

GREGOR WIDHOLM und GERALD SONNECK

WIENER HORN versus DOPPELHORN

REPRINT

des Schlußberichtes des vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung
in Österreich geförderten Forschungsprojektes P 5467

"Dokumentation und Analyse der Besonderheiten des Wiener Orchesterklanges auf
naturwissenschaftlicher Ebene - am Beispiel Horn"

Wien 1985 - 1987

VERLAG: W.W.V. WIEN



N° L 11

GREGOR WIDHOLM und GERALD SONNECK

WIENER HORN
versus
DOPPELHORN

REPRINT

des Schlußberichtes des vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung
in Österreich geförderten Forschungsprojektes P 5467
"Dokumentation und Analyse der Besonderheiten des Wiener Orchesterklanges auf
naturwissenschaftlicher Ebene - am Beispiel Horn"
Wien 1985 - 1987

Mag. GREGOR WIDHOLM

Institut für Wiener Klangstil, Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien

Musikstudium (Konzertfach Horn) an der Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien und Studium der Nachrichtentechnik an der Technischen Universität Wien. Seit 1971 Mitglied des Orchesters der Wiener Volksoper. 1980 Ausbau des Institutes für Wiener Klangstil für Forschungsaufgaben auf dem Gebiet der Musikanstrumentenakustik und der Analyse musikalischer Klänge im Auftrag der Musikhochschule Wien. Führte erstmals in Österreich physikalische Meßmethoden zur Beurteilung von Musikanstrumenten und deren Klänge ein. Arbeitet derzeit an einem Konzept zur digitalen Untersuchung und Software-Simulation der Interaktion von Musiker und Instrument.

Dipl.-Ing. GERALD SONNECK

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf

Institut für Wiener Klangstil, Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien

Studierte Technische Physik an der Technischen Universität Wien und Violoncello am Konservatorium der Stadt Wien. Substitut beim ORF-Symphonieorchester und im Orchester der Wiener Volksoper. Mitglied des Ensemble Musica Antiqua, Wien. Seit 1973 Mitarbeiter des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf. Seit 1984 Lehrbeauftragter am Institut für Wiener Klangstil. Derzeit stellvertretender Leiter des Institutes für Energie- und Anlagentechnik des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf.

I N H A L T

Einführung	1
1.	Methode 2
2.	Bauliche Besonderheiten der Wiener Hörner im Vergleich zu anderen Hörnern 3
2.1.	Die Rohrlänge 3
2.2.	Die Mensur 8
2.3.	Die Ventile 10
2.4.	Das Material 13
3.	Akustische Besonderheiten 14
3.1.	Eingangsimpedanz-Messung 14
3.2.	Meßaufbau 15
3.3.	Ergebnisse 15
3.3.1	Energiebedarf 19
3.3.2	Einschwingzeit 20
3.3.3	Treffsicherheit 21
3.3.4	Klangfarbe 22
3.3.5	Ventilfunktion 24
4.	Klangliche Besonderheiten 28
4.1.	Versuchseinrichtungen 28
4.1.1	Künstlicher Bläser 29
4.1.2	Klangaufnahmen und Speicherung 32
4.1.3	Fouriertransformation 33
4.1.4	Musikalisches Material 34
4.1.5	Instrumente und Musiker 37
4.2	Ergebnisse im stationären Bereich 38
4.2.1	Der Teiltonaufbau des Hornklanges 38
4.2.2	Formanten 46
4.2.3	Klangvergleiche mit dem künstlichen Bläser 48
4.2.4	Der Teiltonaufbau von Wiener Hornklängen im Vergleich zu anderen Hornklängen 49
4.2.5	Spektraldynamik 52
4.3	Ergebnisse im instationären Bereich 56
4.3.1	Einschwingvorgänge 56
4.3.2	Bindungen 56
4.3.3	Vibrato 59
4.4	Verifikation an Orchsteraufnahmen 59
4.4.1	Regressionsanalysen von Orchesterspektren 68
4.5	Aspekte des menschlichen Einflusses 70
5.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen 85
Anhang A: Anmerkungen zur Spielpraxis 86	
Anhang B: Ein bemerkenswertes Experiment in Japan 89	
Abbildungen 90	
Literatur 91	

Wir danken

- dem ORF, insbesonders den Herren Intendant Ernst Grissemann und Gottfried Kraus für die Genehmigung zur Benützung der ORF - Übertragungsanlagen im Großen Musikvereinssaal und im Großen Saal des Wiener Konzerthauses, sowie
- den Aufnahmeleitern Gerhard Lang, Dr. Kleinlercher, Hans Moralt, Johann Sturm und
- den Toningenieuren Ewald Faiss, Ing. Peter Rabenstein, Eva Schiman, Josef Schütz und Alfred Zabrel,
- dem Vorstand der Wiener Philharmoniker, insbesonders den Herren Prof. Alfred Altenburger, Prof. Paul Fürst und Werner Resl, sowie den philharmonischen Hornisten Prof. Roland Berger, Prof. Günter Högnner, Fritz Pfeiffer und Franz Söllner,
- Herrn Generalsekretär Lutz Lüdemann und den Wiener Symphonikern, insbesonders den Hornisten Elmar Eisner und Steven Hayworth,
- dem New York Philharmonic Orchestra,
- dem Cleveland Orchestra, insbesonders Mr. David Glasser,
- dem London Symphony Orchestra, insbesonders Mr. Simon Rayner und Mr. Peter Blake,
- dem Orchestre National de France,
- den Bamberger Symphonikern, insbesonders Herrn Reinhold Möller,
- dem Solisten Hermann Baumann,
- den Hornisten Alfred Hansel, Erich Saufnauer, Werner Schenner und Wolfgang Vladar (Orchester der Wiener Volksoper),
- Herrn Generalsekretär Alexander Pereira und der Wiener Konzerthausgesellschaft,
- Frau Direktor Gruder Guntram und der Gesellschaft der Musikfreunde in Wien,
- dem Instrumentenbauer Andreas Jungwirth für Tips und Hinweise zur Fertigungstechnik und für das zur Verfügung stellen von Meßdaten und
- der Firma Yamaha, welche uns unentgeltlich ein Wiener Horn und ein Doppelhorn als Referenzinstrumente für die gesamte Dauer der Untersuchungen zur Verfügung stellte.

EINFÜHRUNG

Die Erfahrung, daß Wiener Spitzorchester anders klingen als ausländische, ist in Fachkreisen und im Publikum fest verankert¹. Dieser spezielle Klangstil ist die Folge einer historischen Entwicklung: in vergangenen Jahrhunderten waren Interpretation und Klangideal in den großen Musikzentren sehr unterschiedlich. Erst im 20. Jahrhundert entwickelte sich durch die Massenmedien auch für den Orchesterklang eine Art internationale Norm und fast nur die Wiener Orchester bewahrten noch ihre nationale Eigenart.

Auch wenn ein und derselbe Dirigent ein Wiener bzw. ein anderes Orchester leitet, bleibt dieser Unterschied in kleinerem oder größerem Maße erhalten; er ist offenbar an das Orchester gebunden. Bezuglich der Frage, worin nun eigentlich der Unterschied bestehe, und insbesondere, welche Gruppe oder Gruppen des Orchesters dafür relevant seien, gehen die Meinungen allerdings auseinander: die einen halten vor allem die ersten Geigen für wichtig, andere die Streicher insgesamt, wieder andere die Holz- oder Blechbläser oder beide zusammen. Ebenso herrscht keine Einigkeit, ob der Unterschied in manchen Instrumentengruppen durch die Verwendung von im Vergleich zu ausländischen Orchestern anderen Instrumenten oder durch die Spielweise oder durch beides bedingt sei.

Das Projektziel war der naturwissenschaftliche Nachweis der Existenz und die Definition des Wiener Hornklanges im Orchester, sowie eine objektive Darstellung der stilistischen Eigenheiten der Interpretation durch Wiener Musiker.

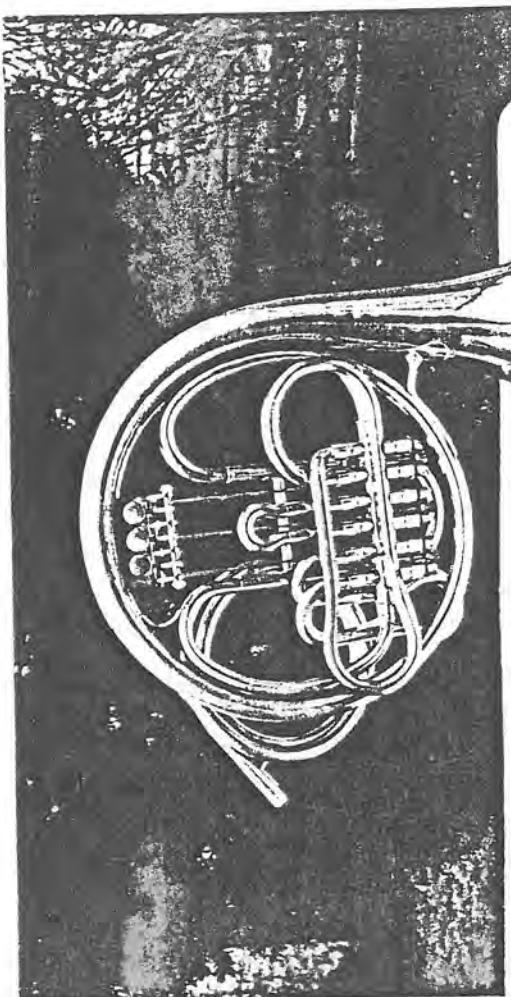
Wir sind uns dessen bewußt, daß Kunst und Kunsterlebnis mit der Beschreibung der physikalischen Phänomene keineswegs ausgelotet sind ("Musik entsteht im Kopf"), und wissen, daß Wesen und Wirkung der Kunst dabei kaum in unser Blickfeld gerückt sind.

Da jedoch das Phänomen "Wiener Orchesterklang" international umstritten, von den großen Schallplattenkonzernen als Verkaufsargument benutzt und nicht zuletzt ein äußerst erfolgreicher Exportartikel Österreichs ist², erscheint es sinnvoll, Wesen und Ursachen dieser Erscheinung naturwissenschaftlich zu untersuchen, zumal fast alle zu diesem Thema bis jetzt erschienenen Arbeiten sich im Aufzählen subjektiver Eindrücke erschöpften, welche, da meist nicht nachvollziehbar, keine allgemeine Gültigkeit besitzen. Im Streben, die Besonderheiten des Wiener Orchesterklanges objektiv und jederzeit belegbar zu dokumentieren, nahmen wir in unserer Arbeit bewußt keinerlei Wertungen (weder klangästhetische noch stilkritische) vor.

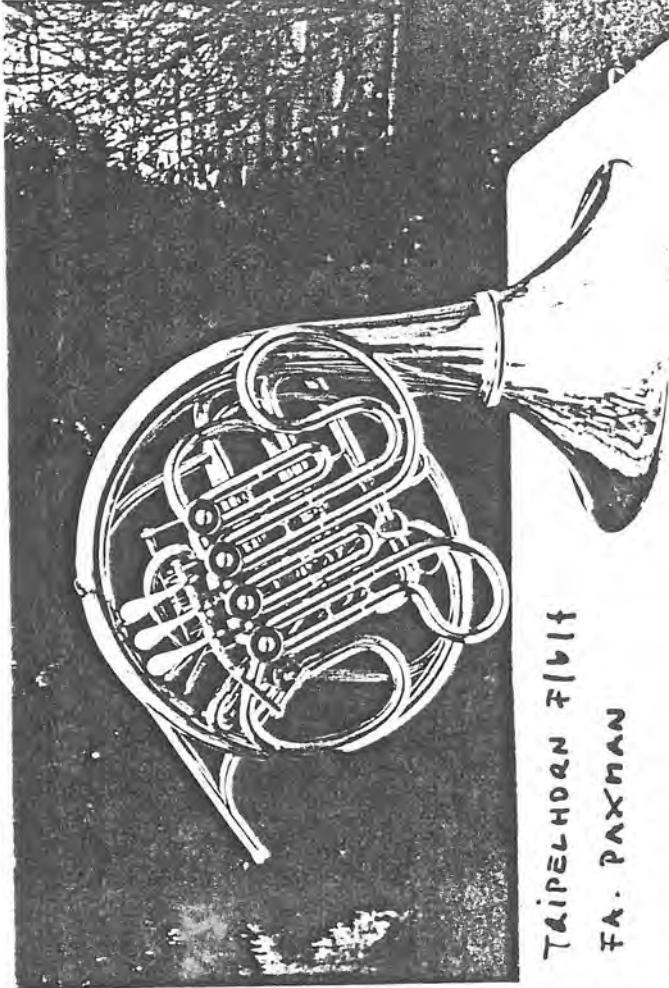
Ausschlaggebend für die Wahl gerade des Hornes war die Tatsache, daß im Wiener Horn ein praktisch nur in Wiener Orchestern verwendetes Instrument vorliegt, daß gerade in letzter Zeit die Beliebtheit des Wiener Hornes international wieder zunimmt und nicht zuletzt auch der berufliche Hintergrund eines der beiden Autoren.

Es stellte sich also die Aufgabe, die akustischen Charakteristika verschiedener Horntypen wie etwa Wiener Horn, Deutsches Doppelhorn oder Tripelhorn, deren Einfluß auf die Spieltechnik, sowie den Einfluß der Musikerpersönlichkeit auf das Endprodukt "Klang" zu untersuchen und anschließend allfällige Besonderheiten der Kombination "Wiener Musiker - Wiener Instrumententyp" anhand von Orchestermitschnitten zu verifizieren. Eine Aufgabe, die naturgemäß wesentlich andere Ziele hat als die, die Unterschiede zwischen der Hornfamilie und anderen Instrumenten festzustellen.

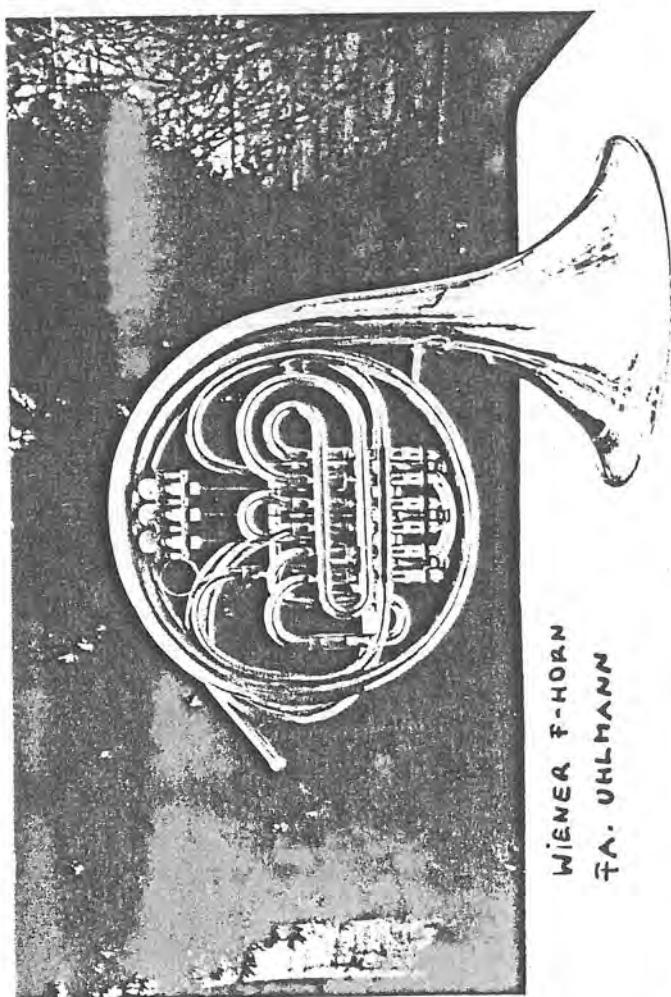
Veröffentlichungen zu diesem Thema sind spärlich (siehe z.B.³), noch spärlicher ist die Literatur, die mittels Meßdaten die Unterschiede zu quantifizieren versucht (vgl. etwa⁴).



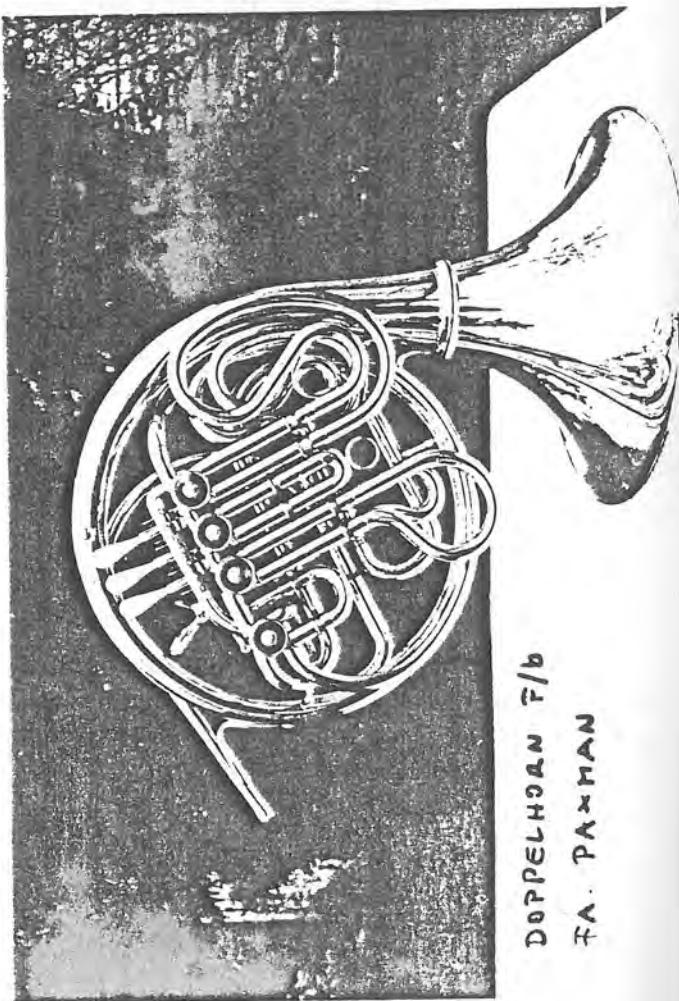
WIENER F-HORN
PRODUKTIVGENOSSENSCHAFT



TRIPELHORN F/b
FA. PAXMAN



WIENER F-HORN
FA. UHLMANN



DOPPELHORN F/b
FA. PAXMAN

TABELLE 2.1.1

<u>Resonanzstelle</u>	<u>Frequenz</u>	<u>Bezeichnung</u>
1.	43 Hz	F (kontra)
2.	87 Hz	F
3.	130 Hz	c
4.	175 Hz	f
5.	220 Hz	a
6.	262 Hz	c1
7.	311 Hz	X (musikal. unbrauchbar)
8.	349 Hz	f1
9.	392 Hz	g1
10.	440 Hz	a1
11.	494 Hz	X (musikal. unbrauchbar)
12.	523 Hz	c2
13.	587 Hz	X (musikal. unbrauchbar)
14.	622 Hz	X (musikal. unbrauchbar)
15.	659 Hz	X (musikal. unbrauchbar)
16.	698 Hz	f2

Dies sind die im Normalfall benützten Töne; der Erzeugung weiterer Töne auf dem Horn ist nur durch die individuelle Schwingungs-Fähigkeit der Musikerlippen nach oben hin eine Grenze gesetzt.

Klar geht aus Tabelle 2.1.1 hervor, daß nur eine begrenzte Anzahl von musikalisch brauchbaren Tönen vorhanden ist, deren auffälligstes gemeinsames Merkmal die Zugehörigkeit zur Tonart F-Dur ist. Um das Instrument auch in anderen Tonarten verwenden zu können bzw. um das gesamte chromatische "Tonmaterial" zur Verfügung zu haben, wurden zu Beginn des 19. Jahrhunderts die "Ventile" entwickelt; Mechanismen, welche durch die Zuschaltung von Rohren bestimmter Länge die Gesamtlänge des Instrumentes vergrößern und somit die Gesamt-Stimmung vertiefen.

Ventil 1 vertieft um einen Ganzton

Ventil 2 vertieft um einen Halbton

Ventil 3 vertieft um eineinhalb Töne

Durch den Einsatz dieser 3 Ventile (und deren Kombinationen) wird der gesamte musikalisch benötigte Bereich abgedeckt.

Abb. 2.1.2 zeigt schematisch das "Röhrensystem" mit Ventilen eines "Wiener Horns" (in F gestimmt) und zum Vergleich das eines Doppelhorns (in F und in b gestimmt).

Links das Röhrensystem des Wiener Horns:

Der erste Teil der Röhre (vom Mundstück bis knapp vor den Ventilen, ca. 1,05 m lang) ist abnehmbar und wird "F-Bogen" genannt. Benutzt man nämlich anstelle des F-Bogens ein nur ca. 12 cm langes Rohrstück (den "b-Stift"), so wird die Gesamt-Rohrlänge des Instrumentes von etwa 3,6 m auf 2,7 m verkürzt, was einer Grundstimmung in "b" entspricht. Anschließend sind die zuschaltbaren Röhren - "Züge" genannt - erkennbar, die bei Bedarf einzeln oder in beliebiger Kombination dazugeschaltet werden können.

Der "Stimmzug" ist ein im Rahmen der Gesamtlänge eingefügtes, verschiebbar angeordnetes Rohrstück, mit dessen Hilfe man die Gesamtlänge des Instrumentes etwas verkürzen oder verlängern kann (Feinabstimmung!).

Der Stimmzug ist im Normalfall immer einige Zentimeter ausgezogen, damit der Musiker die Möglichkeit besitzt, sein Instrument etwas höher oder tiefer zu stimmen. Schiebt man beim F-Horn den Stimmzug um 1cm "hinein", so wird die Gesamtlänge um 2cm verkürzt. Dies ergibt eine Erhöhung der Gesamtstimmung in der tiefen Lage um 1 Hz, in der Mittellage um 2 bis 3 Hz und im hohen Register um 4 bis 6 Hz.

Rechts das Röhrensystem eines Doppelhorns (F/b):

Deutlich erkennbar ist neben dem (leer) gezeichneten Röhrensystem - das dem des Wiener F-Horns entspricht - das schwarz gezeichnete, kürzere Röhrensystem (verkürzt die Gesamtlänge des Instrumentes auf etwa 2,7 m), welches mittels eines vierten, zusätzlichen Ventils ("Daumenhebel") anstelle des leer gezeichneten Röhrensystems dazugeschaltet werden kann.

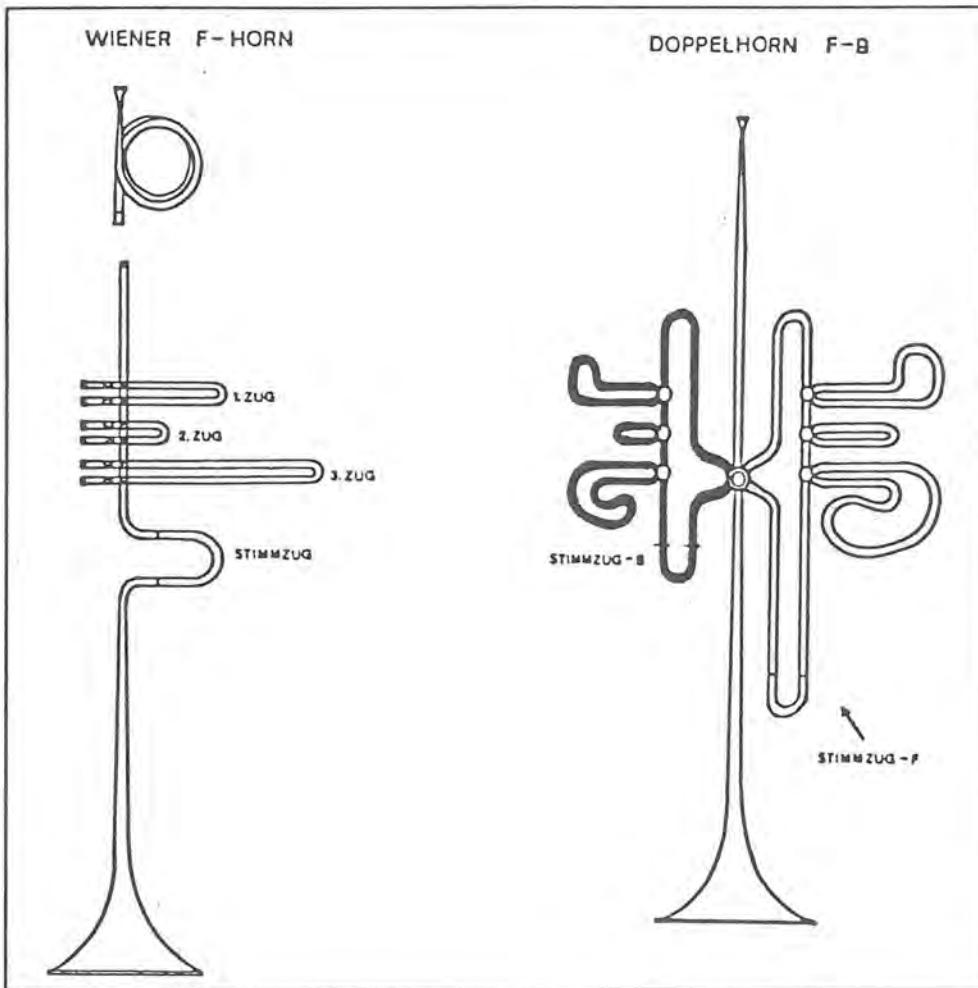


Abb. 2.1.2

Dem Musiker stehen mit dem Doppelhorn daher zwei Instrumente zur Verfügung:
ein "F-Horn", Grundstimmung: $F = 43 \text{ Hz}$ und
ein "b-Horn", Grundstimmung: $B = 58 \text{ Hz}$.

Abbildung 2.1.3 zeigt das Röhrensystem eines "Tripelhorns", bei welchem dem Musiker drei Instrumente mit verschiedener Grundstimmung zur Verfügung stehen:
ein "F-Horn",
ein "b-Horn, und
ein "f-Horn" (auch "hoch f-Horn genannt) mit einer Grundstimmung: $F = 87 \text{ Hz}$.

Zur Terminologie:

F-Horn = normales Horn (3,6 m), Grundstimmung: "F"
b-Horn = verkürzt (2,7 m), Grundstimmung: "B"
f-Horn = "hohes Horn" (1,8 m), Grundstimmung: "F" (1 Oktave höher)

SPIELTECHNISCHE KONSEQUENZEN:

- Höhere Treffsicherheit bei kürzerem Rohr: die einzelnen hervorbringbaren Töne einer "Naturton-Reihe" besitzen zwar zueinander den gleichen Frequenzabstand in Hertz, in der "musikalischen Skala" (logarithmisch!) ist jedoch der Abstand des 1. Naturtons zum 2. Naturton eine Oktave, der Abstand des 11. Naturtones zum 12. Naturton nur mehr etwa ein Halbtön (siehe Tab.2.1.1 und Kapitel 3.3.3). Dieses Faktum hat zur Folge, daß der Musiker im oberen Register des Instrumentes (8.-16. Naturton) die Lippenspannung besonders exakt abstimmen muß, um nicht irrtümlich die Frequenz des benachbarten Naturtones zu treffen.

TRIPEL-HORN

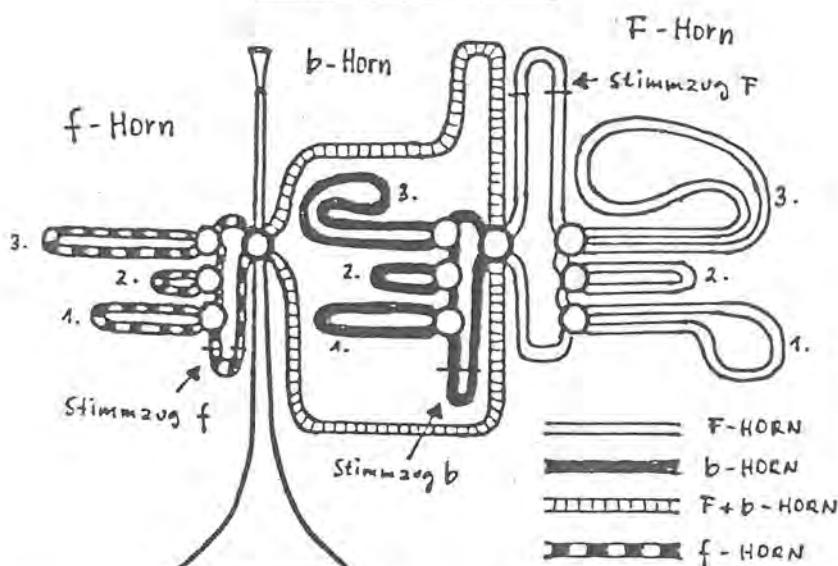


Abb. 2.1.3

Durch eine Verkürzung der Rohrlänge (und die damit verbundene Erhöhung der Grundstimmung) geraten die Naturtöne des oberen Registers des normalen F-Horns z. B. in den Bereich des mittleren Registers des f-Horns. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: betrachten wir das notierte g2 mit einer Frequenz von 523 Hz in der Tabelle 2.1.2.

TABELLE 2.1.2

HORNTYP	ORDNUNGSZAHL des benachbarten NATURTONS	ABSTAND musikal. physikal.	ORDNUNGS- ZAHLD g^2	ABSTAND musikal. physikal.	ORDNUNGSZAHL des benachbarten NATURTONS
F-Horn	11	~ ein HALBTON 41 Hz	12	~ ein HALBTON 45 Hz	13
b-Horn	8	GANZTON 57 Hz	9	GANZTON 58 Hz	10
f-Horn	5	kl. TERZ 82 Hz	6	kl. TERZ 90 Hz	7

Das Beispiel zeigt deutlich, daß die Lippenspannung für einen bestimmten Ton beim tiefer gestimmten Horn bedeutend genauer getroffen werden muß als bei einem höher gestimmten. Das ist einer der Gründe, warum die Wiener Hörner im oberen Register so schwierig zu blasen sind.

- Energieaufwand ("Leichtigkeit"). Der Musiker muß mit dem Luftstrom (=Energie), den er über das mit der exakt abgestimmten Frequenz sich öffnende und schließende "LIPPENVENTIL" dem Instrument zuführt, die vom Röhrensystem umschlossene "LUFTSÄULE (=Masse)" in Schwingung versetzen. Es ist einsichtig, daß die Luftsäule des f-Horns nur etwa halb soviel Masse besitzt wie die des F-Horns. In der Folge ist daher für die Erzeugung gleich großer Schwingungs-Amplituden beim f-Horn nur halb soviel Energieaufwand notwendig wie beim F-Horn ("Das hohe Horn ist leichter zu blasen").

2.2 DIE MENSUR

Als Mensur wird bei Blechblasinstrumenten allgemein der unterschiedliche Durchmesser des Rohres an verschiedenen Stellen bezeichnet. In der Musikersprache trifft man oft den Ausdruck: weit mensuriert - normal mensuriert - eng mensuriert - an. Damit ist der prinzipielle Charakter der "Durchmesser-Auslegung" eines Instrumentes gemeint; ein "weit mensuriertes" Instrument besitzt demnach im Allgemeinen etwas größer ausgelegte Rohrdurchmesser als ein "normales" Instrument, kann aber durchaus an manchen Stellen einen geringeren Rohrdurchmesser als ein normales Instrument aufweisen.

Hörner weisen (den Durchmesser betreffend) allgemein drei Abschnitte auf (Abb.2.2.1):

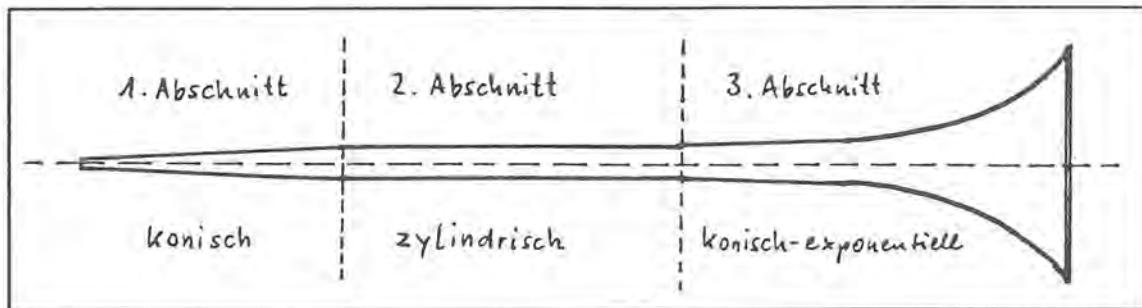


Abb. 2.2.1

KONISCHER ABSCHNITT

Blechblasinstrumente besitzen generell 2 konische Abschnitte:

- vom Beginn des Mundrohres bis zum Beginn des zylindrischen Teils und
 - vom zylindrischen Teil bis zum Schalltrichter,
- wobei der letzte Teil (das Schallstück) fließend in den meist exponentiell ausgeformten Schalltrichter übergeht. Zwischen diesen beiden Abschnitten liegt der zylindrische Teil.

Der Durchmesser zu Beginn des ersten konischen Abschnittes ist dem Durchmesser des Mundstück-Schaftes angepaßt und entspricht am Ende dem Durchmesser des zylindrischen Teils.

Beim Wiener Modell befindet sich der erste konische Teil zur Gänze innerhalb des F-Bogens. Der Durchmesser zu Beginn beträgt allgemein ca. 9 mm. Bei den international verwendeten Horntypen liegt er zwischen 7.5 mm und 8 mm. Der relativ große Durchmesser zu Beginn des Instrumentes ist ein auffälliges Merkmal des Wiener Horntypus, wodurch ein Wechsel des Musikers vom Wiener Horn zum Doppelhorn und vice versa immer mit Änderungen des Mundstückshaftes verbunden ist. Es existieren jedoch auch F-Bögen, welche die kleineren Durchmesser der international gebräuchlichen Horntypen besitzen (manche zeitgenössische Modelle). Bei diesen Instrumenten konnten wir aber keine klanglichen oder spieltechnischen Abweichungen von der "Wiener Horn-Charakteristik" feststellen. Die große Rohrweite zu Beginn des Instrumentes ist zwar ein augenfälliges Merkmal der Wiener Hörner, hat insgesamt jedoch keinen Einfluß auf den Klang und die Spieltechnik. Bedeutung erlangt die Dimensionierung des Durchmessers zu Beginn des Instrumentes jedoch im Hinblick auf die Intonation⁵: Die Durchmesser zu Beginn (=Mundrohr) und Ende (=Schallstück) des Instrumentes beeinflussen sich in ihrer Wirkung auf die INNERE STIMMUNG des Instrumentes gegenseitig. Geht man von einem ausgewogenen Verhältnis der beiden Durchmesser ab, so führt eine Änderung vorwiegend zu einer Verstimmung des hohen Registers des Instrumentes:

Schallstück zu weit
hohes Register zu tief < oder
Mundrohr zu eng

Schallstück zu eng
hohes Register zu hoch < oder
Mundrohr zu weit

Beim Wiener Modell kann sich der Konus theoretisch bis auf eine Länge von 1,2 m erstrecken. Üblicherweise besitzt er jedoch eine Länge von 20-30 cm; es werden derzeit auch Versuche mit extrem langen konischen Erweiterungen gemacht - bis zu einem Meter -, was einem "konischen F-Bogen" entspräche.

Bei den übrigen Horntypen ist der erste konische Abschnitt konstruktionsbedingt (siehe Abb. 2.1.2 und 2.1.3) kürzer; im Extremfall entspricht er nur der Länge des Mundrohres (etwa 10 cm).

ZYLINDRISCHER ABSCHNITT

Darin sind der Stimmzug, die Ventile und die Züge untergebracht. Der Durchmesser des zylindrischen Teils wird allgemein als Richtwert für die Mensurbewertung eines Instrumentes durch den Musiker benutzt.

Bei den Wiener Hörnern beträgt der Durchmesser des zylindrischen Teiles allgemein ca. 10,7 - 10,8 mm (dieser Wert dürfte vom historischen "Punkt und Linien - Maß" herrühren. 1 Linie = 10,76 mm)^{6,7,8}.

Bei den Doppelhorntypen liegt dieser Durchmesser zwischen 11,5 und 13 mm.

Bei den Wiener Modellen liegt der Anteil des zylindrischen Abschnittes an der Gesamtlänge zwischen 43 und 48%, bei den anderen Horntypen findet man eine so große (konstruktionsbedingte) Vielfalt, daß eine gesicherte Angabe eines Prozentwertes umfangreiche Untersuchungen voraussetzte, welche den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden.

KONISCH-EXPONENTIELLER ABSCHNITT

Er beinhaltet das konische Schallstück, welches fließend in den exponentiell ausgeformten Schalltrichter übergeht.

Das SCHALLSTÜCK der Wiener Modelle entspricht in seiner Durchmesser-Dimensionierung eher den "small"-Modellen der Doppelhörner. Der Anstiegs-Winkel des Konus ist im allgemeinen flacher als der der Doppelhörner. Es gibt jedoch auch Wiener Modelle, welche schon ein weiter mensuriertes Schallstück besitzen und deren Schalltrichter daher weniger steil ausladend ausgeformt ist (die Ursache dafür ist relativ banal: Musiker mit großen Händen haben bei engmensurierten Schalltrichtern Probleme mit dem "Stopfen". Eine Erweiterung des Schallstückdurchmessers bringt in solchen Fällen eine Erleichterung der Spieltechnik und eine Verbesserung der Intonation gestopfter Töne).

Bei Doppelhörnern werden von den großen Instrumentenerzeugern meist drei Typen (small, large und extra large oder small, medium und large) angeboten. Sie unterscheiden sich in der Schallstückweite.

Der SCHALLTRICHTER übt bei Blechblasinstrumenten einen wichtigen Einfluß auf den Klang aus: Sein Durchmesser und seine Form bestimmen die Stärke der Abstrahlung der einzelnen in der stehenden Welle im Instrument enthaltenen Frequenzen in den Außenraum. Eine approximative Kalkulation ist mit der von A. H. Benade aufgestellten HORN-GLEICHUNG, die im wesentlichen der aus der Quantenphysik bekannten "Schrödinger-Gleichung" entspricht, möglich⁹. Bei den Hörnern wird der Einfluß des Schalltrichters auf den Klang jedoch durch das Einführen der rechten Hand in den Schalltrichter größtenteils außer Kraft gesetzt. Sein Einfluß auf die Richtung der Abstrahlung (wichtig bei Trompeten und Posaunen) geht beim Horn völlig verloren.

Ein optisches Merkmal der Wiener Hörner ist eine Verstärkung des letzten Teiles des Schalltrichters: der "SCHALLKRANZ". Dies ist ein Metallring, der an den letzten 5 Zentimetern des Schalltrichters aufgelötet wird. Die Wurzeln dieses Schall-Kranzes oder Verstärkungsringes liegen in der Vergangenheit und haben eher ästhetische (kunstvoll verziert) und praktische (die Gefahr einer "Delle" oder Deformation wird damit auf ein Minimum reduziert), denn klangliche Gründe. Der Schallkranz dämpft die durch die schwingende Luftsäule im Instrument ebenfalls zum Schwingen angeregte Instrumentenwandlung des Schalltrichters stark ab. Der Musiker spürt diesen Effekt durch die an der Innenwand des Schalltrichters anliegende rechte Hand sehr deutlich. Da aber die durch die schwingende Schalltrichterwand abgegebene Schallenergie im Verhältnis zum von der Luftsäule im Instrument abgestrahlten Schall äußerst gering ist, fällt dem Schallkranz keine akustische Bedeutung zu¹⁰. Einen geringfügigen Klangunterschied kann allenfalls der Spieler selbst feststellen, da er sich im "akustischen Nahfeld" befindet. Für den Zuhörer ist zwischen Schalltrichter mit bzw. ohne Schallkranz kein klanglicher Unterschied feststellbar.

Ein Einfluß der Form des Schalltrichters auf den Klang kann durch die eingeführte Hand des Musikers ausgeschlossen werden (dies geht eindeutig aus den Resonanzkurven mit und ohne Hand im Kapitel 3 hervor). Da aber amerikanische Wissenschaftler eindeutige Unterschiede zwischen den Formen deutscher, amerikanischer und Wiener Schalltrichter gefunden haben wollen, untersuchten wir dies ebenfalls¹¹.

Die exponentielle Form der Trichter von Blechblasinstrumenten kann wie folgt dargestellt werden:

$$r(x) = A \cdot x^m,$$

wobei $r(x)$ der Radius des Querschnittes als Funktion der Länge ist.

Pyle gibt für m folgende Werte an:

- $0,9 < m < 1$ Deutsches Doppelhorn
- $1,1 < m < 1,2$ besonders weites Doppelhorn (USA)
- $m = 0,8$ Wiener F-Horn
- $0,5 < m < 0,6$ Trompeten

Wir zogen für die Berechnung drei Wiener F-Hörner verschiedener Hersteller (Uhlmann, Ankerl, Produktivgenossenschaft) und drei Doppelhörner unterschiedlicher Bauart (Alexander F/b, Finke F/b/f und Paxmann F/f) heran.

Es ergaben sich folgende Werte:

- $m = 0,870$ bis $0,928$ Doppelhörner
- $m = 0,866$ bis $0,904$ Wiener F-Hörner
- $m = 0,704$ Jazztrompete (Holton)

Abb. 2.2.2 zeigt die von Pyle errechneten Kurven und Abb. 2.2.3 die Schalltrichter der von uns vermessenen Instrumente (Ein Programm dazu wurde uns freundlicherweise von Iris Schütz zur Verfügung gestellt).

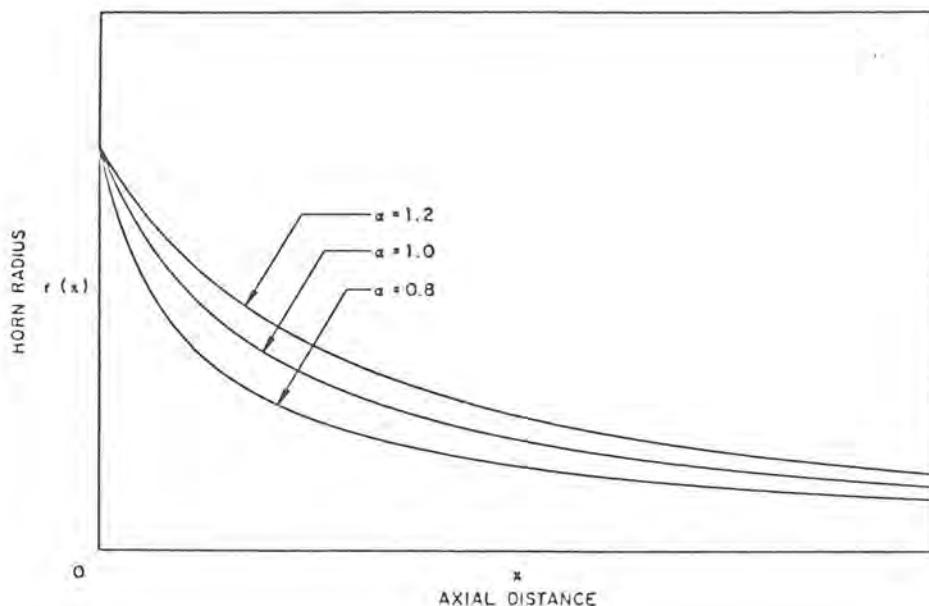


FIG. 3. "French-horn-like" bell contours. The proportions shown are for a maximum diameter of 30.5 cm, a minimum diameter of 1.20 cm, and a length L of 142 cm. In Eq. 16, $D = 0$. The first 30 cm are shown.

Abb. 2.2.2

Wie aus den Werten ersichtlich ist, gibt es zwar eine geringfügige Verschiebung der "m"-Werte bei den Wiener Modellen nach unten hin, von einer klaren Trennung nach der Schalltrichterform kann aber keine Rede sein.

2.3 DIE VENTILE

Bei Blechblasinstrumenten stehen heute 3 Arten von Ventilen in Gebrauch:
 Dreh- (Zylinder-) ventile (meist verwendete Ventilkonstruktion),
 Pumpenventile (Wiener Hörner) sowie
 Perinetventile (französische und Jazzinstrumente)

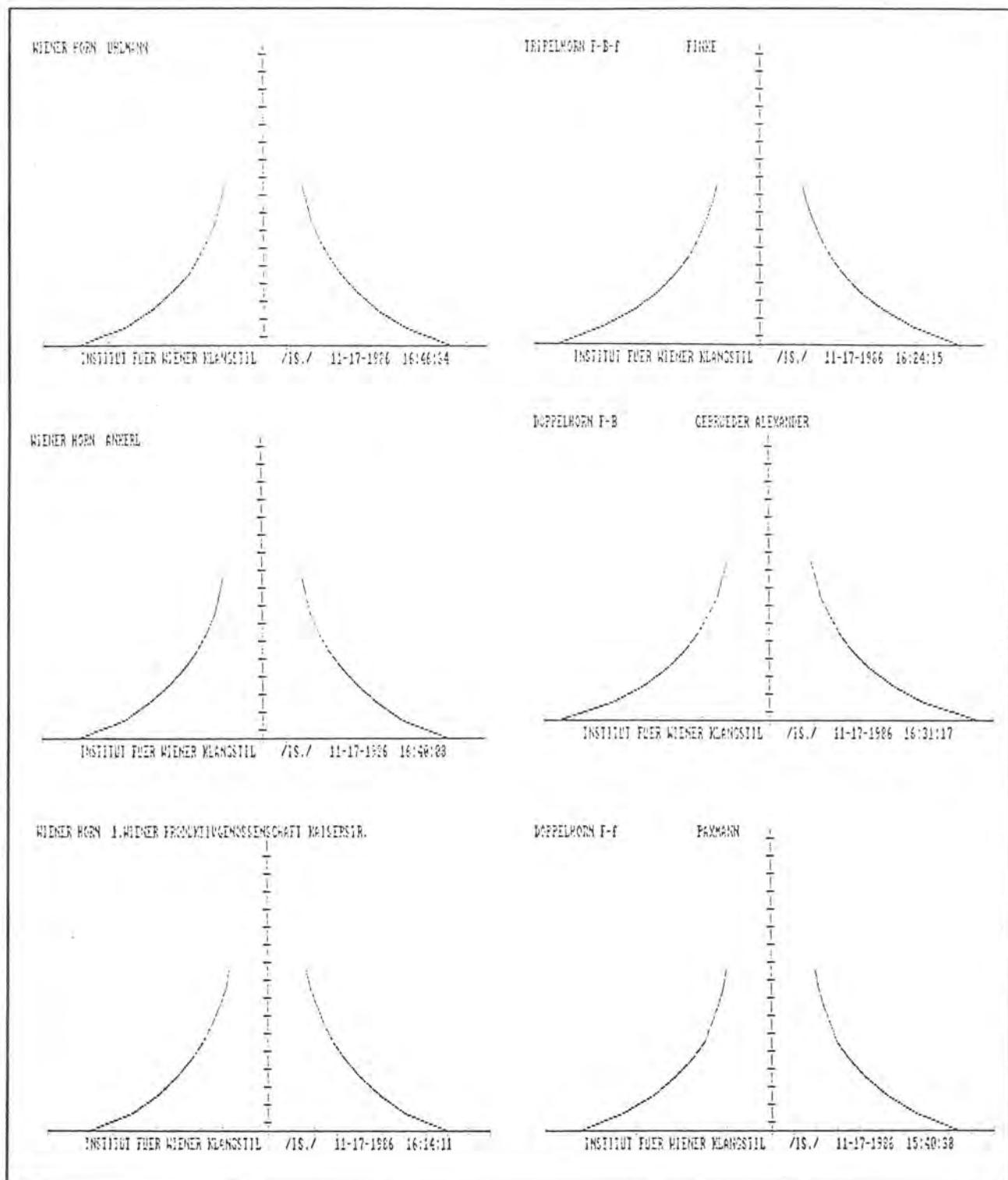


Abb. 2.2.3

Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur Drehventile und Pumpenventile untersucht, da mit Perinetventilen ausgestattete Hörner nur von französischen Instrumentenherstellern für den heimischen Markt angeboten werden und ihre Verbreitung selbst in Frankreich offensichtlich abnimmt (das New Philharmonic Orchestra of Paris benützt Wiener F-Hörner¹²⁾. Abb. 2.3.1 zeigt die beiden unterschiedlichen Systeme und Abb. 2.3.2 schematisch die Gestängekonstruktion der beiden Ventilarten.

