und Cavea (Zuschauerplätze)

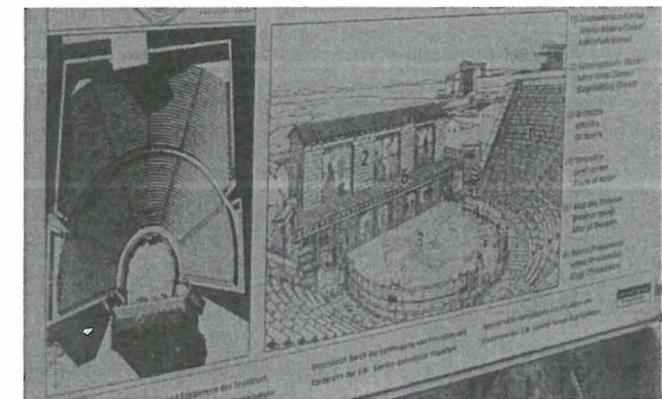


Bild 7.25: Theater von Priene (Westtürkei)  
Tafel zur Rekonstruktion des Theaters, angebracht an der Ruine

Theater von Syrakus (Sizilien):

Dieses griechische Theater stammt aus dem 5. Jhd. v. Chr. Es wurde in römischer Zeit umgebaut, die Ränge fassten etwa 15.000 Zuschauer. In diesem Theater wurde die Tragödie „Die Perser“ von Aischylos 472 v. Chr. uraufgeführt. Das Theater wird heute für kulturelle Veranstaltungen genutzt.



Bild 7.26: Theater von Syrakus (Sizilien)

Theater von Taormina (Sizilien):

Das von den Römern überbaute griechische Theater in Taormina auf Sizilien stammt aus dem 3. bzw. 2. Jhd. v. Chr. Es bot Platz für über 5.000 Zuschauer. Von den oberen Sitzreihen aus ergibt sich beim Blick über die Ruinen der Bühne das berühmte Bild mit dem Ätna (auf der rechten Seite) und der Küste des Ionischen Meeres (zur linken Seite).

Der Blick auf den Ätna ist oft von Wolken verhangen, wie im Bild 7.27 (als der Autor vor Ort war). Deshalb sei noch ein Bild mit dem Blick über die Ruinen des Theaters mit dem Ätna und dem Ionischen Meer angefügt: das Gemälde im Bild 7.28. Dieses Panorama ist häufig Gegenstand künstlerischer Abbildung geworden.

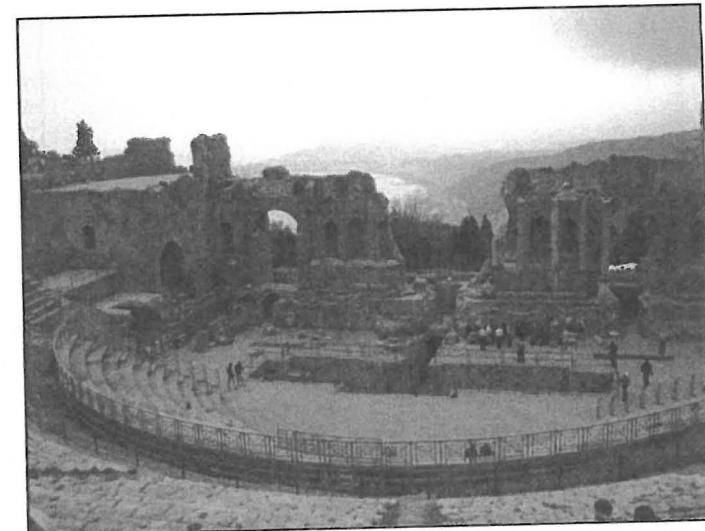


Bild 7.27: Theater von Taormina (Sizilien), Blick auf die Orchestra, die Ruinen der Bühne und des Bühnengebäudes sowie das Ionische Meer



Bild 7.28: „Die Ruinen des griechischen Theaters in Taormina“  
Gemälde von Thomas Cole 1844 (US-amerikanischer Landschaftsmaler, 1801 – 1844), New London, Lyman Allyn's Museum

Dieses wunderbare Naturgemälde wurde 1787 auch durch Johann Wolfgang von Goethe in den Briefen "Italienische Reise" und durch Johann Gottfried Seume in "Spaziergang [von Grimma bei Leipzig] nach Syrakus im Jahre 1802" beschrieben.