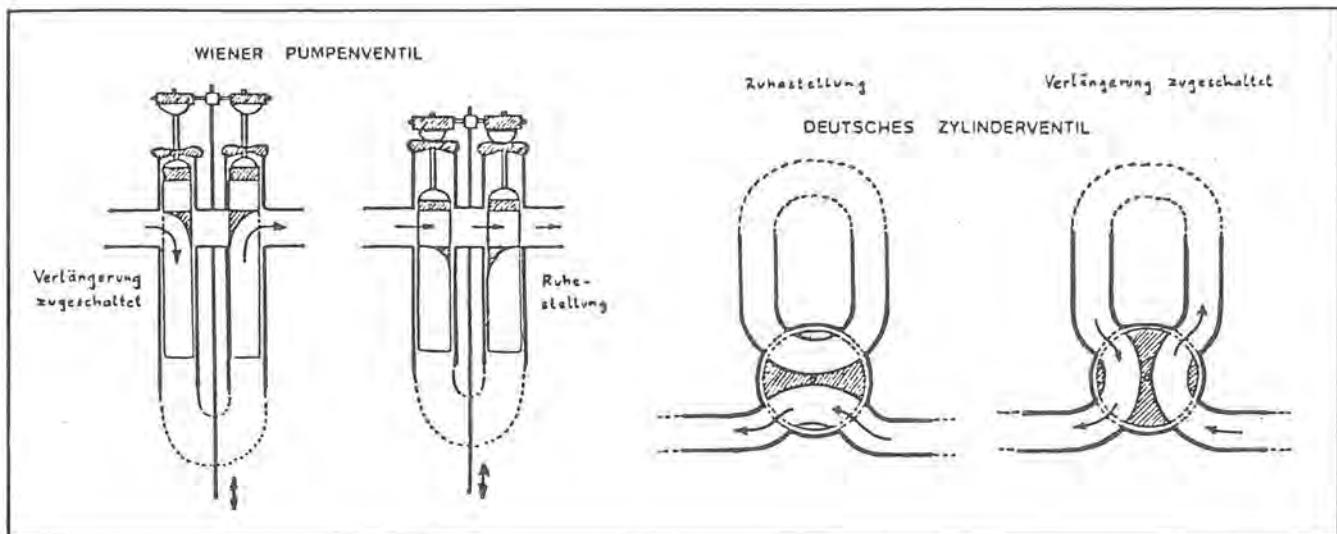


Abb. 2.3.1

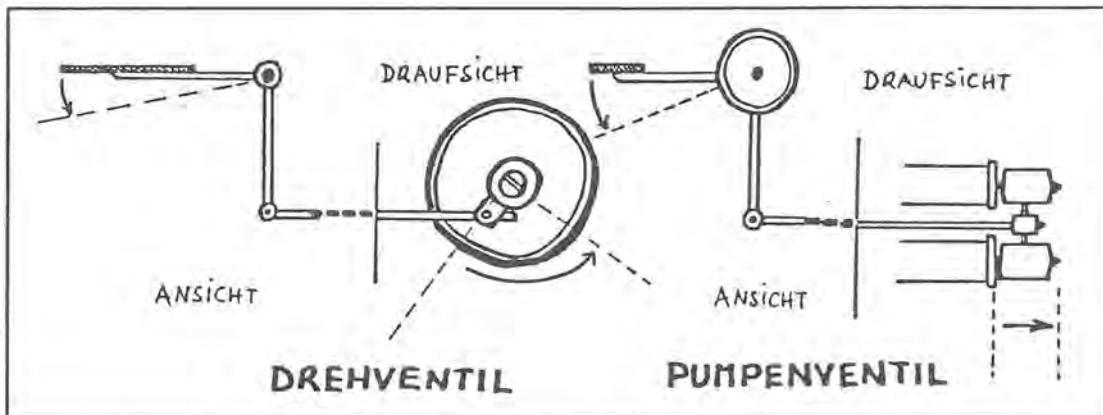


Abb. 2.3.2

Meist muß der Finger des Musikers beim Wiener Pumpenventil (von der Wiener Instrumentenbauer-Dynastie Uhlmann entwickelt) einen längeren Weg zurücklegen als beim Drehventil. Der Nachteil dieses längeren Weges (die Fingerspitze des "Wiener Musikers" muß beim Drücken des Ventils eine größere Strecke zurücklegen), kann jedoch durch eine höhere Geschwindigkeit (innerhalb der Grenzen des Möglichen) vom Musiker in den allermeisten Fällen wettgemacht werden. Aus der Abbildung kann ersehen werden, daß bei Pumpenventilen der zum Drücken benötigte Kraftaufwand im Wesentlichen nur von der Ventilfeder abhängt und während des Drückens (in nur einer Richtung!) geringfügig zunimmt. Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Überlegungen ist natürlich die einwandfreie mechanische Funktion der Ventile!

Bei den Drehventilen sieht dies anders aus: Durch die Umsetzung von der Schub-Bewegung in eine Dreh-Bewegung eröffnet sich die Möglichkeit einer Verkürzung des "Weges". Daraus resultiert in der Praxis einerseits der Vorteil, daß der benötigte Zeitaufwand für die "Bewegung" des Ventils verringert wird ("technische Stellen sind mit Drehventilen besser zu bewältigen"), andererseits aber die Tatsache, daß bewußte Änderungen im Bewegungsablauf einer Bindung durch den Musiker nahezu unmöglich sind (dies ist bei "langsamem" Bindungen zu einer optimalen Koordination von Lippenspannungs-Änderung und Ventilbewegung wünschenswert), weil für den Musiker gefühlsmäßig kein direkter Zusammenhang zwischen dem kurzen Fingerdruck und der Bewegung des Zylinder-Rotors mehr besteht.

Überdies zeigt sich nach einiger Zeit der Benützung folgender Effekt: Betrachtet man den benötigten Fingerdruck über die Zeit der Bindung, so fällt auf, daß dieser zu Beginn schnell ein Maximum*) erreicht, um anschließend relativ stark abzufallen (Abb. 2.3.3).

*) Der gezeichnete Kurvenverlauf wurde nicht durch Messungen gewonnen, sondern gibt das subjektive Gefühl der Musiker wieder. Genaue Untersuchungen sind zu einem späteren Zeitpunkt geplant.

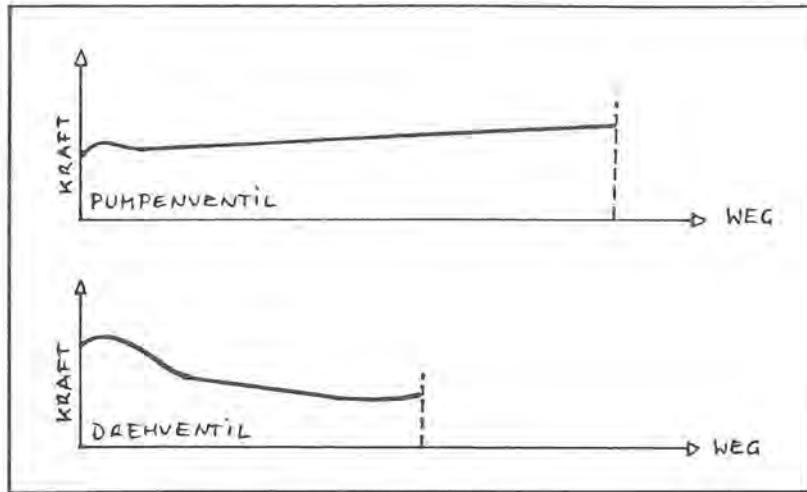


Abb. 2.3.3

Dieser Kraftverlauf begünstigt eine schnelle Bewegung, macht aber eine bewußte Steuerung des Bewegungsablaufs durch den Musiker nahezu unmöglich. Eine Abschwächung dieses Effektes bringt die Verwendung eines "Schnurzuges" anstelle des üblichen (meist kugelgelagerten) Gestänges. Wegen seiner Anfälligkeit wird eine solche Lösung von vielen Musikern aber abgelehnt.

Wiener Hornmodelle sind ausschließlich mit Pumpenventilen ausgestattet. Zwischen 1920 und 1950 wurden zwar zu Versuchszwecken von der Fa. Dehmal einige Instrumente mit Drehventilen ausgestattet; offensichtlich entsprach aber die mechanische Charakteristik dieses Ventilsystems nicht den Wünschen der Musiker, sodaß seither keine Instrumente dieser Bauart mehr erzeugt werden. ("Mit Drehventilen kann man nur schwer eine weiche Bindung machen!").

2.4 DAS MATERIAL

DIE LEGIERUNG

Der Einfluß der Legierung auf den Klang wird in ¹³ ausführlich behandelt. Die Resultate dieser Arbeit gelten - in allerdings abgeschwächter Form, da mehr schwingungshemmende Teile und Stützen, sowie ein stark durch die Hand und das Knie des Musikers bedämpfter Schalltrichter vorhanden ist - auch für die Hörner.

Die weltweit verwendeten Doppelhorn-Modelle werden in einer Vielfalt von Materialien erzeugt. Diese reicht von Messing mit sehr großem Kupferanteil bis zu Modellen aus Neusilber und reinem Silber. Meist werden drei Varianten angeboten:

Gold-brass	85% Kupfer 15% Zink
Yellow-brass	70% Kupfer 30% Zink
Silver	63% Kupfer 27% Zinn 10% Nickel

Für die Wiener Modelle wird meist eine Legierung von 75%-85% Kupfer und 15%-25% Zink herangezogen.

DIE WANDSTÄRKE

Während die ausländischen Instrumentenhersteller ihre Modelle in verschiedenen Wandstärken anbieten, sind die Wiener Modelle ziemlich einheitlich aus Messinglech mit einer Wandstärke von 0.35 bis 0.40 mm angefertigt.

3. AKUSTISCHE BESONDERHEITEN DES WIENER HORNS

Bedingt durch die baulichen Unterschiede zwischen den Wiener und anderen Hornmodellen ergibt sich in manchen Bereichen ein geändertes "akustisches Verhalten" der Wiener Hörner.

Diese "akustischen Besonderheiten" lassen sich gut mit Hilfe der sogenannten "Eingangsimpedanz-Messung" dokumentieren.

Weitere Untersuchungen wurden mit Hilfe des "Künstlichen Bläser" vorgenommen: Damit konnte der Einfluß des Instrumentes auf den Klang festgestellt werden. Da Musiker und Instrument physikalisch ja eine Einheit bilden, kann aus dem "Endprodukt" Klang nicht mehr herausgelesen werden, was auf die Eigenheiten des Musikers bzw. was auf die akustische Charakteristik des Instrumentes zurückzuführen ist. Mit der künstlichen Anregungsvorrichtung für Blechblasinstrumente wurden die unterschiedlichen Horntypen somit immer auf die gleiche Art und Weise "geblasen". Mittels Fourier-Analyse konnten dann die klanglichen Besonderheiten der Wiener Modelle dokumentiert werden.

Da jedoch die Diskussion der Resultate dieser Versuchsreihen einige grundsätzliche Bemerkungen zum Aufbau von Hornklängen voraussetzt, wird diese Untersuchung im Kapitel 4 (klangliche Besonderheiten) behandelt.

3.1 DIE EINGANGSIMPEDANZ-MESSUNG

Die bei diesen Messungen gewonnenen Kurven stellen die "akustische Visitenkarte" eines Instrumentes dar.

Die akustische Impedanz ist als Quotient von Schalldruck und Volumensstrom definiert, wobei der Volumensstrom die Geschwindigkeit der Volumensverschiebung oder die Schallschnelle multipliziert mit der Fläche ist¹⁵. Da aber die Bestimmung der Schallschnelle in der Praxis recht aufwendig und teilweise problematisch ist (derzeit nur möglich bei Zerstörung des Originalmundstückes oder bei Verwendung eines präparierten Referenzmundstückes), wird sie meist durch eine Messung des Schalldruckes in der Lippenebene ersetzt. Dies ist zulässig, da in der Lippenebene immer ein Schalldruck-Bauch besteht¹⁴ und die dabei gewonnenen Werte direkt proportional der Impedanz sind. Beispiele der praktischen Anwendung finden sich in mehreren Arbeiten^{15,16,17,18}. Bei der hier angewandten Messung werden also die RESONANZSTELLEN der "Röhre", die ein Blechblasinstrument ja darstellt, gemessen. Im folgenden werden daher die Ausdrücke "Resonanzspitzen" für diejenigen Frequenzbereiche verwendet, bei denen der Wert der Eingangsimpedanz (bzw. des der Impedanz proportionalen gemessenen Schalldruckes) ein Maximum besitzt.

Eine Resonanzspitze bei einer bestimmten Frequenz bedeutet, daß sich in der Röhre eine "Stehende Welle" bilden kann, welche nicht oder nur unwe sentlich durch phasenverschoben eintreffende, vom Schalltrichter (oder anderen Hindernissen, wie z.B.: schlechte Lötstellen oder vorstehende Teile) rücklaufende Impulse geschwächt wird.

Grundsätzlich besteht folgender Zusammenhang zwischen der Spielbarkeit eines Tones auf einem Blechblasinstrument und dem einer bestimmten Frequenz zugeordnetem Wert der Resonanz (Eingangs-Impedanz):

Ein hoher Wert bedeutet, daß die Druckwelle nach ihrer Reflexion an der Stürze nur wenig geschwächt wieder an der Lippenebene ankommt. Nachdem die Anregung durch die schwingenden Lippen erfolgt (die Lippen öffnen und schließen sich und erzeugen so periodische Druckimpulse) und die Lippenbewegung im Allgemeinen nur mit Unterstützung der stehenden Welle auf Dauer aufrechterhalten werden kann, leuchtet es ein, daß ein Klang umso leichter spielbar sein wird, je höher die Resonanz bei der entsprechenden Frequenz und ihren Vielfachen ist.

Die "Vielfachen" oder auch "Harmonischen" sind deshalb von Bedeutung, weil die Anregung des Instrumentes durch die Musikerlippen mit einem "Frequenz-Gemisch" und nicht mit einer diskreten Sinusschwingung (wie bei der Messung) erfolgt. Die Zusammensetzung dieses Frequenzgemisches ist ausschließlich von den individuellen physiologischen Gegebenheiten des Musikers abhängig!

Für die Treffsicherheit ist neben dem Absolutwert der Resonanz zusätzlich noch der Abstand zu den nächsten Maxima und der Abfall zu den jeweils benachbarten Minima von Bedeutung. Dies deshalb, weil:

1. ein großer Abstand zum nächsten Maximum eine größere Toleranz bei der Abstimmung der Lippenspannung zuläßt.
Die Lippenspannung muß vom Musiker nicht so exakt getroffen werden (wird im hohen Register wirksam).
2. ein starker Absfall zum benachbarten Minimum zu einer besseren Trennschärfe zwischen Minimum und Maximum beiträgt.

3.2 MESSAUFBAU

Abbildung 3.2.1 zeigt den Meßaufbau¹⁹.

Das Instrument wird mit einer Sinusschwingung konstanter Stärke angeregt, deren Frequenz über den interessierenden Bereich kontinuierlich verschoben wird (in den meisten Fällen von 0 - 1300 Hz).

Um den Pegel der vom Lautsprecher (künstlicher Mund B&K 4219) abgegebenen Sinusschwingung konstant zu halten, ist in der Druckkammer des Impedanzmeßkopfes (zwischen Lautsprechermembran und Drahtleitung) ein Mikrophon platziert, dessen - entsprechend dem herrschenden Schalldruck - abgegebene Spannung über einen Vorverstärker (B&K 2609) dem Kompressoreingang des Sinusgenerators (B&K 1023) zugeführt wird. Erzeugt der Lautsprecher nun aufgrund seiner individuellen Resonanz bei einer bestimmten Frequenz trotz gleicher Energiezufuhr einen höheren/niedrigeren Schalldruck, so steigt/fällt die am Kompressoreingang des Sinusgenerators anliegende Spannung.

In der Folge vermindert/erhöht die Regelschaltung des Kompressors die Ausgangsspannung des Sinussignals proportional, sodaß der vom Lautsprecher abgegebene Schalldruck über einen Frequenzbereich von ca. 50 - 14000 Hz konstant bleibt (Kompressor-Speed: 1kHz). Mit der im Impedanzmeßkopf eingebauten "Drahtleitung" wird verhindert, daß die stehende Welle die Schwingung der Lautsprechermembran beeinflußt. Die Drahtleitung ist mit Stahldrähten verschiedener Stärke gefüllt und läßt dadurch Kanäle mit verschiedenen Durchmessern entstehen. Gleichzeitig tritt diese Leitung nicht als zusätzliches "Volumen" in Erscheinung, welches bei der Resonanzmessung einen Einfluß auf die Frequenzlage der Maxima und Minima ausüben könnte.

Mikrophon und Ende der Drahtleitung wurden so angeordnet, daß sie das Volumen des jeweils angekoppelten Mundstückes etwas verringern. Dies erwies sich als notwendig, da bei "bündigem" Abschluß Diskrepanzen zwischen gemessenen Resonanzstellen und den Frequenzen, bei denen der Musiker die "Töne" spielte, austraten. Ursache dieser Diskrepanz ist die Volums-Verringerung des Mundstückes durch die in das Mundstück hineinragenden Lippen des Bläsers. Einige Test-Messungen erbrachten Werte für die Volumsverdrängung, die zwischen 0 und 300 mm³ lagen (das Gesamtmandstücksvolumen beträgt 3 - 4,5 cm³). Wir ordneten daher Mikrophon und Drahtleitung so an, daß sie zusammen etwa 200 mm³ an Volumen verdrängen.

Abbildung 3.2.2 zeigt die Meßeinrichtung und Abbildung 3.2.3 den von uns benützten Impedanzmeßkopf.

Der der jeweiligen Anregungsfrequenz entsprechende Schalldruck im Mundstück des über den Impedanzmeßkopf angekoppelten Musikinstrumentes (in der Lippenebene) wird mit dem Sondenmikrophon B&K 4136 in Verbindung mit dem Schallpegelmesser B&K 2209 gemessen. Die Zeigerspannung wird dem X-Y Schreiber B&K 2308 zugeführt. Da der Frequenz-Sweep des Sinusgenerators vom X-Y Schreiber gesteuert wird, können die gemessenen Werte ohne weiteres den Frequenzen zugeordnet werden.

Die Werte werden entweder in der vorhin beschriebenen Weise linear (bessere Detail-Genauigkeit bei den Spitzen) oder bei Verwendung eines logarithmischen Millivoltmeters logarithmisch (absolute Lage/Bereich der Werte) graphisch dargestellt. Zusätzlich kann zur Kontrolle die Kompressor-Spannung aufgezeichnet werden und bei Bedarf das Nutzsignal mit einem PCM-Prozessor digital gespeichert werden.

3.3 ERGEBNISSE

Die bei den Messungen festgestellten Unterschiede zwischen Wiener Modellen und Doppelhörnern zeigen sehr gut die Auswirkungen auf

- den Energiebedarf (für gleiche Schalleistung),
- die Einschwingzeit,
- die Treffsicherheit (Ansprache),
- die Klangfarbe und
- die Ventilfunktion (bei Bindungen).

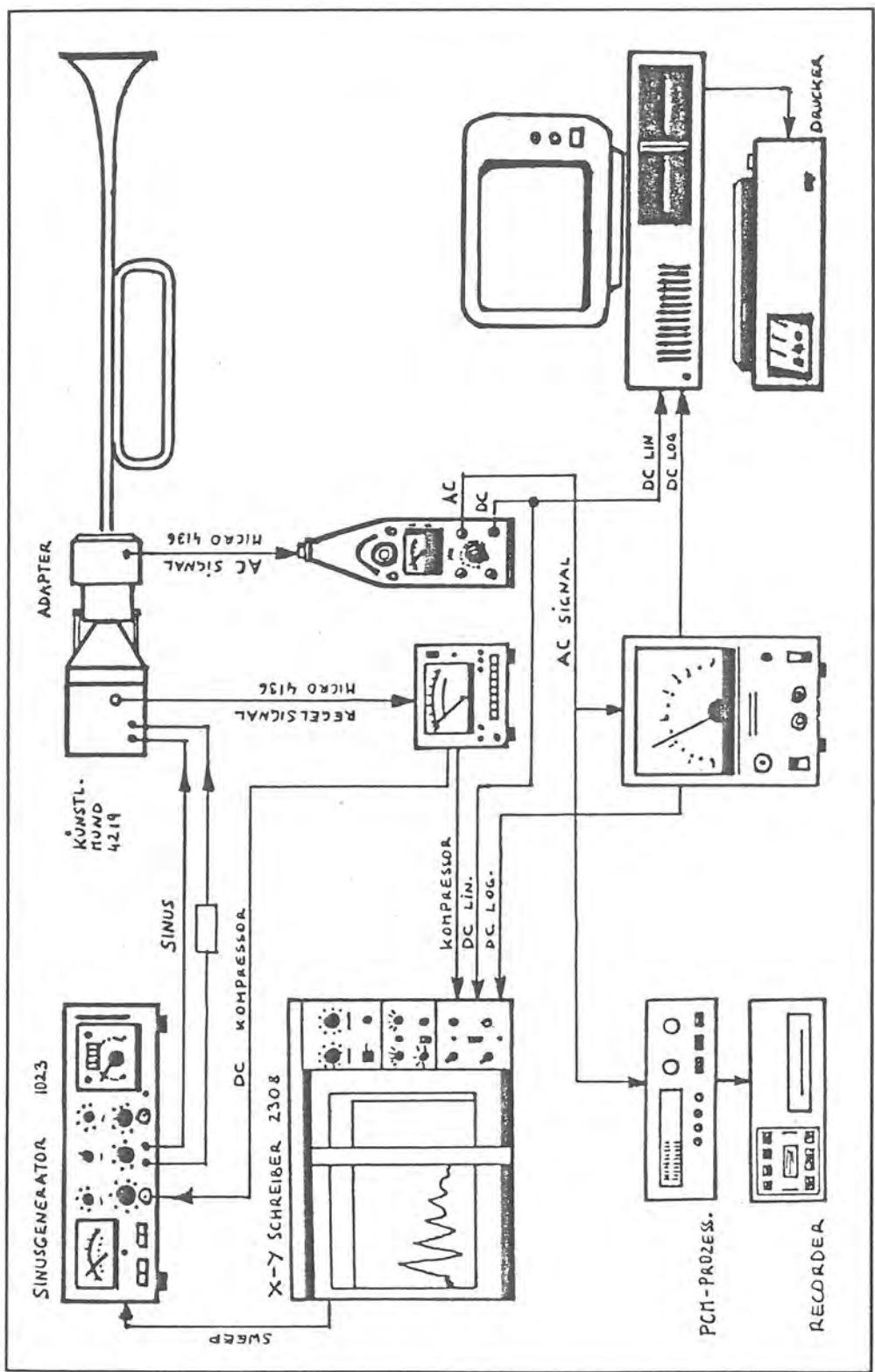


Abb. 3.2.1

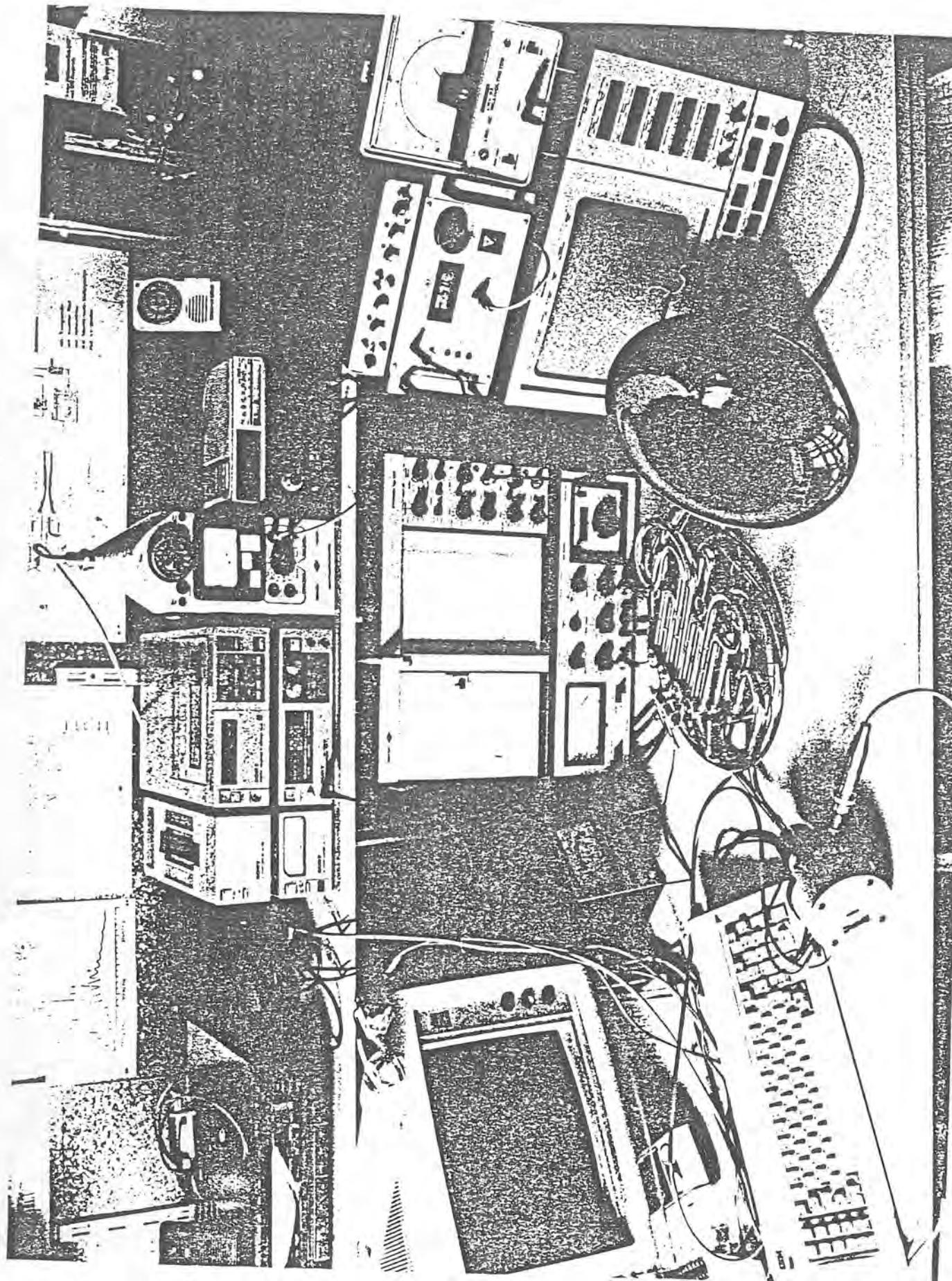


Abb. 3.2.2

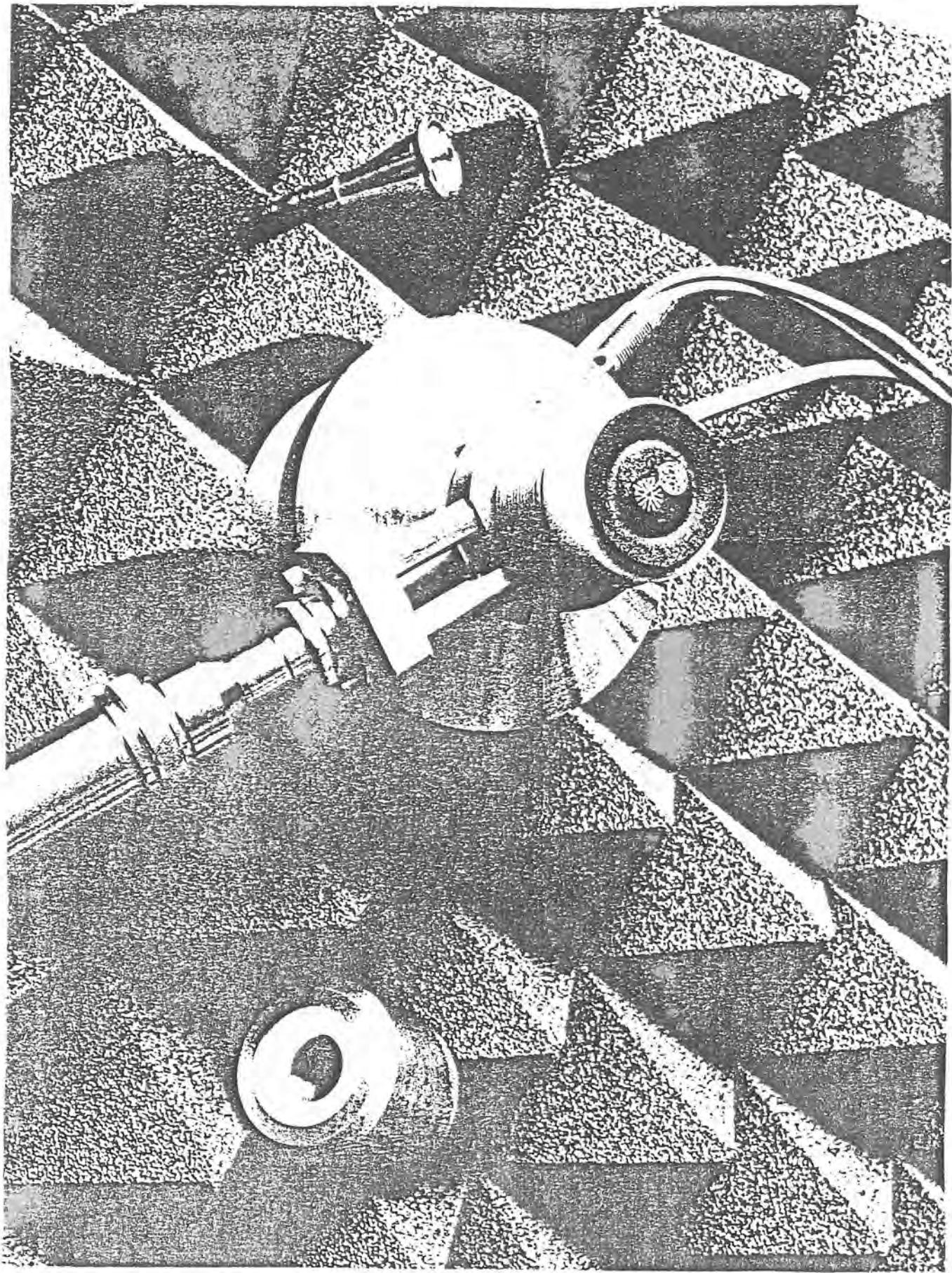


Abb. 3.2.3

3.3.1 DER ENERGIEBEDARF

Abb. 3.3.1.1 zeigt die Resonanzkurven für ein (Wiener) F-Horn (a), ein b-Horn (b) und ein f-Horn (c). Da die verschiedenen Horntypen mit der gleichen Energie angeregt wurden, sieht man deutlich, daß bei gleicher Energiezufuhr der Schalldruck im hohen f-Horn (c) wesentlich höhere Werte erreicht als beim b- oder F-Horn.

Ein Test gab Aufschluß über die Größenordnungen: Alle drei Horntypen (F/b/f) wurden über den Impedanzmeßkopf mit einer Sinusschwingung gleicher Amplitude und Frequenz (356 Hz = notiert c2) angeregt, die Zeitfunktionen aufgezeichnet und der Schalldruckpegel in der Lippenebene gemessen.

Er betrug beim:

F-Horn 113.5 dB (9,46 Pa) (a)

b-Horn 114.5 dB (10,62 Pa) (b)

f-Horn 117.5 dB (14,99 Pa) (c)

Die Anregung erfolgte mit 103.0 dB (2,83 Pa).

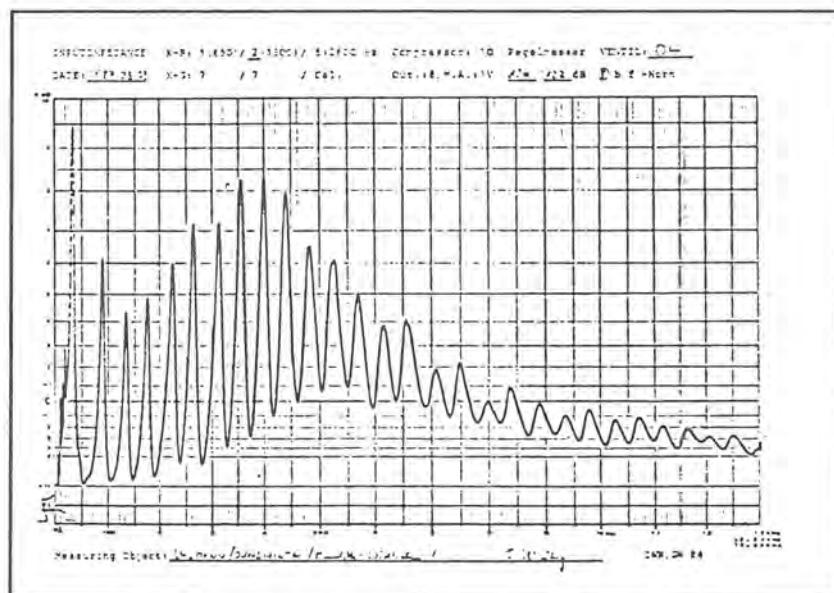


Abb. 3.3.1.1 a

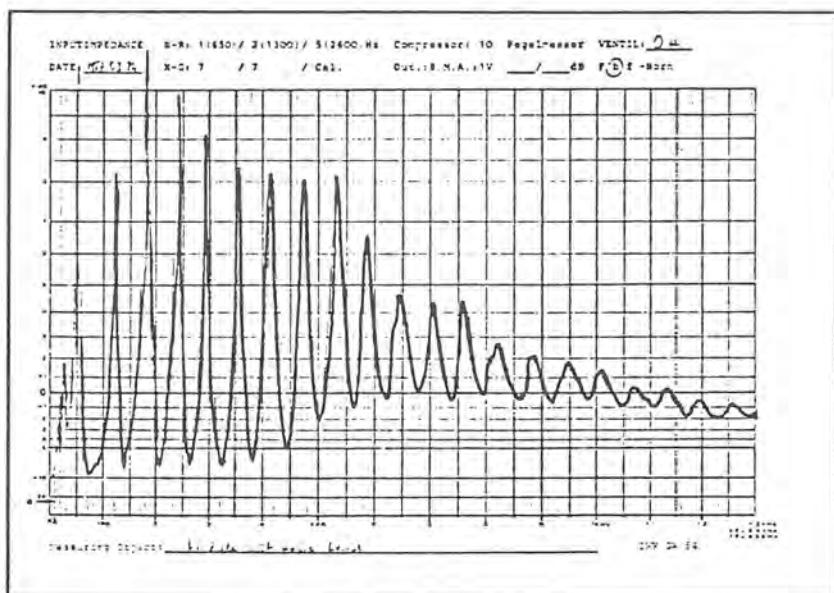


Abb. 3.3.1.1 b

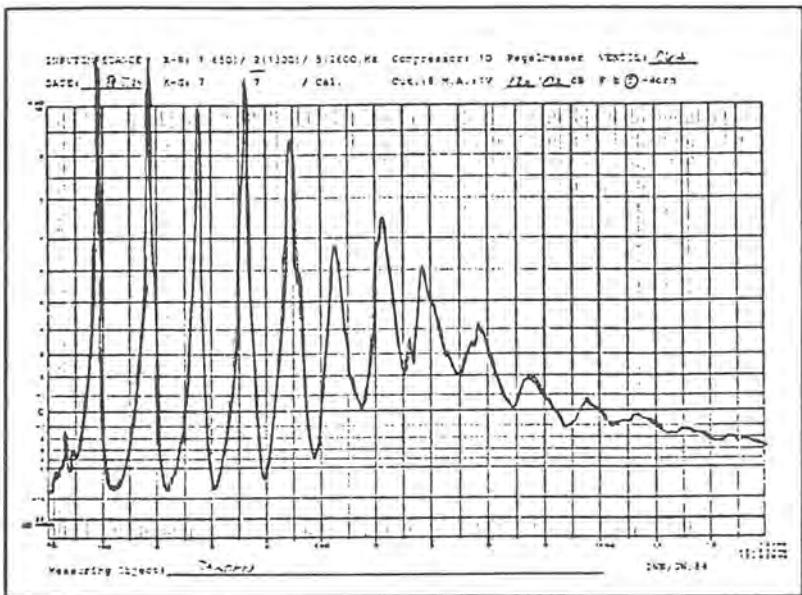


Abb. 3.3.1.1 c

Man sieht, daß bei gleicher Energiezufuhr im f-Horn ein um zirka 58% höherer Schalldruck als im F-Horn herrscht. Der Musiker muß also beim Wiener Modell (a) zum Erreichen einer "gleichstarken" stehenden Welle im Instrument mehr Energie aufwenden als bei den b- und f-Hörnern. Ursache dafür ist die fast doppelt so große "Masse" an Luft, die der Musiker beim F-Horn gegenüber dem f-Horn in Schwingung versetzt. Dies gilt jedoch nur für einen relativ kurzen Zeitraum (ca. 20-200 ms), da nach dem Aufbau der Stehenden Welle - in der stationären Phase - vom Musiker ja nur mehr der durch die Abstrahlung und die innere Reibung verursachte Energieverlust dem Instrument zugeführt werden muß.

3.3.2 DIE EINSCHWINGZEIT

Abbildung 3.3.2.1 zeigt die Zeitfunktionen der stehenden Welle im F-Horn (a), b-Horn (b), f-Horn (c) und die Zeitfunktion der Anregung (d). Deutlich ist zu erkennen, daß die Zeitspanne bis zur endgültigen Etablierung des "Stehenden Wellensystems" in der Röhre bei gleicher und gleichbleibender Energiezufuhr beim F-Horn die längste ist.

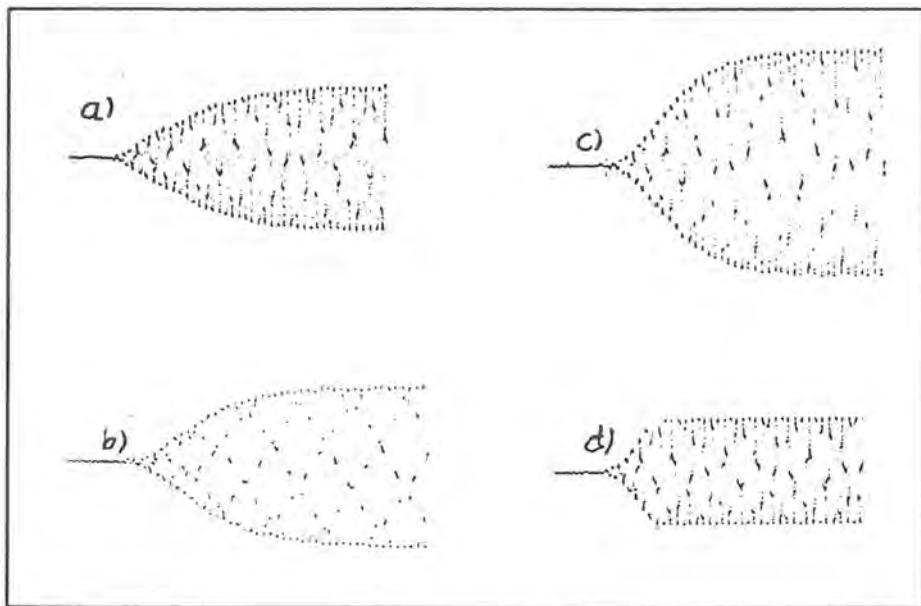


Abb. 3.3.2.1

Abb. 3.3.2.2 zeigt zum Vergleich die "Umhüllenden" der 4 Zeitfunktionen übereinander gezeichnet.

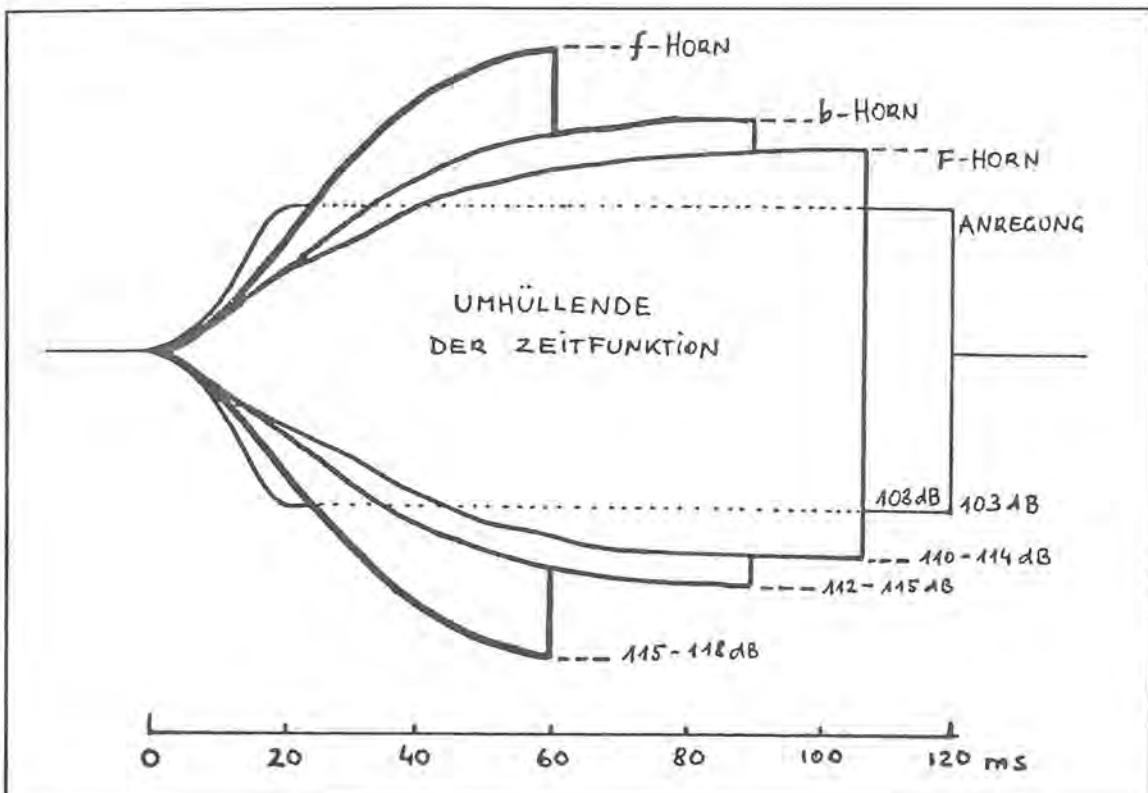


Abb. 3.3.2.2

Aus der Abbildung läßt sich unschwer die Einschwingzeit ablesen:

F-Horn	100 ms bis 108 ms
b-Horn	90 ms bis 98 ms
f-Horn	60 ms
Anregung	20 ms.

Bedenkt man, daß der Notenwert der einzelnen Note bei schnellen Läufen im musikalischen Kontext oft nur 50-80 Millisekunden beträgt, so muß der Musiker bei Benützung des längeren F-Horns die Einschwingzeit durch eine entsprechend erhöhte Energiezufuhr verkürzen, um eine Note innerhalb eines "Laufes" überhaupt hörbar zu machen. Die praktische Erfahrung der Hornisten: "Schnelle Läufe bzw. technische Stellen sind auf einem F-Horn schwieriger zu realisieren als auf einem b- oder f-Horn und kosten mehr Substanz" wird durch die Resultate der Messungen eindrucksvoll belegt.

3.3.3 DIE TREFFSICHERHEIT

Wie an früherer Stelle schon gezeigt, ist es für den Musiker nur dann möglich, einen "Ton" zu spielen, wenn die Schwing-Frequenzen der Lippen auf die Frequenzen des Systems der stehenden Welle im Instrument abgestimmt sind. Je stärker die Amplituden der stehenden Welle, desto stärker ist daher auch der "Synchronisations-Effekt" für eine nicht exakt abgestimmte Lippenfrequenz. Das Problem des "Kieksers" wird dadurch etwas gemildert. Zusätzlich erhöhen die größeren Frequenz-Abstände der einzelnen Maxima und die höheren Differenzen zwischen Minima und Maxima die Treffsicherheit. Liegen die Maxima auf der Frequenz-Achse weiter voneinander entfernt, so ist unter Berücksichtigung des Synchronisationseffektes eine geringere Abstimmgenauigkeit der Lippenfrequenz notwendig.

Ein Beispiel möge das verdeutlichen: Ist die Treffsicherheit beim F-Horn im oberen Register (c2-c3 notiert) im allgemeinen schon als problematisch anzusehen und verlangt vom Musiker entsprechende Konzentration, so trifft dies für das nur halb so lange f-Horn nicht mehr zu, da die Abstände der Maxima im Bereich c2-c3 den Abständen des Bereiches c1-c2 (mittleres Register) des F-Horns entsprechen (Tab. 2.1.1).

3.3.4 DIE KLANGFARBE

Während die Zusammenhänge zwischen Resonanzkurven und Innerer Stimmung (Intonation) eines Blechblasinstrumentes weitestgehend erforscht sind (siehe ^{9,15,17,18,19,21}), gibt es keinerlei Untersuchungen über den Zusammenhang Resonanzkurve-Klang unter Berücksichtigung des Einflusses des Anregungsspektrums. Erste Vorversuche zeigten, daß eine große Anzahl verschiedenartigster Untersuchungen und Messungen notwendig wären, um ein einigermaßen funktionierendes mathematisches Verfahren erstellen zu können, mit dem man aufgrund einer vorhandenen Resonanzkurve auf den klanglichen Charakter eines Instrumentes schließen könnte.

So interessant uns dieser Aspekt im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt erschien (es wäre schon verlockend und für eine präzise Aussage hilfreich gewesen, ein solches Verfahren zu erarbeiten), die erforderlichen Untersuchungen hätten bei weitem den Rahmen des Forschungsprojektes gesprengt. Die folgenden Überlegungen sind daher nur als Hypothesen für den linearen Fall zu verstehen. Nach Abschluß des laufenden Projektes sind Untersuchungen auf diesem Gebiet geplant.

Vergleichende Untersuchungen zum Einfluß des Instrumententypus auf die Klangfarbe werden im Kapitel 4 behandelt. Hier nur einige Überlegungen zum Zusammenhang: RESONANZKURVE - KLANG. Der vom Zuhörer wahrgenommene Klang (und nur um diesen geht es uns) besteht aus den vom Schalltrichter des Instrumentes abgestrahlten Schallwellen und aus den Raumanteilen (Reflexionen), welche aber nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind.

Da nur Frequenzen abgestrahlt werden können, welche im Spektrum des "Stehenden Wellen-Systems" im Instrument enthalten sind und das Spektrum dieses Wellen-Systems zustandekommt, indem der Musiker mit seinem individuellen "Spektrum" das Instrument anregt und in weiterer Folge sich nur jene darin enthaltene Frequenzen "behaupten" können, welche den Resonanzstellen entsprechen, ist klar, daß man aus der Resonanzkurve auf das klangliche Verhalten des Horns schließen kann.

Einfache Vorversuche (das "Treiben" und "Fallen lassen" eines Tones durch den Musiker bei gleichzeitiger Spektralanalyse) haben gezeigt, daß das Horn als FILTER für das Anregungsspektrum angesehen werden kann, wobei die Filter-Charakteristik durch die Resonanzkurve gegeben ist, welche den Verstärkungs-Faktor für die einzelnen im Anregungsspektrum enthaltenen Frequenzen darstellt.

Bei einem weiteren Vorversuch wurde das Instrument mit einem Sinus bestimmter Frequenz, aber verschiedener Stärke angeregt (Dynamikbereich: 85-117 dB). Die Werte für die in der Lippenebene des Mundstückes gemessenen Schallpegel der Stehenden Welle zeigten ausnahmslos eine lineare Beziehung (in der dB-Einheit!) zu den Pegel der Anregungsfrequenz. Eine Erhöhung des Anregungspegels um 1 dB hatte einen um 1 dB erhöhten Pegel der Stehenden Welle zur Folge, usw.

Daraus kann folgendes geschlossen werden: Zeigt ein Instrument gegenüber anderen in bestimmten Frequenzbereichen wesentlich höhere Resonanzspitzen, so werden die in diese Bereiche fallenden Frequenzanteile des Anregungsspektrums auch im abgestrahlten Klang entsprechend stärker enthalten sein').

Abb. 3.3.4.1 zeigt einen Vergleich der Resonanzkurven von 7 Wiener Hornmodellen mit den Resonanzkurven der F-Horn und b-Horn-Teile von 7 Doppelhörnern (gleiche Handhaltung). Dabei wurden die einzelnen Maxima und Minima durch Punkte markiert. Aus dieser Abbildung lassen sich folgende Trends ablesen:

1. Das Wiener Modell besitzt gegenüber dem F-Teil der Doppelhörner im tiefen Register (notiert g bis e1/g1) einen geringeren Verstärkungsfaktor. Ursache dafür ist vermutlich die engere Mensur.
2. Bei den Wiener Modellen geht der Trend in Richtung "Maximale Verstärkung" im Bereich 350 - 500 Hz (notiert g1 bis g2, das ist das mittlere bis hohe Register), während bei den F-Horn-Teilen der Doppelhörner von Beginn an eine ziemlich gleichmäßige Verstärkung der Frequenzen vorhanden ist, um nach dem g2 (notiert) kontinuierlich (wie beim Wiener Modell) abzufallen.

Die Konsequenzen auf den abgestrahlten Klang werden im Kapitel 4 näher behandelt.

') Bewußt wird hier der Einfluß der Schalltrichterform auf die spektrale Zusammensetzung des abgestrahlten Schalles nicht in die Überlegung miteinbezogen, da dieser Einfluß durch die individuelle Handhaltung des Musikers zum Großteil außer Kraft gesetzt wird.

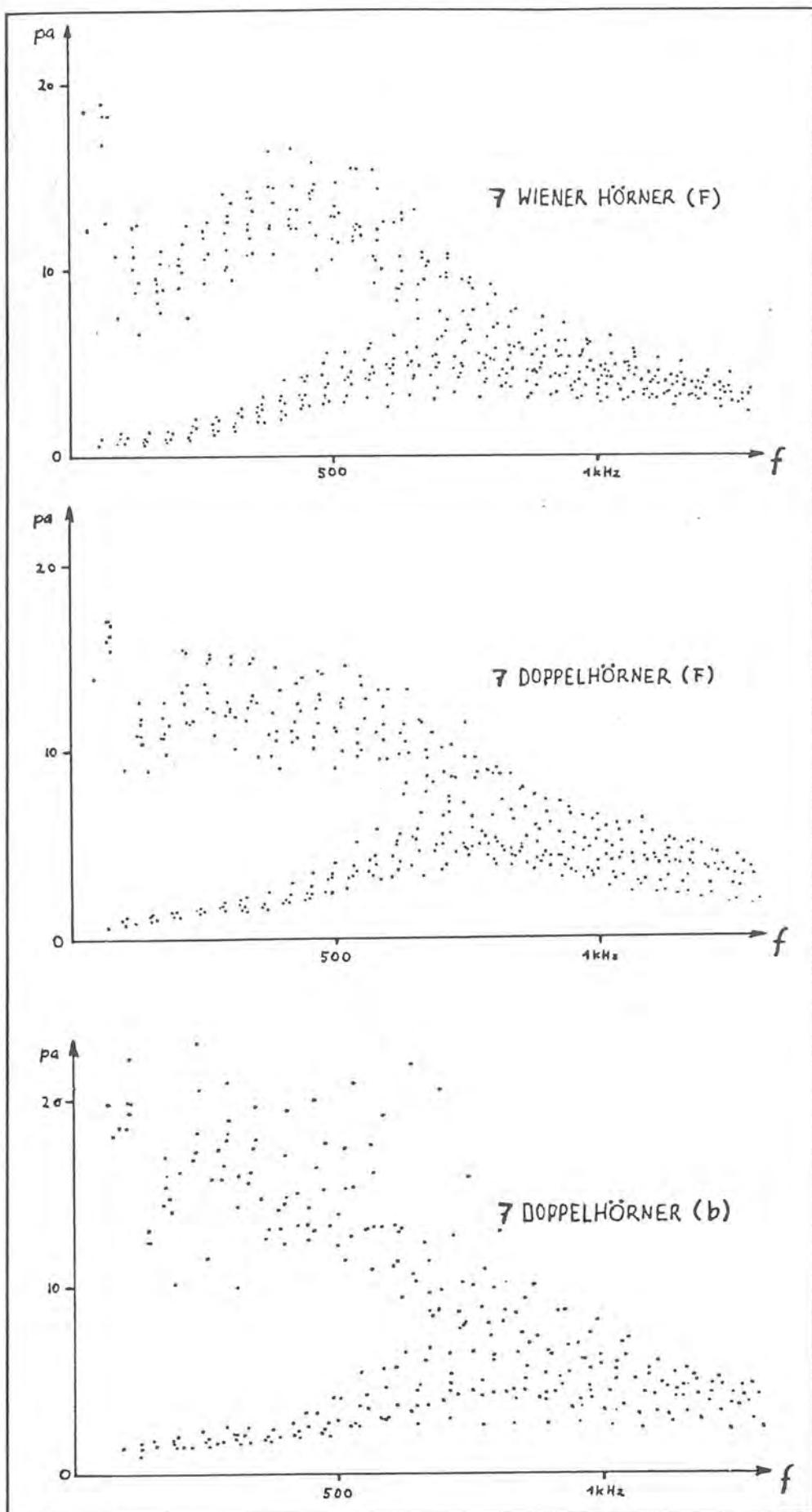


Abb. 3.3.4.1

3.3.5 DIE VENTILFUNKTION

“Bindet” ein Hornist zwei Töne, so werden diese hintereinander gespielt, ohne jedoch die Energiezufuhr dazwischen zu stoppen. Die Anregungsfrequenz wird dabei durch die kontinuierliche Veränderung der Lippenspannung vom einem Resonanzmaximum auf ein anderes abgestimmt.

Bei den Blechblasinstrumenten unterscheidet man zwischen Lippenbindungen und Ventilbindungen: Entsprechen die beiden zu verbindenden Töne Resonanzmaxima der selben Rohrlänge (liegen sie also innerhalb einer Naturtonreihe), so spricht man von einer **LIPPENBINDUNG**. Liegen aber die Resonanzmaxima nicht bei der gewünschten Frequenz, so wird mit dem Ventil im zylindrischen Bereich des Instrumentes ein Rohrstück entsprechender Länge dazugeschaltet (siehe Abb. 2.1.2). Eine solche Bindung wird als **VENTILBINDUNG** bezeichnet. Dabei wird in die schwingende Luftsäule ein “noch nicht schwingender” Teil eingefügt. Gleichzeitig wird über die Lippenspannung die Frequenz der Anregung verändert. Fingerbewegung und Lippenspannungsänderung müssen dabei möglichst synchron ablaufen. Dieser Vorgang geht nicht plötzlich, sondern kontinuierlich und in seiner zeitlichen Abfolge vom Musiker mehr oder weniger bewußt gesteuert vor sich. Die Art des Einfügens dieses “Stückchens” ruhender Luftsäule in die schwingende Luftsäule ist allerdings von der Ventilart abhängig.

Bekannt sind uns nur zwei nicht veröffentlichte Untersuchungen: Eine über Möglichkeiten der Funktionsoptimierung für Drehventile von Walther Krüger (Forschungszentrum Plauen, DDR) und ein von J. Webster beim “internationalen Workshop über die physikalischen und psychoakustischen Grundlagen der Musik” in Ossiach (1977) gehaltenes Referat: “Intonation Errors due to Discontinuities in the Valve Mechanismus of Trumpets”. Beide Arbeiten gehen auf den Einfluß der unterschiedlichen Ventiltypen auf Spieltechnik und Klang nicht ein.

Abbildung 3.3.5.1 zeigt schematisch das Pumpenventil (a), das beim Wiener Modell Verwendung findet, und das Drehventil oder Deutsche Zylinderventil (b), das bei Doppelhörnern eingebaut ist.

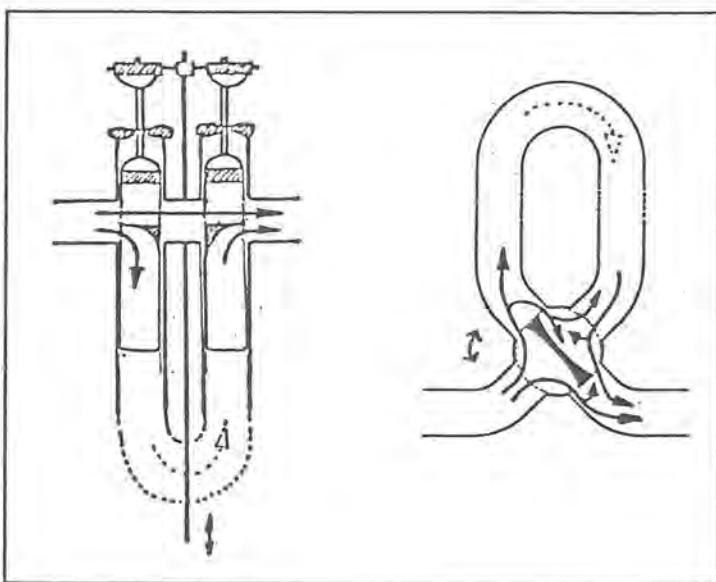


Abb. 3.3.5.1

Die Ventile wurden in “Mittelstellung” gezeichnet. In dieser Stellung ist die unterschiedliche Funktion der beiden Ventilarten besonders gut erkennbar:

Beim Wiener Pumpenventil sind während der Bindungsdauer im Wesentlichen zwei und nur zwei Pfade offen, während sich beim Drehventil eine Reihe von Pfaden öffnet!

Das Faktum, daß einerseits “weiche Bindungen” (=glissando-ähnlich) mit den Pumpenventilen des Wiener Modells gut ausführbar sind, andererseits aber bei schnellen Läufen (“gebundenen” wie auch “gestoßenen” gleichermaßen) oft die zur Verständlichkeit notwendige “Klarheit” (Trennung der einzelnen Noten) nur sehr schwer herzustellen ist, ist unter den Hornisten umstritten. Bei Benützung von Drehventilen ist es genau umgekehrt.

R. Merewether³² meint dazu: “... und es gibt keinen Zweifel: die Hörner mit Pumpenventilen vermitteln ein anderes

Gefühl beim Blasen, zumindestens wegen der schwerfälligeren Mechanik, vielleicht aber auch aus einem schwerer auszumachenden Grund."

Ein sofort ins Auge fallendes Charakteristikum des Wiener Pumpenventils (es wurde von der Wiener Instrumentenbauerfamilie Uhlmann entwickelt) ist der gegenüber den Drehventilen konstruktionsbedingte längere Weg (siehe Kapitel 2.3).

Es muß aber noch andere Auswirkungen der Ventilart auf Spieltechnik und Klang geben, da jeder Hornist ohne viel Mühe beim Hören von schnellen Passagen mit großer Wahrscheinlichkeit errät, ob diese mit einem Wiener Modell gespielt wurden oder mit einem Horn, das Drehventile besitzt.

Hinweise auf solche Besonderheiten fanden wir erstmals bei den Spektrogrammen (Kapitel 4, Abb 4.1.3.2) der von ausländischen und Wiener Musikern im schalltoten Raum gespielten Klänge.

Um Aufschluß über die Vorgänge während einer Bindung zu erhalten, führten wir mehrere Resonanzmessungen durch. Dazu wurde eine Vorrichtung gebaut, die - um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten - mittels eines elektrischen Getriebemotors eine reproduzierbare Ventilbewegung gewährleistet.

Als erstes untersuchten wir am F-Horn einen Sonderfall, der zwar in der Praxis kaum von Bedeutung ist, aber den Vorteil besitzt, die während des "Zuschaltvorganges" auftretenden Phänomene der Resonanzlagenänderungen aufzuzeigen:

die "Bindung" c2(leer) - c2(1.Ventil).

Die Problematik des komplizierten Zusammenwirkens von individueller Veränderung der Anregungsfrequenz und Änderung des Resonanzverhaltens kann bei dem gewählten Beispiel außer Acht gelassen werden, da der Ton c2 (notiert) sowohl "leer" als 8. Naturton, als auch mit dem 1. Ventil als 9. Naturton gespielt werden kann (Entkopplung des zeitlichen Vorgangs der Lippenspannungsänderung von der gleichzeitig vorschließenden Ventilbewegung).

Dafür wurde der erste Zug so auf das Gesamtinstrument abgestimmt, daß in beiden Fällen ("leer" oder unter Zuhilfenahme des 1. Ventils) das Maximum des 8. bzw. 9. Resonanzbereiches bei derselben Frequenz liegt. Bei Anregung mit konstanter Frequenz erhält man über den "Bindungszeitraum" die nachfolgend gezeigten zwei Diagramme (Abb. 3.3.5.2)

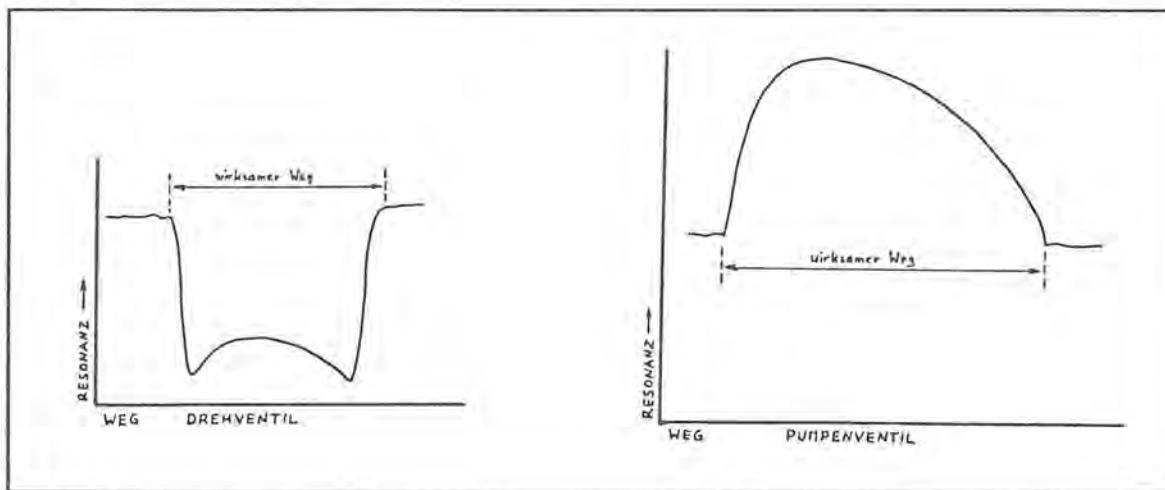


Abb. 3.3.5.2

Wie in 3.1 erwähnt, ist ein Ton für den Musiker umso leichter zu spielen, je höher die Resonanz bei der entsprechenden Frequenz ist. Die Abbildung bestätigt, daß es beim Drehventil nahezu unmöglich ist, während des gesamten Bindungsvorganges den Ton "zu halten". Beim Pumpenventil ist dies offensichtlich kein Problem, was aber nicht bedeutet, daß die Klangfarbe zu jedem Zeitpunkt des "Bindungsvorganges" unverändert bleibt.

Die Abbildung 3.3.5.3 zeigt die Resonanzlagenverteilung für ein Wiener Modell (a) und ein Doppelhorn [F-Horn] (b) bei der "Mittelstellung" des 1. Ventils. Auch daraus geht die Spielbarkeit des Tones c2 (350 Hz) bei Verwendung von Pumpenventilen klar hervor.

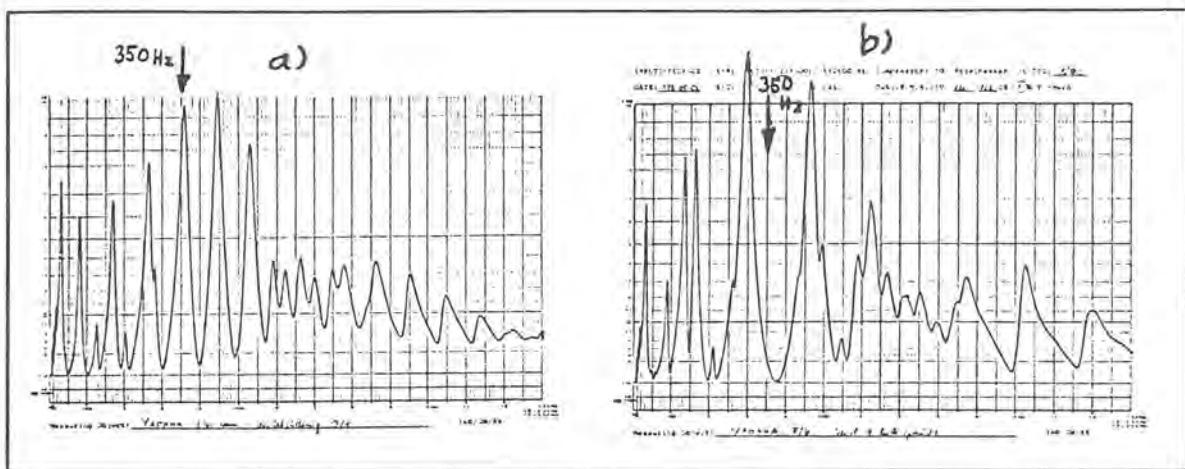


Abb. 3.3.5.3

Die gezeigten Diagramme legen den Schluß nahe, daß bei Benützung von Drehventilen im Zuge des "Bindungsvorganges" irgendwann einmal der Punkt kommt, wo die Schwingung der Luftsäule "zusammenbricht" oder zumindest stark abgeschwächt wird, um anschließend mit einer der neuen Frequenz sehr nahe kommenden Frequenz wieder aufgebaut zu werden. Dieses "Zusammenbrechen" tritt sogar bei der hier behandelten "Eintonbindung" auf, bei der keine Frequenzänderung auftritt. Seine Ursache liegt vermutlich in der gegenseitigen, teilweisen Auslöschen, die durch die Vielfalt der möglichen Ausbreitungsrichtungen bei den Drehventilen in der Mittelstellung gegeben ist.

Bei Benützung von Pumpenventilen tritt der Effekt des "Zusammenbrechens" der stehenden Welle nicht oder nur unwesentlich auf.

Einige Versuche in der Praxis verstärkten diesen Eindruck: Versucht man die Zeitspanne einer Bindung (meist nie länger als 0,3 sec) so weit zu dehnen, daß zwar die Koordination von Fingerbewegung und Lippenspannungsänderung vom Musiker noch kontrollierbar ist (ca. 2-3 sec), aber die Klangänderungen während des Bindungsvorganges durch den Zuhörer schon wahrnehmbar werden, so ist in den meisten Fällen bei Pumpenventilen ein mehr oder weniger kontinuierlicher Übergang von der einen zur anderen Frequenz feststellbar, während bei Drehventilen ein eher abrupter Frequenzwechsel hörbar wird (vgl. Kapitel 4.3.2).

Um dieses vermutete "Hinübergleiten" von einer Frequenz in die andere bei Pumpenventilen und das eher abrupte Wechseln bei Drehventilen graphisch darstellen zu können, wurde folgende Methode angewandt (s. Abb. 3.3.5.4):

Als Bindung wurde c2 - h1 (leer/2.Ventil), eine Kombination, die in der Praxis recht häufig vorkommt, ausgewählt.

Von h1 ausgehend wurde das Instrument in 3-Hz-Schritten jeweils mit konstanter Frequenz angeregt und mittels des Elektromotors das Ventil so bewegt, daß sich links (zu Beginn der Kurve) die Stellung "leer" befindet und der rechte Endpunkt die Stellung "Ventil 2 gedrückt" darstellt.

Die sich so ergebende Resonanzkurve gibt die Größe der Amplitude für die eine diskrete Frequenz und alle möglichen Ventilstellungen, welche während einer Bindung eingenommen werden können, an.

Führt man diese Messung nun schrittweise zwischen den beiden Endfrequenzen ($h1 = 336$ Hz (beim Doppelhorn 332 Hz) und $c2 = 353$ Hz) durch, so erhält man für die beiden Ventilarten die in Abbildung 3.3.5.4 gezeigten Diagramme.

Deutlich geht daraus hervor, daß beim Pumpenventil durch kontinuierliche Frequenzänderung ein "Hinübergleiten" von einer zur anderen Frequenz auf einem relativ breiten "Resonanzrücken" möglich ist, während beim Drehventil dieses durch teilweise auftretende "steile Gräben" verhindert wird.

Trifft man die Annahme, daß die Anregungsfrequenz durch die Lippenspannungsänderung vom Musiker über die Zeit linear erhöht oder erniedrigt wird, so ergibt sich für den Musiker (aufgrund der Daten der zwei oben gezeigten Diagramme) die in der Abbildung 3.3.5.5 dargestellte Schalldrucksituation (bezogen auf die Grundfrequenz) im Mundstück in der Lippenebene.

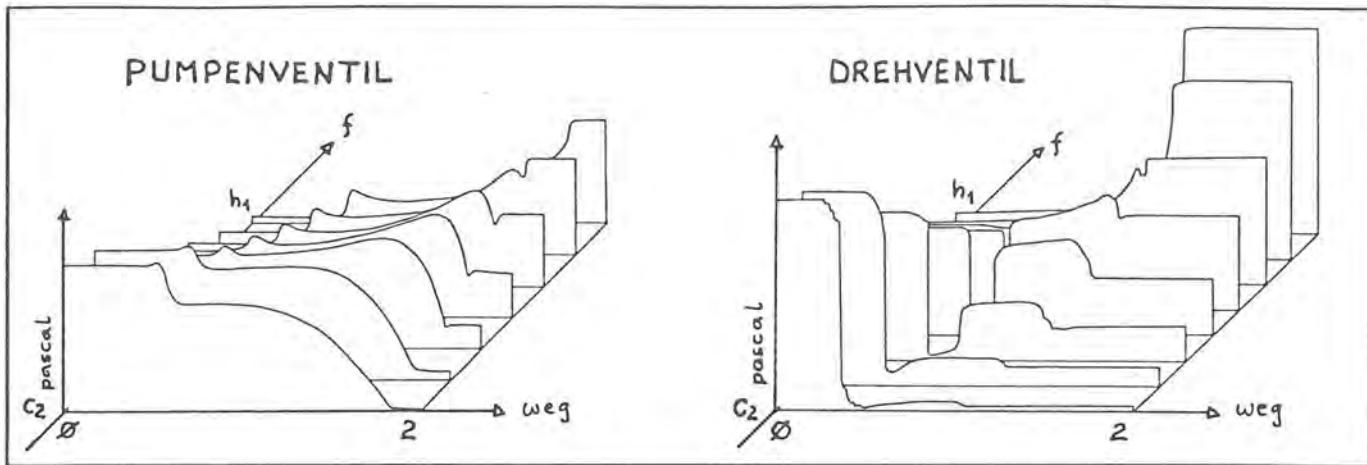


Abb. 3.3.5.4

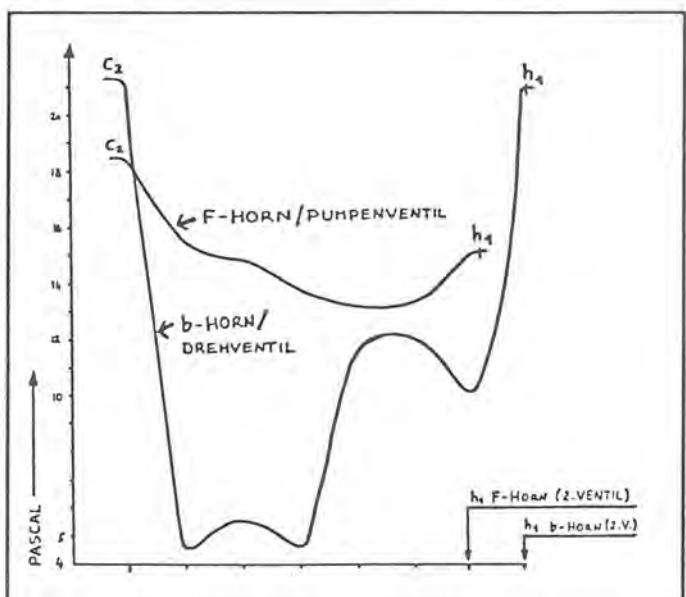


Abb. 3.3.5.5

Zusammenfassend wird festgehalten, daß sich der Impedanzgang einer Ventilbindung mit einem Wiener Pumpenventil deutlich von dem einer Bindung mit einem Drehventil unterscheidet. Im Abschnitt 4.3.2 wird zu untersuchen sein, inwieweit klangliche Besonderheiten der Bindung auf dem Wiener Horn auf diesen Unterschied im Impedanzgang zurückgeführt werden können.

4. KLÄNGLICHE BESONDERHEITEN¹⁾

Aus der Tatsache, daß es im allgemeinen möglich ist, Instrumente (wie etwa das Horn) aus dem Höreindruck allein zu erkennen, folgt, daß sich der Klang eines Instrumentes signifikant von dem eines anderen unterscheidet. Die Erfahrung lehrt, daß das Charakteristikum eines bestimmten Instrumentes zumindest innerhalb eines gewissen Dynamik- und Klanghöhenbereiches (eines sogenannten Registers) erhalten bleibt²⁾.

So sind etwa alle Hörner unabhängig vom Typ grundsätzlich als solche erkennbar. In der vorliegenden Arbeit gehen wir noch einen Schritt weiter: wir suchen nicht den Klangunterschied zwischen Hörnern und anderen Instrumenten, sondern den zwischen verschiedenen Horntypen.

Die wichtigsten Elemente eines Klanges sind:

- die Klanghöhe,
- die Klangstärke und
- die Klangfarbe.

Da der oben angesprochene Klangunterschied von der Klanghöhe und Klangstärke weitgehend unabhängig ist, muß der Unterschied in der Klangfarbe liegen. Die für diese Arbeit gestellte Aufgabe besteht somit darin, die für den jeweiligen Horntyp charakteristischen invarianten Bereiche innerhalb des Komplexes der Klangfarbe zu lokalisieren. Diese ist vor allem durch folgende Faktoren bestimmt²⁰:

- im (quasi)stationären Bereich durch die Stärke der Teiltöne und
- im instationären Bereich durch Ausgleichsvorgänge sowie feinmodulatorische Vorgänge im zeitlichen Ablauf.

Unter Ausgleichsvorgängen sind dabei vor allem die Ein- und Ausschwingvorgänge zu verstehen, insbesondere auch die Vorgänge bei Klangverbindungen - die Untersuchung von Einzelläufen wird somit u. U. Wesentliches übersehen, wenn nicht zusätzlich zu diesen noch musikalische Phrasen untersucht werden. Zu den feinmodulatorischen Vorgängen gehört auch das Vibrato.

Der Klang, den das Publikum wahrnimmt, ist das Ergebnis der Interaktion "Musiker - Instrument". Somit ist vorerst nicht klar, welchen Anteil an dem typisch "wienerischen" Klang der Musiker mit seinem aus der lokalen Musiziertradition gewachsenen Klangideal hat, beziehungsweise welchen Einfluß das besondere Instrumentarium auf das "Endprodukt" Klang ausübt. Um trotzdem Rückschlüsse auf den Einfluß dieser beiden Komponenten ziehen zu können, wurde für einige Analysen die am Institut entwickelte Künstliche Anregungsvorrichtung für Blechblasinstrumente (Künstlicher Bläser) herangezogen (Kapitel 4.1).

4.1 VERSUCHSEINRICHTUNGEN

Alle zur Analyse herangezogenen Klänge wurden digital gespeichert. Folgende Arten von Klängen wurden verwendet:

1. Instrument allein (künstlicher Bläser) im schalltoten Raum
2. Musiker mit Instrument im schalltoten Raum
3. Musiker mit Instrument entgegengesetzter Bauart im schalltoten Raum
4. Orchester im Konzertsaal

¹⁾ Im Gegensatz zum üblichen Sprachgebrauch bedeutet der Begriff "Ton" in der Akustik immer nur den Sinuston, d.h. ein Signal mit nur einer diskreten Frequenz. Ein Signal mit harmonisch verteilten Teilfrequenzen, also etwa ein "Hornton", wird in der Akustik Klang genannt. In diesem Kapitel folgen wir i. A. dem Sprachgebrauch der Akustik.

²⁾ Obwohl es überflüssig scheint, muß betont werden, daß zumindestens bei einem guten Instrument dieses Charakteristikum bei jedem einzelnen Klang innerhalb der angesprochenen Bereiche auftreten muß.

VORGANGSWEISE:

- ad 1. Wiener Hörner und Doppelhörner wurden im schalltoten Raum mit dem künstlichen Bläser angeregt. Der Vergleich der Klangspektren (des stationären Bereiches) von Wiener Modellen mit den der Doppelhörner gibt Aufschluß über den Einfluß der Bauform des Instrumentes auf den Klang.
- ad 2. Diese Klänge (Musiker + Instrument) beinhalten die typischen Charakteristika eines Hornklangs der jeweiligen Stilrichtung (der Einfluß des Raumes ist dabei ausgeschaltet).
- ad 3. Zur Kontrolle spielt jeder Musiker einige Töne auf dem Referenzhorn entgegengesetzter Bauart. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf eventuelle Klangspezifika eines Musikers, bzw. auf die Einflüsse des Instrumentes auf das Endprodukt "Klang".
- ad 4. Anhand der Orchesteraufnahmen wurde versucht, die in den oben angeführten Versuchsreihen gefundenen klanglichen Besonderheiten der Wiener Instrumente + Wiener Musiker zu verifizieren.

4.1.1 KÜNSTLICHER BLÄSER

Die künstliche Anregungsvorrichtung für Blechblasinstrumente wurde am Institut für Wiener Klangstil²¹ in Zusammenarbeit mit H. Pichler und H. Dum vom Institut für allgemeine Elektrotechnik und Elektronik an der Technischen Universität Wien (elektronische Steuerung) hergestellt und arbeitet nach dem von K. Wogram entwickelten "LOCHSI-RENEN-PRINZIP"²². Damit können Blechblasinstrumente immer auf dieselbe, jederzeit reproduzierbare Art und Weise "gespielt" werden. Sie stellt daher eine Art "genormter Bläser" dar. Die mit dem künstlichen Bläser erzeugten Klänge besitzen jedoch keinen "Beginn" im musikalischen Sinne (Einschwingvorgang); es können daher nur die stationären Teile des "Musikinstrumenten-Klanges" untereinander verglichen und beurteilt werden!

MECHANISCHER TEIL

Nach D. Martin²³ üben die Lippen des Blechbläzers eine "Ventilfunktion" aus. Sie öffnen und schließen sich periodisch n Mal pro Sekunde, wobei n der Wert der Grundfrequenz des gespielten Klanges ist. Die Änderung der Lippenspaltfläche über die Zeit (von Null bis zum Maximum und wieder zu Null) geht nach D. Martin mehr oder weniger sinusförmig vor sich. Daraus ergibt sich für die Anregungsvorrichtung die Forderung nach einer sich periodisch über die Zeit ändernden "Luftaustritts-Fläche" mit den Optionen einer variablen Frequenz und Flächenform.

Abb. 4.1.1.1 zeigt den mechanischen Aufbau einer die oben genannten Forderungen erfüllenden "Lochsirene", welche im wesentlichen aus 2 Teilen (Rotor und Gehäuse) besteht:

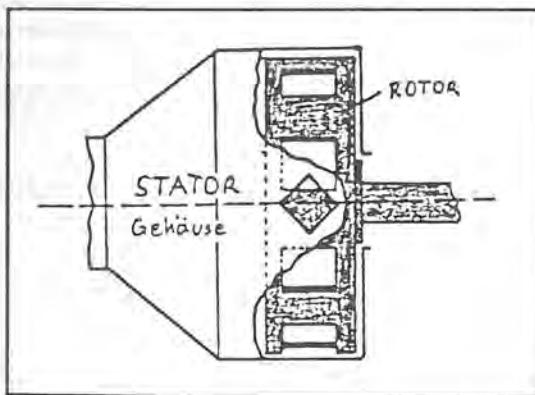


Abb. 4.1.1.1

Von einem Gleichstrom-Motor wird ein in zwei Spindellagern mit konischer Krafrichtung gelagerter, halboffneter Zylinder angetrieben ("Rotor"). Im Mantel des Rotors sind 16 quadratische Schlitze (10x10 mm) im Abstand von 10 mm eingefräst. Den Rotor umschließt ein Gehäuse mit dem Einlaß für die Luftzufuhr und einem quadratischem Schlitz (7,07mm Seitenlänge), der um 45° zur Laufrichtung des Rotors verschoben, exakt in der Position der Rotorschlitze liegt. Über den Gehäuse-Schlitz können Masken mit verschiedener Schlitzgröße und -form montiert werden. Wird der Rotor in Drehung versetzt, so entstehen die von D. Martin fotografisch ermittelten Flächenänderungen.

ELEKTRISCHE STEUERUNG

Die Abb. 4.1.1.2 zeigt schematisch den Aufbau des künstlichen Bläsers:

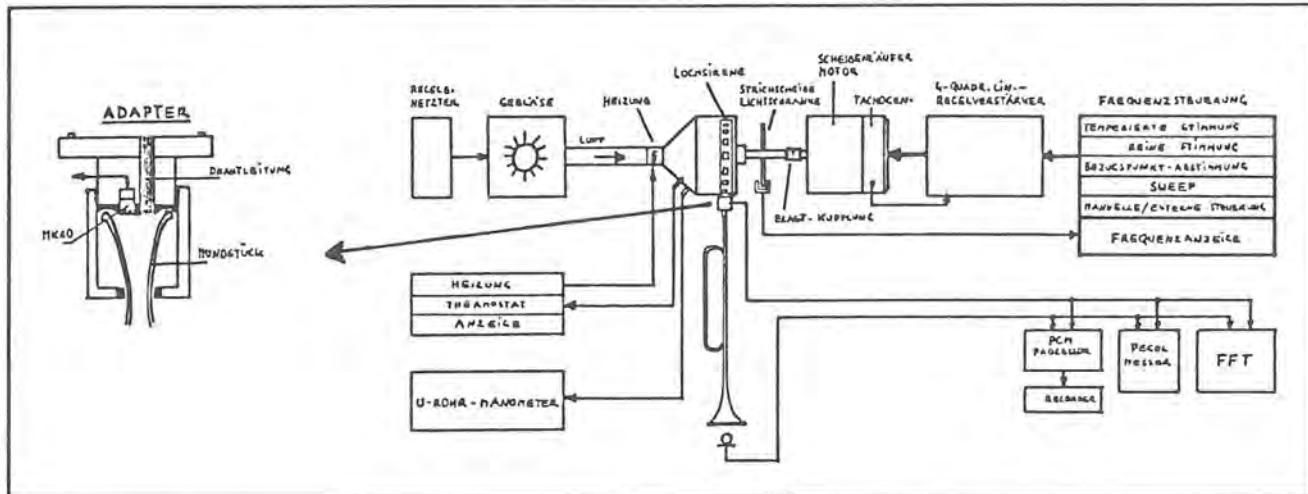


Abb. 4.1.1.2

Es sind drei Arten der Frequenzsteuerung verfügbar:

1. Temperierte Stimmung über 4 Oktaven (65,4-987,8 Hz) durch Tasten wie am Klavier anwählbar mit zusätzlicher Feinabstimmung (+/- 100 Cent).
2. Kontinuierlich manuell über interne Rampenspannung.
3. Extern über Rampenspannung in Verbindung mit dem B&K 2308 X-Y Schreiber (Frequenz-Sweep: 0 - 1,3 kHz).

Die Gleichlaufschwankungen liegen zwischen +/- 0,75 Hz für die unterste Oktave und +/- 0,05 Hz für die vierte Oktave.

Der statische Luftdruck in der "Mundhöhle" des künstlichen Bläsers (vom Gehäuse umschlossener Raum) kann mittels eines thyristorgesteuerten Aggregats frei zwischen 20 und 1800 (+/- 2) mm WS (Wassersäule) gewählt werden. Er wird an einem U-Rohr-Manometer angezeigt. Die Lufttemperatur (Sollwert ca. 34° C) wird über einen Meßfühler im Rotor erfaßt und digital angezeigt. Genauigkeit: +/- 0,1° C. Die Istfrequenz wird mittels einer Gabellichtschanke erfaßt und digital angezeigt. Die Zählimpulse dafür liefert eine auf der Antriebswelle sitzende "Strichscheibe". Genauigkeit +/- 0,05 Hz.

Die Anregungsvorrichtung wird im schalltoten Raum betrieben. Um einen möglichst praxisnahen Betrieb zu erreichen, wird in den Schalltrichter des Horns eine künstliche Hand in "Spielhaltung" eingeführt (Abb. 4.1.1.3).



Abb. 4.1.1.3

Abb. 4.1.1.4 zeigt den Einfluß der Handhaltung auf die Resonanzkurve des Instrumentes.

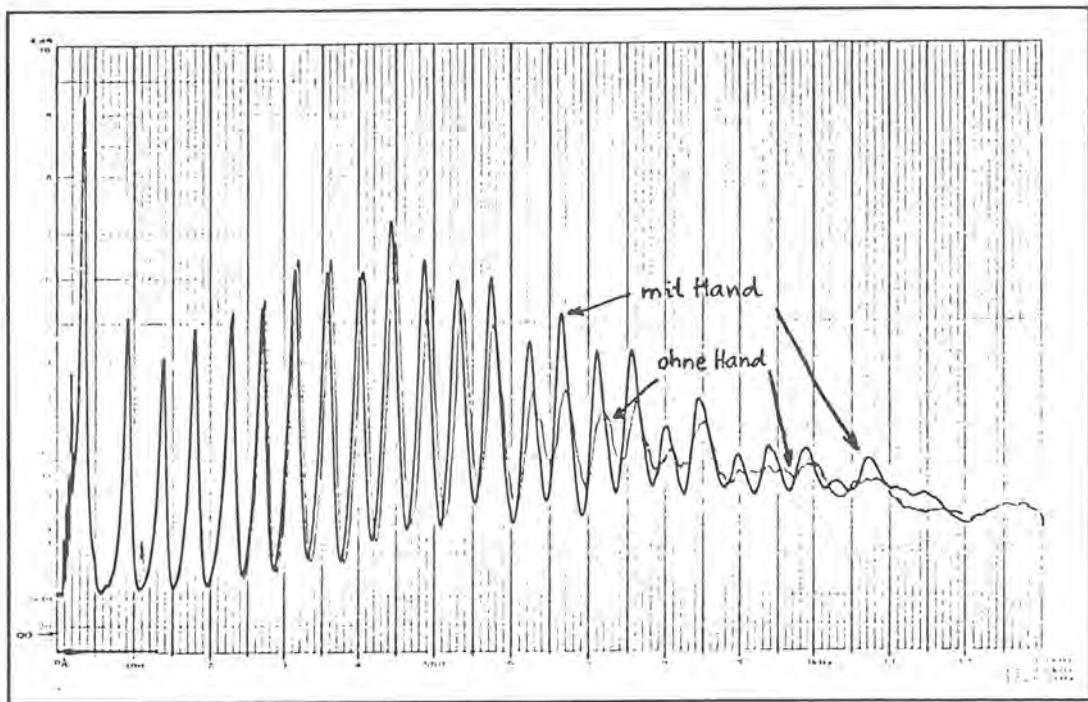


Abb. 4.1.1.4

Das Mikrophon (B&K 4165) befindet sich in der Stürzenachse in ein Meter Entfernung vom Schalltrichterende (vgl. Abb. 4.1.2.1).

Die Abb. 4.1.1.5 und 4.1.1.6 zeigen die elektronische Steuerung und den mechanischen Teil innerhalb des schalltoten Raumes.

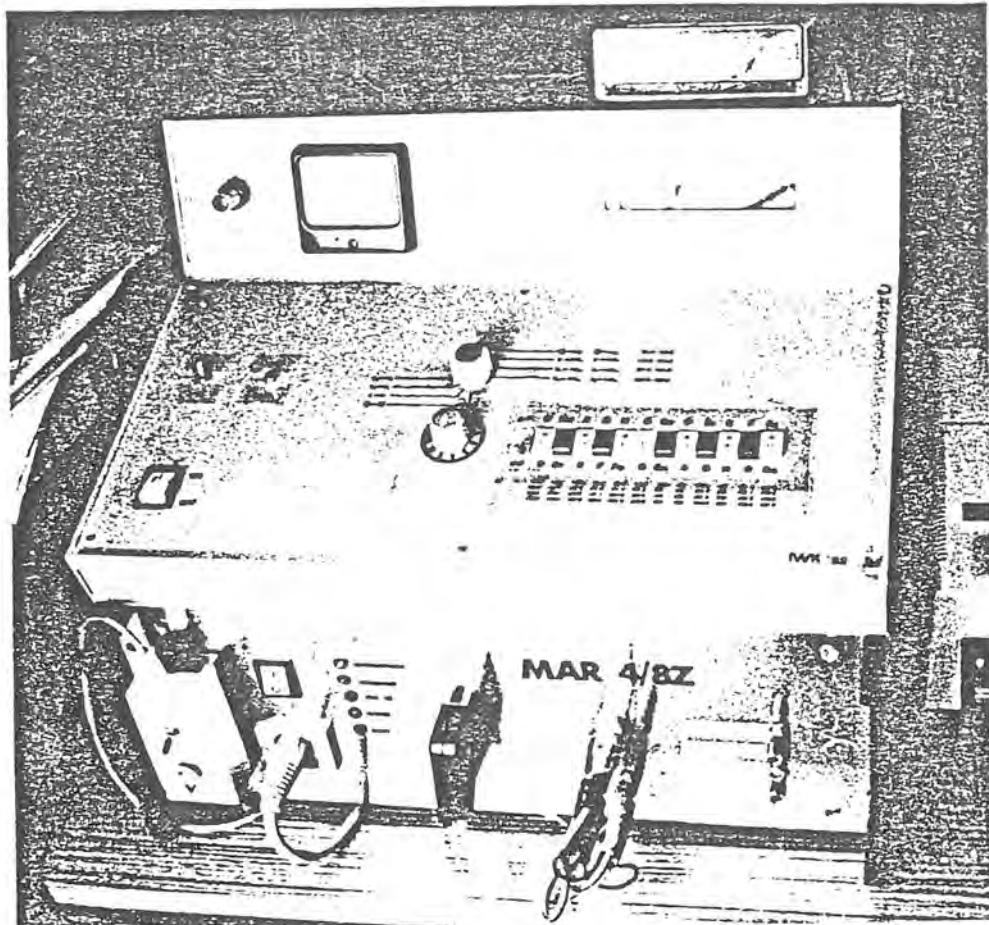


Abb.
4.1.1.5

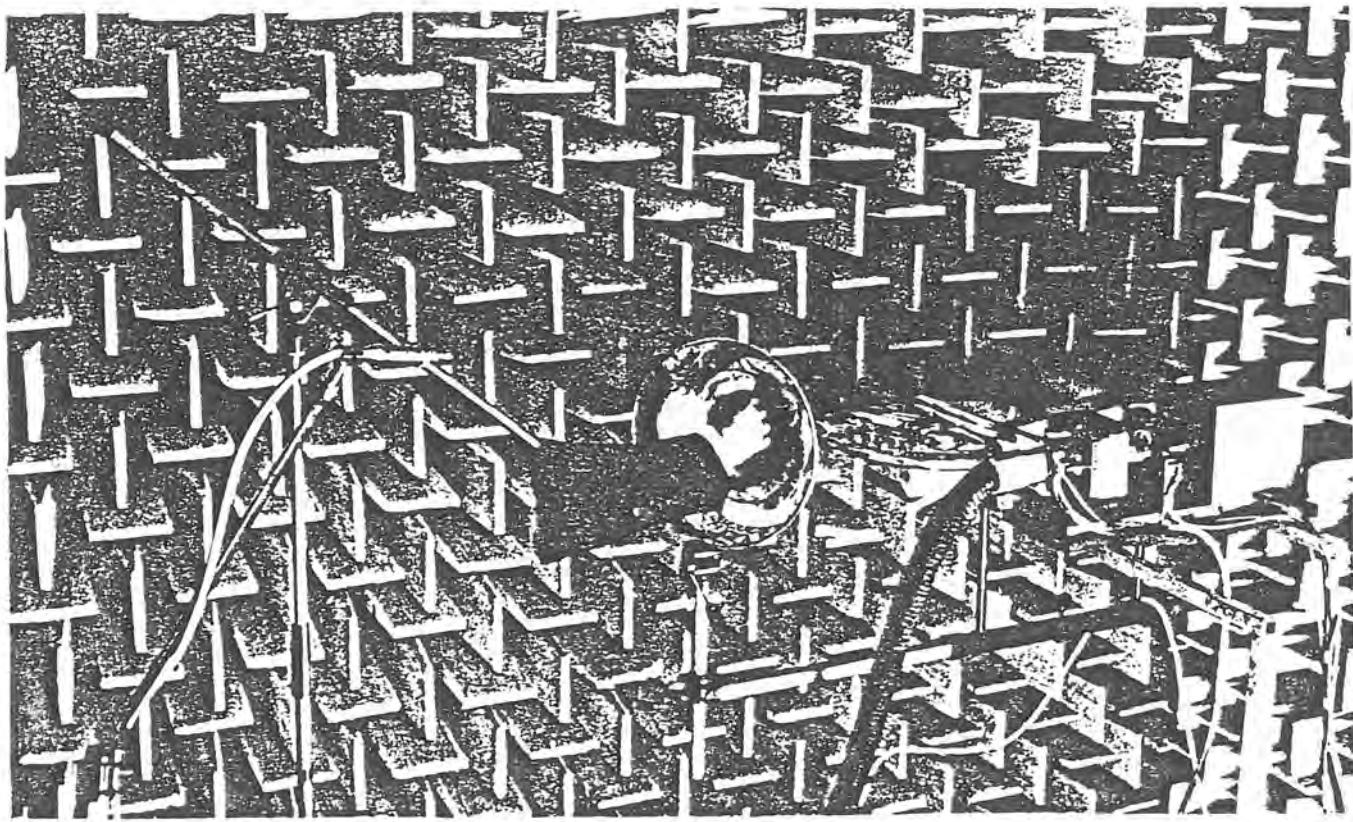


Abb. 4.1.1.6

4.1.2 KLANGAUFNAHMEN UND SPEICHERUNG

Mit Ausnahme der Orchesteraufnahmen wurden alle zur Analyse herangezogenen Klänge im (der ÖNORM S 5035 entsprechenden) reflexionsarmen Raum des Instituts für Wiener Klangstil an der Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien aufgenommen.

Den Signalfluß zeigt Abb. 4.1.2.1.

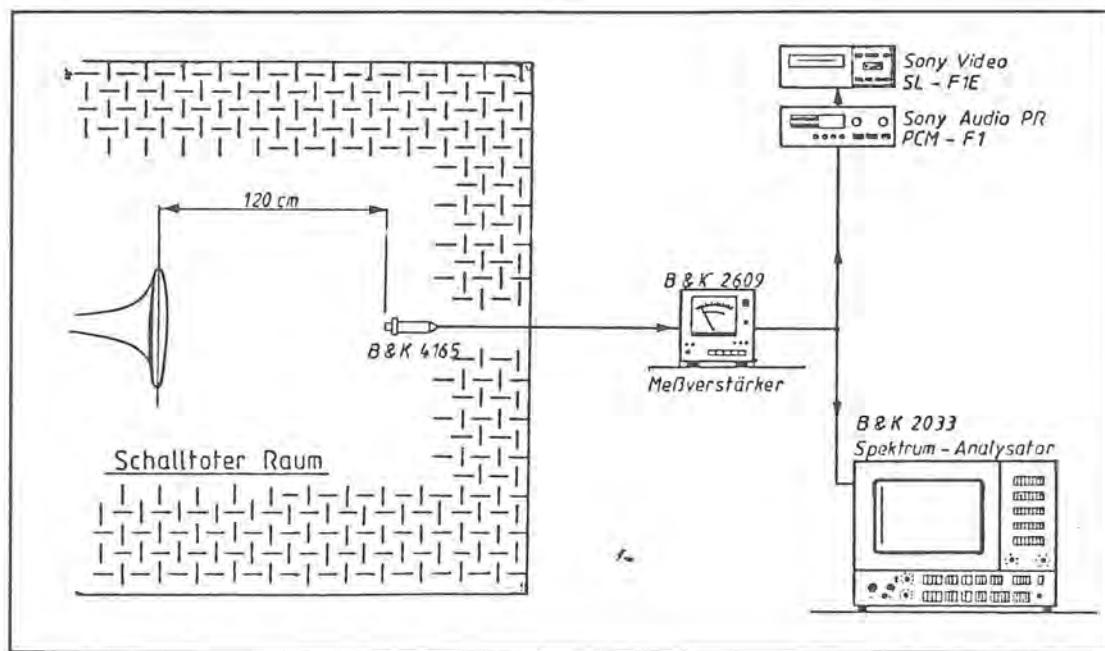


Abb. 4.1.2.1

Das Mikrophon (B&K 4165) ist in 1 m Entfernung von der Stürze in Richtung der Stürzenachse positioniert. Über den Vorverstärker B&K 2619 wird das Signal dem Meßverstärker B&K 2609 zugeführt. Von dort wird es zum Audioprozessor (Sony PCM-F1) geleitet, digitalisiert und auf Videocassette (Sony SL-F1E) gespeichert (Samplingrate: 44,2 kHz, 16 Bit Auflösung, nutzbarer Dynamikbereich: >90 dB, Frequenzgang: 5 - 20.000 Hz +/- 0,5 dB). Gleichzeitig wird das Signal zu Kontrollzwecken einem Echtzeitspektralanalysator zugeführt.

Werden dann zu einem späteren Zeitpunkt die digital gespeicherten Klänge analysiert, so können durch die bei der Aufnahme notierten Schalterstellungen des Meßverstärkers sowie die fixierte Einstellung des Aufnahmereglers des PCM-Prozessors die Original-Schallpegel errechnet werden.

Durch ein spezielles Verfahren wurden die Meßinstrumente so kalibriert, daß immer die Original-Schallpegelwerte ausgewiesen werden. Dies gilt für alle Spektren, welche am Institut für Wiener Klangstil errechnet wurden, nicht jedoch für die 3-D-Darstellungen, die an der Kommission für Schallforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt wurden.

Die Orchesteraufnahmen sind digitale Direktmitschnitte (Sony PCM-F1) aus dem Großen Konzerthaussaal und dem Großen Musikvereinssaal in Wien. Der PCM-Prozessor wurde dabei immer am Summenausgang des Regietisches des ORF angeschlossen. Aus "beweistechnischen Gründen" wollten wir in den beiden Konzertsälen ein eigenes, fix montiertes Mikrophon installieren, was jedoch letzten Endes an organisatorischen, technischen und rechtlichen Problemen scheiterte. Als Material wurden daher nur solche Aufnahmen verwendet, welche aufgrund der Mikrophonposition und Orchestersitzordnung, sowie der Mischpulteinstellungen des Tontechnikers miteinander vergleichbar waren.

4.1.3 FOURIERTRANSFORMATION

Zur Analyse der Klänge wurde ein "Echtzeit-Schmalband-Spektrumsanalytator" der Firma Brüel&Kjaer benutzt (B&K 2033). Die Samplingrate ist frequenzabhängig und beträgt immer das 2,56fache der höchsten zu analysierenden Frequenz²⁴.

Zum Errechnen eines Spektrums werden jeweils 1024 (=1K) Werte benötigt. Dies bedeutet, daß ein Spektrum (bei z.B. einem zu analysierenden Bereich bis 20 kHz) den Mittelwert über eine Zeitspanne von 0,02 Sekunden (= 20 Millisekunden) darstellt. Wird ein Spektrum nur bis 5 kHz errechnet, so stellen die 1K-Werte jedoch eine Zeitspanne von 80 ms (= 80 Millisekunden) dar.

Das Spektrum wird unabhängig vom Frequenzbereich immer als "400-Linien-Spektrum" dargestellt. Die Bandbreite einer Linie variiert daher und beträgt bei einer gewählten Skalenendfrequenz von:

20 kHz	50 Hz
10 kHz	25 Hz
5 kHz	12,5 Hz
2 kHz	5 Hz
1 kHz	2,5 Hz usw.

Das Verhältnis des angezeigten dB-Wertes einer Linie zur Position der gefundenen Frequenz im Bandbereich dieser Linie zeigt Abb. 4.1.3.1.

Die Teiltonanalysen, sowie die linearen und exponentiellen Regressionsanalysen wurden mit Hilfe eines IBM-PC's und eines Olivetti MA28 durchgeführt. Die mit dem B&K 2033 errechneten Spektren wurden über ein IEEE-Interface in die PC's eingelesen und ausgedruckt.

Die 3-dimensionalen graphischen Darstellungen (Frequenz / Amplitude / Zeit) wurden mit einer HP-1000 Anlage von der Kommission für Schallforschung an der österreichischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt³¹.

Folgende Darstellungsarten wurden benutzt:

- normale 3-D-Darstellung: X-Achse = Frequenz (Hz linear)
 - Y-Achse = Amplitude (dB)
 - Z-Achse = Zeit (ms)

Der sichtbare Dynamikbereich beträgt immer 50 dB, wobei sich der dargestellte Bereich automatisch nach der Amplitude des stärksten Teiltons richtet.

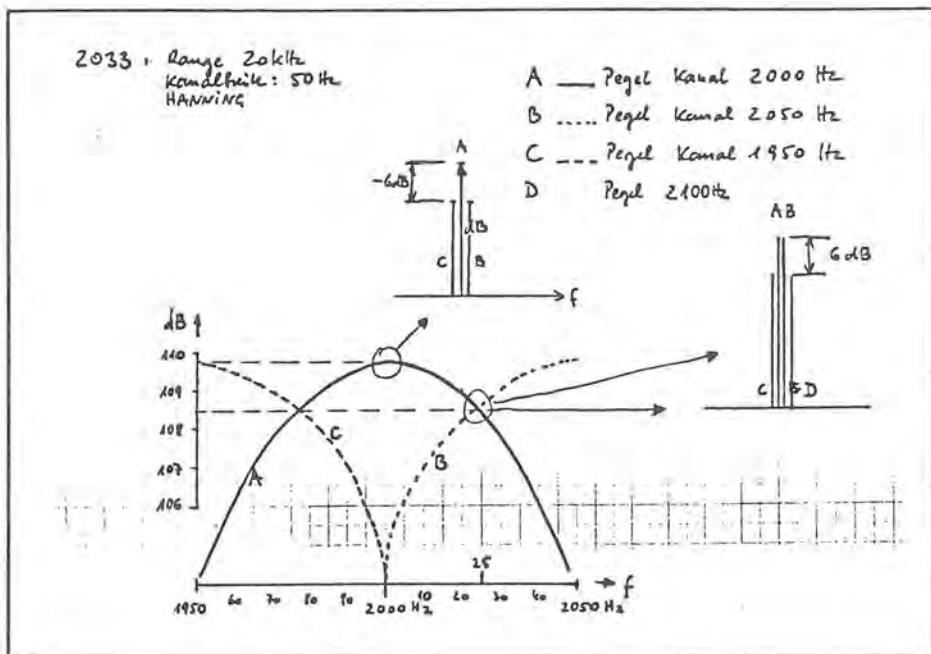


Abb. 4.1.3.1

- Darstellung in Bark-Skala: wie oben, mit Ausnahme der Skalierung der Frequenzachse. Die X-Achse ist in Frequenzgruppen skaliert (entsprechend der örtlichen Verteilung der Frequenzen auf der Basilarmembran).
- Spektrogramme sind "Sonagrammen" nachempfunden, geben jedoch zusätzlich zur spektralen Information noch Informationen über die Zeitfunktion und den Pegel (RMS-Spur) des analysierten Signals.

Die Abb. 4.1.3.2 (auf der nächsten Seite) zeigt ein Beispiel für diese drei Darstellungsarten.

4.1.4 DAS MUSIKALISCHE MATERIAL

ZUR PROBLEMATIK DES "SCHALLTOTEN RAUMES".