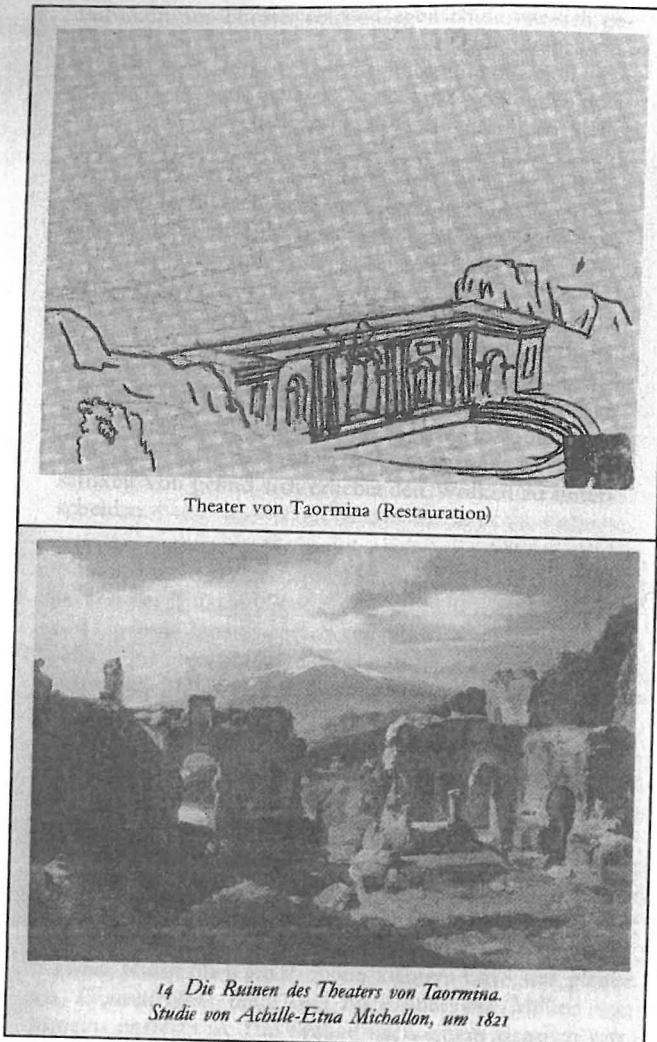


Bild 7.29: Ruinen des antiken Theaters in Taormina (Sizilien)  
Rezeption in den Werken von GOETHE und SEUME  
oben: „Theater von Taormina (Restaurierung)“  
[Quelle: „Italienische Reise“ von J. W. v. Goethe (Taormina 1787).  
Insel Taschenbuch it 175, Insel Verlag Frankfurt a. M. / Leipzig 1976]  
unten: „Die Ruinen des Theaters von Taormina – Studie von Achille-Etna Michallon, um 1821“  
[Quelle: „Spaziergang nach Syrakus im Jahre 1802“ von J. G. Seume.  
Insel Taschenbuch it 2780, Insel Verlag Frankfurt a. M. / Leipzig 2001]  
(mit freundlicher Genehmigung des Suhrkamp Verlages)

Aus Goethes „Italienische Reise“:  
„Taormina, Sonntag, den 6. Mai 1787.

„Was dies auch von Natur für eine Gestalt gehabt haben mag, die Kunst hat nachgeholfen und daraus den amphitheatralischen Halbzirkel für Zuschauer gebildet ...“

Am Fuße des stufenartigen Halbzirkels erbaute man die Szene quer vor, verband dadurch die beiden Felsen und vollendete das ungeheuerste Natur- und Kunstwerk. Setzt man sich nun dahin, wo ehemals die obersten Zuschauer saßen, so muß man gestehen, daß wohl nie ein Publikum im Theater solche Gegenstände vor sich gehabt. Rechts zur Seite auf höheren Felsen erheben sich Kastelle, weiter unten liegt die Straße, .... Nun sieht man an dem ganzen langen Gebirgsrücken des Ätna hin, links das Meerufer bis nach Catania, ja Syrakus; dann schließt der ungeheure, dampfende Feuerberg das weite, breite Bild, aber nicht schrecklich, denn die mildernde Atmosphäre zeigt ihn entfernter und sanfter, als er ist.“

Aus Seumes „Spaziergang nach Syrakus im Jahre 1802“:

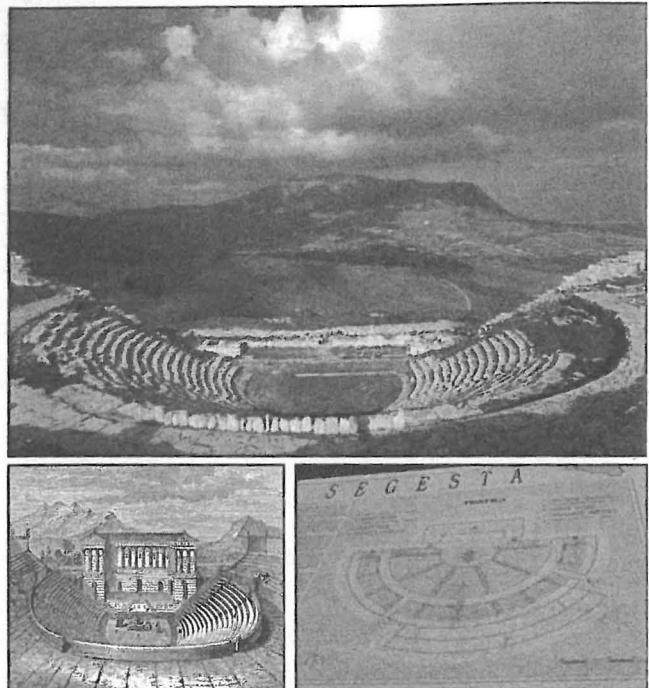
„Der Weg nach Taormina gehört zu den schönsten ....“