Um sicher zu gehen, daß bei den Klangvergleichen nicht irrtümlich der Raumeinfluß (Resonanzbereiche und stehende Wellen) in die Beurteilung mit einfließt, wurden sämtliche Aufnahmen mit in- und ausländischen Musikern im reflexionsarmen Raum des Institutes durchgeführt.

In einem reflexionsarmen Raum ist jedoch der für das Instrumentalspiel so wichtige Regelkreis: MUSIKER - INSTRUMENT - RAUM - MUSIKER (Abb. 4.1.4.1) unterbrochen. Der Musiker erhält eine völlig ungewohnte "Rückantwort" des ihn umgebenden Raumes.

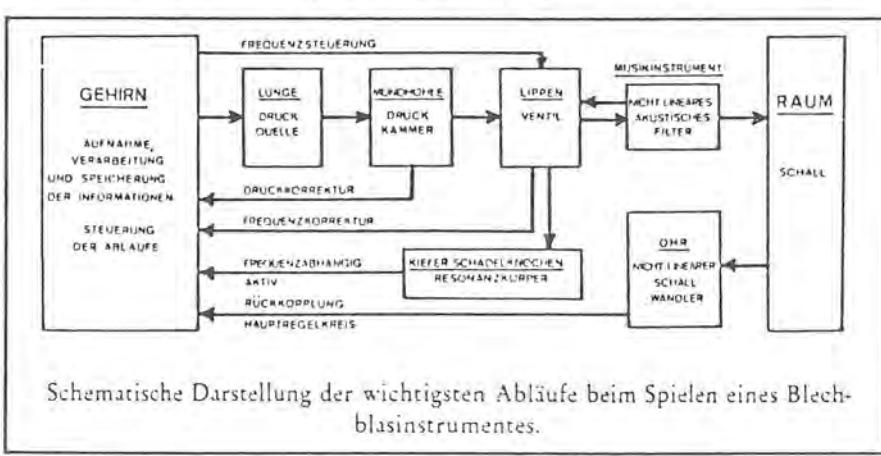


Abb. 4.1.4.1

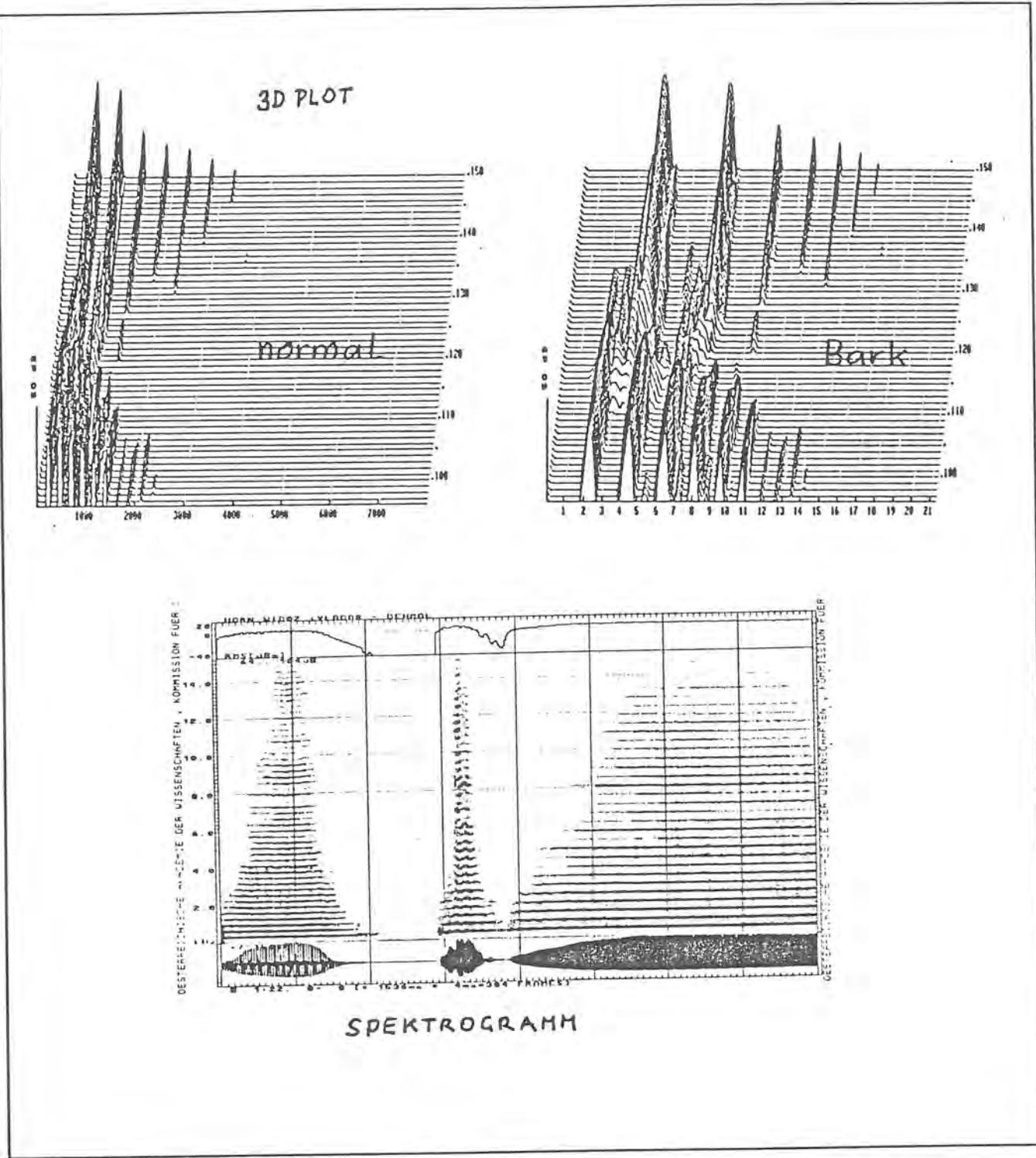


Abb. 4.1.3.2

Fehlende Reflexionen von den Wänden erwecken (abgesehen vom "unschönen" Klang) beim Spieler den Eindruck zu geringer Lautstärke, was ihn in der Folge dazu verleitet, lauter zu spielen, d. h. verglichen mit normalen Musizierbedingungen den Luftdruck in der Mundhöhle zu erhöhen und dem Instrument so mehr Luft (= Energie) zuzuführen. Die Folge ist ein (durch das veränderte Anregungsspektrum) geänderter Teiltonaufbau des Klanges. Zahlreiche Tests - unter anderem auch an mir selbst (Widholm) - zeigten einen Weg auf, dieses Problem weitgehend zu eliminieren: Dem Musiker wird aufgetragen, sich nicht wie gewöhnlich auf den "Höreindruck" zu verlassen, sondern bewußt darauf zu achten, daß das "Spielgefühl" (= Lippengefühl) wie bei einem normalen Musizievorgang vorhanden ist. Jeder erfahrene Musiker weiß, "wie es sich anfühlt", wenn er piano, forte oder mezzoforte spielt. Er kennt das der Dynamik entsprechende "Spielgefühl" und kann daher eine zeitlang auch ohne die Rückkopplung des Raumes und nur aufgrund seiner Erfahrung Klänge erzeugen, wie er sie unter normalen Raumbedingungen erzeugen würde. Dies funktioniert allerdings nur bei

erfahrenen Berufsmusikern und nur eine bestimmte Zeitspanne. Nach 30 Minuten Spiel in einem schalltoten Raum entsprechen die vom Musiker produzierten Klänge erfahrungsgemäß nicht mehr den Klängen, welche er in einem "normalen" Raum mit seinem Instrument erzeugt.

Eine umfassende klangliche Dokumentation wäre am Einfachsten mittels "Skalen" über den gesamten Spielbereich in 3 - 4 Dynamikstufen erreichbar. Dies würde aber das Spielen von ca. 170 Einzeltönen und zusätzliche 40 - 50 Töne für Artikulationsvergleiche erfordern. Vorversuche zeigten deutlich, daß dabei die Konzentration und damit die Klangqualität nach ca. 15 Minuten drastisch abnehmen. Daher wurde ein anderer Weg beschritten.

ZUR AUSWAHL DES MUSIKALISCHEN MATERIALS

Das Material muß folgende Forderungen erfüllen:

1. Die ausgewählten Stellen müssen allen Musikern wohlbekannt sein (sowohl Mitgliedern von Opern- als auch von Konzertorchestern).
2. Um konzertmäßigen Bedingungen möglichst nahe zu kommen, muß ein "musikalischer Inhalt" vorhanden sein, der eine individuelle Gestaltungsmöglichkeit zuläßt (nicht nur Skalen bzw. Einzeltöne).
3. Im Material müssen Klänge aus zumindest 3 Registern in verschiedenen Dynamikstufen enthalten sein.
4. Ebenso müssen die wichtigsten Artikulationsarten darin enthalten sein (weicher Stoß, harter Stoß, Lippenbindung, Ventilbindung, legato (schnell und langsam) und Staccatoläufe).

Diese Forderungen erfüllt eine Auswahl aus dem Konzert für Horn und Orchester Nr. 1 Opus 11 von Richard Strauss. Dieses Konzert ist ein Standard-Stück bei allen Probespielen für Horn im In- und Ausland, jeder Berufshornist hat es mit Sicherheit schon unzählige Male gespielt. Daraus wurden der Beginn und zwei Stellen aus dem ersten Satz sowie der Beginn des zweiten Satzes genommen. Zur Beurteilung des vollen Dynamikumfangs wurden noch Crescendi in zwei verschiedenen Registern verlangt.

Die den Musikern vorgelegten Noten zeigt Abbildung 4.1.4.2.

2

Waldhornconcert .

Aufführungsrecht vorbehalten.
Droits d'exécution réservés.

Horn-Solostimme in E.

Richard Strauss, Op. 11.

Allegro. M. M. $\frac{4}{4}$ = 112. Solo. Tutti 21

(1) *fenergico* Solo con espressione

(2)

(3) Andante. M. M. $\frac{2}{4}$ = 69. Solo *p p dolce*

(4) crescendi

Abb. 4.1.4.2

4.1.5 INSTRUMENTE UND MUSIKER

Folgende Instrumente wurden untersucht:

- 13 Wiener Hörner der Firmen:

Uhlmann (1)
Produktivgenossenschaft (1)
Dehmal (2)
Engel (2)
Ankerl/Walch (1)
Lechner/Ganter (1)
Ganter (1)
Ganter/Engel (1)
Yamaha (3)

- 11 Doppel/Tripelhörner/hoch-f-Hörner der Firmen:

Alexander F/b {comp.} (1)
Holton F/b (2)
Conn F/b (1)
Otto F/b und b/F (2)
Musica F/b (1)
Paxman F/f (1)
Finke F/b/f (1)
Yamaha F/b (1)
Zischek /f/ (1)

Die oben angeführten Instrumente sind ausnahmslos Hörner, welche von den nachfolgend genannten Musikern in Ausübung ihres Berufes benutzt werden.

Folgende Musiker stellten sich für die Untersuchungen zur Verfügung:

R. Berger, P. Blake, E. Eisner, D. Glasser, F. Hansel, St. Hayworth, G. Högner, R. Möller, F. Pfeiffer, S. Rayner, E. Saufnauer, W. Schenner, F. Söllner, W. Vladar und G. Widholm.

Für die Untersuchungen standen uns zusätzlich noch digitale Direktschnitte von Konzerten folgender Orchester zur Verfügung:

- Inländische Orchester:

Wiener Philharmoniker
Wiener Symphoniker

- Ausländische Orchester:

Bamberger Symphoniker
Cleveland Orchestra
London Symphony Orchestra
New York Philharmonic Orchestra
Orchestre National de France

4.2 ERGEBNISSE IM STATIONÄREN BEREICH

Im stationären (streng genommen quasistationären) Bereich wird die Klangfarbe durch den Aufbau des eingeschwungenen Teiltonspektrums bestimmt.

Für diesen Bereich stellt sich somit die Aufgabe dieser Arbeit folgendermaßen: Was am Teiltonaufbau ist für einen bestimmten Horntyp charakteristisch?

Wird diese Frage allgemeiner, d. h. nicht für einen bestimmten Horntyp, sondern für den Unterschied verschiedener Instrumente wie etwa Klarinette, Oboe oder Horn, gestellt, so gibt es zu ihrer Beantwortung vor allem zwei Hypothesen, die Helmholtz'sche Relativtheorie und die Schumann'schen Klangfarbengesetze.

Helmholtz²⁵ führt die Instrumentalklangfarben auf das Intensitätsverhältnis von Teiltönen bestimmter Ordnungszahl unabhängig von der absoluten Höhe dieser Teiltöne zurück; das gesuchte Charakteristikum wäre somit an die Ordnungszahl der Teiltöne gebunden und von der Frequenz unabhängig.

Schumann²⁶ bestreitet die Richtigkeit dieser Ansicht und führt die Instrumentalklangfarben ähnlich wie die Vokale auf das Auftreten einer oder mehrerer Formantstrecken zurück, d. h. auf Frequenzbereiche, innerhalb derer die Teiltöne aus dem geglätteten Spektrum signifikant herausragen. Das gesuchte Charakteristikum wäre somit von der Ordnungszahl unabhängig. Es wäre stattdessen an die Frequenz gebunden und sollte den Schumann'schen Klangfarbengesetzen folgen.

Es ist zu erwarten, daß aus der Diskussion dieser beiden Hypothesen zumindest Anregungen für die Untersuchung unseres spezielleren Problems zu gewinnen sind.

Nach einer Einführung in den Teiltonaufbau des Hornklanges im Abschnitt 4.2.1 wird, da die Klangunterschiede verschiedener Horntypen oft durch das Auftreten bzw. Fehlen bestimmter Formanten erklärt werden, die Zweckmäßigkeit dieses Ansatzes im Abschnitt 4.2.2 diskutiert. Die Helmholtz'sche Relativtheorie wurde für unser Problem noch nicht herangezogen; mit Recht, wie zu Beginn des Abschnittes 4.2.4 gezeigt wird.

4.2.1 DER TEILTONAUFBAU DES HORNKLANGES

Abb. 4.2.1.1 zeigt den Teiltonaufbau von Hornklängen verschiedener Höhe (chromatisch über 3 Oktaven) in mezzoforte, gespielt von einem Musiker auf einem Wiener Horn (Uhlmann). Auf der horizontalen Achse (x-Achse) ist die Frequenz in Hertz, bzw. Kilohertz aufgetragen, auf der vertikalen Achse (y-Achse) die Stärke der im Klang enthaltenen Teiltonamplituden in dB bezogen auf 20 Mikropascal in einer Entfernung von 1,2 m vom Schalltrichterende. Zusätzlich sind 3 Klänge des tiefen Registers (c, g, c1) noch in auf 4 kHz limitierten Spektren dargestellt. Die Buchstaben im Spektrum geben den Notennamen an (notiert), die Ziffern rechts oben die benutzte "Griff-Kombination": so bedeutet z. B. "2" ein gedrücktes 2. Ventil, "23" 2. und 3. Ventil gemeinsam oder "0" ohne Ventil.

Abb. 4.2.1.2 zeigt 3 Klänge (je einen für das tiefe, mittlere und hohe Register) in 2 Dynamikstufen (piano und fortissimo) von einem Musiker auf einem Wiener Horn [oben] und zum Vergleich dazu auf dem b-Hornteil [mitte] und dem f-Hornteil [unten] eines Tripelhorns gespielt.

Wie die beiden Abbildungen zeigen, ist der Teiltonaufbau eines Hornklanges (abgesehen von den instrumentenspezifischen Eigenheiten), auch wenn er von ein und demselben Musiker gespielt wurde, stark von der Lautstärke und der Tonhöhe abhängig. Bei einem Vergleich von Klängen ist es somit unabdingbar, nur gleichlauter Klänge (gleiche Tonhöhe als selbstverständlich vorausgesetzt) zu verwenden*).

*) An dieser Stelle sei allerdings darauf hingewiesen, daß der Begriff "gleich laut" nicht unproblematisch ist: Physikalisch gesehen werden hier absolute Begriffe wie Schallpegel, Lautheit oder Lautstärke (vgl. etwa E. Zwicker/R. Feldtkeller, Das Ohr als Nachrichtenempfänger, Stuttgart, 1967) heranzuziehen sein; musikalisch gesehen existiert aber eine "subjektive" Lautstärke, deren Größe neben ihrer Abhängigkeit von den spektralen Besonderheiten des jeweiligen Instrumentenklanges von der räumlichen und zeitlichen Umgebung (vor allem auch von den vorangegangenen und gleichzeitig erklingenden Klängen) abhängt - das ist der Grund, warum Bezeichnungen wie piano oder forte im Wesentlichen relative Bedeutung haben. Da u. W. zu diesem Problem keine Arbeiten vorliegen und die Behandlung desselben den Rahmen dieser Arbeit bei weitem gesprengt hätte, wurde der (unbewertete) Schallpegel als Bezugsgröße gewählt. Es ist aber anzunehmen, daß der Fehler klein ist, da in dieser Arbeit vor allem Hornklänge gleicher Grundfrequenz miteinander verglichen werden.

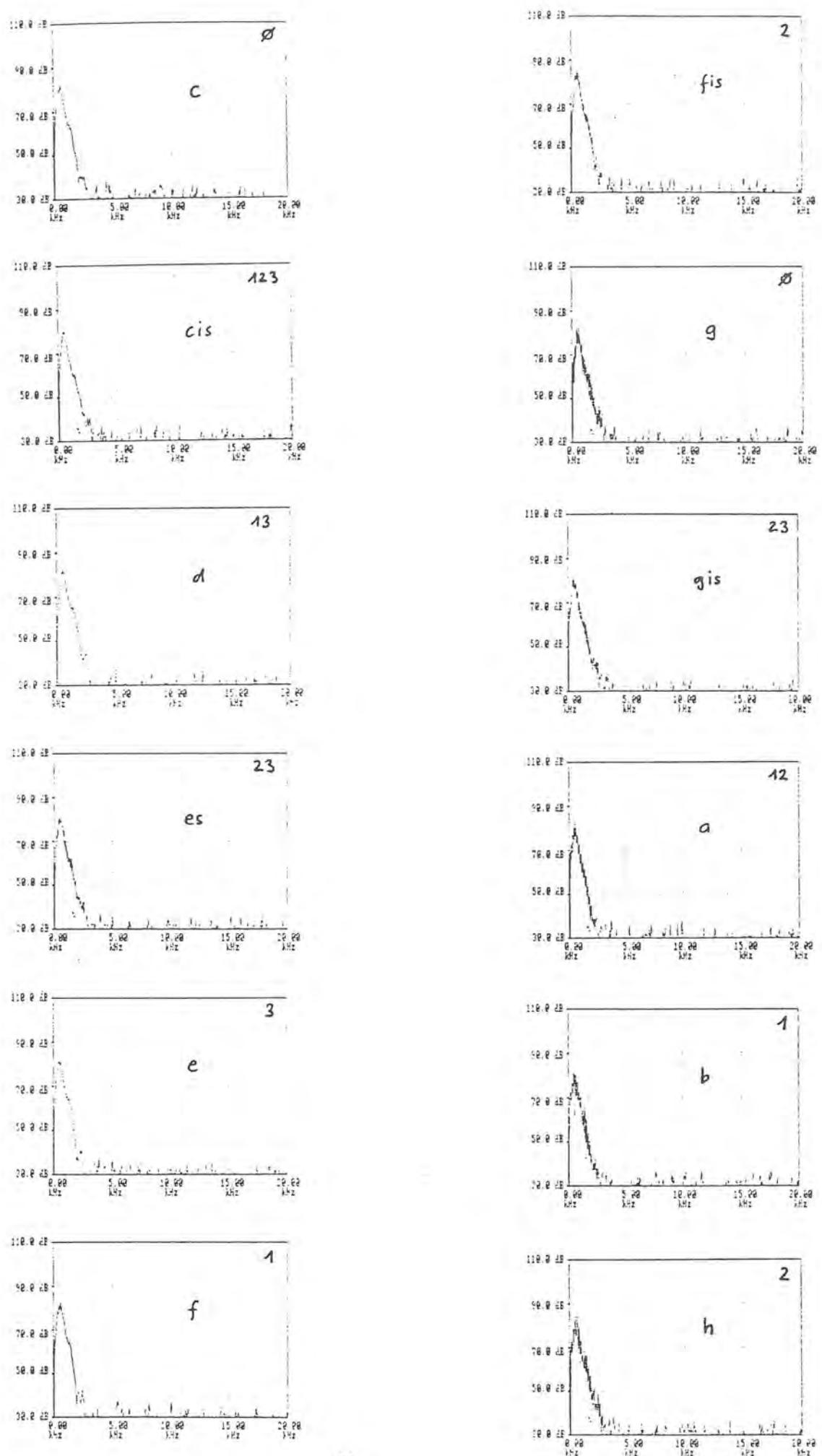


Abb. 4.2.1.1/1

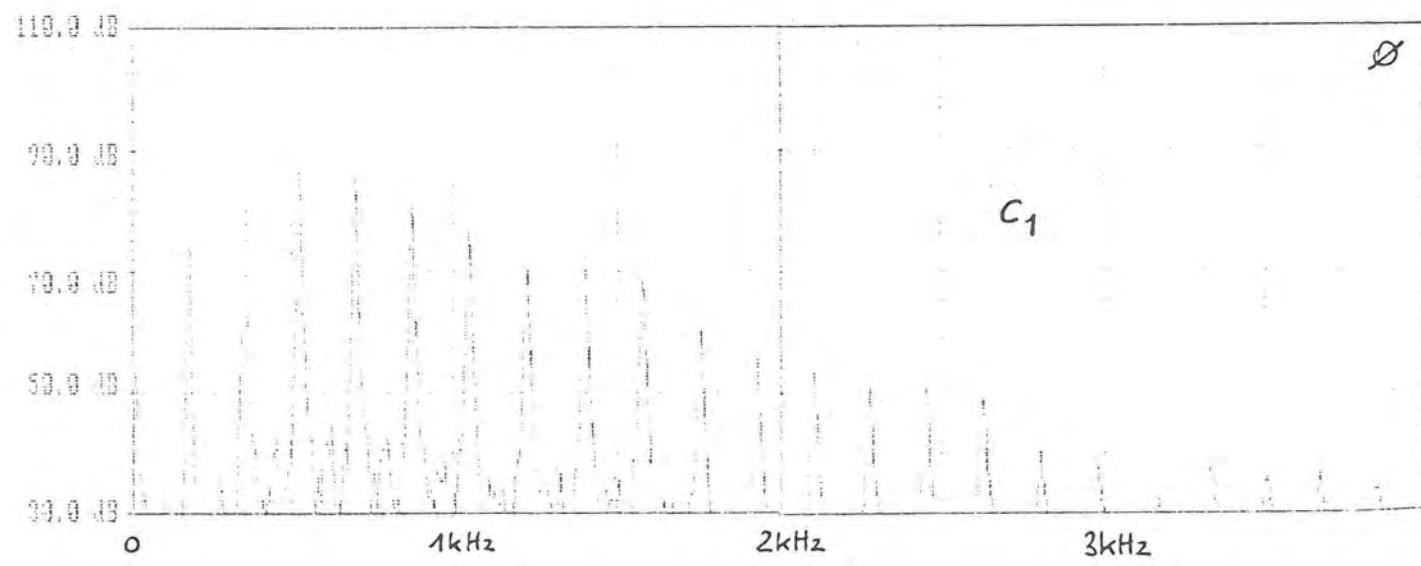
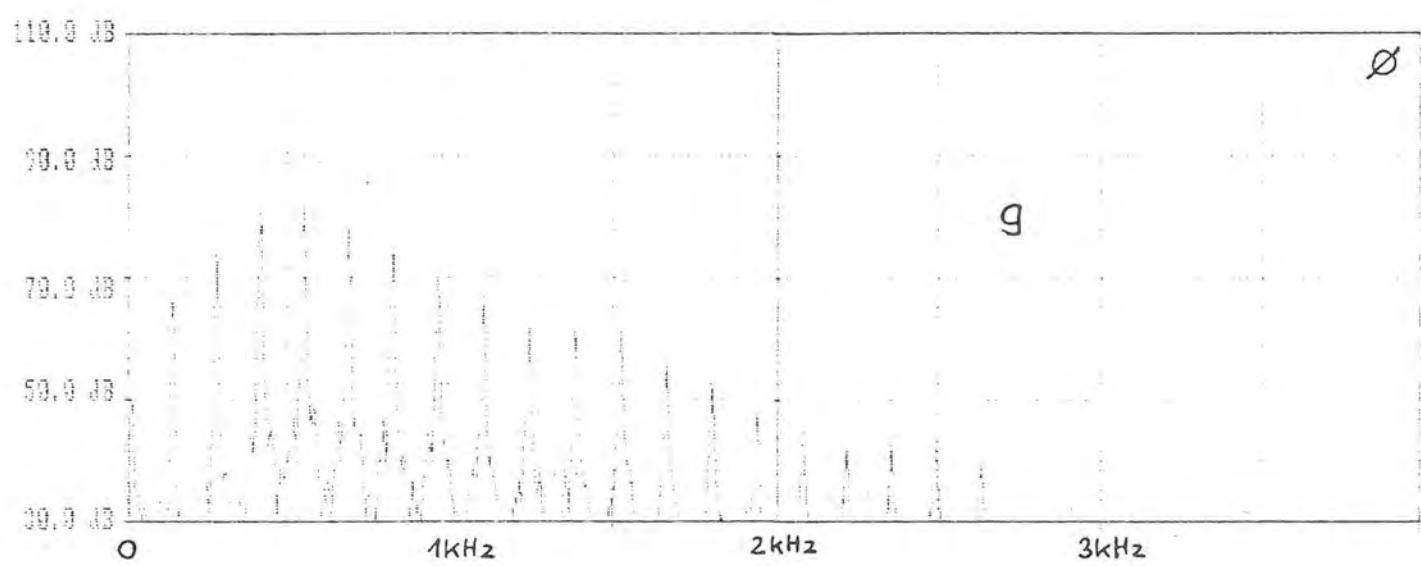
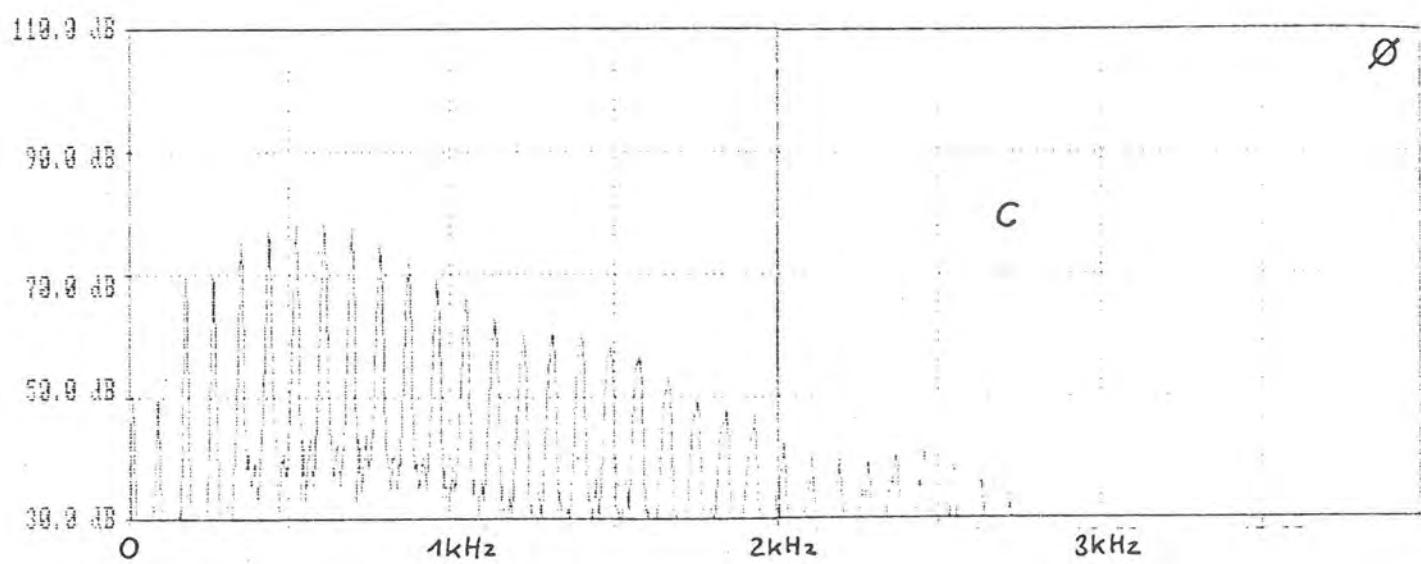


Abb. 4.2.1.1/2

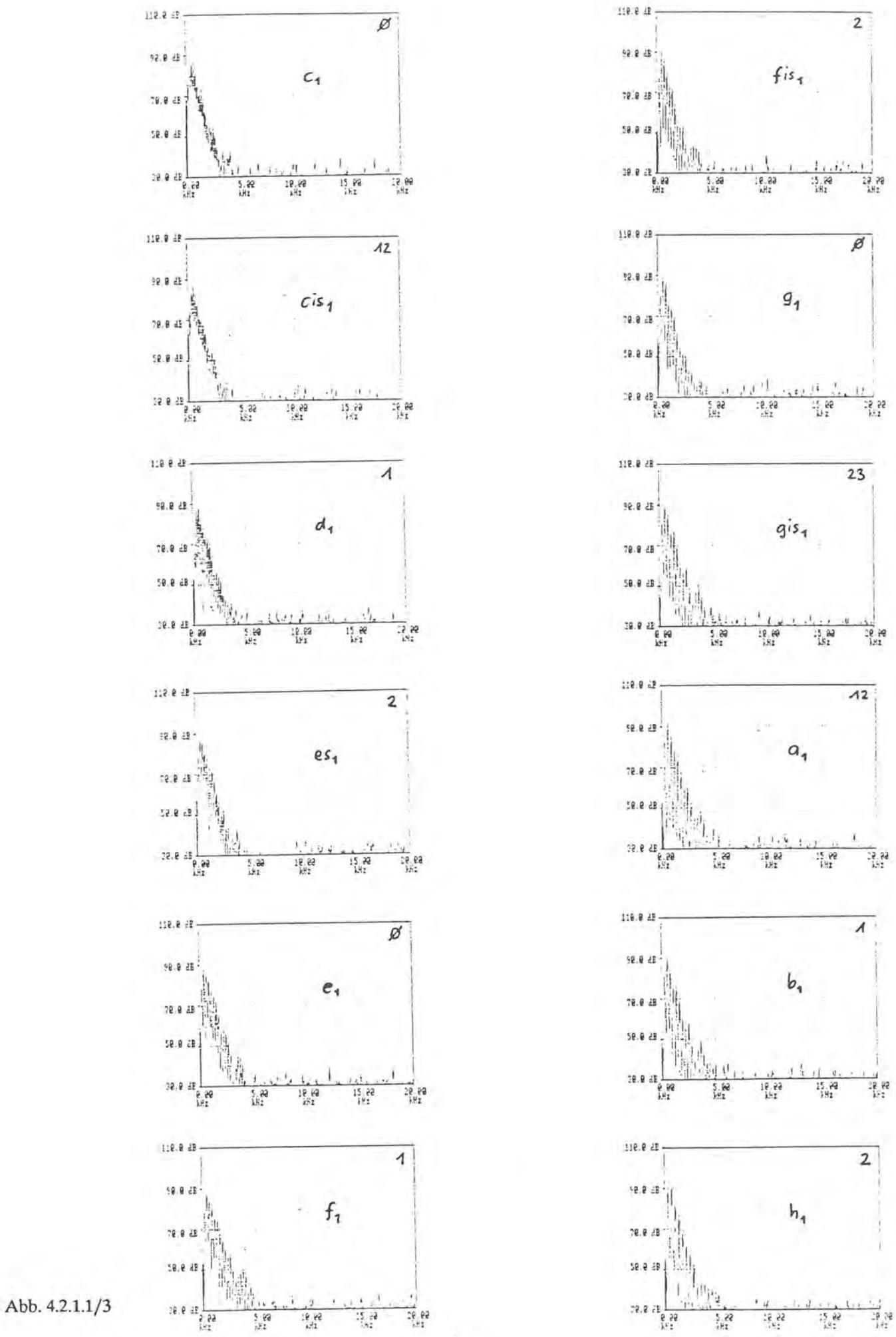


Abb. 4.2.1.1/3

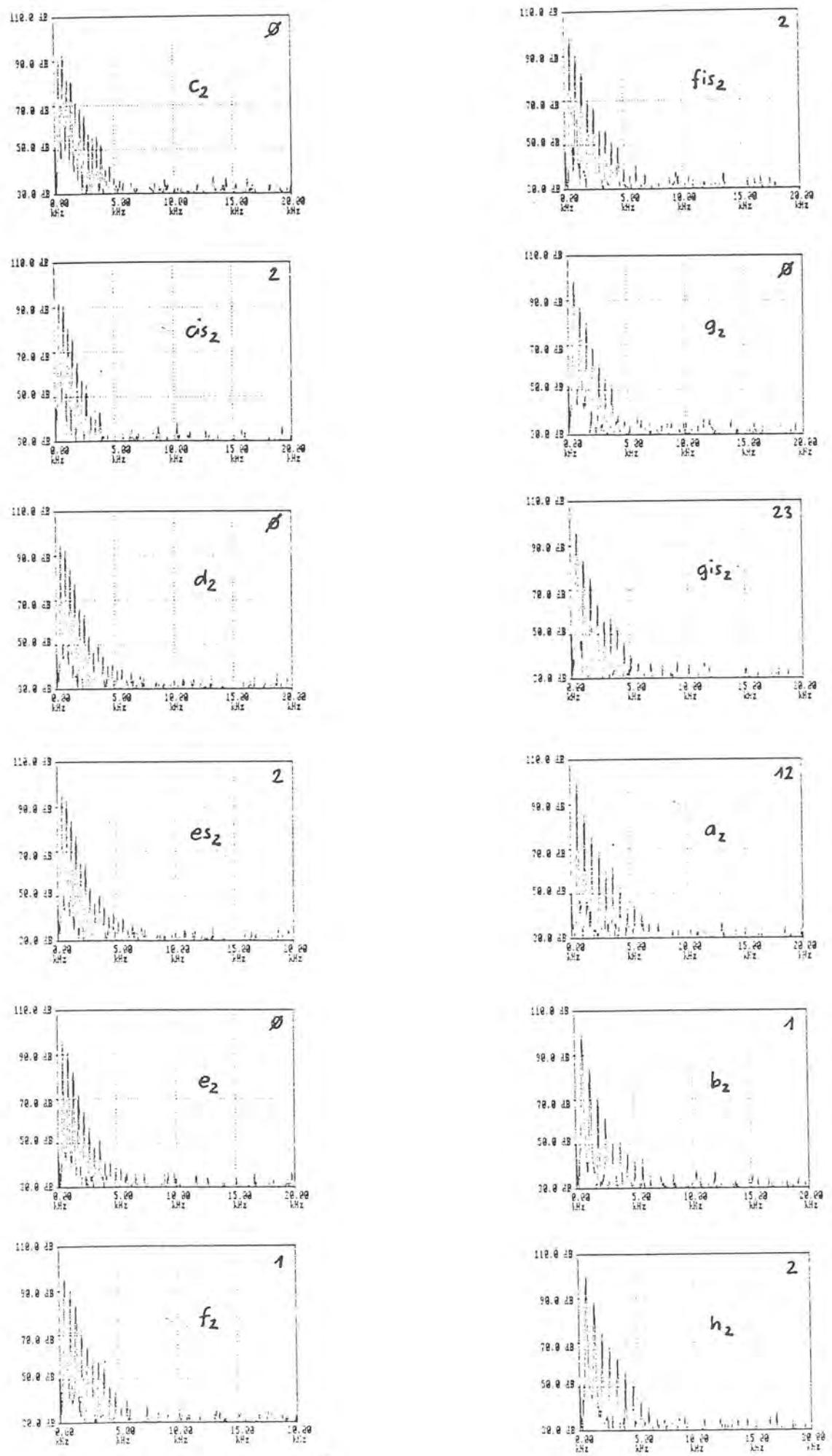
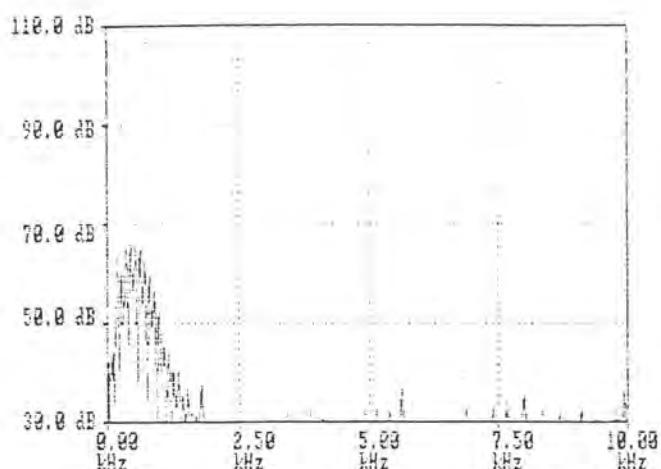
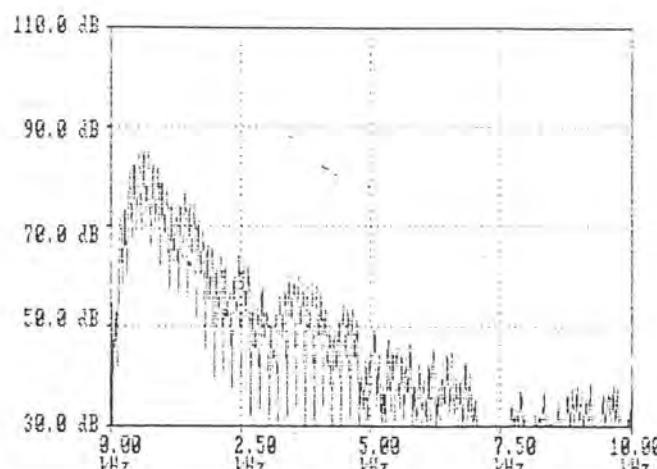


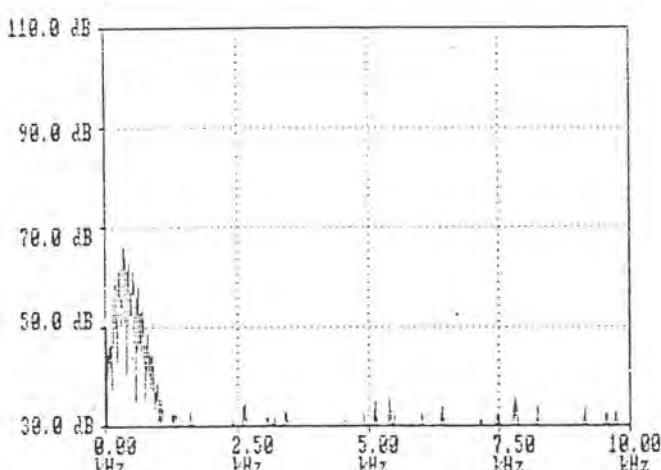
Abb. 4.2.1.1/4



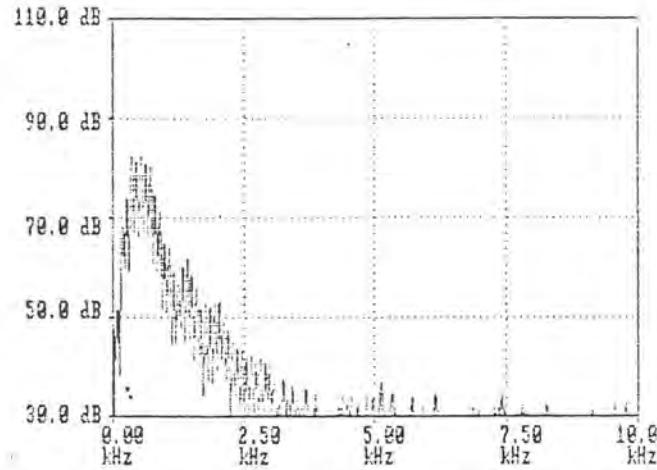
Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 11:53:23
wahl c-p



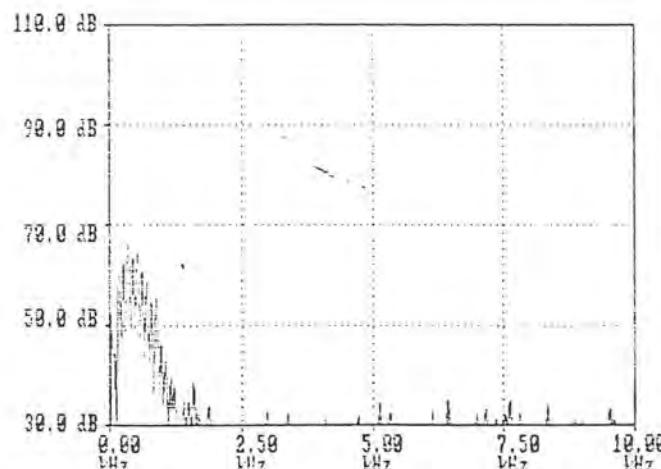
Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 11:55:12
wahl-ff.c



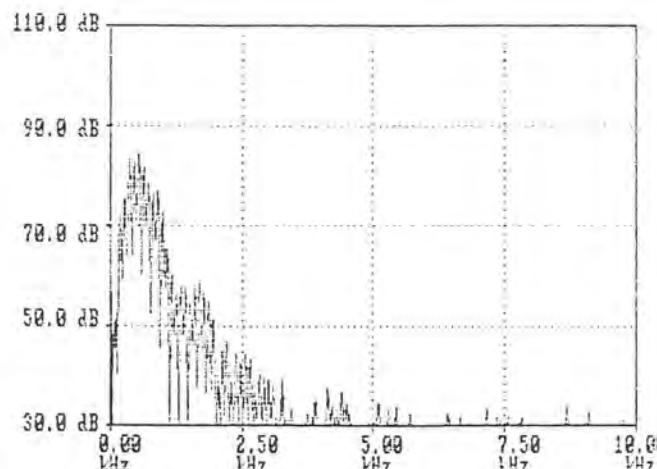
Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:10:17
pax-b-p.c



Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:10:29
pax-b-ff.c

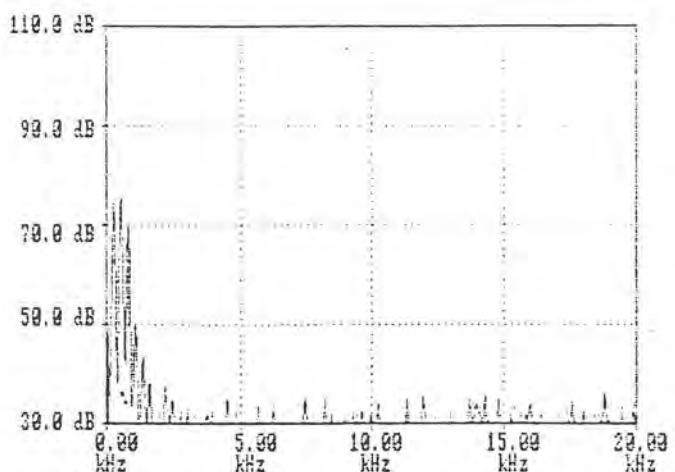


Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:11:43
pax-f-p.c

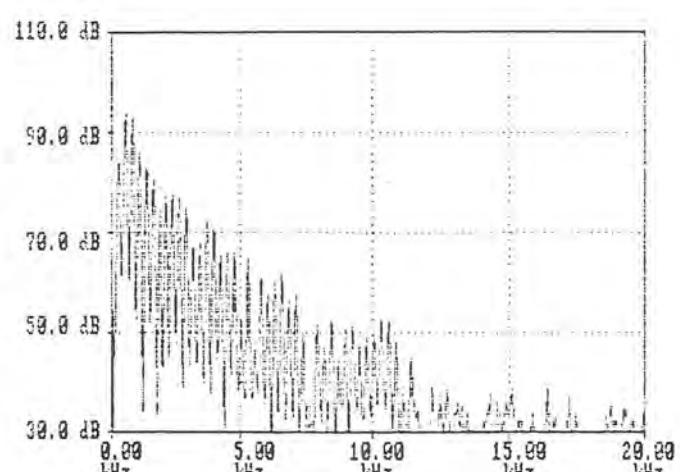


Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:19:33
pax-f-ff.c

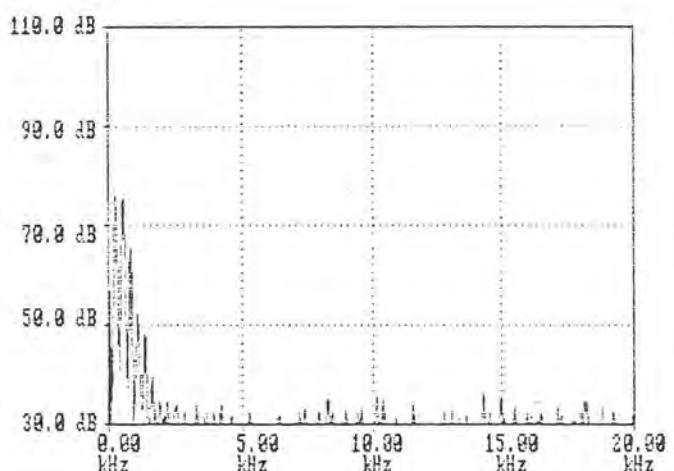
Abb. 4.2.1.2/1: c (88 Hz), piano (70 dB), fortissimo (85 dB)



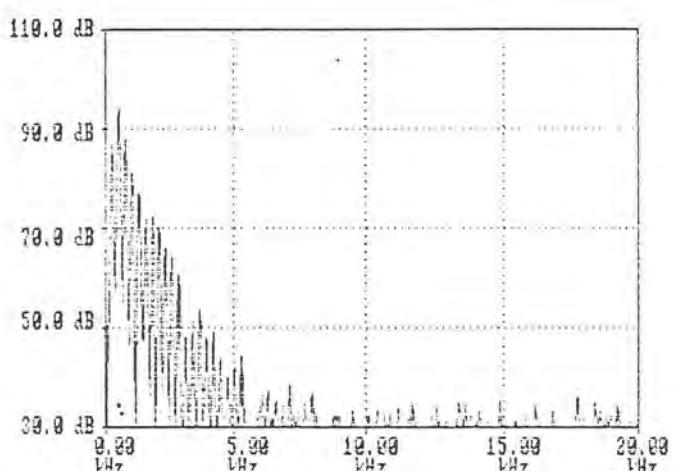
Institut fuer Wiener Klangstil GW/HD/HL 07-09-1987 11:58:12
whl-p.g1



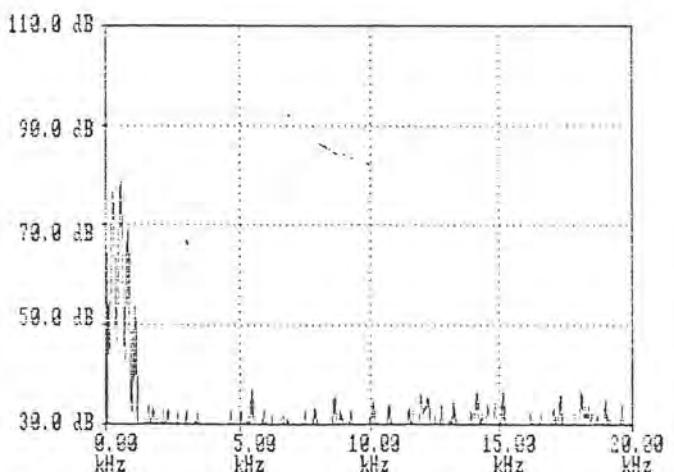
Institut fuer Wiener Klangstil GW/HD/HL 07-09-1987 11:59:17
whl-ff.g1



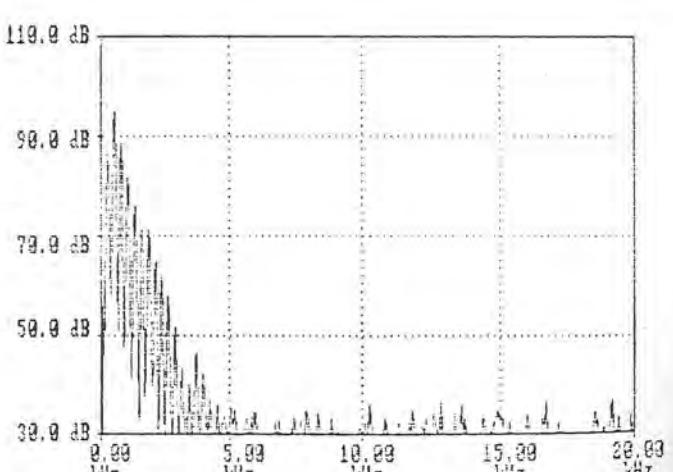
Institut fuer Wiener Klangstil GW/HD/HL 07-09-1987 12:14:21
pax-b-p.g1



Institut fuer Wiener Klangstil GW/HD/HL 07-09-1987 12:21:28
pax-b-ff.g1

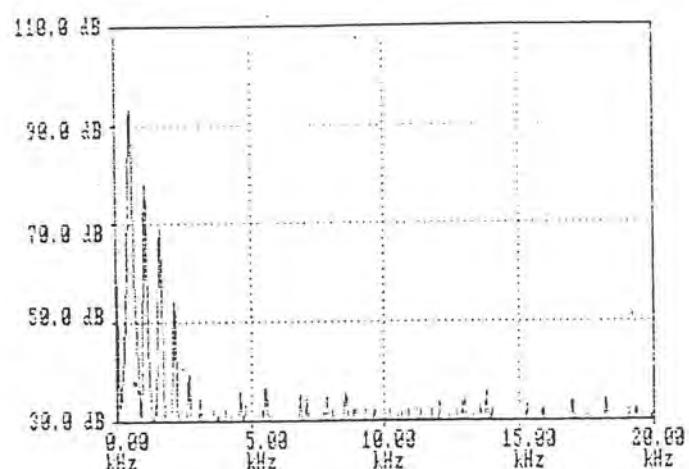


Institut fuer Wiener Klangstil GW/HD/HL 07-09-1987 12:15:38
pax-f-p.g1

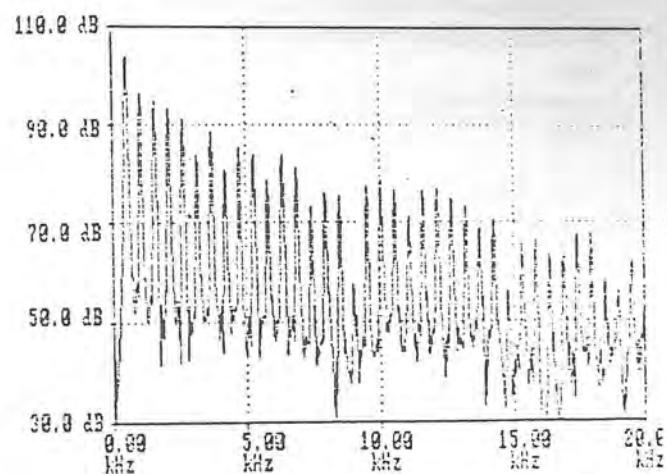


Institut fuer Wiener Klangstil GW/HD/HL 07-09-1987 12:22:38
pax-f-ff.g1

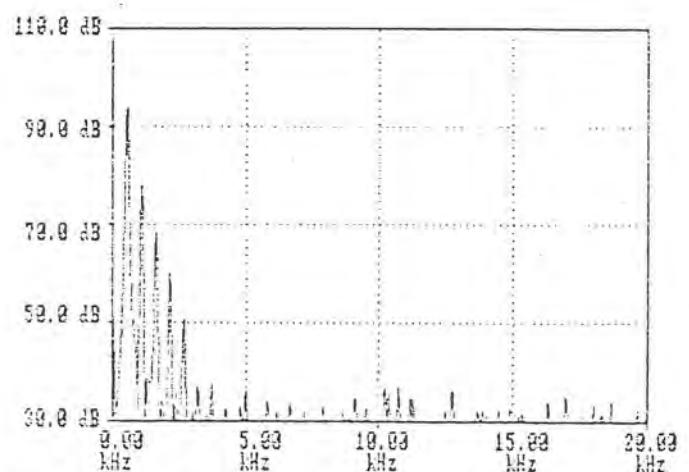
Abb. 4.2.1.2/2 g1 (263 Hz), piano (79 dB), fortissimo (95 dB)



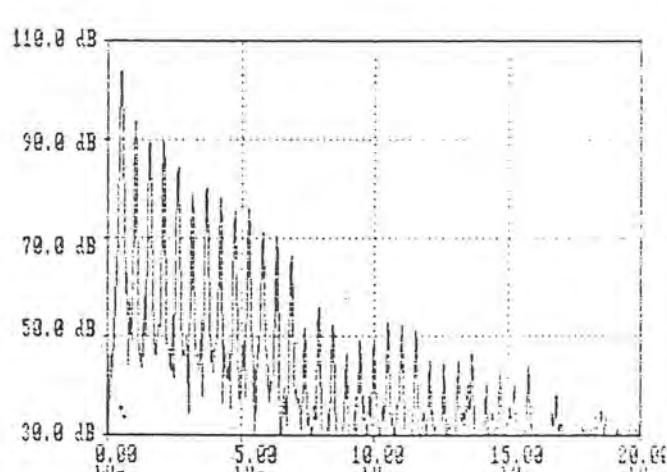
Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:05:47
chl-p.g2



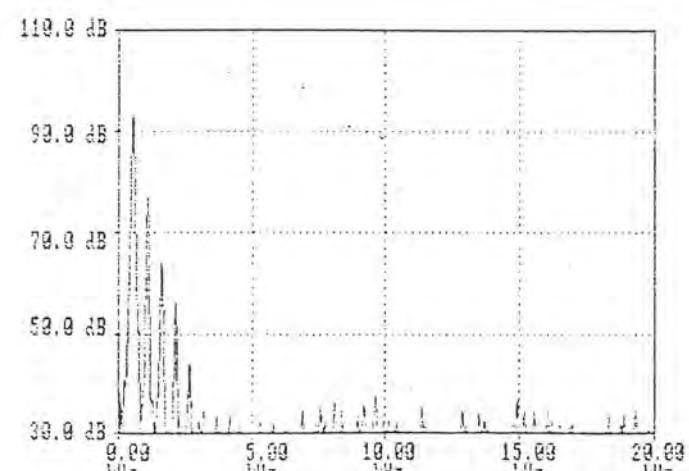
Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:04:02
chl-ff.g2



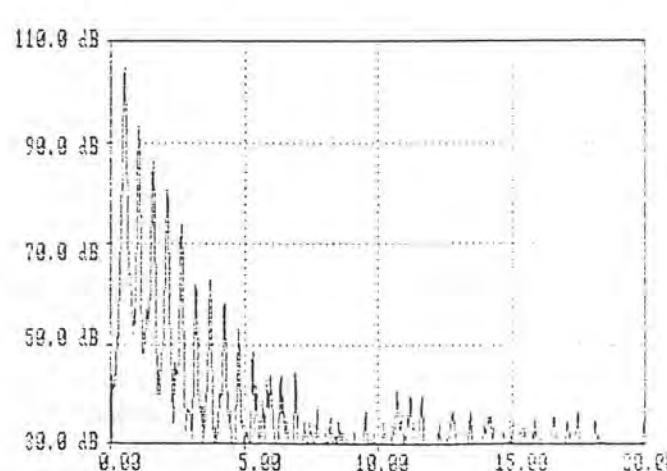
Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:25:33
pax-b-p.g2



Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:23:54
pax-b-ff.g2



Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 12:26:36
pax-f-p.g2



Institut fuer Wiener Klangstil GH/HD/HL 07-09-1987 13:29:15
pax-f-ff.g2

Abb. 4.2.1.2/3 g2 (525 Hz), piano (90 dB), fortissimo (104 dB)

- Bevor die Abbildungen 4.2.1.1 und 4.2.1.2 nun weiter diskutiert werden, sollten die folgenden Punkte geklärt sein:
- Wie stark muß ein bestimmter Teilton im Vergleich zum stärksten mindestens sein, um noch zur Klangfarbe beizutragen und
 - um wieviel muß sich ein Teilton oder Teiltonbereich mindestens ändern, damit eine Änderung der Klangfarbe festgestellt wird?