Dieser Ort ... hat die herrlichste Aussicht nach allen Seiten, vorzüglich von dem alten Theater, einer der kühnsten Werke der Alten. Rechts ist das ewige Feuer des Aetna, links das fabelhafte Ufer der Insel, und gegenüber sieht man weit weit hinauf an den Küsten von Kalabrien. Höchstwahrscheinlich ist das Theater nur römisch; man hat es nach der Zerstörung durch die Sarazenen so gut als möglich wieder zusammengesetzt, scheint aber dabei nach sehr willkürlichen Konjekturen verfahren zu sein. Es ist bekanntlich eines der erhaltensten, und alles was alt ist, ist sehr anschaulich, aber für das neue Flickwerk möchte ich nicht stehen; und doch hat eben der schönste, prächtigste Teil am meisten von den Barbaren gelitten...“

Und zum Abschluss dieser „Theatervorstellung“ das antike Theater mit einem der schönsten Landschaftsausblicke: Segesta (Sizilien)

Theater von Segesta (Sizilien):

Dieses griechische Theater in Segesta wurde im 3. Jahrhundert v. Chr. erbaut, später wurde es von den Römern erweitert.



**Bild 7.30:** Griechisches Theater in Segesta (Sizilien)  
 linkes Bild: Rekonstruktion nach H. Göll, Holzstich aus „Künstler und Dichter des Alterthums“ Leipzig 1876  
 rechtes Bild: Grundriss des Theaters, Tafel vor Ort angebracht

#### Noch eine Nachbemerkung zur griechischen antiken Theaterkultur:

Die Blütezeit der griechischen Theater, einbezogen die bauliche und funktionale Gestaltung einer „guten Akustik“, steht mit der kulturellen Blütezeit der griechischen Antike im Zusammenhang, die wiederum Ausdruck und Folge eines in den Stadtstaaten (Polis) praktizierten demokratischen Gemeinwesens war. Christian Meier schreibt dazu (siehe auch Kapitel 4.):

„Griechische Kulturbildung zielte ... darauf, eigene Formen der Äußerung, der Verständigung ... zu finden, Wissen zu vertiefen und auszubreiten und Fähigkeiten wie diejenige zu erzeugen, ein Epos von mehr als 15.000 Versen zu komponieren und aufzuschreiben...; der Kunst immer neue Möglichkeiten zu schaffen, einen gewissen [kulturellen] Luxus zu entfalten, bessere Formen des Umgangs zwischen den Poleis zu finden, wohl auch den Krieg zu begrenzen....“

Und an anderer Stelle:

„Es entsteht die klassische Kultur der Griechen .... die klassische Bildhauerkunst, der große Tempel von Olympia, die Bauten der Akropolis. Vieles davon war völlig neu ..., wie die klassische Tragödie und Komödie. Der Demos von Athen bildete zugleich das Publikum der Dramen.“

Nach dem Zeitraum der Antike soll nunmehr direkt zu einigen großen Wissenschaftlern der beginnenden Neuzeit übergegangen werden.

## Kapitel 8.

### Marin Mersenne – Mathematiker und Experimentator

Der französische Theologe, Naturphilosoph, Mathematiker und Musiktheoretiker Marin Mersenne (1588 – 1648), geboren am 8. September 1588 in La Soultière (bei Le Mans), erhielt von 1604 – 1609 eine Ausbildung in Naturwissenschaften und Theologie am Jesuiten-Kolleg zu La Flèche (einer seiner Mitschüler war René Descartes, 1596 – 1650, französischer Philosoph, Naturwissenschaftler, Mathematiker). Nach dem Studium der Theologie an der Sorbonne in Paris trat er 1611 dem Paulanerorden (Minimenorden) bei und wurde 1612 zum Priester geweiht. Von 1614 – 1618 lehrte Mersenne Philosophie und Theologie im Minimenkloster, ab 1619 lebte und arbeitete er im Ordenskonvent in Paris.



**Bild 8.1:** Marin Mersenne (1588 – 1648)

Zu seinem wissenschaftlichen Kreis gehörten Fermat, Pascal, Gassendi u. a., also Wissenschaftler, die im Anfangszeitraum der französischen Wissenschaftsakademie eine Rolle spielten (Gründung der Académie française 1635 durch Kardinal de Richelieu). Mersenne bereiste zwischen 1628 bis 1630 Deutschland, Flandern und Holland, ab 1640 auch mehrmals Italien. Die weiteren Jahre lebte er als Ordenspriester und Wissenschaftler, in Paris und Italien. Er starb am 1. September 1648 in Paris.