Zur ersten Frage konnten wir keine schlüssige Antwort in der Literatur finden. Wir entschieden uns daher, den Abfall der Teiltöne bis zu deren Verschwinden im "Rausch-Untergrund" zu verfolgen.

Zur zweiten Frage ist die Literatur spärlich - eine Zusammenfassung gibt Mertens²⁷. Aus den dort wiedergegebenen Arbeiten läßt sich immerhin schließen, daß bei unterbrochenen Klängen eine Änderung von Teiltonbereichen erst dann für die Klangfarbe relevant wird, wenn sie mindestens 6 dB beträgt.

4.2.2 FORMANTEN

Eine Literaturübersicht über Formanten beim Horn gibt folgendes Bild:

J. Meyer⁴ findet den Hauptformanten des Horns bei etwa 340 Hz und je nach Horntyp noch bis zu 5 Nebenformanten bis 4000 Hz.

Winckel²⁸ berichtet von zwei Formanten um 320 bzw. 720 Hz.

Rösing²⁹ schreibt für ein Horn in Es von "einem breiten Gebiet bevorzugter Resonanz" von 250 bis 1000 Hz. Er zitiert weiters E. Hermann mit einem Hauptformanten um 500 Hz, Reinecke mit demselben Hauptformanten, Meyer-Buchwald mit 300 Hz und teilt mit, daß Saunders und Boegner keine Zonen bevorzugter Resonanz erkennen konnten.

Stauder³⁰ berichtet von einem "etwas stärkeren Resonanzgebiet" bei etwa 200 - 300 Hz.

Auf den ersten Blick verwundert dieses uneinheitliche Bild.

Die Uneinigkeit bezüglich des "Hauptformanten" um etwa 350 Hz ist wohl nur eine scheinbare Diskrepanz. Alle Teiltonspektren, sowohl die von uns aufgenommenen (vgl. etwa Abb. 4.2.1.1 und 4.2.1.2) wie auch die in der Literatur mitgeteilten, zeigen ein Resonanzgebiet in dieser Gegend, d. h. erst bei Klängen über etwa dem notierten c2, das sind etwa 350 Hz, ist der Grundton stärker als alle übrigen Teiltöne; bei tieferen Klängen sind die unterhalb dieser Frequenz liegenden Teiltöne wieder schwächer. Da sich dieses Maximum bei größerer Lautstärke zu höheren Frequenzen verschiebt - übrigens durchaus in Übereinstimmung mit den Schumann'schen Klangfarbengesetzen -, ist es nur mehr eine Definitionsfrage, ob man dieses "Gebiet bevorzugter Resonanzen" als Formant bezeichnet oder nicht.

Welche Kriterien die Autoren benützten, wenn sie Nebenformanten fanden, ist aus den Literaturstellen nicht ersichtlich. Von Formanten kann ja wie erwähnt offenbar nur gesprochen werden, wenn es - zumindest innerhalb gewisser Klanghöhen- und Lautstärkenbereiche - unabhängig von der Höhe des Grundtones frequenzkonstante Strecken gibt, innerhalb derer die Teiltöne mindestens 6 dB über den monotonen Verlauf hervortreten. Die angesprochenen Klanghöhenbereiche entsprächen dabei den sogenannten Instrumentalregistern. Da keiner der Autoren auf dieses Problem eingeht, ist das erwähnte uneinheitliche Bild nicht mehr verwunderlich.

Auch das Problem der gleichlauten Klänge wird nicht einmal erwähnt. Daher ist zusätzlich der Verdacht naheliegend, daß Klänge verglichen wurden, die weder gleich laut noch unter denselben akustischen Bedingungen aufgenommen worden waren.

Für diese Arbeit könnte bezüglich der Methode vor allem die von Meyer⁴ verwendete wichtig sein, da er ja die Klangunterschiede der verschiedenen Horntypen auf das Auftreten entsprechender Nebenformanten zurückführt. Meyer verwendet die Einhüllenden der Klangspektren und bildet dann den Mittelwert einiger benachbarter chromatischer Klänge, "so daß die typischen Eigenarten des Instrumentes deutlich werden, während die individuellen Züge einzelner Klänge zurücktreten". In den Maxima der gemittelten Einhüllenden erkennt Meyer dann die Nebenformanten, die z. B. für das Wiener Horn typisch sein sollen.

Wir halten diese Methode nicht für zielführend: wie z.B. aus der Abb. 4 in⁴ zu erkennen ist, führt die Mittelwertbildung dazu, daß der Mittelwert an Stellen ein Maximum hat, wo Einzeltöne ein Minimum zeigen. Wie sollen nun aber die Formanten aus dem Mittelwert von mehreren nebeneinanderliegenden chromatischen Klängen für die Klangfarbe eines

Instrumentes bestimmen sein, wenn es die "individuellen Züge", also die Formanten "einzelner Klänge", nicht sind?") Wenn die Formanten wichtig sind, hätten die Klänge F bis B in der genannten Abbildung eben recht verschiedene Klangfarben und man würde sie aus dem Höreindruck nicht demselben Horn zuordnen.

Deutsch³¹ entwickelte - allerdings nicht im Zusammenhang mit der Analyse von Instrumentalklängen - folgende Methode zum Aufsuchen von "Formantkandidaten": Er nähert die Intensitäten der einzelnen Teiltöne durch eine lineare Funktion n -ter Ordnung an, wobei n frei wählbar ist. Diese Funktion hat i. A. $n-1$ Extremwerte. Die dabei auftretenden Maxima bezeichnet er als Formantkandidaten. So gut sich diese Methode auf anderen Gebieten bewährt haben mag, für die Analyse von Instrumentalklangfarben scheint sie uns weniger geeignet: erstens ist die Zahl der so errechneten Formanten durch die frei wählbare höchste Potenz determiniert und zweitens können auch hier durch das Näherungsverfahren durchaus an Stellen Maxima auftreten, wo in Wirklichkeit ein Minimum ist.

Zielführend für die Untersuchung von Klängen auf Formanten erscheint uns somit ausschließlich der Weg, in den Teiltonspektren der einzelnen Klänge Teiltöne oder Teiltonbereiche zu suchen, die mindestens 6 dB aus dem monotonen Verlauf hervortreten. Nur wenn wir solche finden und wenn sich diese dann in einer Reihe von benachbarten Klängen bei derselben Frequenz befinden, können wir einen Formanten nachweisen.

Als wir nun eine Reihe von Wiener und anderen Hörnern auf diese Weise untersuchten, fanden wir keinen einzigen eindeutigen Nebenformanten. Zur Illustration dieses Sachverhaltes diene die Abb. 4.2.1.1: Bei oberflächlicher Betrachtung scheint zwischen c1 und c2 um etwa 4000 Hz ein Formant zu sein. Versucht man aber zu bestimmen, wie hoch dieser Berg nun gegenüber dem monotonen Verlauf ist, erkennt man, daß, wenn überhaupt, der Einschnitt^{**)}) vorher charakteristisch ist, der Berg aber nicht. So lang aber nicht geklärt ist, ob eine solche Feinstruktur überhaupt zu hörbaren Klangunterschieden Anlaß geben kann, können wir nicht einmal den Klang eines einzelnen Horns auf Nebenformanten zurückführen.

An dieser Stelle sei freilich festgehalten, daß dem Hornklang durchaus eine gewisse Vokalqualität zugeordnet werden kann. Aus eigener Erfahrung und zahlreichen informellen Hörtests mit Musikerkollegen ergibt sich folgendes Bild:

Im hohen Register (ab ca. d2 notiert und bei mezzoforte) tritt der Vokal "u" stark in den Vordergrund, zwischen dem notierten a und c2 (entspricht etwa der Mittellage) ist jedoch kein einheitlicher Trend feststellbar. Der Klang weist Ähnlichkeiten mit Vokalkombinationen wie: a/e, a/i, e/o, a/o etc. auf, um im tiefen Register meist vom Vokal o oder a dominiert zu werden, der entweder mit u, e, a oder i vermischt ist.

Die eben beschriebenen Vokalqualitäten schwanken jedoch sehr stark in Abhängigkeit vom Bläser. Bei manchen Musikern waren sie deutlich feststellbar, bei anderen wiederum konnte dem Hornklang überhaupt keine Vokalqualität zugeordnet werden.

Gemeinsamkeiten bestimmter Horntypen waren nicht feststellbar.

Wir vermuten daher, daß

1. das Faktum, daß nur im hohen Register ein einheitlicher Trend feststellbar ist (übrigens bei allen Instrumententypen gleichermaßen), auf die bläserunabhängige Dominanz des 1. Teiltons im Spektrum zurückzuführen ist. Der Grundton bewegt sich dabei vorwiegend in einem Frequenzbereich, in dem der "u" Formant liegt. Dies gilt nur für Piano- und Mezzoforte-Spektren. Bei "lauteren" Klängen treten individuell stark unterschiedliche Färbungen auf.
2. die Vokalqualität im mittleren und tiefen Register überwiegend vom Anregungsspektrum des Musikers bestimmt wird. Ursache der großen individuellen Unterschiede sind die physiologischen Gegebenheiten der Lippen des Musikers.

³¹) Gemittelte Klangspektren, z. B. Terzspektren, werden vor allem bei Orgeln verwendet. Da diese Instrumente nur in dem Raum, in dem sie stehen, untersucht werden können, ist das eine Methode, um den Einfluß stehender Wellen auszuschalten; bei Instrumenten, die in schalltoten Räumen untersucht werden und deren Teiltonamplituden im quasistationären Bereich über die Zeit nahezu unverändert bleiben, liegt u. E. kein Grund vor, sich mit gemittelten Spektren zu befassen.

^{**)} Einschnitte in einem Fourierspektrum könnten auch durch die Anregung hervorgerufen werden, nämlich dann, wenn zwischen dem Schließen der Bläserlippen und dem darauf folgenden Öffnen eine gewisse Zeit verstreicht. Da dieses Phänomen jedoch mit dem Klang verschiedener Horntypen nichts zu tun hat, wurde es hier nicht weiter untersucht.

Aus allen diesen Befunden schließen wir, daß der Unterschied zwischen verschiedenen Horntypen nicht auf das Auftreten bzw. Fehlen von Formanten zurückzuführen ist. Somit können auch die Schumann'schen Klangfarbengesetze - deren anderweitige Gültigkeit hier nicht diskutiert werden soll - nichts zur Lösung unseres Problems beitragen.

4.2.3 KLANGVERGLEICHE MIT DEM KÜNSTLICHEN BLÄSER

Abb. 4.2.3.1 zeigt das für die in Abb. 4.2.3.2 gezeigten Spektren verwendete Anregungsspektrum des künstlichen Bläzers.

Abb. 4.2.3.2 zeigt als Beispiel typische Unterschiede der einzelnen untersuchten Instrumententypen (Wiener F-Horn: Uhlmann, Tripelhorn: Paxman) unter Ausschluß des Einflusses des Musikers.

Abb.
4.2.3.1

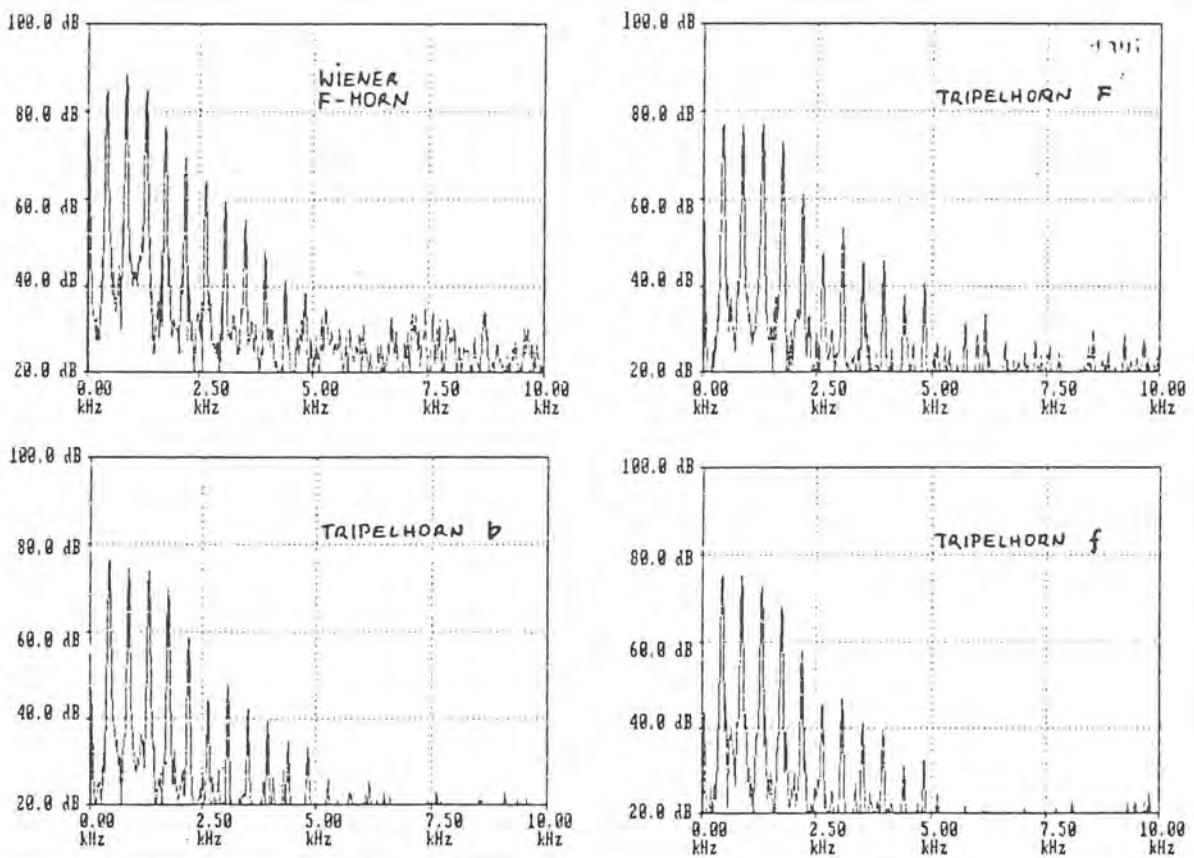
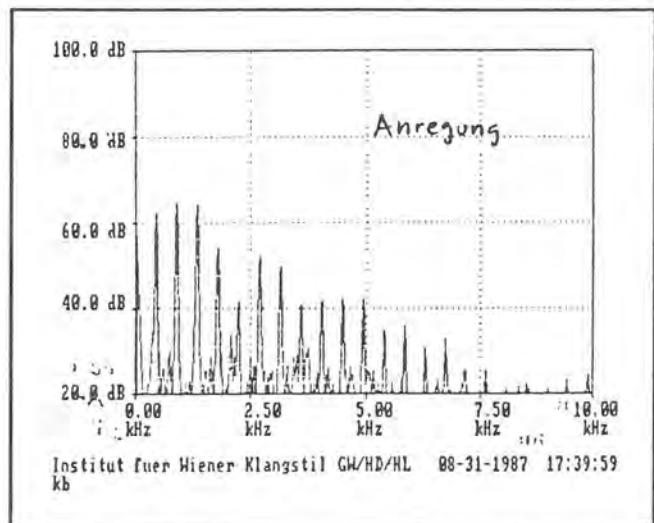


Abb. 4.2.3.2

Angeregt wurden die beiden Instrumente mit $e2 = 440$ Hz und mit einem (wie aus der Skalierung ersichtlich) verhältnismäßig geringen Schalldruck (80 mmWs, 36,5°C), um die Gefahr des Übersteuerns der Hörner zu vermeiden. Dadurch wurden allerdings durch die Mechanik hervorgerufene Schallkomponenten teilweise in den Spektren sichtbar. Sie sind im oberen Bereich (6-10 kHz) der Spektren des Wiener Horns und des F-Horn-Teils des Tripelhorns erkennbar und stehen in keinem ganzzahligen Verhältnis zur Grundfrequenz. Geringfügige Frequenzabweichungen von Teiltönen der Hornspektren gegenüber dem Anregungsspektrum ergaben sich einerseits aus dem Umstand, daß in das Mundstück keine zusätzliche Masse zur Volumsverdrängung eingeführt wurde (die Hornspektren liegen daher einige Hertz tiefer) und andererseits, daß die Anregungsfrequenz auf die Resonanzspitze des jeweils angeregten Hornteils abgestimmt wurde (es hätte aus klanglichen Gründen wenig Sinn, neben der Resonanzspitze anzuregen).

Für beide Instrumente wurde dasselbe Mundstück benutzt. Dies dient zur besseren Vergleichbarkeit und ist in diesem Fall durchaus gerechtfertigt, da beide Instrumente vom Besitzer auch mit dem selben Mundstück geblasen werden.

Deutlich geht aus dem Spektrum des Wiener Horns der flachere Abfall und die höhere Anzahl der Teiltöne hervor (auch gegenüber dem F-Horn-Teil des Tripelhorns).

Die in Kapitel 3.3.4 (vgl. Abb. 3.3.4.1) geäußerte Vermutung einer stärkeren "Grundtönigkeit" der nicht Wiener Modelle findet hier ihre Bestätigung. Die Ursache liegt offensichtlich in der unterschiedlichen Geometrie: Je größer der Rohrdurchmesser im Verhältnis zur Rohrlänge, desto dominierender der Grundton und desto stärker der Abfall der Teiltonamplituden mit zunehmender Ordnungszahl.

4.2.4 DER TEILTONAUFBAU DES WIENER HORNES IM VERGLEICH ZU ANDEREN HÖRNERN

Die Abb. 4.2.4.1 zeigt den Teiltonaufbau für 8 gleich laute (forte = 100 dB) Hornlängen ($c2 = 350$ Hz), von verschiedenen Musikern auf Wiener Hörnern und Doppelhörnern gespielt. Auf der horizontalen Achse sind die Teiltöne in gleichem Abstand entsprechend ihrer Ordnungszahl aufgetragen, auf der vertikalen Achse ihre Stärke in dB. Der Grundton fällt in den Ursprung, seine Stärke ist mit einem X markiert.

Zu Beginn des Kapitels 4.2 wurde erklärt, daß nach der Helmholtz'schen Relativtheorie das Klangcharakteristikum an die Ordnungszahl der Teiltöne gebunden sein sollte. Wie die Abbildung zeigt, ist das aber schon bei einem einzigen Klang nicht der Fall. Für das Problem der klanglichen Charakterisierung eines bestimmten Horntyps führt somit die Diskussion der Feinstruktur mit Hilfe der Helmholtz'schen Relativtheorie zu keinen Ergebnissen - ohne daß dabei in die Diskussion über die anderweitige Gültigkeit dieser Theorie eingegriffen werden soll.

Abb. 4.2.4.1 läßt aber ebenso wie die Abb. 4.2.1.2 vermuten, daß bei gleich lauten Klängen der Abfall des Teiltonspektrums der Wiener Hörner gegenüber dem aller anderen Hörner deutlich geringer ist. Daher liegt der Versuch nahe, eine Methode zu entwickeln, bei der nun nicht mehr die relative Stärke einzelner Teiltöne oder Teiltongruppen im Vordergrund steht, sondern die der gesamten Teiltonreihe.

Für die weitere Untersuchung wird es daher hilfreich sein, den Teiltonabfall durch eine möglichst einfache Kurve anzunähern. Dazu haben wir eine Darstellung gewählt, bei der auf der Abszisse (wie in der Abb. 4.2.4.1) die Nummer des entsprechenden Teiltons aufgetragen wird und auf der Ordinate, wie immer, die Stärke dieses Teiltons in dB. Zunächst scheint sich eine exponentielle Näherung anzubieten. Da aber die Ergebnisse ebenso gut mit einer linearen Regression der Form

$$y = -kx + d$$

dargestellt werden können (die weit anschaulicher ist), wurde diese gewählt. (Die Regression ist "linear" bezogen auf das logarithmische dB-Maß!).

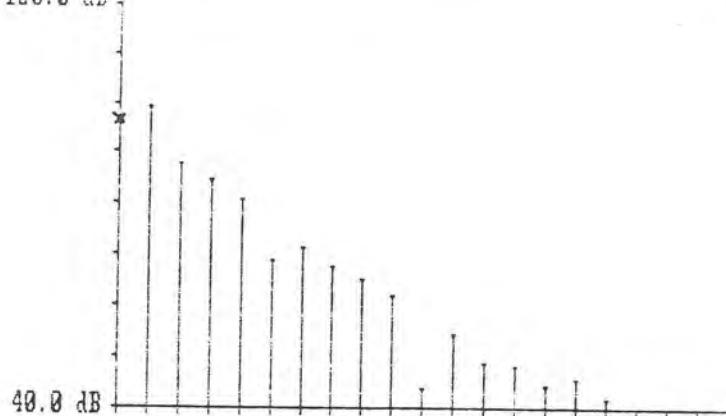
Der Faktor (-k) bedeutet die Steigung der Geraden; da diese in unserem Fall immer negativ ist, wird k immer positiv sein. Ein kleiner Wert der Steigung k entspricht einem flachen Abfall der Teiltöne.

Der Summand d bedeutet den Ordinatenabschnitt der Geraden.

Die Güte dieser Darstellung kann mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten bestimmt werden, dessen Absolutwert zwischen 0 und 1 liegt. Ein Wert von 1 bedeutet vollständige Übereinstimmung, d. h. jeder einzelne Punkt liegt auf der Näherungskurve. Je näher der Korrelationskoeffizient gegen 0 geht, desto schlechter ist die Übereinstimmung.

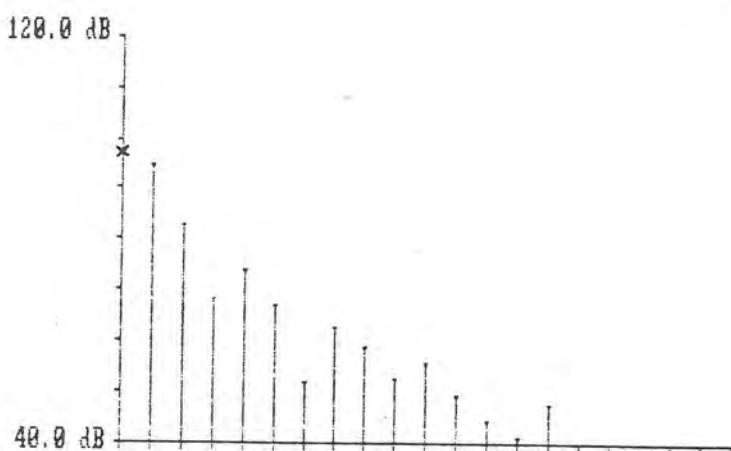
120.0 dB

120.0 dB



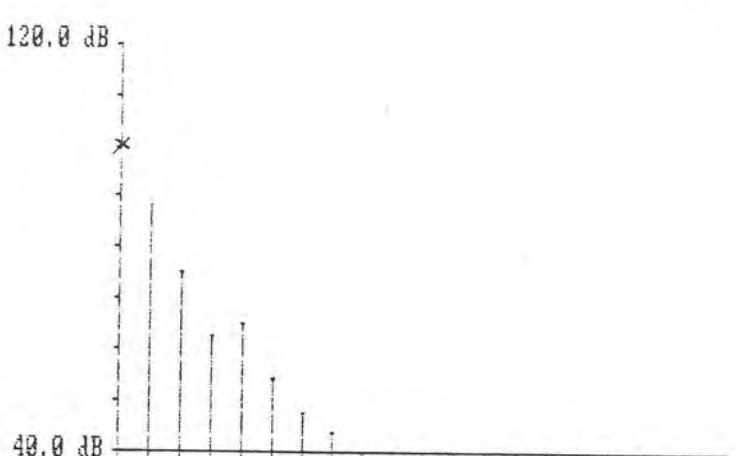
40.0 dB

120.0 dB



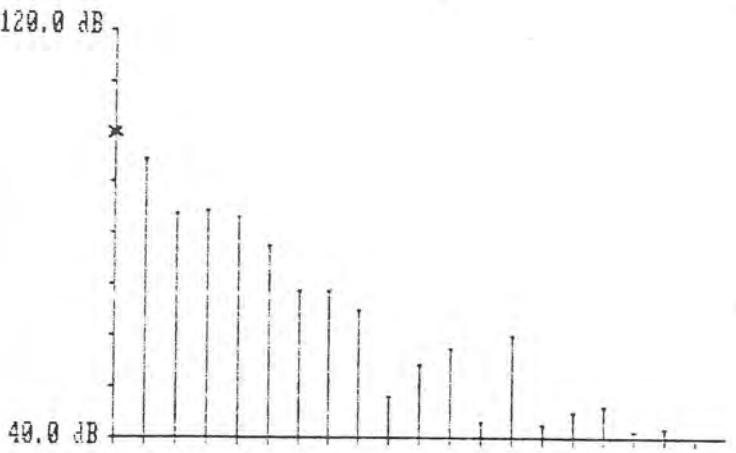
40.0 dB

120.0 dB



40.0 dB

120.0 dB



40.0 dB

Abb. 4.2.4.1: Wiener Hörner

Doppelhörner

In der Abb. 4.2.4.2 ist die Näherungskurve für lineare und exponentielle Regression punktiert dargestellt. Die Korrelationskoeffizienten sind nahe bei eins, was zeigt, daß beide Methoden gut zur Näherung geeignet sind. Ebenso ist ersichtlich, daß beide Methoden den Abfall der Teiltöne gut darstellen.

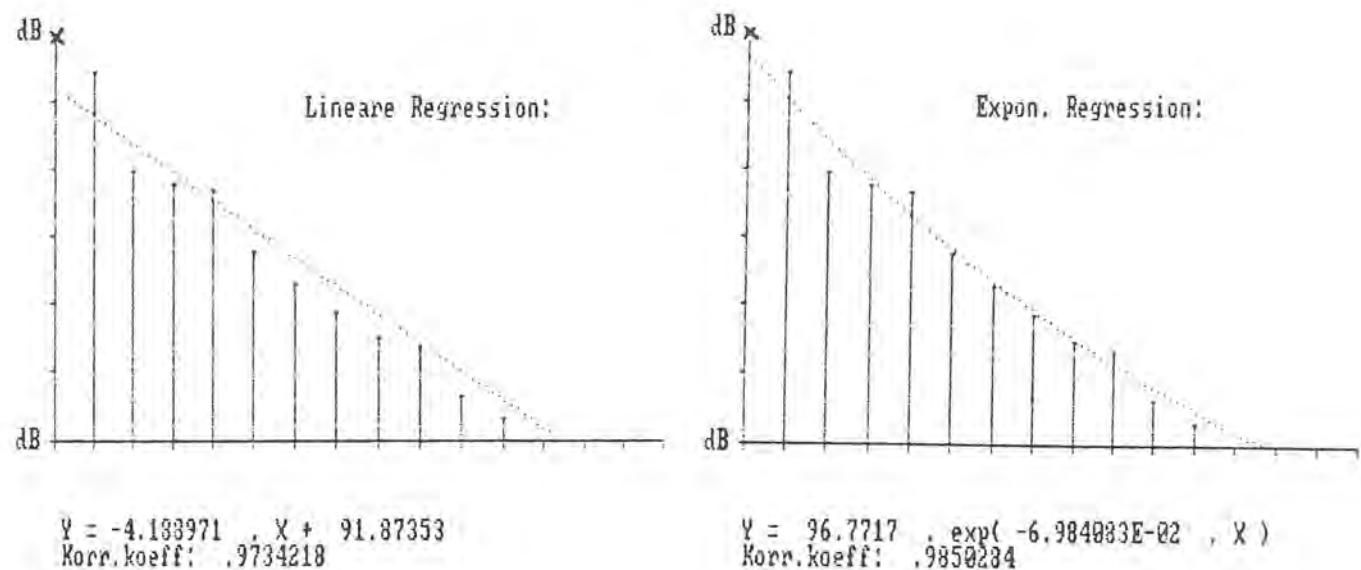


Abb. 4.2.4.2

Die aufgenommenen Klangbeispiele wurden nun mit Hilfe der linearen Regression ausgewertet. Aus der Analyse von über 200 Klängen zeigt sich folgendes:

1. Die lineare Regression ist zur Darstellung geeignet (der Korrelationskoeffizient ist durchwegs nahe bei eins).
2. Werden gleichlange Klänge verglichen, ist im tiefen Register wenig Unterschied zwischen den verschiedenen Hörtypen zu erkennen. Im höheren Register hingegen ist die Steigung k bei den Wiener Hörnern immer absolut kleiner, d. h. der Abfall der Teiltöne ist flacher.

Als Beispiel diene die Abb. 4.2.4.3, die die aus 33 Auswertungen gewonnenen Mittelwerte für die drei forte geblasenen Klänge g1, c2 und e3 (notiert) darstellt: auf der Ordinate ist die negative Steigung k aufgetragen, auf der Abszisse die Frequenz der drei Klänge. Die mit einer durchlaufenden Linie verbundenen Punkte sind der Mittelwert für die in Wien gebauten Wiener Hörner, die mit der strichlierten Linie verbundenen Kreise der Mittelwert für alle in dieser Arbeit geblasenen Wiener Hörner und die mit der strichpunktlierten Linie verbundenen Sterne der Mittelwert der Doppelhörner. Wird das Fehlerband von etwa $/k/ = 1$ mit in Betracht gezogen, so sieht man, daß, wie erwähnt, im tieferen Register nur kleine Unterschiede bestehen; dieser Unterschied wird aber nach oben immer größer.

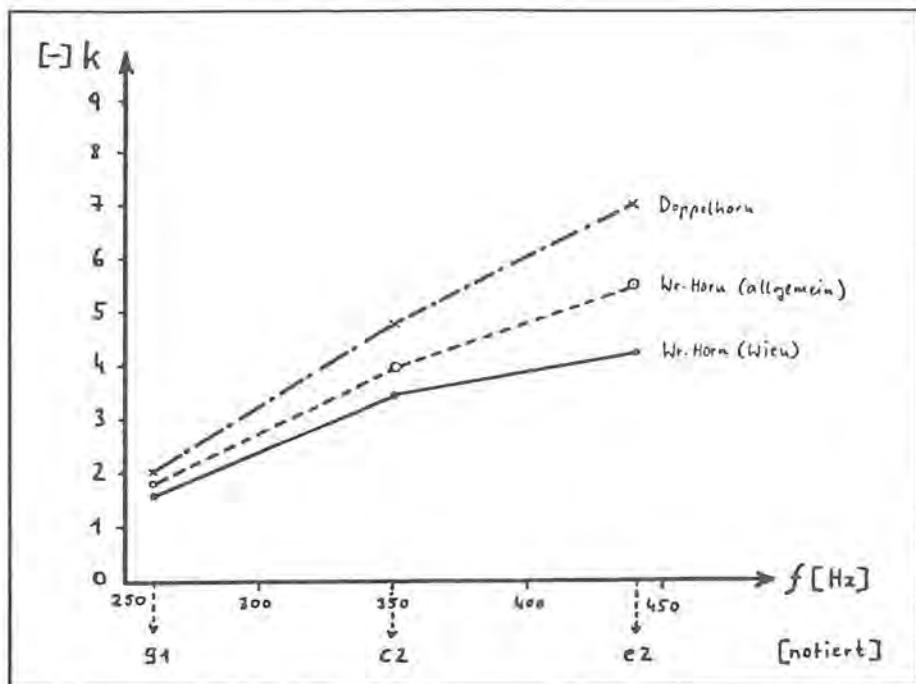
Derselbe Effekt zeigt sich auch in den anderen Dynamikstufen, er wird aber immer schwächer, je leiser der Klang wird.

Somit ist nachgewiesen, daß eines der Charakteristika der Wiener Hörner ihr Obertonreichtum ist.

Was bedeutet nun ein flacher Abfall der Intensität der Teiltöne für den Klang?

Wie aus der Abb. 4.2.4.4 (auf Seite 53) ersichtlich ist, wird ein Hornklang grundsätzlich immer obertonreicher, je größer der Schallpegel des abgestrahlten Klanges ist.

Abb.
4.2.4.3



Ein flacherer Abfall der Intensität der Teiltöne bedeutet somit, daß der Klang eines Wiener Hornes bei einer gewissen Lautstärke denselben Obertongehalt aufweist wie der eines anderen Hornes bei einem lauteren Klang. Anders ausgedrückt:

Bei auf Wiener F-Hörnern gespielten Klängen entsteht aufgrund des spektralen Aufbaus ein Fortissimo-Eindruck schon bei niedrigeren Schallpegeln (vgl. auch Anhang B).

Da die betrachteten Klänge des tiefen Registers bei allen Horntypen auf dem (langen) F-Horn gespielt wurden, im höheren Register aber nur mehr das Wiener Horn das lange Rohr verwendet, schließen wir, daß der flachere Abfall der Teiltöne mit der Geometrie des Instrumentes zusammenhängt.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß die Besonderheit des Wiener Hornklanges im stationären Bereich darin besteht, daß im höheren Register die Teiltöne signifikant weniger abfallen als bei den anderen Horntypen. Dies ist, wie der Vergleich des tieferen Registers zeigt, vor allem auf die geometrischen Verhältnisse der verwendeten Röhre zurückzuführen.

4.2.5 SPEKTRALDYNAMIK

Aus den in den vorangegangenen Kapiteln abgebildeten Spektren geht deutlich hervor, daß ein wesentliches Kennzeichen eines Fortissimo-Klanges die Verlagerung der abgestrahlten Energie zu höheren Teiltonkomponenten ist. Die abgestrahlte Gesamtenergie wird also nicht nur von den ersten 4-6 Teiltönen getragen (wie im Piano-Klang), sondern von mindestens 20-30 Teiltönen. Spektralanalysen von im schalltoten Raum gespielten fff-Klängen zeigten 60 und mehr im Klang enthaltene Teiltöne. Mit den vorhandenen Geräten konnte nur der Bereich bis 20 kHz untersucht werden. Verfolgt man aber die Umhüllenden solcher fff-Spektren, so liegt der Schluß nahe, daß von Hörnern im "Forte-Fortissimo" Schall bis zu 30 kHz abgestrahlt wird!

Hörtests ergaben, daß für die Zuordnung eines Instrumentenklanges zu einer bestimmten Dynamikstufe durch den Zuhörer im Wesentlichen der spektrale Aufbau maßgebend ist. So ein Test kann von jedermann nachvollzogen werden. Einzige Voraussetzung: die Testpersonen sollten eine gewisse Erfahrung im Beurteilen von Musikinstrumentenkängen besitzen. (Wir zogen zu Hörtests ausschließlich Berufsmusiker heran). Mit einem Tonbandgerät wird ein Piano- und ein Fortissimo-Klang aufgenommen. Beim Abspielen vor den Testpersonen bietet man den Pianoklang sehr "laut" an, den Fortissimo-Klang hingegen sehr "leise". Wäre für die Zuordnung eines Klänges zu einer bestimmten Dynamikstufe also der Schalldruckpegel des Klänges ausschlaggebend, so würde der "laut" dargebotene Pianoklang von den Testpersonen als Fortissomoklang beurteilt, der "leise" dargebotene Fortissomoklang hingegen als Pianoklang bezeichnet werden. Dies ist natürlich nicht der Fall. Die Klänge wurden bis jetzt noch von allen Testpersonen richtig identifiziert, mit der Bemerkung, daß eben der eine laut und der andere weniger laut abgespielt wurde.

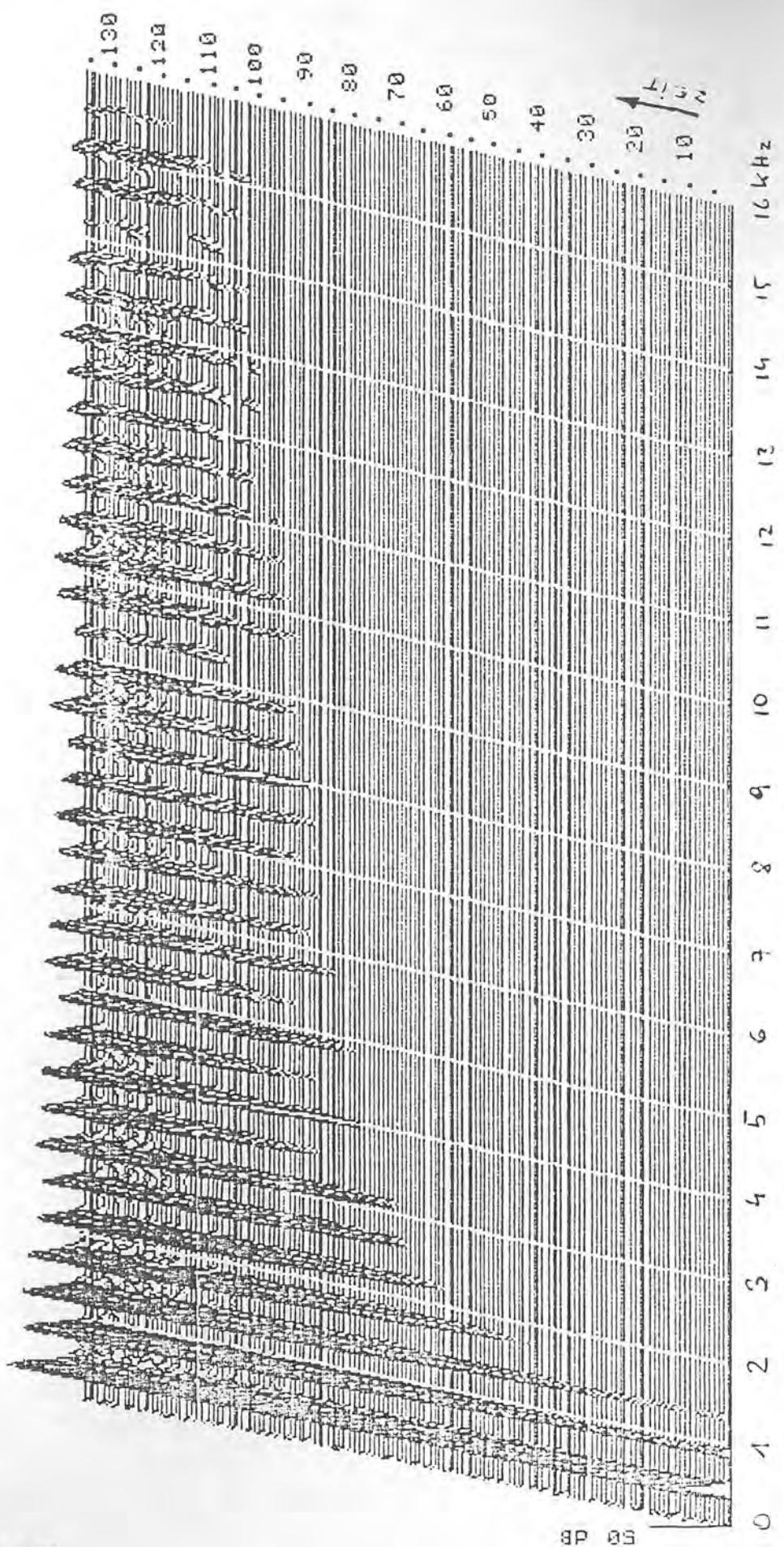


Abb. 4.2.4.4 crescendo p < fff

Daher kommt der Veränderung des spektralen Aufbaus in Abhängigkeit von der gewählten Spieldynamik erhöhte Bedeutung zu.

Die Entwicklung des Teiltongehaltes in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel des Gesamtklanges zeigt deutliche Unterschiede zwischen Wiener und anderen Hörnern.

Abb. 4.2.5.1 zeigt den Dynamikbereich eines Wiener F-Horns und eines Tripelhorns (F-Teil, b-Teil und f-Teil) anhand ihres Teiltongehaltes: auf der horizontalen Achse sind die Teiltöne von 1 - 60 in gleichem Abstand aufgetragen (der Grundton fällt mit der y-Achse zusammen), auf der vertikalen Achse die Stärke der Teiltöne in dB. Zu sehen ist der Ton c2 von einem Musiker auf den 4 Hörnern gespielt. Die erste Ebene zeigt den Teiltongehalt für ein piano (84 dB), die zweite ein fortissimo (97 dB). Bewußt haben wir kein forte-fortissimo (ca.110 dB) gewählt, da dies im schalltoten Raum von den Musikern durchaus geblasen worden ist, in der Praxis aber seltener vorkommt.

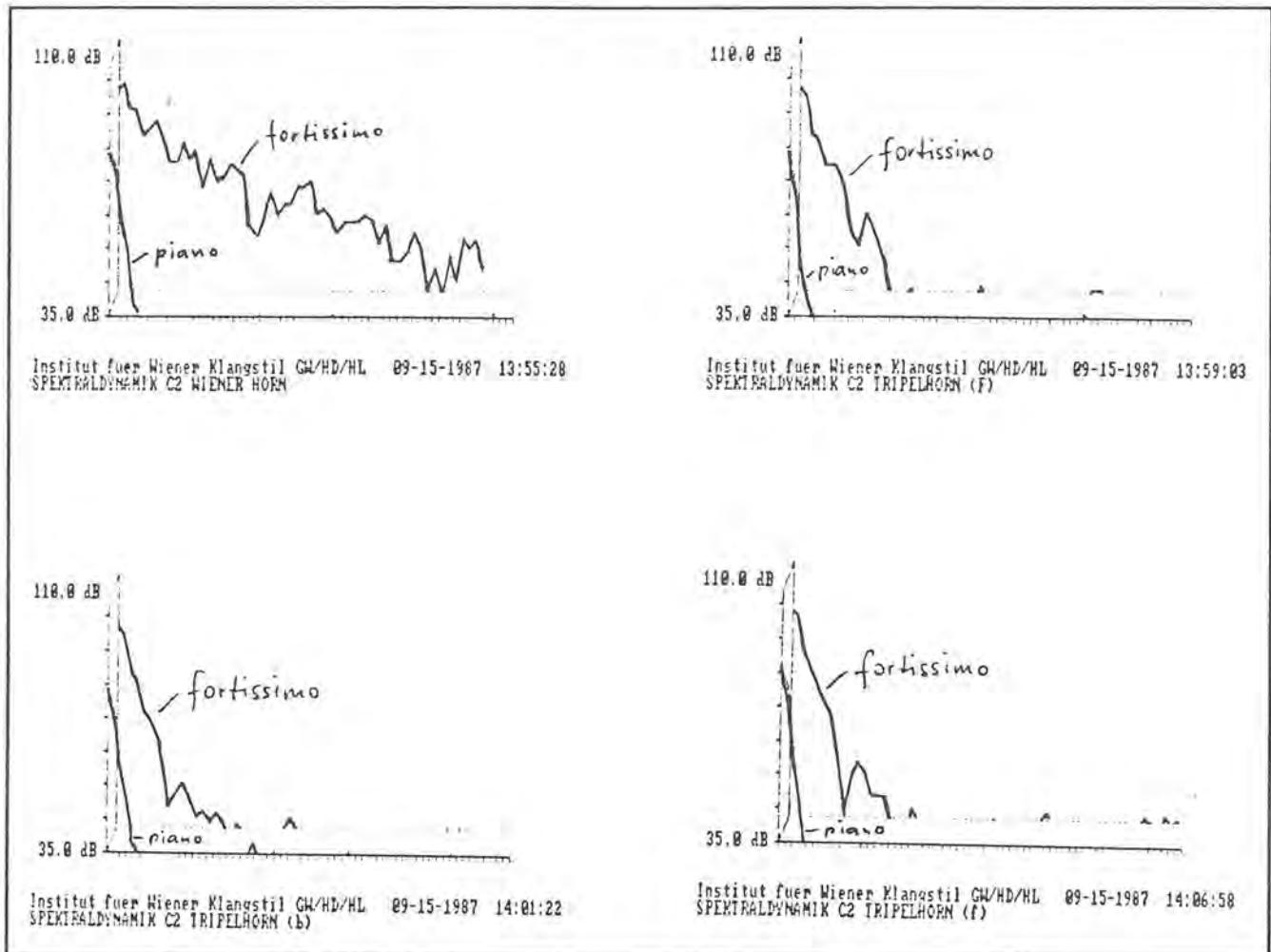


Abb. 4.2.5.1

Abgesehen von dem mehr als deutlichen Unterschied im Fortissimo zeigt sich sogar im Piano der stärkere Absfall der Teiltöne beim Tripelhorn.

Interessant ist die unterschiedliche Entwicklung des Teiltongehaltes in Abhängigkeit vom Gesamtschalldruckpegel. Die Abb. 4.2.5.2 zeigt diese anhand der ersten 38 Teiltöne. Als Ausgangsmaterial dienten die in Abb. 4.2.5.1 gezeigten Klänge.

Die Diagramme zeigen den Anstieg der einzelnen Teiltöne während eines Crescendos in Relation zum Anstieg des Gesamtpegsels um 1dB. Auf der Horizontalen ist daher der Gesamtschalldruck (Leistungspegel) vom Piano (84 dB) bis zum Fortissimo (97 dB) aufgetragen, auf der Vertikalen die Differenz der einzelnen Teiltöne zum jeweiligen Gesamtpegel in dB.

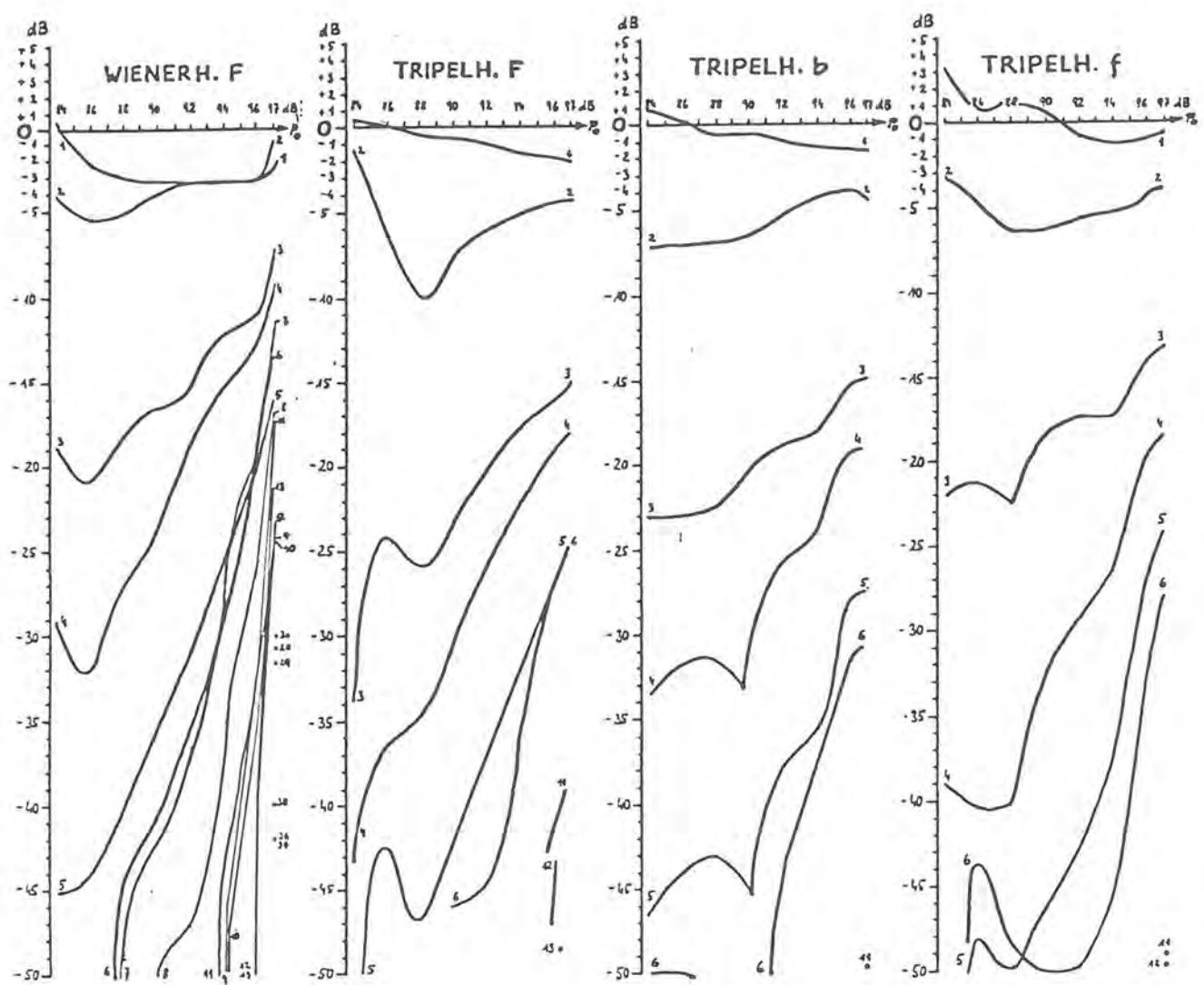


Abb. 4.2.5.2

Wenn die Amplitude eines Teiltons im Laufe eines Crescendos genauso stark ansteigt wie die Amplitude des "Gesamtklanges", so ergäbe der Verlauf dieses Teiltones ebenfalls eine Horizontale (parallel zum Leistungspegel). De facto ist dies jedoch nie der Fall. Teiltöne, deren Amplitude um mehr als 50 dB geringer als der Gesamtpegel ist, wurden nicht berücksichtigt. Teiltöne, die erst bei 97 dB in den 50 dB Bereich eintreten, sind als Punkt dargestellt.

Ein Vergleich der 4 Diagramme zeigt den enormen Unterschied zwischen dem Wiener Modell und dem Tripelhorn (selbst zum F-Hornteil des Tripelhorns) in der lautstärkeabhängigen Teiltonentwicklung. Abgesehen von der allgemein stärkeren Präsenz der höheren Teiltöne (selbst im Piano) beim Wiener Horn weisen diese bei höheren Lautstärken einen extrem steilen Anstieg auf. Während z.B. der Gesamtpegel um 1 dB (von 96 auf 97 dB) steigt, steigt der 6. Teilton beim Wiener Horn um 6.5 dB, beim Tripelhorn dagegen nur um etwa 2 dB beim F-Hornteil, um 0.5 dB(!) beim b-Hornteil und um 4 dB beim hohen f-Hornteil.

4.3 ERGEBNISSE IM INSTATIONÄREN BEREICH

4.3.1 EINSCHWINGVORGÄNGE

Es ist naheliegend zu vermuten, daß die im Kapitel 2 beschriebenen baulichen Besonderheiten - insbesondere die verschiedenen Längen der Instrumente und die verschiedenen Ventilkonstruktionen - die Ein- und Ausschwingvorgänge beeinflussen werden. Diese Vermutung wird durch die Tatsache bestätigt, daß der Hornist etwa beim Anblasen sofort spürt, welche Länge das eben benutzte Instrument hat: "ein kürzeres Rohr spricht schneller und leichter an". Hörproben führen zu demselben Ergebnis: "Bei technischen Stellen wirkt das Wiener Horn schwerfälliger".

Der saubere Weg zur Lösung dieses Problems wäre, dem zu untersuchenden Instrument einen stufenförmigen Impuls aufzuprägen und die Antwort darauf zu untersuchen; mit den uns zur Verfügung stehenden Geräten war es jedoch nicht möglich, diesen Weg zu gehen.

Bei der Analyse der Musikbeispiele bestätigte sich die obige Beobachtung nicht: wir konnten bei Betrachtung der Zeitfunktionen der abgestrahlten Klänge beim Ein- und Ausschwingverhalten keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Horntypen finden und schließen somit, daß der Gestaltungswille des Musikers - insbesondere sein "Stoß" - die vermuteten Unterschiede im Ein- und Ausschwingverhalten der Instrumente maskieren kann, wodurch diese zum für den Zuhörer wahrnehmbaren Klangunterschied zwischen den verschiedenen Instrumententypen nichts beitragen.

Die These, daß die Einschwingzeit der Wiener F-Hörner länger ist, wird jedoch durch verschiedene Beobachtungen erhärtet:

1. Wie aus den Messungen von Kapitel 3.3.2 hervorgeht, benötigt das Wiener F-Horn gegenüber den b- und f-Hornteilen eines Doppelhorns eine längere Zeitspanne (bei gleicher Anregung) bis zur endgültigen Stabilisierung einer stehenden Welle.
2. Hornisten haben ausnahmslos das Gefühl, ein b-Horn, bzw. f-Horn spräche schneller und "direkter" an. Da dieser Effekt bei den abgestrahlten Klängen aber nicht nachgewiesen werden konnte, liegt der Schluß nahe, daß die längere Einschwingzeit durch eine erhöhte Energiezufuhr für die Zeitspanne des Einschwingens beim Wiener F-Horn durch den Musiker kompensiert wird.
3. Werke, in denen sehr viele Staccatoläufe vorkommen oder die kurzen Notenwerte dominieren, sind nach Ansicht der Hornisten auf einem Horn mit langer Luftsäule wesentlich anstrengender. Diese unter Hornisten unumstrittene Tatsache, in Verbindung mit den Fakten von Punkt 1 und dem Schluß von Punkt 2 beweisen die aufgestellte These indirekt:

Da die Länge der Einschwingzeit bei Orchesterwerken durch die Temporelationen des musikalischen Kontexts bestimmt werden (nur große Soli geben dem Musiker etwas Spielraum), muß bei vorgegebener "kurzer" Einschwingzeit der Musiker während des Einschwingvorganges bei einer längeren Luftsäule (= größere Masse an Luft in Schwingung versetzen!) mehr Energie zuführen.

4.3.2 BINDUNGEN

Am Horn gibt es, wie erwähnt, zwei Möglichkeiten der Bindung:
- Lippenbindung und
- Ventilbindung.

Aus der Beschreibung der baulichen Besonderheiten des Wiener Hornes in Kapitel 2 ist klar, daß in einem gegebenen Musikstück am Wiener Horn mehr Lippenbindungen gespielt werden; zusätzlich sind auch die Stellen seltener, an denen mehr als ein Ventil gleichzeitig bewegt wird, da es beim Doppelhorn zusätzlich das "Daumenventil" gibt. So stehen in den von uns zur Analyse gespeicherten Ausschnitten aus dem Strauss - Konzert den sieben Lippenbindungen am Wiener Horn (sechs, wenn das b2 mit dem Hilfsgriff "23" gespielt wird) keine einzige am Doppelhorn gegenüber.

Bei der Lippenbindung werden die Unterschiede zwischen verschiedenen Horntypen klein und vermutlich wieder durch den Gestaltungswillen des Musikers maskiert sein. Tatsächlich gelang es nicht, hier signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Horntypen zu finden.

Die Abb. 4.3.2.1 zeigt die dreidimensionale graphische Darstellung der Lippenbindung g2 - c2 auf einem Wiener Horn (auf der x-Achse ist die Frequenz, auf der y-Achse die Zeit und auf der z-Achse die Stärke der Teiltöne aufgetragen): deutlich ist zu sehen, wie zu jedem Zeitpunkt ein aus mehreren von einander deutlich getrennten Teiltönen bestehender Klang vorhanden ist. Das bedeutet, daß in diesem Fall ein Ton mit dem nächsten über eine Art Glissando verbunden ist.

Die Abb. 4.3.2.2 stellt dieselbe Lippenbindung auf einem Doppelhorn dar. Wie nicht anders zu erwarten, besteht zwischen den beiden Abbildungen nur wenig Unterschied.

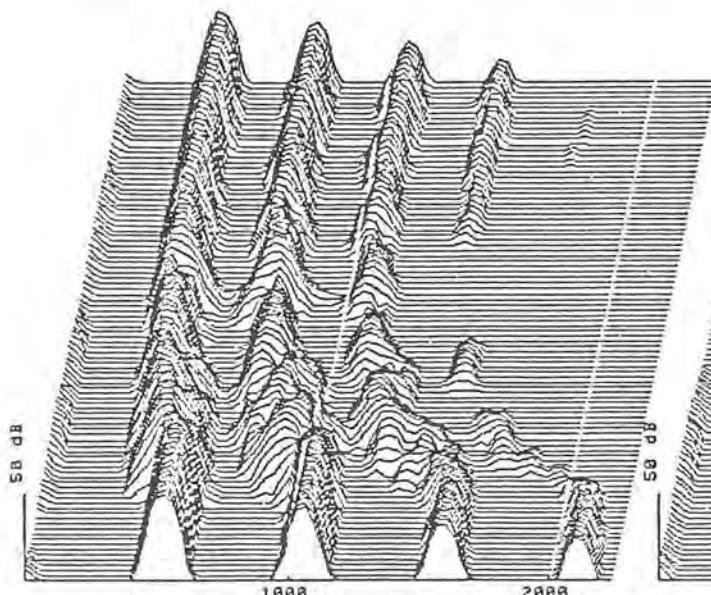


Abb. 4.3.2.1

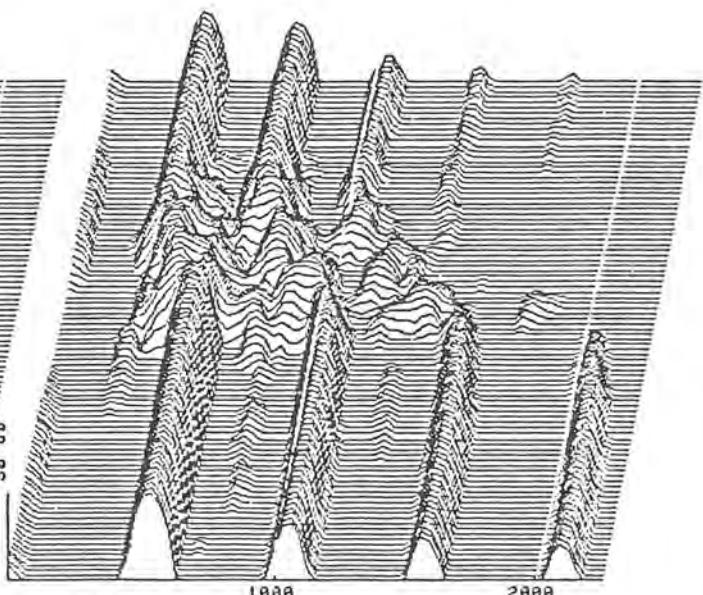


Abb. 4.3.2.2

Während also bei den Lippenbindungen kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Horntypen festgestellt werden kann, liegen die Verhältnisse bei den Ventilbindungen anders: Die Abb. 4.3.2.3 stellt die Ventilbindung b1 - a1 auf einem Wiener Horn dar. Wie bei der Lippenbindung sind in jedem Zeitpunkt die einzelnen Teiltöne deutlich von einander getrennt. Auf der Abb. 4.3.2.4 ist dieselbe Ventilbindung auf einem Doppelhorn dargestellt: Es ist deutlich zu sehen, daß zwischen den beiden Klängen ein Zeitintervall von mehr als 7 Ebenen, das sind also mehr als 14 ms, besteht, in dem die Täler zwischen den Teiltönen stark aufgefüllt sind. Das bedeutet, daß während der Bindung eine Phase mit hohem Geräuschanteil durchlaufen wird.

Da aber der Blechbläser eine Frequenzänderung bei Tonverbindungen mittels seiner Lippen nur kontinuierlich vornehmen kann (im Gegensatz zu Streichern, die bei Bindungen durch das Aufsetzen und Wegnehmen von Fingern bzw. durch Saitenwechsel auch eine plötzliche, abrupte Frequenzänderung herbeizuführen imstande sind), muß ein nicht kontinuierlicher Übergang von der einen zur anderen Frequenz durch die Eigenart des Ventils verursacht werden.

Eine Erklärung für dieses Phänomen wurde im Kapitel 3.3.5 gegeben: der in den Abb. 3.3.5.4 und 3.3.5.5 erkennbare Resonanzrücken des Pumpenventils erleichtert eine kontinuierliche Verbindung der beiden Klänge, während der steile Graben des Drehventils diese eher behindert.

Dieser Befund wird durch den Höreindruck bestätigt: am Wiener Horn werden die Töne weicher verschlissen, die

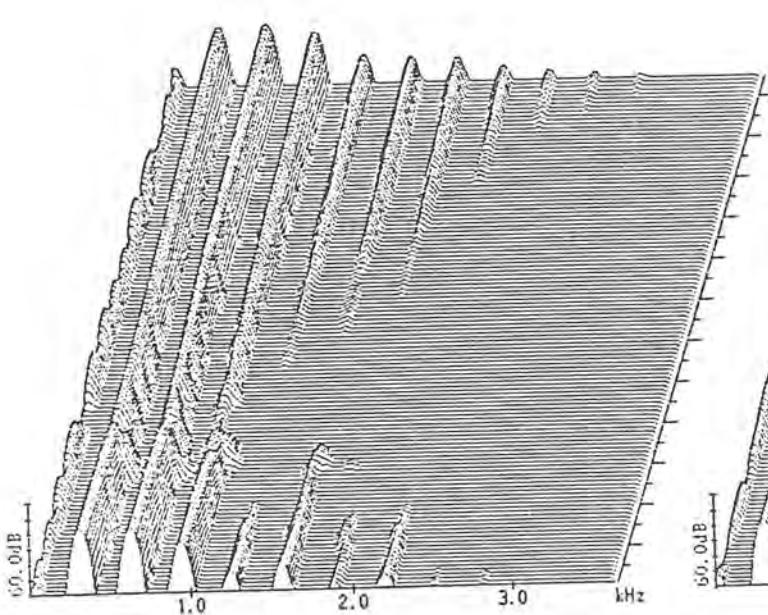


Abb. 4.3.2.3

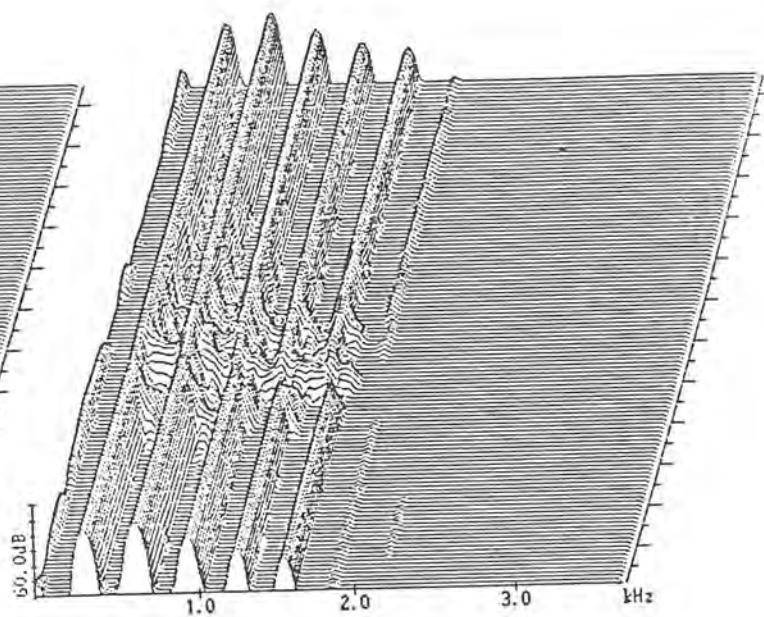


Abb. 4.3.2.4

sogenannten technischen Stellen klingen nicht so brillant wie am Doppelhorn. Dies gilt nicht nur für die in Abb. 4.3.2.3 und 4.3.2.4 gezeigten Ventilbindungen zweier benachbarter Töne, sondern auch für weiter auseinanderliegende Intervalle. Die Abb. 4.3.2.5 (Wiener Horn) und 4.3.2.6 (Doppelhorn) illustrieren den Unterschied anhand einer Quart-Bindung (b1-es2).

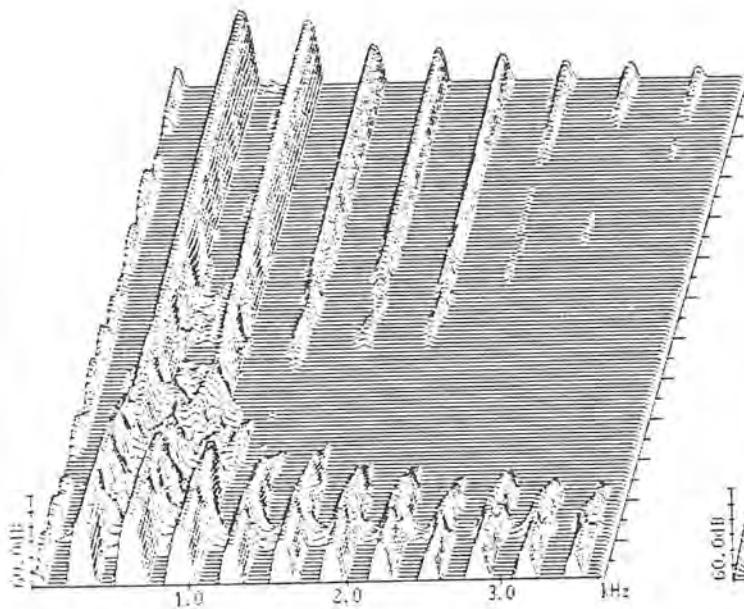


Abb. 4.3.2.5

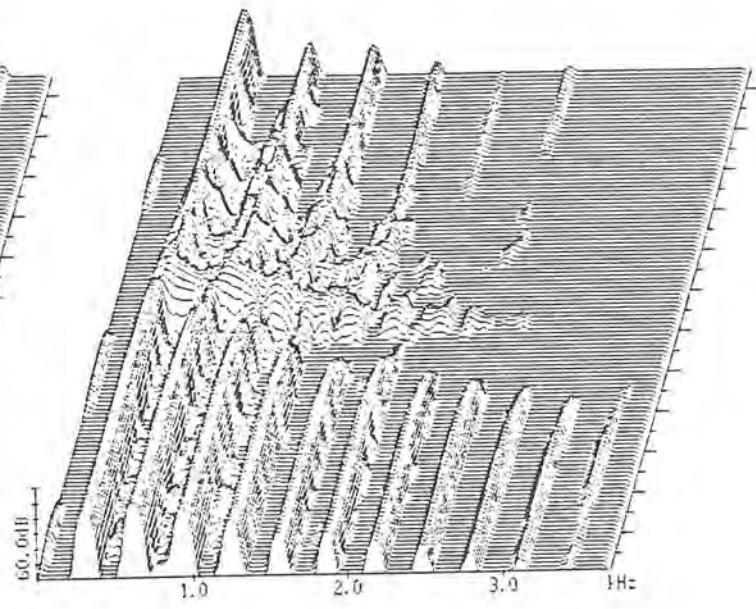


Abb. 4.3.2.6

An dieser Stelle soll ein unverdächtiger Zeuge zu Wort kommen: R. Merewether (Chefkonstrukteur der Fa. Paxman in London, selbst Hornist, später auch Lehrer und einer der bedeutendsten Horndesigner der letzten 20 Jahre) bestätigt die Schönheit der Wiener Bindungen, wenn er schreibt³²: "Man kann auch nicht leugnen, daß die Wiener ihre schönen Legatobindungen diesen Pumpenventilen mit Recht zugute halten".

Zusammenfassend wurde also bestätigt, daß bei den Bindungen eine klangliche Besonderheit des Wiener Hornes besteht; sie wird sowohl in der höheren Anzahl der Lippenbindungen wie auch in der Qualität der Ventilbindungen deutlich. Der letztere Fall ist durch physikalische Methoden nachweisbar und aus der Bauart der Ventile erklärbar.

4.3.3 VIBRATO

Das Vibrato hat zumindest auf den ersten Blick nichts mit dem Instrument zu tun, da es eine auf jedem Horn anwendbare Spieltechnik ist. In Wien wird es auf dem Horn nicht angewandt, andere Schulen verwenden es auch auf diesem Instrument ausgiebig als Ausdrucksmittel. Im Rahmen dieser Arbeit wäre es durchaus zulässig, diesen Punkt mit dem Hinweis auf Geschmack und Musizierpraxis abzuschließen; dennoch bietet die Diskussion der klanglichen Besonderheiten des stationären Bereichs im Abschnitt 4.2.4 eine Grundlage, von der aus versucht werden kann, die unterschiedliche Verwendung des Vibratos auch - aber natürlich nicht nur - auf Unterschiede im Teiltonaufbau zurückzuführen.¹⁾

Das Vibrato dient der Intensivierung des Ausdrucks. In der Alten Musik gilt es folgerichtig als sparsam anzuwendende Verzierung. Es mag daher auch klangliche Gründe haben, wenn in dem Maße, in dem die Instrumente während des 19. Jahrhunderts immer grundtöniger werden, das Vibrato immer häufiger eingesetzt wird. Ebenso ließe sich argumentieren, daß das obertonreiche Wiener Horn viel weniger nach Vibrato verlangt als die grundtönigeren Horntypen.

Tatsächlich wird bei den Wiener Orchestern nur bei der stark grundtönigen Querflöte das Vibrato ausgiebig benutzt. Oboisten und Fagottisten setzen das Vibrato als Stilmittel nur bei manchen solistischen Passagen ein, bei der Klarinette und sämtlichen Blechblasinstrumenten wird das Vibrato in Wien nicht benutzt.

Somit ist also nicht unplausibel, die Verwendung des Vibratos beim Doppelhorn und seine Ablehnung beim Wiener Horn zumindest zum Teil auf die unterschiedlichen Klangcharakteristika der Instrumente zurückzuführen.

4.4 VERIFIKATION DER ERGEBNISSE AN ORCHESTERAUFGNAHMEN

Wie schon erwähnt, ist die Untersuchung von fremden Orchesteraufnahmen - und nur solche waren natürlich möglich - aufgrund der fehlenden Konstanz der akustischen Randbedingungen problematisch. Insbesondere ist es dabei ausgeschlossen, die absolute Lautstärke eines Klanges zu messen; entsprechen doch schon die relativen Lautstärken durch Eingriffe der Tonmeister oft nicht den im Konzertsaal bzw. bei der Aufnahme vorliegenden Verhältnissen.

Bei Fortissimo-Klängen ist es noch relativ einfach: hier ist der Obertonreichtum des Wiener Hornes für ein anderes Horn nicht erreichbar.

Klangvergleiche bei geringeren Lautstärken sind bei weitem nicht so schlüssig, weil eben die absoluten Lautstärken nicht bekannt sind und überdies der Hornklang neben den gleichzeitig vertretenen Klängen der übrigen Orchesterinstrumente im Spektrum oft nur schwer erkennbar ist.

Daher führen wir anschließend nur Beispiele an, bei denen sich ein Solohorn oder die Horngruppe im Gesamtspektrum gegenüber dem Orchester abheben. Dies kann eine "exponierte" Solostelle sein, aber auch eine Stelle, bei der das gesamte Orchester Fortissimo spielt, die Horngruppe jedoch an prominenter Stelle zur Gesamtklangfarbe entscheidend beiträgt.

Auch der Unterschied zwischen den verschiedenen Horngruppen bei den Bindungen ist im Konzertsaal durch den Hall kleiner als bei Aufnahmen im schalltoten Raum; für den aufmerksamen Zuhörer ist er jedoch durchaus deutlich zu hören.

Leider war der deutlich hörbare Unterschied bei den Bindungen (besonders stark bei Werken von A. Bruckner und G. Mahler) mit den uns und der Akademie der Wissenschaften zur Verfügung stehenden Mitteln graphisch nicht darstellbar. Trotz einiger Versuche wie Skalierung der Frequenzachse in Bark oder Einbeziehen der Verdeckungseffekte ergab sich keine dem Höreindruck adäquate dreidimensionale graphische Darstellung. Dazu benötigte man Software zur "Mustererkennung", die - trotz intensiver Arbeiten auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz - unseres Wissens für akustische Untersuchungen an Orchesterklängen weltweit noch nicht existiert. Erste Schritte in diese Richtung werden derzeit an einem deutschen Forschungsinstitut unternommen.

Der Beweis, daß die klanglichen Besonderheiten des Wiener Horns einen entscheidenden Einfluß auf den Orchester-Gesamtklang haben, konnte daher nur für den stationären Teil geführt werden.

¹⁾ Für Diskussionen zu diesem Problem sind die Autoren J. Mertin und E. Melkus zu Dank verpflichtet.

Anhand der 5. Symphonie in cis-moll von Gustav Mahler, interpretiert von einem Wiener Orchester und einem ausländischen können die in den vorangegangenen Kapiteln festgestellten Besonderheiten des Wiener Hornklanges gut nachgewiesen werden.

Die Spektren wurden jeweils über 1024 Samples gerechnet, wobei die Samplingrate gerätebedingt vom gewählten Frequenzbereich des zu rechnenden Spektrums abhängt (siehe Abschnitt 4.1.3).

Bei den Spektren von Fortissimo-Klängen des gesamten Orchesters wurde zusätzlich noch eine lineare Regression gerechnet (siehe Abschnitt 4.2.4).

Als Beispiele wurden gewählt (vgl. Abb. 4.4.1):

- A) Das fis2 aus dem Soloeinsatz aller 5 Hörner zu Beginn des 3.Satzes (Scherzo).
- B) Drei prominente Töne (c2 ff, b1 ff und a1 p "verklingend") aus dem großen Solo in der Mitte des 3.Satzes mit einem pianissimo-Tremolo der ersten Violinen
- C) Forte-fortissimo d2 aller 4 Hörner im letzten Drittel des 3.Satzes mit ausklingenden Trompeten-, Holzbläser- und Streicherfiguren. Fortissimo d2 des Solohorns 4 Takte später. Forte-fortissimo e2 aller 5 Hörner gegen das gesamte ff(f) spielende Orchester (ausgenommen Trompeten und Posaunen), sechs Takte später.
- D) Forte-fortissimo e2 aller 5 Hörner am Ende des 3.Satzes gegen das gesamte fff-Orchester.
- E) Solo e2 des Solohorns im 1. und 4. Takt des 5.Satzes jeweils fortepiano.

Abb. 4.4.1/1, Beispiel A und B

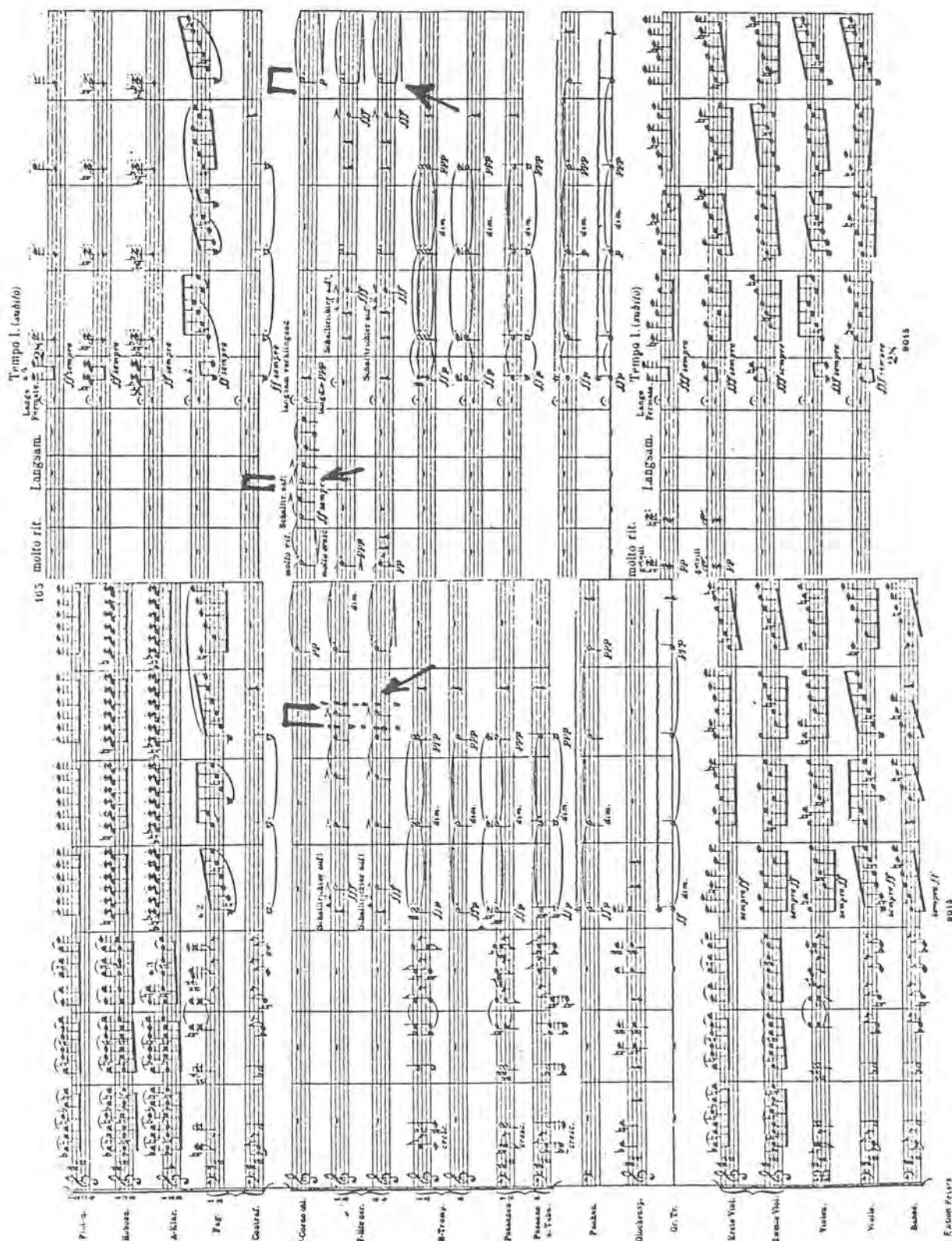


Abb. 4.4.1/2, Beispiel C

174 Sehr drängend bis zum Schluss.

Pflöten.
Hörner.
A-Klar.
D-Klar.
Fag.
Choraf.

P-Corno chf.
F-Hörner.
P-Tromp.
Basson.
Basson 2.
Tuba.

Pauken.
Becken.

Sehr drängend bis zum Schluss.
Erste Viel.
Zweit-Viol.
Violen.
Cello.
Bass.

Eduard Petter

5. Rondo-Finale.

Allegro.
zügernd.
Erste Hoboe.
Erster Fagott.
lang Allegro.
Erstes Horn in F.
Erste Violinen.
lang
pp
verklingend

Abb. 4.4.1/3, Beispiel D und E

In der Partitur sind 5 Hörner (4 Hörner plus ein Solohorn) vorgeschrieben. Das ausländische Orchester spielte mit 7 Hornisten inklusive Verstärkung. Benutzt wurden ausschließlich Doppel- und Tripelhörner. Das Wiener Orchester spielte mit 6 Hornisten, wobei der Solohornist und 2 weitere (2. und 3. Horn) Wiener F-Hörner benutzten, die restlichen 3 Hornisten jedoch Doppelhörner (F/b)!

Bei keiner der am 11.6.1985 und am 15.12.1985 gemachten Aufnahmen wurden für die Horngruppe Stützmikrofone eingesetzt. Der Schall kam daher ausschließlich über die beiden "Stereo-Mittennämkrofone", da die Stützmikrofone der Streicher bei den hier untersuchten Stellen "zu" waren.

Abb. 4.4.2 zeigt anhand einer Skizze die Position der Horngruppe auf der Bühne.

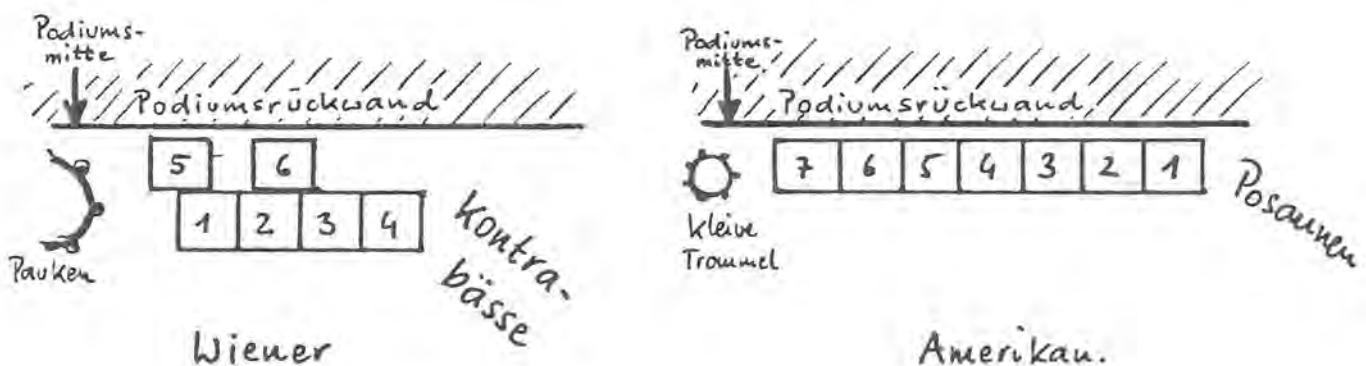


Abb. 4.4.2

BEISPIEL A (Abb. 4.4.3):

Zu Taktbeginn (Abb. 4.4.3 links) spielen die 4 Hörner fortissimo, während sich der Solohornist piano "hineinschleicht". Deutlich ist dabei noch der Hall des Achtel-Laufes der 4 Hörner vom vorangehenden Takt zu erkennen.

Die in der Abb. 4.4.3 rechts stehenden Spektren stammen hingegen vom Ende des Taktes, bei dem das Solohorn schon nahe dem Fortissimo und von der Horngruppe nur noch wenig Hall vorhanden ist.

Es ist wohl überflüssig zu erwähnen, daß die beiden oberen Spektren vom ausländischen Orchester stammen, die beiden unteren hingegen vom Wiener Orchester. Gut zu erkennen ist der etwas geringere Unterschied hinsichtlich des Teiltongehalts bei den linken Spektren, bei welchen die gesamte Horngruppe spielt: Die Tatsache, daß bei den Wienern neben den Wiener Hörnern noch 3 Doppelhörner im Einsatz standen, zeigt sich in der geringeren Präsenz der höheren Teiltöne gegenüber dem Spektrum des Solohorns.

BEISPIEL B (Abb. 4.4.4):

Die Spektren dieser Abbildung zeigen kein so klares Bild. Links das Wiener Orchester, rechts das ausländische. Während rechts der Solohornist zum Zeitpunkt des Sampsels schon seine größte Lautstärke gemeinsam mit dem "sempre fortissimo" spielenden 4. Hornisten erreicht hat (typische Kennzeichen: hohe Teiltonzahl und größere Amplitude des 2. Teiltons), befindet sich der Wiener Musiker (Spektrum links) noch in einem mäßigen forte (eher mezzoforte). Daher ist die Teiltonanzahl mit dem rechten Spektrum annähernd gleich, der auf einem Doppelhorn fortissimo spielende 4. Hornist der Wiener trägt zu einem signifikanten Klangunterschied eher wenig bei.

Das b1 (ein reiner Soloton) zeigt dagegen wiederum deutlich die wesentlichen Unterschiede im stationären Klang auf. Diese Note wird im solistischen Fortissimo und mit besonderer Betonung als Vorhalt gespielt. Deutlich tritt im Spektrum der größere Teiltonreichtum des Wieners und die stärkere Grundtonigkeit des Gastes zu Tage.

Nicht einheitlich hingegen das a1. Diese Note - als Ende des Solos langsam verklingend gedacht - wird durch die (pianissimo in der gleichen Tonhöhe einsetzende) gesamte Horngruppe mit veränderter Klangfarbe weitergeführt. Beim Gastorchester interpretiert der Solohornist diesen Ton noch sehr "bewußt" solistisch und befindet sich dabei in einem eher dem mezzoforte zuzählenden Dynamikbereich, während der Pianissimo-Einsatz der Horngruppe im Spektrum noch

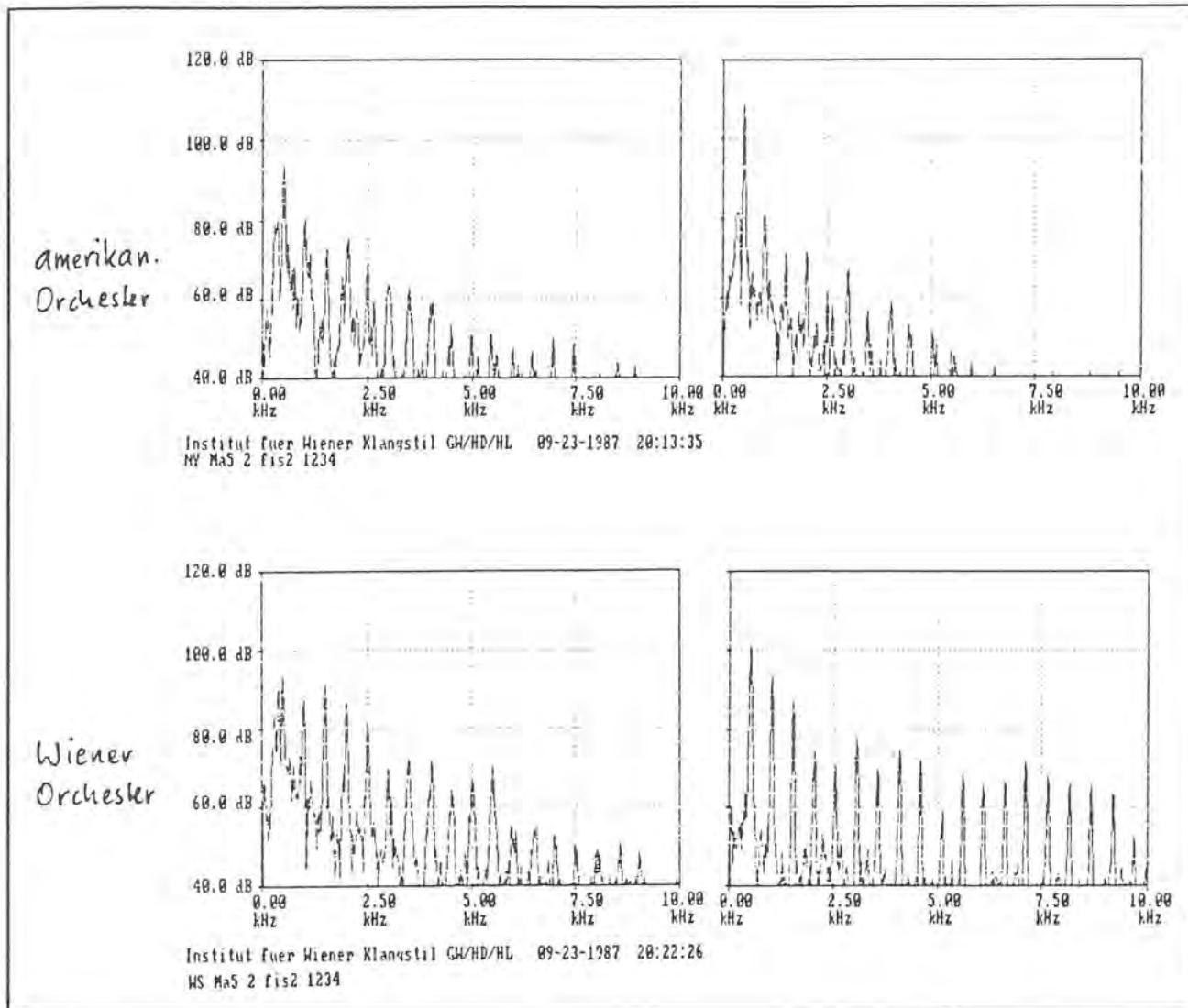


Abb. 4.4.3

nicht erkennbar ist. Bei den Wienern hebt sich der Solohornist zum erwähnten Zeitpunkt zwar noch deutlich von der Gruppe ab, kleine Intonationsunstimmigkeiten trüben jedoch das Gesamtspektrum (bei Wiener Hörnern liegt das a1 in der Regel sehr hoch, bei den Doppelhörnern neigt es jedoch oft zur Tiefe). Durch die Vermischung der Horntypen innerhalb einer Gruppe (Intonationsprobleme treten vor allem bei extremer Dynamik auf, in diesem Fall beim Pianissimo) zeigt das Spektrum ein für Wiener Orchester eher untypisches Bild.

BEISPIEL C (Abb. 4.4.5):

Das synkopierte d2 der Horngruppe gegenüber dem ff-Orchester zeigt auf den ersten Blick (ausgenommen der etwas flachere Teiltonabfall des links dargestellten Wiener Orchesters) keine großen Unterschiede. Die etwas höheren Amplituden des Wiener Orchesters bei 2 - 3 kHz und im Bereich von 10 - 15 kHz könnten auch von den Holzbläsern stammen. Obwohl gehörsmäßig kein signifikanter Unterschied in der "Abhebung" der Horngruppe vom übrigen Orchester zwischen den beiden festgestellt werden konnte, scheinen die Doppelhörner des Gastorchesters das Gesamtspektrum stärker zu dominieren, als dies beim Wiener Orchester der Fall ist: deutlich treten die hohen Teiltöne des d2 aus dem Gesamtspektrum rechts hervor.

Das Solo-d2 4Takte später wurde vom Doppelhornisten fortissimo, vom Wiener Hornisten jedoch nur forte gespielt (so lautete zumindest einhellig das Urteil der Zuhörer). Das 3-fach Fortissimo e2 der Horngruppe gegenüber dem Gesamtorchester zeigt ähnliche Charakteristika wie der erste Ton dieses Beispiels. Aufgrund der graphischen Darstellung kann hier kein eindeutiger Schluß über die benutzte Horntype gezogen werden. Hilfreich jedoch eine Regressionsanalyse, sie zeigt den flacheren Abfall der Teiltöne beim Wiener Orchester!

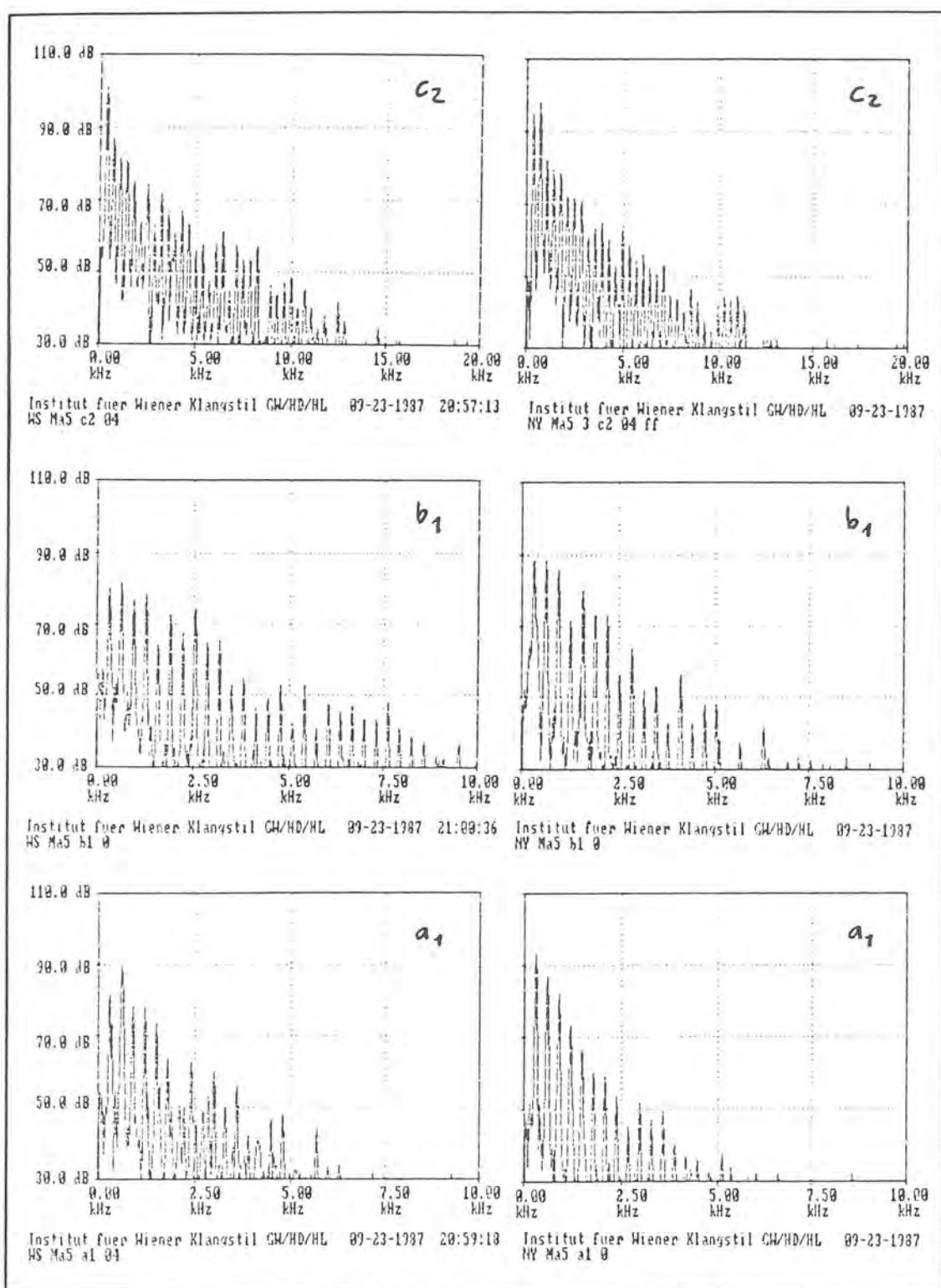


Abb. 4.4.4

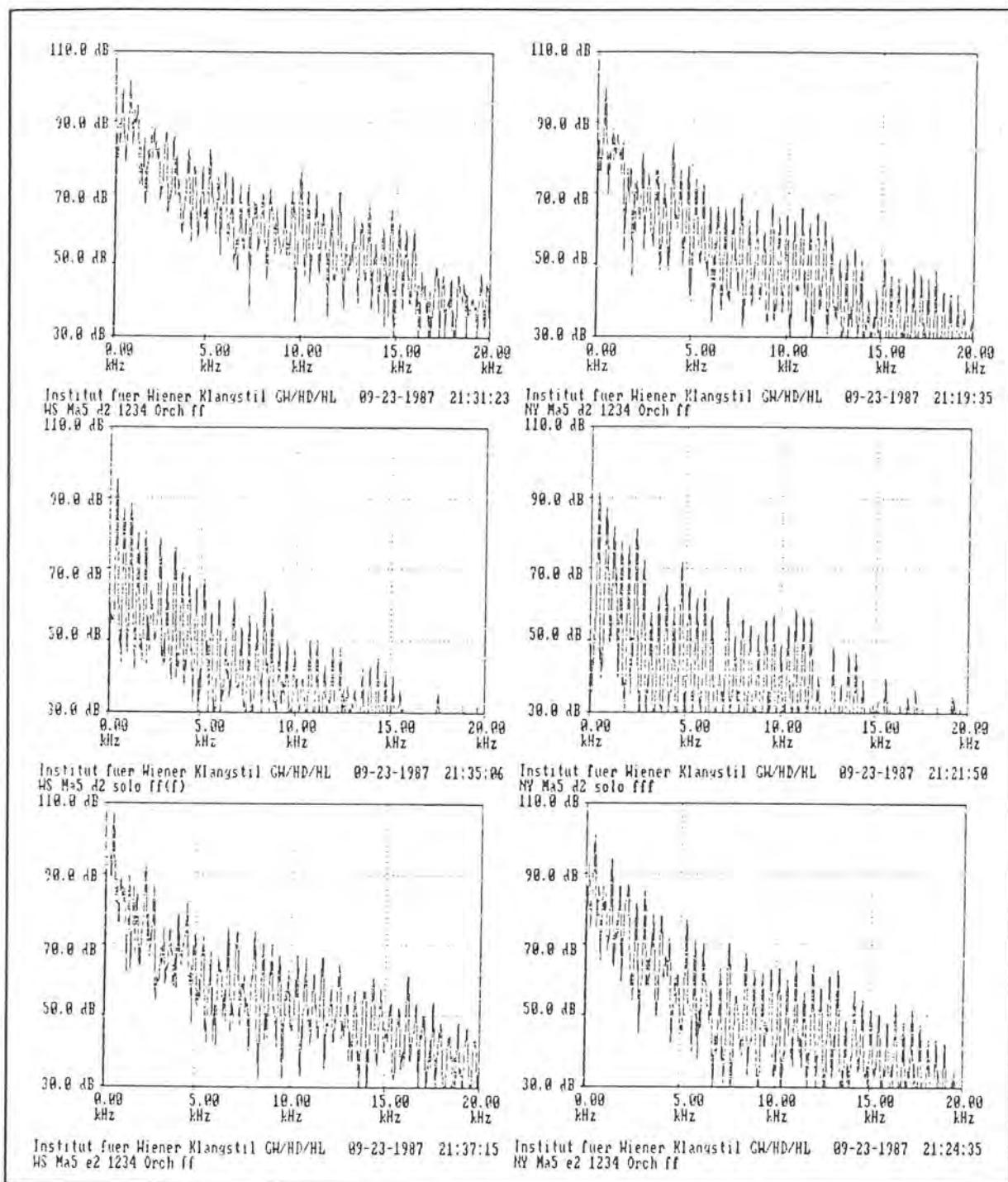


Abb. 4.4.5

BEISPIEL D (Abb. 4.4.6):

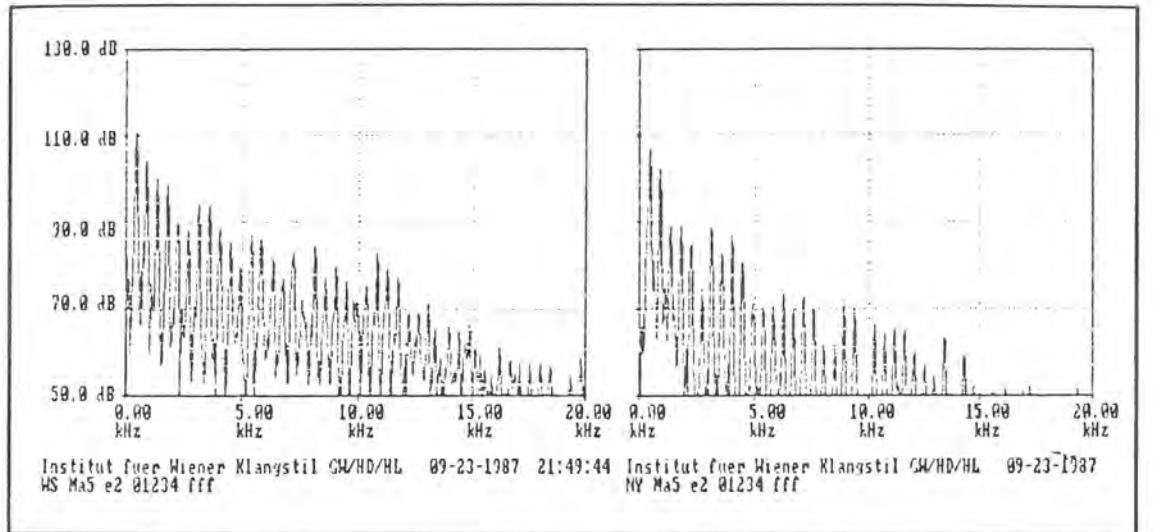


Abb. 4.4.6

Bei diesem fff-e2 der gesamten Horngruppe 3 Takte vor Schluß des Scherzos zeigen sich jedoch (trotz Vermischung der Horntypen beim Wiener Orchester) wiederum deutlich die klanglichen Unterschiede zwischen Wiener und Doppelhörnern.

BEISPIEL E (Abb. 4.4.7):

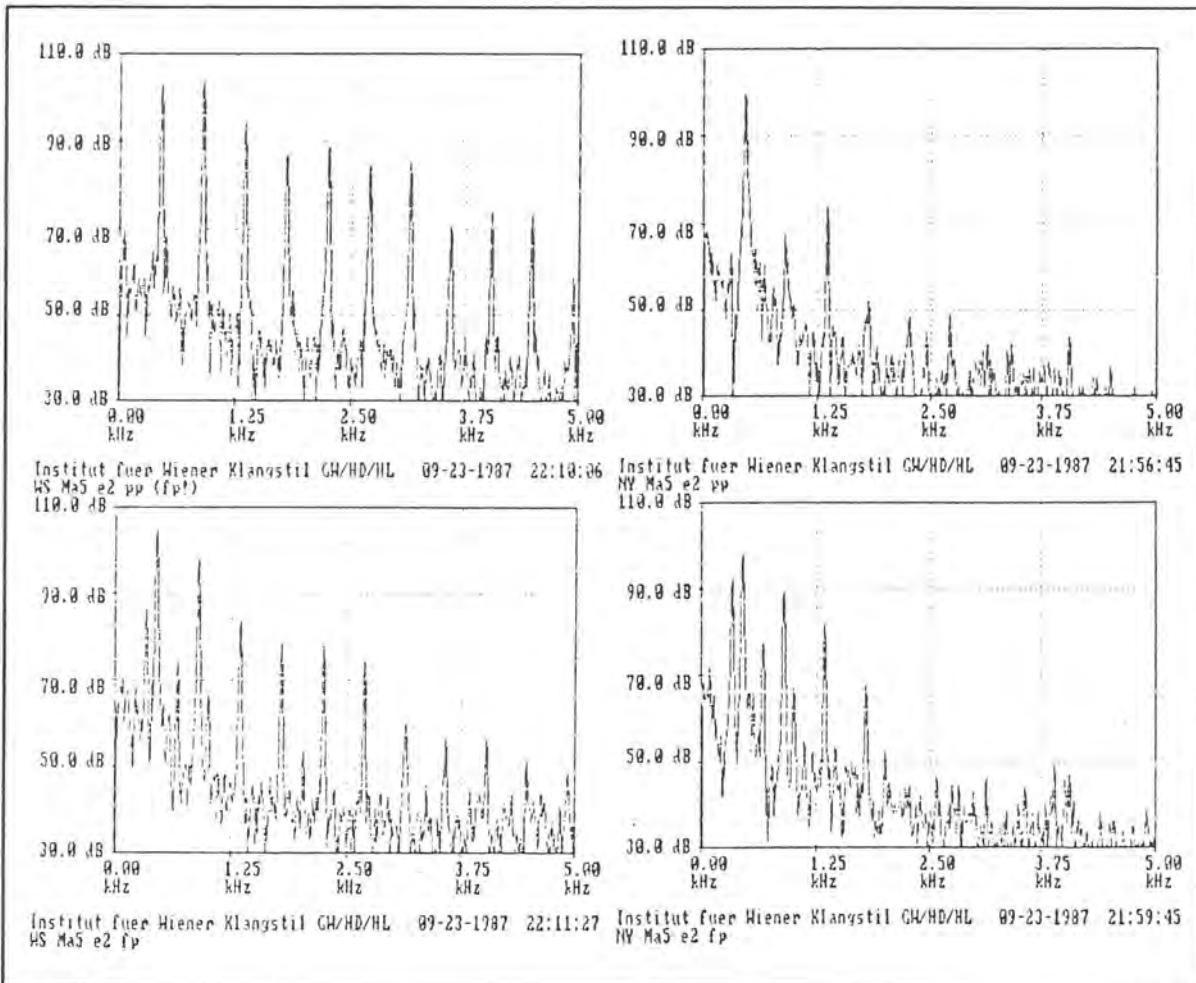


Abb. 4.4.7

Dieses Beispiel zeigt zwei Solo-e2, wobei das erste in seiner Dynamik frei wählbar ist und das zweite Forte-Charakter besitzt. Vom Komponisten vorgeschrieben ist lediglich die Artikulation "fp".

Während der Solohornist des Gastorchesters den ersten Einsatz sehr leise und verhalten spielt, wählt der Hornist des Wiener Orchesters ein eher zum Ende des Streichersatzes kontrastreiches, solistisches Forte. Die beiden Spektren sind daher hinsichtlich des Teiltonaufbaues nicht vergleichbar.

Anders das zweite e2: Obwohl der Wiener Hornist noch immer etwas lauter zu sein scheint und die Differenz zum vorher gespielten h1 beim Wiener offensichtlich größer ist (erkennbar an den Teiltonspitzen des Nachhalls des h1), geht doch deutlich der Unterschied aus den beiden Spektren hervor.

4.4.1 REGRESSIONSANALYSEN VON ORCHESTERSPEKTREN

Leider wurde während der Laufzeit des Projektes - wie die folgende Aufstellung zeigt - nur ein Werk von Wiener und ausländischen Orchestern interpretiert.

Wiener Orchester:
Mahler 1 (2x)
Mahler 5
Bruckner 3
Bruckner 4
Bruckner 7

Ausländische Orchester:
Mahler 5
Mahler 6
Bruckner 6

Trotzdem ergab sich bei dem vorhandenen Material die Chance einer Vergleichsmöglichkeit, da z.B. bei Bruckner in allen seinen Symphonien immer wieder sehr ähnliche (oft sogar in ihrer Struktur identische) Fortissimo-Blöcke der Blechbläser vorkommen. Ähnliches gilt für Gustav Mahler.

Die Abb. 4.4.8 zeigt Orchesterspektren, die aus solchen Fortissimo-Blöcken gezogen wurden. Dabei spielte jeweils das gesamte Orchester Fortissimo (inklusive Pauke, jedoch kein Becken), dominierend dabei jedoch die Blechbläser, insbesonders die Hörner. Die dB-Angaben sind relativ und dürfen nicht miteinander verglichen werden, direkt vergleichbar ist nur die Steigung der Geraden, der "k-Faktor". Alle Spektren der linken Seite stammen von Wiener Orchestern, rechts die entsprechenden Spektren der ausländischen Orchester. Deutlich ist aus den k-Faktoren die Richtung erkennbar:

Die k-Werte der Wiener liegen zwischen 0.10383 und 0.12230, die der Ausländer zwischen 0.11925 und 0.14829.

Als Mittelwert ergibt sich für die Wiener 0.11290 und für die Ausländer 0.13290.

Eine Ausnahme bildet allerdings das französische Orchester (Spektrum Nr.7), das durchwegs k-Werte um 0.11 und 0.12 besitzt. Der flachere Abfall der höheren Teiltöne beim diesem Orchester geht aber in erster Linie auf das Konto der Trompeten, die - enger mensuriert - um sehr vieles "heller" klingen als die Trompeten der übrigen Orchester (die Wiener miteingeschlossen). Der Trend geht allerdings auch in den französischen Orchestern zu weiter mensurierten Instrumenten³³, ist bei den Trompeten noch im Fluss, bei den Posaunen und Hörnern jedoch weitgehend abgeschlossen (die Hornisten des von uns benützten Mitschnittes bliesen auf weitmensurierten Doppelhörnern amerikanischer Provenienz). Der "hellere" Klang des Orchesters bei den Fortissimo-Stellen ist daher hauptsächlich auf die Trompeten zurückzuführen, die Hörner tragen dazu nichts bei.

Ebenfalls nur bedingt vergleichbar sind die Spektren 9 und 10. Bei diesem Mitschnitt wurden vom Aufnahmleiter viele Stützmikrophone benutzt (auch für die Hörner, Trompeten, Posaunen und Tuba, sogar für die Pauken!). Die Kanäle waren auch bei Fortissimo-Stellen verhältnismäßig "weit" offen. Die k-Werte bewegten sich bei diesen Spektren meist zwischen 0.145 und 0.15. Unserer Erfahrung nach sollten sie - bei mit den anderen Mitschnitten vergleichbaren Aufnahmebedingungen - um 0.008 bis 0.01 geringer sein.

Trotz problematischer Randbedingungen und nur eingeschränkter Vergleichsmöglichkeit zeigen auch diese Spektren, daß der Klang der Wiener Orchester aufgrund der Besonderheiten der Wiener Hörner im Forte/Fortissimo teiltoneicher als der aller übrigen Orchester ist (Vgl. auch Anhang B).

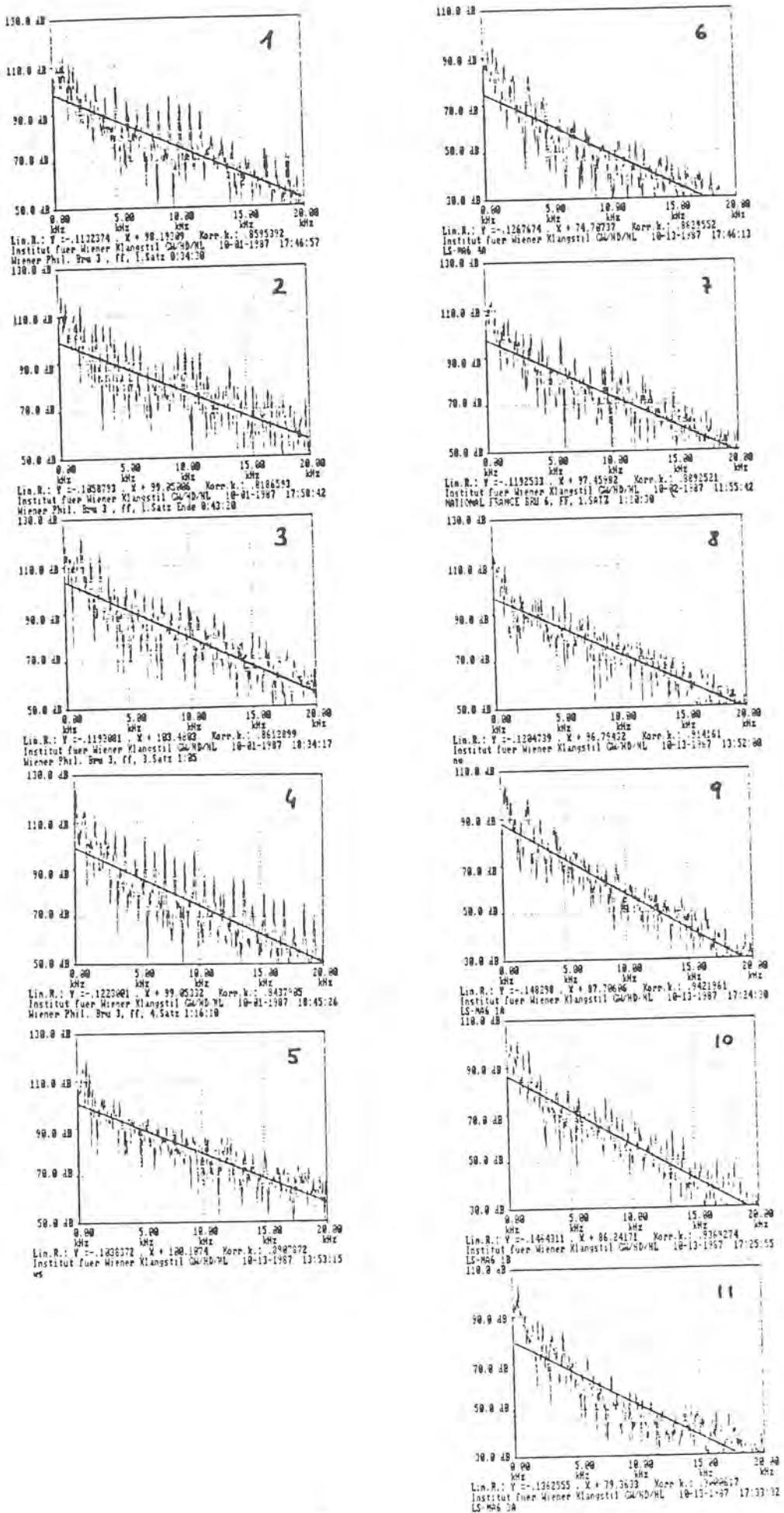


Abb. 4.4.8

4.5 ASPEKTE MENSCHLICHEN EINFLUSSES

Die in diesem Kapitel angeführten Beispiele sollen einen Eindruck über die Bandbreite menschlichen Einflusses auf die Gestalt von Hornklängen vermitteln. Die Aufzählung der Einflußmöglichkeiten muß naturgemäß unvollständig sein.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist es nicht möglich, das Wesen der Musik mit naturwissenschaftlichen Methoden zu erfassen, denn Musik ist ein zutiefst individuelles Erlebnis und "passiert" im Kopf - nirgendwo sonst! Dasselbe gilt für das Wesen des für ein Orchester typischen Stils. Sehr wohl aber können wir mit den Methoden der Naturwissenschaft die äußere Erscheinungsform, die Gestalt, den typische Klang (im weitesten Sinn des Wortes) eines Orchesters untersuchen und die Unterscheidungsmerkmale zu anderen Orchesterklängen aufzeigen.

Nachdem der Mensch in Interaktion mit seinem Instrument den Klang produziert, kommt auch bei den von uns gespeicherten und untersuchten Klängen die ganze Breite des Spektrums menschlicher Persönlichkeit voll zum Tragen. Dies begünstigt oft unerwartete Maskierungseffekte, stellt aufgrund schon getätigter Untersuchungen klar gezogene Grenzen wiederum in Frage und verwischt die von Naturwissenschaftlern so sehr geliebten exakten und klaren Ausagen.

DER EINFLUSS AUF DIE KLANGFARBE

Ein Blechblasinstrument kann als "nicht-linearer" Filter angesehen werden^{17,18,22}. Daraus folgt, daß das für den Zuhörer wahrnehmbare "Endprodukt" Klang nichts anderes ist, als das im Sinne der Resonanzkurve des Instrumentes veränderte Anregungsspektrum des Musikers (siehe auch Kapitel 3.3.4). Damit läßt sich auch die allgemein bekannte Tatsache erklären, daß ein und dasselbe Instrument, von verschiedenen Musikern gespielt, auch verschieden "klingt".

Abb. 4.5.1 zeigt das notierte c2 von 6 Musikern auf ein und demselben Horn (Yamaha F/b Doppelhorn, F-Hornteil) im Mezzoforte gespielt. Der unterschiedliche spektrale Aufbau ist deutlich zu sehen und bedarf keiner weiteren Erklärung!

Die so unterschiedlichen Spektren für einen "Ton" auf einem Instrument bei ein und derselben Lautstärke beweisen, daß es sinnlos ist, aus von Menschen gespielten Hornklängen mittels Formantanalysen klangliche Spezifika verschiedener Instrumententypen herauslesen zu wollen, denn dort, wo bei einem Musiker ein Formant zu sein scheint, findet man bei einem anderen einen Einschnitt.

Im Extremfall kann sogar ein erwiesener, in der Praxis bestehender Klangunterschied zwischen Wiener Hörnern und Doppelhörnern im stationären Bereich durch die physiologischen Gegebenheiten eines Musikers maskiert werden: Wird ein Doppelhorn zum Beispiel von einem Musiker mit einem sehr teiltoureichen Anregungsspektrum und ein Wiener F-Horn von einem Musiker mit einem sehr teiltonarmen Anregungsspektrum gespielt, so können in diesem Fall die Klänge der beiden Instrumente im stationären Teil überraschend ähnlich werden. Das ist mit ein Grund für das in der Diskussion der Abb. 4.2.4.3 erwähnte Fehlerband.

Das folgende Beispiel soll die Möglichkeit der Maskierung instrumententypischer Besonderheiten durch den Menschen illustrieren:

Wir hatten das Glück, im Rahmen unserer Untersuchungen auch mit einem Wiener Musiker zu arbeiten, der nicht nur als Hornist höchste internationale Wertschätzung genießt, sondern auch in Musikerkreisen dafür bekannt ist, daß er auf unterschiedlichsten Instrumenten seine (gleichbleibende) Vorstellung des Idealklanges zu realisieren imstande ist. (Jeder Musiker besitzt eine ganz konkrete Vorstellung über den für ihn idealen Klang, die er dann mit den ihm zur Verfügung stehenden Mitteln in der Praxis zu realisieren versucht. Es hängt von seinen Fähigkeiten und vom Instrument ab, wie nahe er seiner Klangvorstellung in der Praxis tatsächlich kommt.)

Die in Abb. 4.5.2 gezeigten Spektren zeigen, daß dieser Musiker auch auf einem ihm bis dato unbekannten Instrument (er hatte nur 5 Sekunden Einspielzeit) seinem mit dem eigenen Instrument erzeugten Klang sehr nahe zu kommen imstande ist. (Die Spektren links stammen von dem Instrument, das er üblicherweise benutzt, die Spektren rechts vom b-Hornteil des ihm unbekannten Doppelhorns). Darunter sind zum Vergleich die Spektren eines anderen Musikers abgebildet (links das eigene Instrument, rechts das Referenzinstrument entgegengesetzter Bauart).

Interessant ist, daß bei den beiden oberen Spektren der Teiltongehalt des b-Horns auf den ersten Blick sogar höher als der des Wiener Horns erscheint. Also nicht nur eine Maskierung, sondern sogar eine Umkehrung in das Gegenteil! Dies ist aber auf den um 3dB höheren Schallpegel beim b-Horn-Spektrum zurückzuführen. Berücksichtigt man jedoch den höheren Gesamtpiegel, so ergibt sich ein annähernd gleicher Teiltongehalt. Die beiden Spektren wurden aus dem R.Strauss

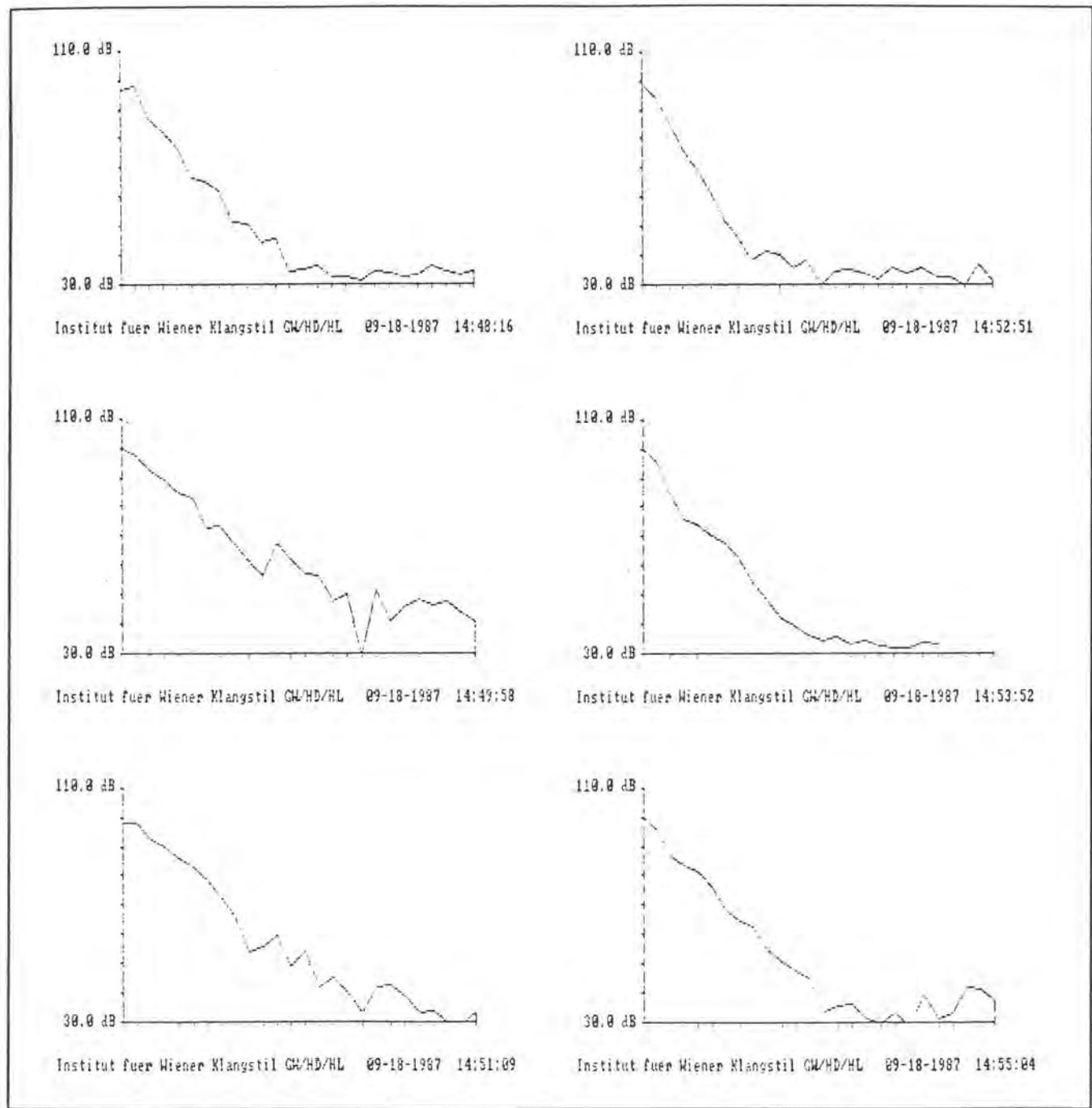


Abb. 4.5.1

Hornkonzert gezogen (f2, 1.Satz). Die zum Vergleich darunter abgebildeten Spektren wurden dagegen aus Crescendo-klängen gewonnen (sind daher gleich laut) und zeigen deutlich den typisch höheren Teiltongehalt des Wiener Horns.

Dieser Musiker bringt es sichtlich in kurzer Zeit fertig, intuitiv zu erfassen, welches Spektrum er dem Instrument eingeben muß (bzw. welche Form der Lippenschwingung notwendig ist) um den von ihm gewünschten Klang mit einem beliebigen Horntyp erzeugen zu können.

Das eben gebrachte Beispiel stellt allerdings eine Ausnahme dar. Bei keinem anderen der im Rahmen dieser Arbeit von uns getesteten Musiker konnte dieser Effekt auch nur annähernd so deutlich festgestellt werden.

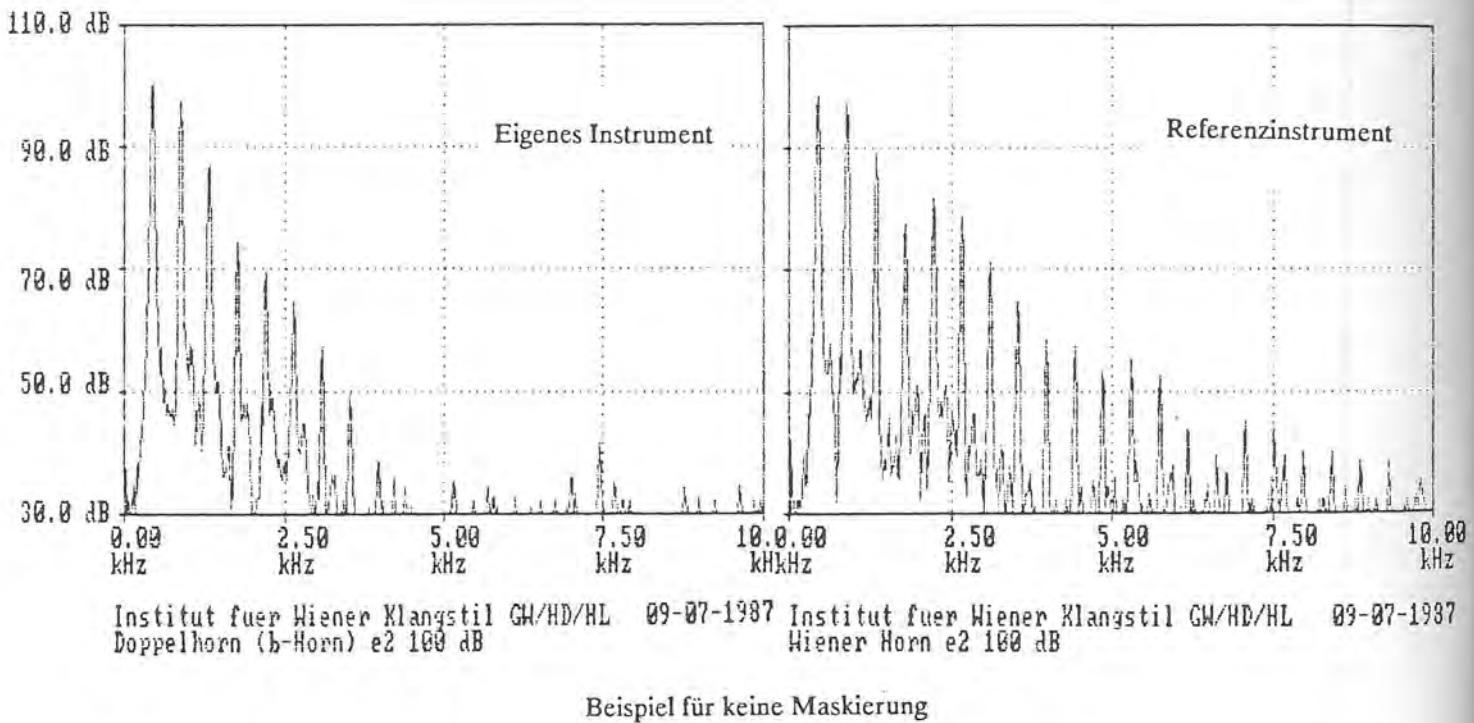
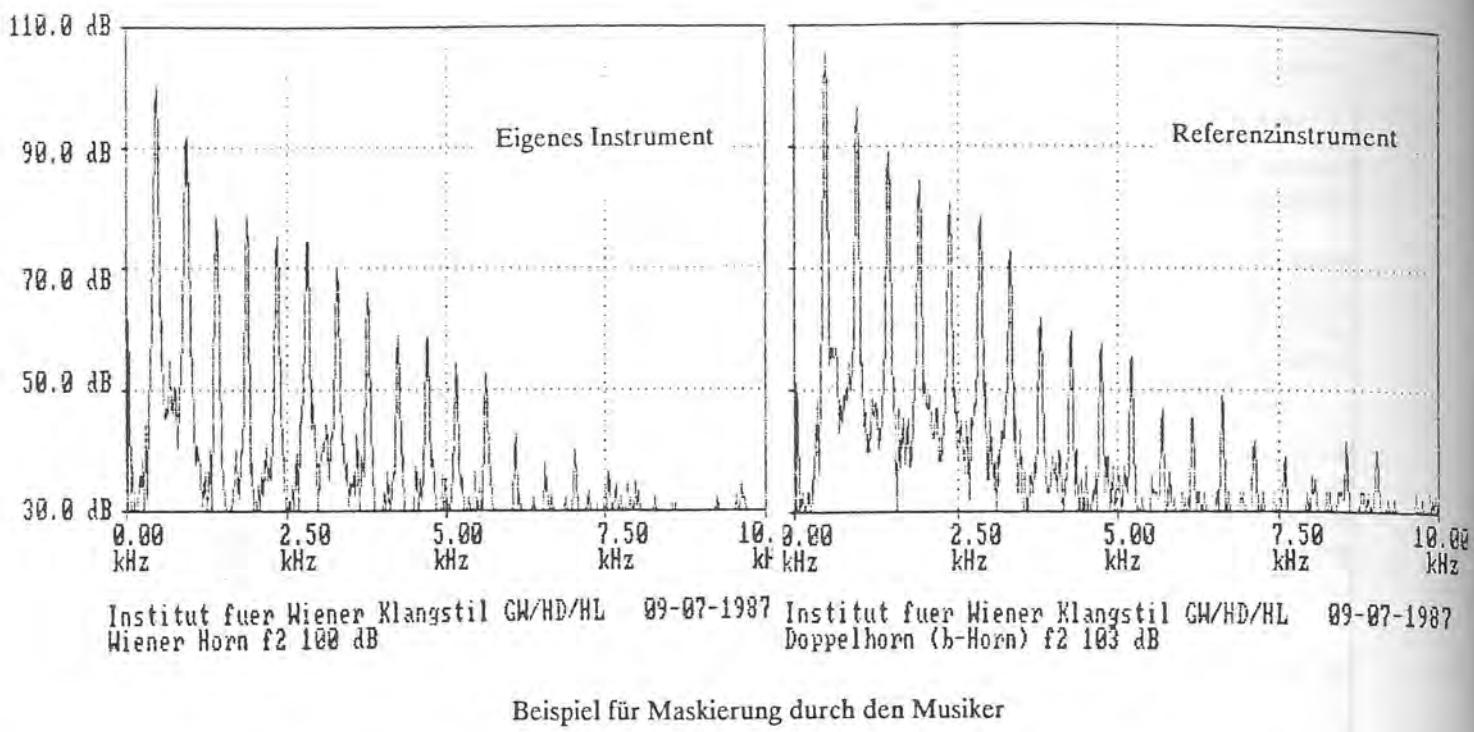


Abb. 4.5.2

DER EINFLUSS AUF DIE TRANSIENTEN

a) Maskierung der Einschwing-Charakteristika

Wie in Kapitel 4.3.1 erwähnt, wird die Dauer des Einschwingvorganges (= Tonbeginn) größtenteils durch den musikalischen Kontext zwingend vorgeschrieben. Hier tritt sehr deutlich der Fall ein, daß der längere Einschwingvorgang (bei gleicher Anregungsenergie) des Wiener Horns durch den Menschen nahezu vollständig maskiert wird.

Keine Maskierung ist hingegen bei Stellen möglich, bei denen der Musiker aufgrund des hohen Tempos den Einschwingvorgang nicht mehr bewußt steuern kann. Die Energiezufuhr in einem schnellen Stakkato-Lauf erfolgt durch den Musiker kontinuierlich und wird nur durch den regelmäßigen "Zungenstoß" unterbrochen (bestenfalls kann er im

Rahmen seiner Möglichkeiten ein Crescendo oder Decrescendo über den gesamten Lauf anbringen). Eine bewußt unterschiedliche Energiezufuhr für den Beginn der einzelnen Töne eines Laufes ist in diesem Falle nicht mehr möglich. Bei schnellen Läufen sind daher die Unterschiede zwischen Wiener und anderen Horn-Modellen durchaus hörbar.

Um einem Mißverständnis vorzubeugen, muß an dieser Stelle angemerkt werden, daß die eben getroffene Aussage für den Tonbeginn gilt und nicht für die gesamte "Gestalt" eines "Tones" innerhalb des Laufes. Es ist nämlich durchaus möglich, einzelne Töne innerhalb eines Laufes hervorzuheben. Zum Beispiel ist es ein Charakteristikum der Wiener Interpretation von Werken der Wiener Klassik, daß die erste Note einer Vierer-Gruppe innerhalb eines Laufes stärker betont wird als die übrigen Noten. Dieses Betonen einer bestimmten Note erfolgt durch eine etwas erhöhte Energiezufuhr und eine geringfügige Verlängerung des ursprünglichen Notenwertes. Solche Eingriffe in automatisierte Abläufe müssen allerdings längere Zeit geübt werden. Sie sind dann als "Schablonen" gespeichert und im Bedarfsfall abrufbereit. Interessant ist, daß solche Schablonen auch dann zur Anwendung gelangen, wenn der Musiker bei einem Werk, das aus einer anderen Stilepoche stammt und daher eine andere Artikulation erfordert, in seiner "Stimme" einen schnellen Lauf vorfindet. Der Vollständigkeit halber sei noch angemerkt, daß es nicht möglich ist, innerhalb eines Stakkato-Lautes mit zum Beispiel 12 aufeinanderfolgenden 16tel- oder 32tel-Noten jede einzelne unterschiedlich zu artikulieren. In einem solchen Fall kann bestenfalls die jeweils erste, dritte, vierte oder sechste Note hervorgehoben werden.

b) Maskierung bei Bindungen

Die Länge und Art der Bindungen ergibt sich - wie beim Tonbeginn - größtenteils aus dem musikalischen Kontext. Durch das Wesen einer Bindung (eine Vielzahl instationärer Vorgänge innerhalb von Sekundenbruchteilen) erhält aber der Musiker einen relativ großen Freiraum zur persönlichen Gestaltung. Dieser Freiraum wird wiederum durch die akustischen Eigenheiten des benützten Instrumentes und die (individuell unterschiedliche) Zugriffsmöglichkeit zu einmal eingelernten, automatisiert ablaufenden psychomotorischen Prozessen eingeengt.

Deutliche Unterschiede treten dort zutage, wo die akustischen Eigenheiten des benützten Instrumententypus die Realisierung einer bestimmten, musikalisch erwünschten Gestalt der Bindung begünstigen. Zum Beispiel: "Weiche" Bindungen beim Wiener Horn und "klare" Bindungen beim Doppelhorn (siehe Kapitel 4.3.2).

Maskierungs-Effekte durch den Menschen sind bei jenen Bindungen feststellbar (übrigens bei den Vertretern beider Instrumententypen gleichermaßen), die ein größeres Intervall überstreichen.

Als Beispiel sei hier eine Oktav-Bindung herangezogen:

Während der kontinuierlichen Frequenzänderung vom unteren (oberen) zum oberen (unteren) Ton überstreichen die schwingenden Lippen auch Frequenzbereiche, in denen das Instrument Resonanz-Spitzen besitzt. Führte nun der Musiker die Lippenspannungsänderung bei gleichbleibender Energiezufuhr durch, so wären zwischen den beiden zu bindenden Noten mehrere Töne kurzzeitig zu hören. Da dieser Effekt unerwünscht ist, wird allgemein folgender Trick angewandt: Auf der ersten zu bindenden Note wird nach Möglichkeit mittels erhöhter Energiezufuhr ein Crescendo erzeugt. Kurz vor dem eigentlichen Bindungsvorgang wird die Energiezufuhr soweit gedrosselt, daß eine unterstützende Wirkung des Systems der stehenden Wellen im Instrument für die schwingenden Lippen gerade noch erhalten bleibt, der abgestrahlte Klang jedoch äußerst gering ist. Die Frequenzänderung selbst wird so schnell wie möglich durchgeführt. Sobald der Musiker fühlt, daß die erwünschte Frequenz erreicht ist (er spürt dies durch eine deutlich verbesserte Schwingungsfähigkeit der Lippen [bessere Synchronisation der Lippen mit der schwingenden Luftsäule]), erhöht er wiederum die Energiezufuhr. Das solcherart während der eigentlichen Bindungsphase entstehende "Loch" wird größtenteils vom vorhandenen Raumhall verdeckt.

Diese Bindungstechnik wird zwar von allen Hornisten nach Bedarf angewandt, ist aber für diese Arbeit deswegen von Interesse, weil sie den Doppelhornisten in die Lage versetzt, in Fällen, in denen eine "weiche" (mit Drehventilen eher schwer durchführbare) Halbton-Bindung verlangt wird, ein bißchen zu "schwindeln" und dem Charakter eines mit Pumpenventilen ausgestatteten Hornes näher zu kommen.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Klangbeispiele zeigen allerdings, daß diese Technik nicht von allen und auch nicht konsequent angewandt wird. Offensichtlich legen Wiener Hornisten auf weiche, tonverschmelzende Bindungen einen größeren Wert als ausländische Benutzer mit Doppelhörnern.

Abb. 4.5.3 zeigt eine Oktavbindung (f1 - f2) eines Wiener Hornisten auf seinem Horn (beide Töne werden mit gedrücktem 1. Ventil gespielt, es wird daher kein Ventil bewegt). Deutlich sieht man die Verringerung der Energiezufuhr vor dem eigentlichen Bindungsvorgang. Das System der stehenden Wellen des ersten Tons gibt über den Schalltrichter die

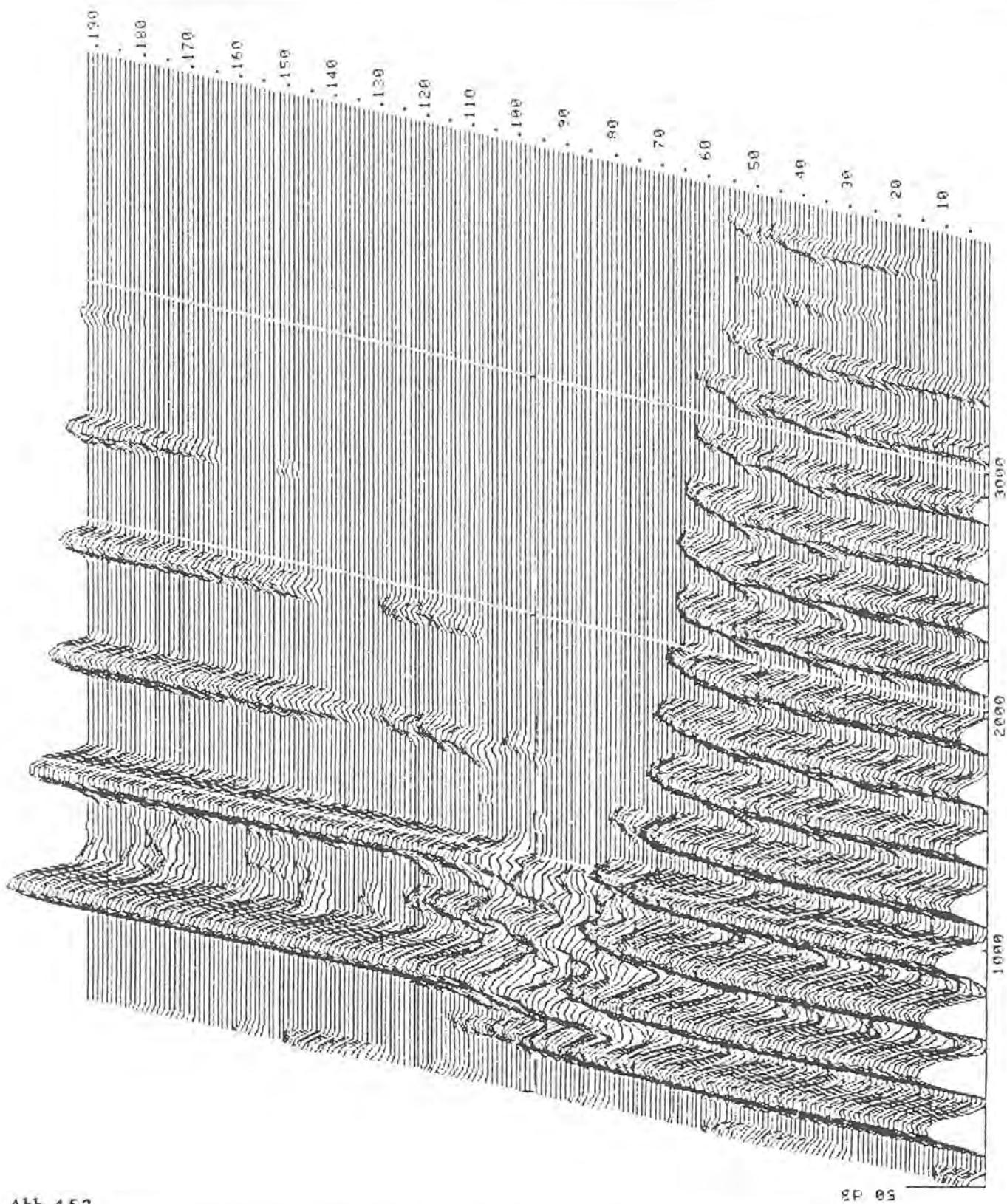


Abb. 4.5.3

restliche Energie an den Außenraum ab, während der Musiker nach einem raschen Frequenzwechsel der Lippenschwingung das Instrument bereits mit der doppelten Frequenz anregt (der Beginn der Anregung des f_2 erfolgt hier allerdings schon kurze Zeit, bevor die Lippenspannung die Ziel-Frequenz erreicht hat). Während des gesamten Bindungsvorganges tritt nur einmal und nur für kurze Zeit (0.04 Sekunden lang, zwischen dem 75. und 95. Spektrum) ein nicht im ursprünglichen Klang enthaltener Teilton (zwischen dem Grund- und ersten Oberton von f_1) auf.

Die Abb. 4.5.4 zeigt dieselbe Bindung auf einem Doppelhorn gespielt. Wie die meisten Doppelhornisten dieser Musiker (der besseren Treffsicherheit willen) die Möglichkeit des Doppelhorns, während des Bindungsvorganges auf die kürzere Luftsäule umzuschalten. Da er anscheinend über den "Geräusch-Effekt" des Einsatzes von Drehventilen Bescheid weiß und diesen offensichtlich nicht besonders schätzt, benutzt er die vorhin beschriebene Crescendo-Technik (besonders gut an den höheren Teiltönen erkennbar), um anschließend die Lippenspannungsänderung in einem möglichst kurzen Zeitraum durchzuführen.

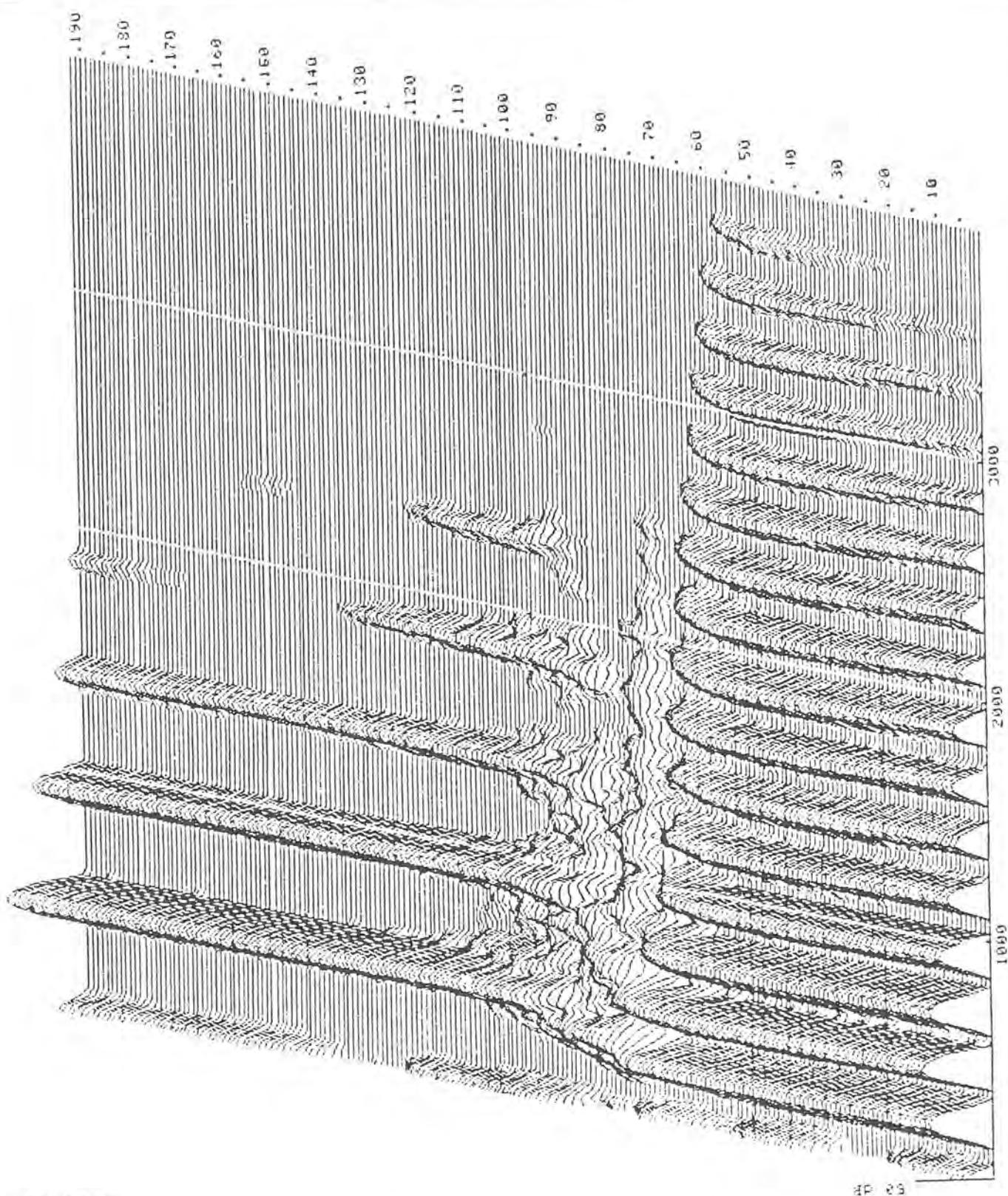


Abb. 4.5.4

Die dritte Abbildung (4.5.5) zeigt wiederum eine f1-f2 - Bindung auf dem Doppelhorn, jedoch von einem Hornisten, der die ästhetischen Überlegungen der vorangegangenen Hornisten offensichtlich nicht teilt, gespielt. Der 3-D-Plot zeigt deutlich das breite, durch den Einsatz des Ventils verursachte Geräuschband und die zahlreichen Zwischenstationen bis zum Erreichen der doppelten Lippenfrequenz. Der eigentliche Bindungsvorgang wird weder durch ein Decrescendo zu verschleiern versucht, noch bewußt verkürzt, um ein Einschwingen der Luftsäule bei dazwischenliegenden Resonanzspitzen zu verhindern.

Ein klassisches Beispiel der Maskierung bei Bindungen lieferte der schon im vorigen Abschnitt dieses Kapitels erwähnte Wiener Hornist. Er benützte allerdings nicht nur die oben erwähnte Technik, sondern besitzt offensichtlich eine fast unglaubliche, intuitive Sensibilität für die akustischen Eigenheiten eines Instrumentes, gepaart mit der Fähigkeit, sensumotorische Prozesse automatisch so zu steuern, daß der von ihm gewünschte Effekt eintritt. Abb. 4.5.6 zeigt die Bindung es2 - e2 (links) von diesem Musiker auf dem Wiener Horn, rechts (in umgekehrter Reihenfolge, also e2-es2) auf

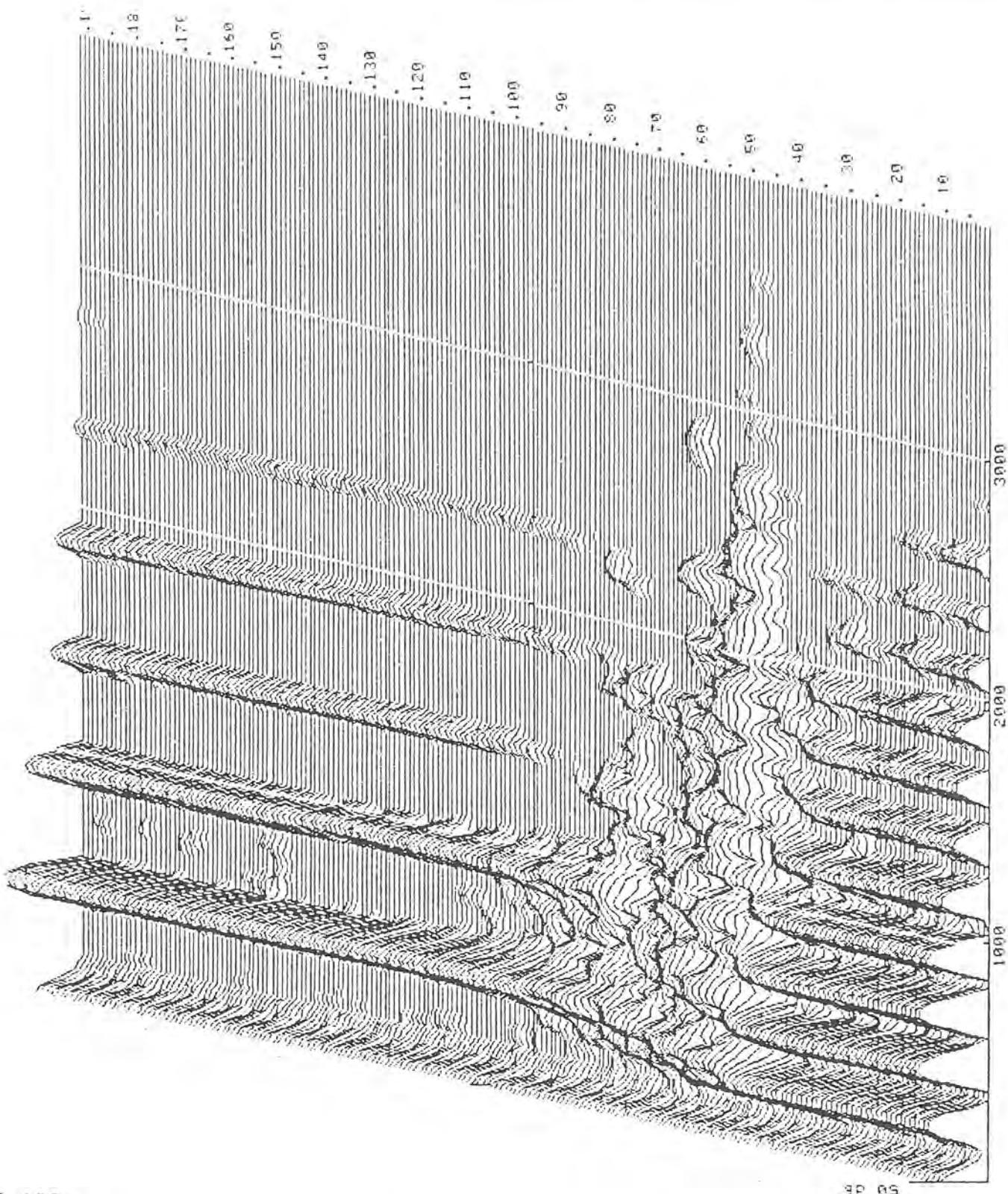


Abb. 4.5.5

einem Doppelhorn gespielt. Das beim Doppelhorn während des Bindungsvorganges üblicherweise auftretende breitbandige Geräusch wurde von ihm vollständig maskiert!

Eine Erklärung für diesen Effekt wäre, daß er im Bereich des bei Drehventilen auftretenden "Resonanzgrabens" (siehe Abb. 3.3.5.5) die Lippenspannungs-Änderung extrem beschleunigt, um diese während des Überstreichens der "Resonanzrücken" vor- und nachher entsprechend zu verlangsamen. Dies, verbunden mit einem Crescendo auf dem Ausgangston, suggeriert eine perfekte "weiche Bindung".

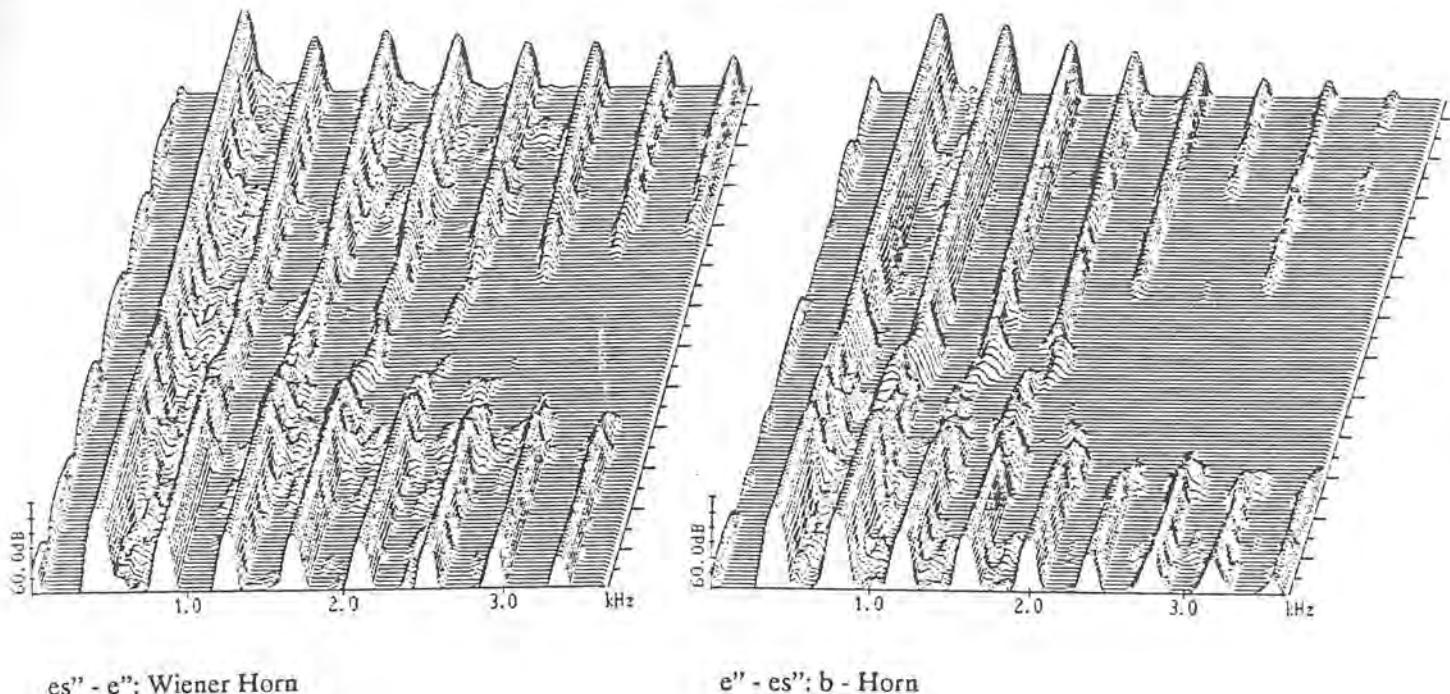


Abb. 4.5.6

c) Der Einfluß der Persönlichkeit

Jede künstlerische Äußerung ist in hohem Maße von der Persönlichkeit des Künstlers geprägt. Diese Faktum gilt natürlich auch für die reproduzierenden Künstler, trotz der vielfältigen Einschränkungen, denen sich Orchestermusiker bisweilen gegenüber sehen.

Wir hatten bei den zu untersuchenden Personen Vertreter beider Extreme (selbstbewußte "Draufgänger" wie auch ängstliche "Zögerer") unter den untersuchten Musikern. Dadurch konnten wir über dem Hintergrund der übrigen Untersuchungsergebnisse grob abschätzen, wie stark bei manchen Stellen der Partitur die Mentalität eines Musikers zum Tragen kommen und die typischen klanglichen Besonderheiten eines regionalen Musizierstils verdecken kann.

Deutlicher als bei Einzelklängen tritt die Persönlichkeit des Musikers bei einer musikalischen Phrase zutage. Zur Illustration sei hier der Sechzehntel-Lauf aus dem ersten Satz des Hornkonzertes von Richard Strauss (interpretiert von 6 Hornisten, drei Wiener Hörner, drei Doppelhörner) gewählt, der musikalisch (aber nicht technisch) einfach ist, die Eigenheiten des Instrumentes gut zum Tragen kommen lässt und bei dessen Interpretation trotzdem die Persönlichkeit des Musikers zum Vorschein kommt.

In den nachfolgend abgebildeten dreidimensionalen Darstellungen ist auf der horizontalen Achse die Frequenz von 0 - 4 kHz linear aufgetragen, die Zeit läuft von vorne nach hinten (die Spektren wurden im Abstand von 2 ms gezogen, die Zahlen rechts bedeuten die Ordnungszahl der Spektren) und die Dynamik ist in dB auf der Z-Achse aufgetragen, wobei für die Darstellung die "Bodenebene" aus optischen Gründen 50 dB unter den Wert der jeweils vorkommende höchsten Amplitude gelegt wurde. Das sichtbare Dynamikfenster ist daher relativ. Es kann daraus nicht auf den absoluten Schallpegel geschlossen werden, sondern nur auf die Stärkeverhältnisse der einzelnen Teiltöne eines Klanges zueinander. Die verhältnismäßig "breiten Rücken" der im Klang vorhandenen Teiltöne ergeben sich aus der geringen Breite des für die Fourier-Transformation benutzten Zeitfensters (512 Pkte). Diese Darstellungsart wurde von uns bewußt gewählt, weil dabei verschiedene Einzelheiten leichter erkennbar werden als bei einer Darstellung mit einem Zeitfenster von zum Beispiel 1024 Punkten. Der unruhige Verlauf zwischen den einzelnen Teiltönen stammt von "Blasgeräuschen", die zwar sichtbar, aber für ein Publikum nicht hörbar sind, da sie durch die wesentlich stärkeren Teiltöne maskiert werden und das Publikum sich üblicherweise weiter als 1 m von der Schallstürze entfernt befindet.

Die Abb. 4.5.7 zeigt zuerst das Notenbild des Laufes und anschließend die sechs verschiedenen Interpretationen.

Plot 1 zeigt das (mit einer Ausnahme) typische Bild eines Doppelhornlaufes, der auf dem hoch-f-Hornteil des Instrumentes gespielt wurde und daher relativ wenig Teiltöne aufweist.

Abb. 4.5.7

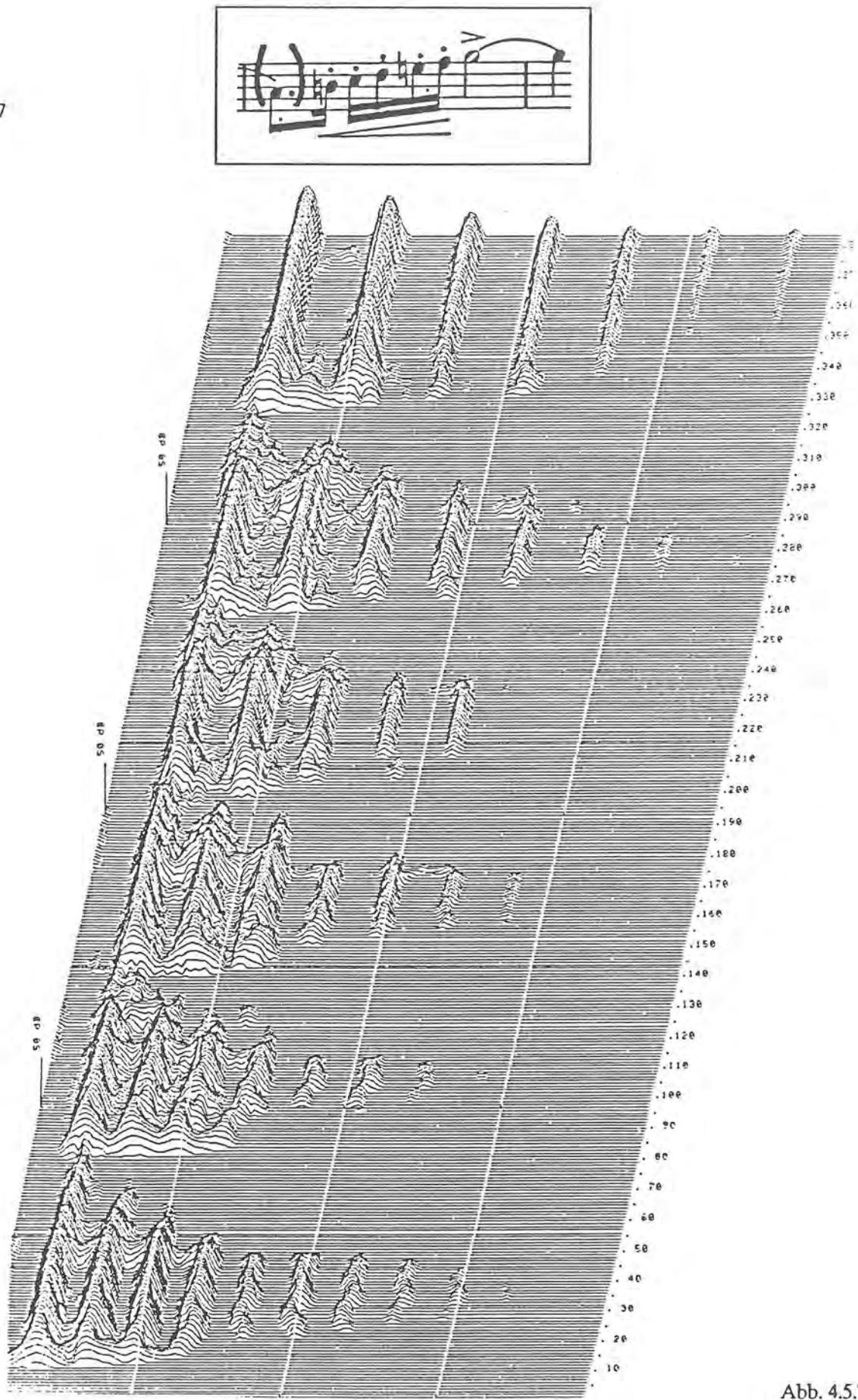


Abb. 4.5.7
Plot 1

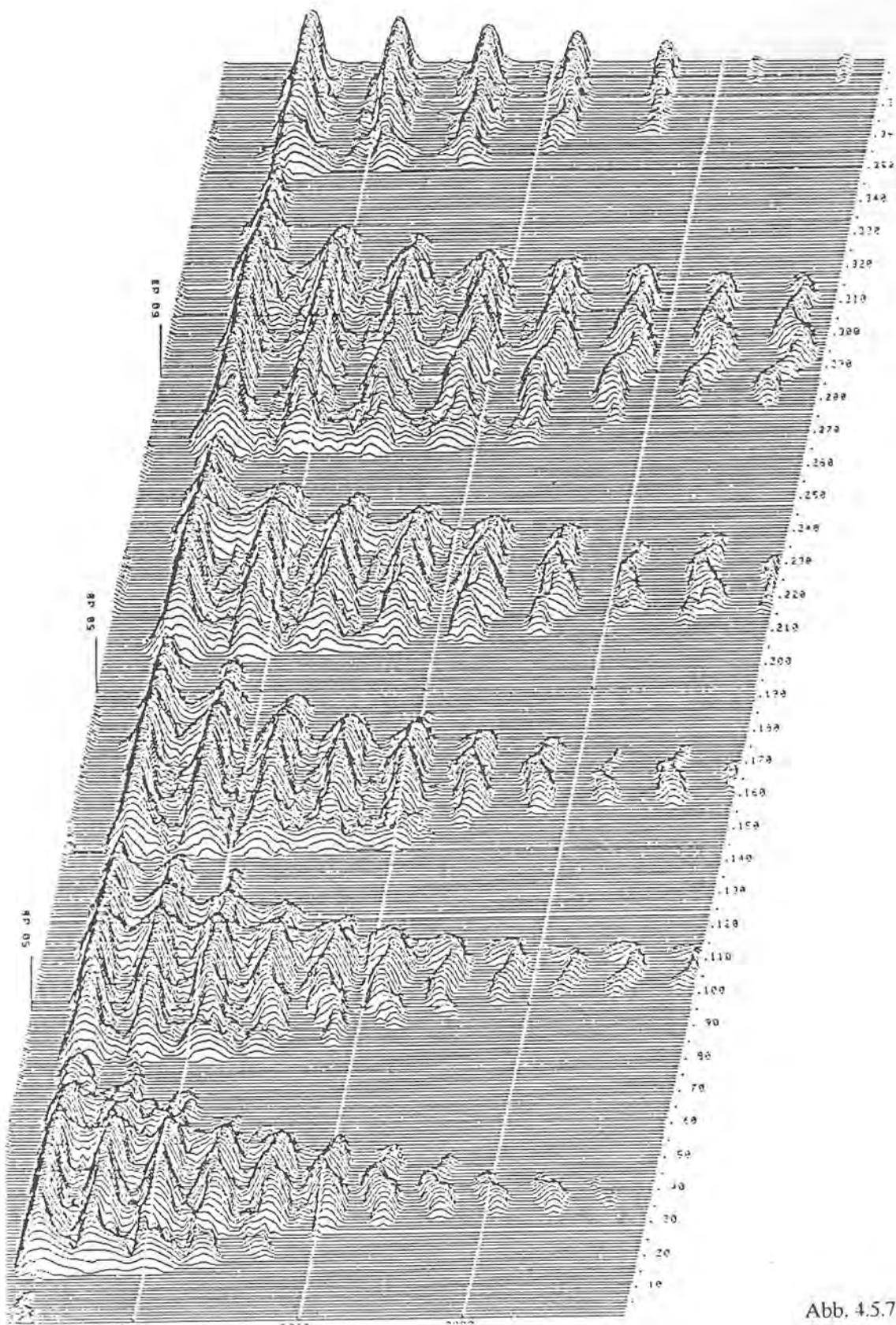


Abb. 4.5.7
Plot 2

Der Interpret dieses Laufes hat sein Studium mit einem Wiener Horn beendet und ist erst anschließend auf das Doppelhorn umgestiegen. Ihm sind daher verschiedene, speziell für das Wiener Horn notwendige Techniken nicht unbekannt. Da er neben seinem Orchesterdienst keinerlei solistische Tätigkeit ausübt, war er bei den Aufnahmen besonders bemüht, sich keine Blöße durch "Kiekser" zu geben und wandte daher eine beim Wiener Horn oft benutzte Technik an: Um die längere Einschwingzeit des F-Horns auszugleichen und um die Treffsicherheit in der hohen Lage zu

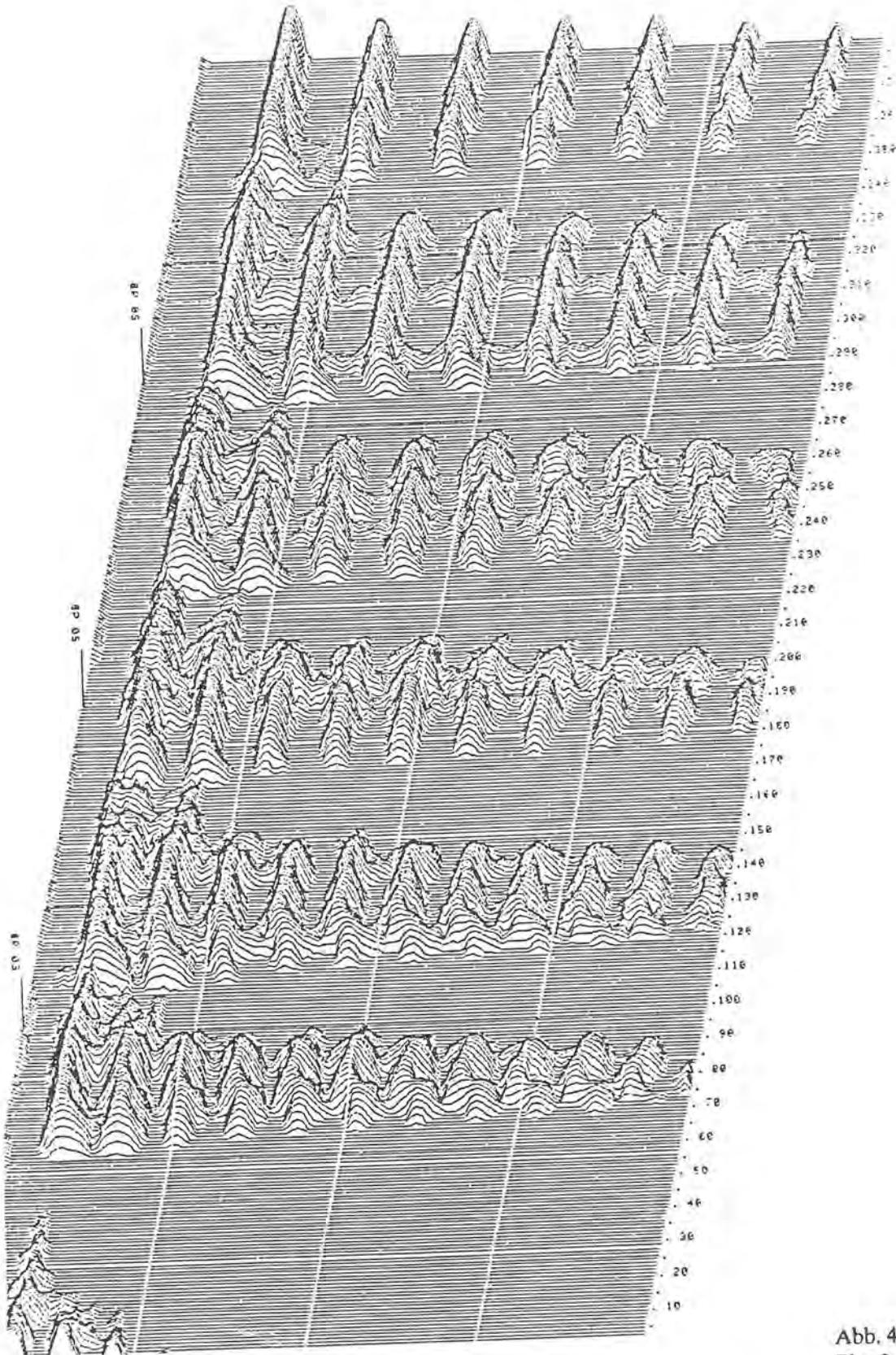


Abb. 4.5.7
Plot 3

erhöhen, wird der Ton "bewußt mit der Zunge angestoßen". Gemeint ist damit folgende Technik: Üblicherweise wird der freie Lippenspalt mehr oder weniger stark durch die vorgeschobene Zungenspitze verschlossen und durch das Zurückziehen der Zunge der Spalt freigegeben. Wiener Horn - Bläser arbeiten nun bei "schnellen Läufen" im höheren Register einerseits mit meist höheren Luftdrücken in der Mundhöhle als Doppelhornisten (um die erforderliche Amplitude der stehenden Welle im Instrument früher zu erreichen), andererseits wird die Zungenspitze weit nach vor geschoben, um

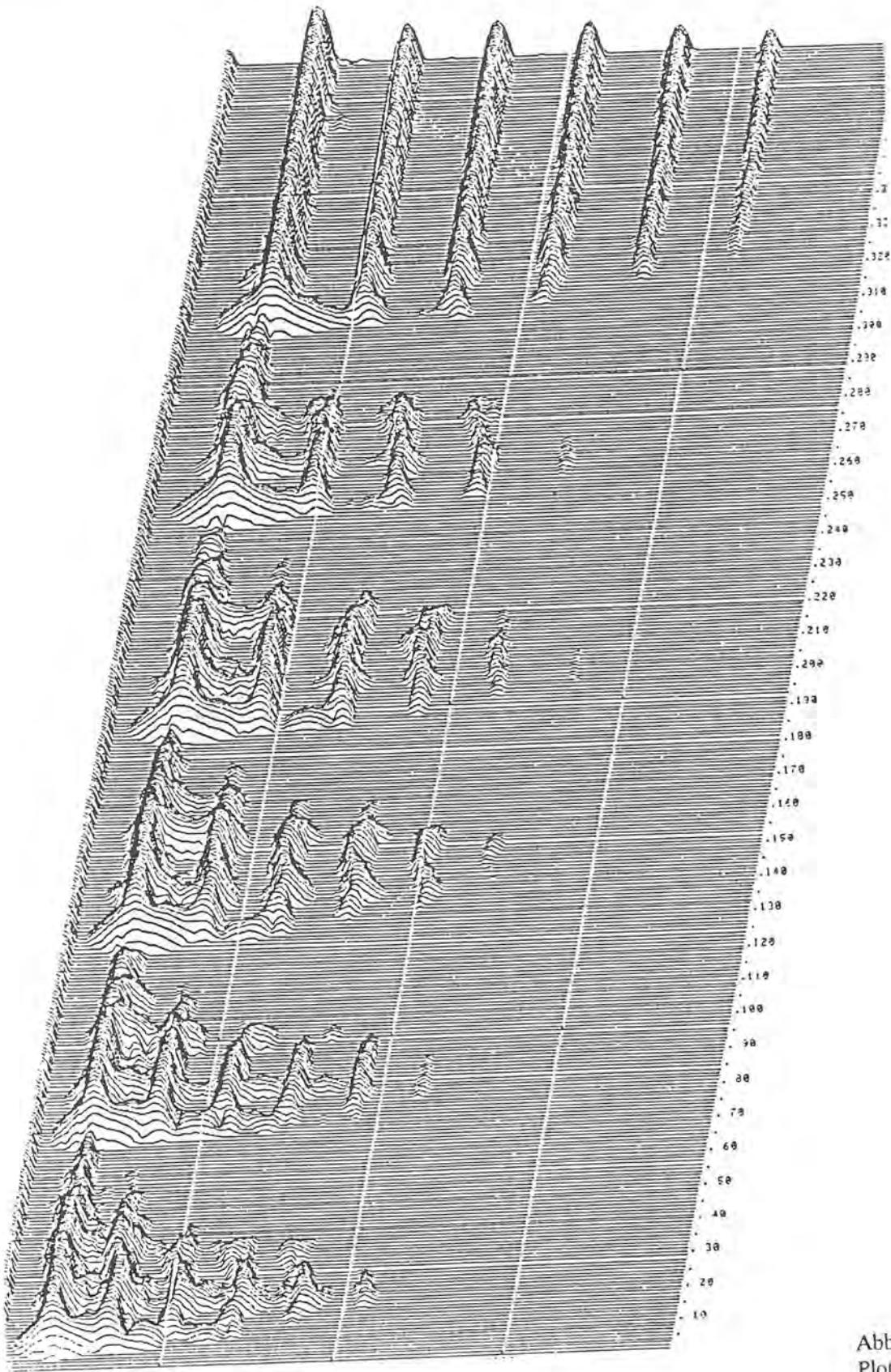


Abb. 4.5.7
Plot 4

einen vollständigen Verschluß des Lippenspaltes zu gewährleisten, und anschließend mit hoher Anfangsgeschwindigkeit plötzlich zurückgezogen. Durch den dadurch entstehenden steilen Impuls wird ein breites Anregungsspektrum erreicht, das für die erste Phase des Einschwingvorganges die Gefahr eines Kieksers durch die nicht exakte Abstimmung der Lippenspannung verringert. Interessant ist, daß der bewußte Einsatz dieser bei Doppelhörnern eher nicht gebräuchlichen Technik nur zu Beginn und am Ende (Zielton) des Laufes, wo der bewußte Eingriff in motorische Prozesse am Einfachsten

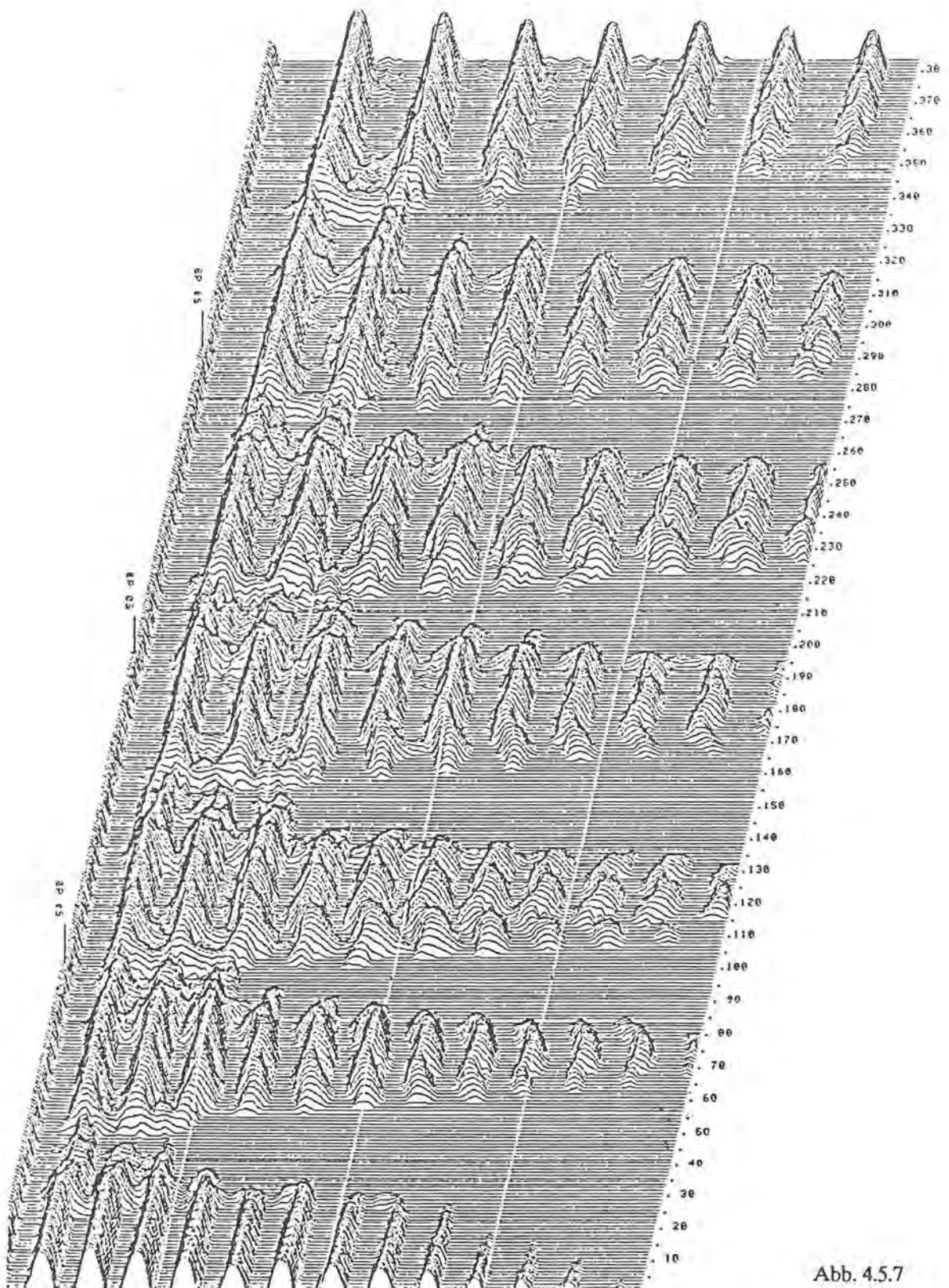


Abb. 4.5.7
Plot 5

ist, stattfindet (erkennbar an den breiten Flächen beim Tonbeginn). In der Mitte des Laufes findet man wieder den für Doppelhörner typischen "weicheren" Tonbeginn.

Plot 2 zeigt den Lauf auf einem Wiener Horn mit in etwa gleichem Schallpegel wie Plot 1 interpretiert. Deutlich erkennbar der höhere Teiltonanteil im Spektrum. Der Interpret, als eher "lockerer, unbekümmter" Typ eines Musikers

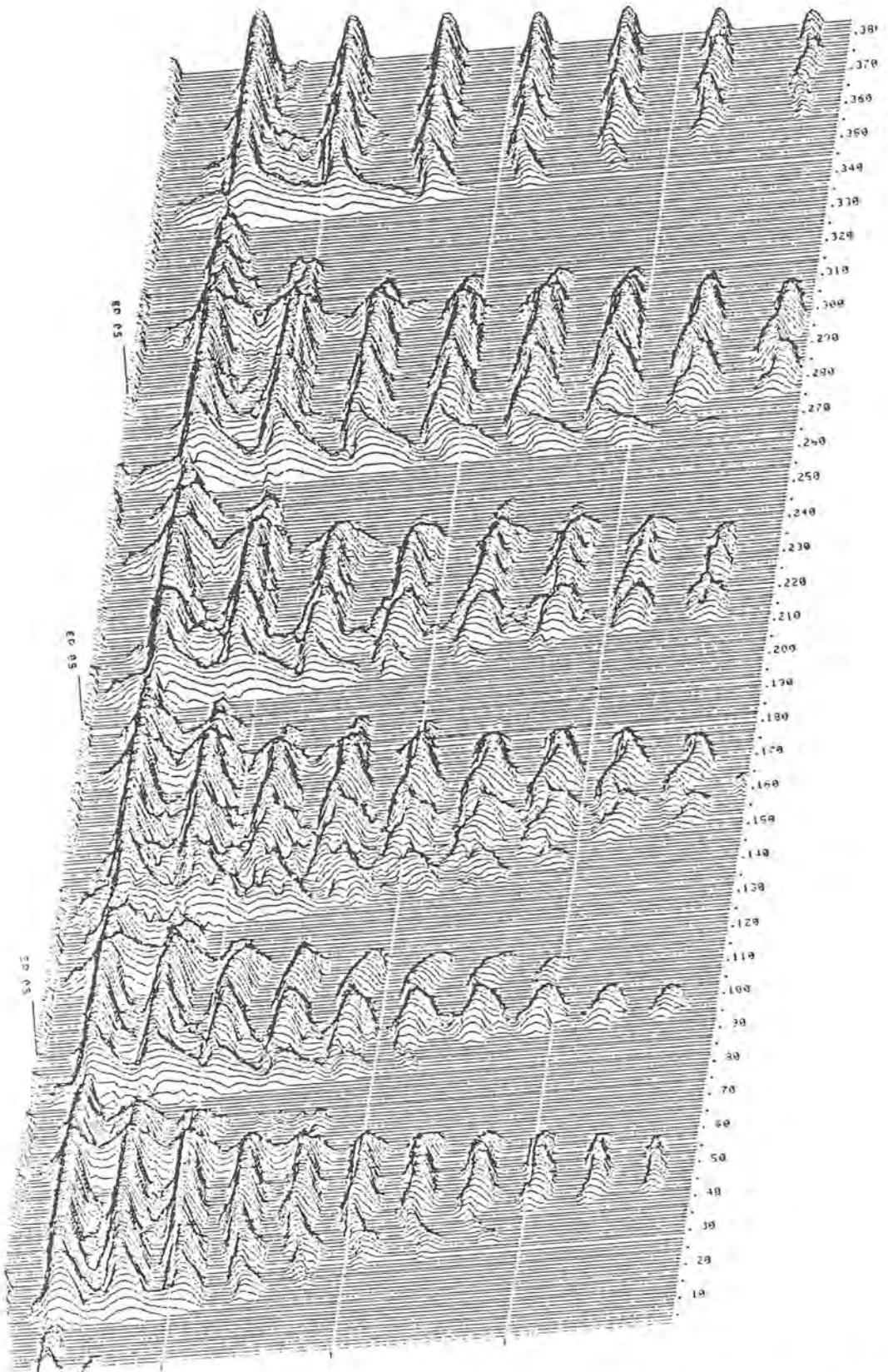


Abb. 4.5.7
Plot 6

zu bezeichnen, wendet die vorhin beschriebene Technik nur zu Beginn des Laufes an. Die Konsequenz ist an den höheren Teiltönen der 3D-Darstellung gut zu erkennen: Erst aufgrund der Synchronisationsprozesse pendelt sich die Lippenfrequenz auf die Resonanzfrequenz der Luftsäule ein.

Plot 3 zeigt wiederum einen am Doppelhorn gespielten Lauf (b-Horn-Teil). Der Musiker ist als "solider Techniker"

bekannt. Die Grafik zeigt eine typische "Doppelhorn-Anblastechnik" (deutliche Trennung der einschwingenden Teiltöne), eine notwendige Frequenzkorrektur der Lippenschwingung durch die stehende Welle tritt nur bei den ersten zwei Tönen des Laufes auf.

An dieser Stelle sei festgehalten, daß alle hier gezeigten Läufe vom Höreindruck her als "technisch geglückt" und musikalisch einwandfrei bezeichnet werden müssen. Unregelmäßigkeiten in der "Feinstruktur" der einzelnen Klänge sind in der graphischen Darstellung wohl deutlich zu erkennen, werden aber selbst vom erfahrenen und kritischen Zuhörer bei mehrmaliger Wiederholung nicht in allen Einzelheiten wahrgenommen.

Plot 4 zeigt die Interpretation mit einem Wiener Horn. Auffallend ist dabei der ungewöhnlich geringe Teiltongehalt. Ursache dafür ist die eher vorsichtige und verhaltene Interpretation durch den Musiker, der - obwohl erfolgreich an führender Stelle im Orchester - eher als ängstlicher, seiner selbst nicht ganz sicherer Musikertyp zu bezeichnen ist und einem "dunklen und weichen" Klang den Vorzug gibt. Deutlich ist dies in der graphischen Darstellung zu sehen, die - wenn nicht die typischen Kennzeichen des harten "Anstoßes" zu erkennen wären - ohne akustische Kontrolle durchaus als Doppelhorn-Interpretation gedeutet werden könnte. Gut zu erkennen auch das besondere Bemühen des Musikers (wohl im Wissen um die Nachteile des Instrumentes bei technischen Stellen) um eine klare Ton-Trennung und kurze Einschwingzeit (breitbandige Anregung!).

Plot 5 zeigt die Interpretation mit einem Doppelhorn durch einen Musiker, der guten Gewissens als "Draufgänger" bezeichnet werden kann. Im Bewußtsein seines Könnens riskiert er durchaus Fehlleistungen und "exekutiert" diese Stelle mit einer nahezu brutalen Fortissimo-Dynamik in hohem Tempo. Trotz Verwendung des b-Hornteils daher eine hohe Teiltonanzahl, typisch jedoch der kurze zeitliche Abstand der Töne (kürzerer Weg des Drehventils), die etwas weichere Anblastechnik der Doppelhornisten und in der Folge die Synchronisations-Vorgänge zwischen Lippensfrequenz und Schwingfrequenz der stehenden Welle im Instrument.

Plot 6 zeigt wiederum einen am Wiener Horn interpretierten Lauf. Von Interesse ist der Werdegang des Musikers: Studium und beruflicher Beginn mit dem Doppelhorn. Anschließend entdeckte er seine besondere Affinität zur Wiener Musiziertradition und ihrem von der Romantik stark beeinflußten Klangideal. Er brach sämtliche Beziehungen zu seiner Heimat ab und versuchte in Wien mit dem Wiener Horn einen neuen Einstieg in den Musikerberuf. Deutlich erkennbar der bewußt eingesetzte typische Wiener Anstoß. Offensichtlich noch etwas unkoordiniert jedoch die automatisierte Frequenzsteuerung der Lippenschwingung: Alle Töne wurden zu hoch angeregt.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurde versucht, die Besonderheiten des Wiener Hornklanges mit naturwissenschaftlichen Methoden zu untersuchen und sie, wo möglich, auf die baulichen Besonderheiten und auf die Wiener Musiziertradition (soweit feststellbar) zurückzuführen. Dabei zeigten sich vor allem folgende Phänomene:

- **Teiltonaufbau des stationären Klages:** Beim Wiener Horn fallen im höheren Register die Teiltöne signifikant weniger ab als bei den anderen Horntypen. Dies ist vor allem auf die geometrischen Verhältnisse der verwendeten Röhre zurückzuführen.
 - **Spektraldynamik:** Der spektrale Aufbau ändert sich in Abhängigkeit von der gewählten Dynamik beim Wiener Modell viel stärker als bei Doppel- und Tripelhörnern. Dies hat den Eindruck einer größeren Lautstärke bei geringerem Schalldruckpegel zur Folge und bringt geänderte Verdeckungsmuster innerhalb des Orchesterklanges mit sich. Grundsätzlich ist der Klang des Wiener Horns "modulationsfähiger" als der der anderen Horntypen.
 - **Einschwingvorgang:** Obwohl das im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlich genug untersucht werden konnte, ist anzunehmen, daß die baulichen Besonderheiten des Wiener Horns den Einschwingvorgang beeinflussen; dieser Einfluß ließ sich aber in den Klangbeispielen nicht genügend klar nachweisen. Wir nehmen an, daß er durch das spieltechnische Können und den Gestaltungswillen des Musikers maskiert werden kann.
 - **Bindungen:** Bei den Lippenbindungen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Horntypen gefunden. Bei den Ventilbindungen zeigt sich jedoch, daß die bei den Wiener Hörnern üblichen Pumpenventile einen weichen Tonübergang (ähnlich den Lippenbindungen) viel eher zulassen als die sonst üblichen Drehventile. Da zusätzlich beim Wiener Horn ungleich mehr Lippenbindungen vorkommen als bei Doppel- und Tripelhörnern, tragen die Bindungen wesentlich zum typischen Wiener Hornklang bei. Gleichzeitig beeinflussen die konstruktionsbedingten Eigenheiten der Pumpenventile die Spieltechnik bei schnellen Läufen.
 - **Energieaufwand:** Der Wiener Musiker muß eine um 40% - 100% größere Masse an Luft in Schwingung versetzen. Dies erfordert einen höheren Energieaufwand als bei Doppel- und Tripelhörnern. Da dieser Mehraufwand an Energiezufuhr nur während des Einschwingvorganges erforderlich ist, hängt die Mehrbelastung des Wiener Musikers von der Struktur des gespielten Werkes ab.
 - **Störanfälligkeit/Treffsicherheit:** Da die Naturtöne im hohen Register beim Wiener Modell näher beisammenliegen als bei den Doppel- und Tripelhörnern, führt eine nicht exakt abgestimmte Lippenspannung eher zu einem Kickser, als dies bei kürzeren Luftsäulen der Fall ist. Die Störanfälligkeit ist bei den Wiener Modellen daher als größer zu bezeichnen.
 - **Vibrato:** Wenngleich das Vibrato eine auf jedem Horn anwendbare Spieltechnik darstellt, ist es doch nicht unplausibel, die Ablehnung des Vibratos auf dem Wiener Horn zumindest zum Teil auf seinen Reichtum an Obertönen und vor allem auf die größere Modulationsfähigkeit zurückzuführen.
 - **Musiziertradition und Stil:** Wenngleich in den letzten Jahren in Wien ein Trend zur differenzierten, werkabhängigen Betrachtungsweise festgestellt werden kann, so ist doch für den Orchesterklang noch immer das Klangideal der Romantik gültig. Spieltechnik und in der Folge die Musiziertradition sind daher stark von den technischen und akustischen Gegebenheiten des Wiener F-Horns (das als Prototyp des Instrumentes der Romantik anzusehen ist) beeinflußt.
 - **Der Einfluß des Menschen:** Das musikalische Empfinden des Spielers ist neben dem regional vorherrschenden Klangideal vor allem durch die jahrelange, intensive Beschäftigung mit "seinem" Instrument geprägt. Ein Ausgleich der Unterschiede zwischen den verschiedenen Horntypen durch den Spieler ist wohl theoretisch möglich, in der Praxis aber kommt er (wenn überhaupt) höchst selten vor.
- Somit ist nachgewiesen, daß und worin sich das Wiener Horn von anderen Horntypen unterscheidet; die Prominenz des Hornklanges im Orchesterklang erlaubt die Feststellung, daß der spezifische Klang des Wiener Horns auch wesentlich zum "typischen" Wiener Orchesterklang beiträgt.

ANHANG A: ANMERKUNGEN ZUR SPIELPRAXIS

1. BEMERKUNGEN ZUM BLECHBLASINSTRUMENTENSPIEL

Die wichtigsten Elemente des Blechblasinstrumentenspiels (wie überhaupt des Instrumentalspiels) sind die psychomotorischen und sensomotorischen Prozesse³⁴. Die einzelnen zur Tonproduktion notwendigen Abläufe werden vorerst langsam und jede Bewegung einzeln für sich und voll bewußt gesteuert, um später nach einer entsprechenden Trainingszeit als Kette von verschiedensten Bewegungen "automatisiert" abzulaufen. Die Kontrolle über die Gesamtheit der Bewegungen läuft je nach Erfordernis über sogenannte "open-loop" und/oder "closed-loop" Schleifen sowie über "feed-back" und "feed-forward" Prozesse^{35,36,37,38,39,40} ab. Während des Orchesterspiels muß der Musiker aber des öfteren in die automatisiert ablaufenden Prozesse eingreifen, um aufgrund des Zusammenspiels mit den übrigen Musikern (oder des Dirigenten) teilweise Korrekturen anzubringen. Wie gut ihm das gelingt, hängt vom Talent, der Mentalität, der Motivation, der Konzentrationsfähigkeit und dem Grad der Nervosität ab.

2. KONDITIONIERUNG DER MUSIKER FÜR DIE AUFNAHMEN IM SCHALLTOTEN RAUM UND DIE SITUATION BEIM KONZERT

Von Musikern unter konzertmäßigen Bedingungen gespielte Klänge unterscheiden sich unter Umständen sehr wesentlich von in Probe- oder Aufnahmeräumen produzierten Klängen. Die Ursachen für diesen in Musikerkreisen allgemein bekannten Effekt liegen in der geänderten psychischen Situation, in der sich der Orchestermusiker bei einem Konzert befindet^{41,42,43}. So gibt es z. B. Musiker, welche von den Kollegen gern als "Stimmzimmer-Virtuosen" bezeichnet werden. Solche Musiker meistern die schwierigsten Passagen vor oder nach dem Konzert, sind jedoch im "Ernstfall" aus den verschiedensten Gründen nicht in der Lage, ihr Können voll auszuspielen.

Neben einem (individuell verschieden hoben) Grundpegel an Nervosität, welche den spontanen Zugriff zu den oben erwähnten, automatisiert ablaufenden Prozessen erschwert und oft blockiert, muß der Musiker während einer Aufführung seine Konzentration (noch bevor er auch nur einen Ton gespielt hat) auf folgende Dinge lenken:

- Vorgaben des Dirigenten (Tempo, Lautstärke, gewünschter musikalischer Charakter, bei Soli persönliche Kontakte).
- Intonation und Tempo innerhalb der eigenen Instrumentengruppe (beides kann gegenüber dem Gesamtensemble geringfügig differieren), Anpassung an dieselben und gegebenenfalls bewußte Korrektur.
- Intonation, Tempo und "Charakter" innerhalb der Bläsergruppe, Anpassung oder Korrektur. Saubere Intonation und präzises Zusammenspiel innerhalb der Instrumentengruppe (z.B.: 1., 2., 3. und 4. Horn) haben jedoch gegenüber der Bläsergruppe Vorrang. Ausnahme: gemeinsame Soli mit Instrumenten anderer Gruppen.
- Intonation, Tempo und Charakter des gesamten Orchesters, Anpassung und Korrektur. Die Bläsergruppe besitzt gegenüber dem Gesamtensemble Vorrang.

Erst nachdem der Musiker diese (übrigens keineswegs erschöpfend aufgezählten und sich permanent verändernden) Parameter registriert und verarbeitet hat, kann er sich auf seine eigentliche Aufgabe, der Produktion von (in seiner Vorstellung aufgrund der intensiven Beobachtung der Umgebung schon exakt definierten und vorhandenen) Klängen auf seinem Instrument widmen, wobei die Beobachtung der immer wieder in sehr kurzen Zeitabständen (Zehntelsekunden!) sich ändernden Parameter Klanghöhe, Klangstärke, Klangfarbe und zeitliche Struktur dazu parallel und unvermindert fortgesetzt werden muß.

Der Musiker kann sich also unter konzertmäßigen Bedingungen nicht ausschließlich auf die "Tonproduktion" mit seinem Instrument konzentrieren und wird überdies durch den Zwang zur Anpassung an die Intonation, Lautstärke und Klangauswahl seiner Orchesterkollegen an der Wahl der für ihn und sein Instrument optimalen Interaktion gehindert. Das heißt: Er kann den "Ton" unter Umständen nicht an der vorgegebenen Impedanzspitze plazieren, sondern muß ihn ein paar Hertz "daneben" anblasen. Dies hat aufgrund der dann etwas geänderten Transferfunktion des Instrumentes einen geänderten Klang zur Folge.

Es galt daher, bei den Aufnahmen am Institut für die Musiker ein Klima zu schaffen, das sie psychisch etwas unter Druck setzt, das ihnen suggeriert, es gehe auch um ihr persönliches Renommee als Künstler und man müsse auch auf "Kleinigkeiten" achten. Dieser psychologische "Trick" zur Erzeugung einer "gesunden" Nervosität war nur bei inländischen Musikern notwendig, welche die Autoren meist persönlich gut kennen oder sogar Orchesterkollegen sind; er wurde bei den Aufnahmen in Form eines kurzen Gespräches eingebracht.

Aufgrund unserer jahrelangen Orchestererfahrung konnten wir in den meisten Fällen schon während der ersten Sekunden der Aufnahmeprozess den Grad der Nervosität des Musikers abschätzen. Die langjährige und genaue Kenntnis der Wiener Musikerszene ermöglichte uns eine differenzierte und auf die Persönlichkeit des einzelnen Musikers abgestimmte Anwendung der verbalen Beeinflussung.

Bei den ausländischen Gästen stellte sich diese Maßnahme als überflüssig heraus. Von ihnen fremden Wissenschaftlern in eine ihnen fremde Umgebung (noch dazu ohne den gewohnten Rückhalt durch ihre Orchesterkollegen) zu Tests eingeladen und im Bewußtsein, daß das von ihnen "Produzierte" mittels modernster Methoden untersucht und analysiert wird, war dies in allen Fällen (mit einer Ausnahme) völlig ausreichend, um den psychischen Druck einer Konzertsituation zu simulieren.

Die soeben beschriebenen Überlegungen und angewandten Prozeduren mögen dem Außenstehenden etwas überspitzt erscheinen, haben jedoch handfeste Hintergründe: Während der Musiker beim Konzert jederzeit bereit ist, sein "Letztes" zu geben und (je nach Mentalität) mehr oder weniger riskiert, um die ihm gestellte Aufgabe bestmöglichst zu realisieren, so geht der in gemütlicher und entspannter Atmosphäre (wo es "um Nichts geht") spielende Musiker oft generös über Intonationsmängel oder rhythmische Unregelmäßigkeiten hinweg. Begünstigt werden in solchen Spielsituationen auftretende Ungenauigkeiten noch durch die von Berufsmusikern geübte Praxis, sich zu schonen, mit den Kräften hauszuhalten und erst beim Konzert strengste künstlerische Maßstäbe anzulegen. Probeaufnahmen zeigten, daß von nicht "konditionierten" Musikern gespielte Klangproben qualitativ mit den Aufnahmen "konzertmäßig" motivierter Musiker nur schlecht vergleichbar waren. Auffallende Mängel waren ungenügend differenzierte Dynamik, teilweise schlampige Einschwingvorgänge und ungenaue Bindungen.

Es soll an dieser Stelle aber nicht verschwiegen werden, daß bei so manchem Musiker der "künstlerische Ertrag" ohne vorherige psychologische "Behandlung" möglicherweise höher gewesen wäre. In solchen Fällen ersuchten wir den Musiker, die betreffenden "Stellen" zur Sicherheit nochmals einzuspielen. Es zeigte sich immer wieder, daß beim zweiten Mal die Nervosität, beziehungsweise die Irritation des Musikers stark abnahm.

3. DER EINFLUSS DES DIRIGENTEN

Als Einwand gegen die Vergleichbarkeit der von uns mitgeschnittenen Orchesterkonzerte wurde in Diskussionen manchmal das Argument gebracht, daß die verschiedenen Orchester nicht von ein und demselben Dirigenten geleitet würden. Da aber der Dirigent bestimme, was letztendlich zu geschehen habe, wären die Klänge nur bedingt vergleichbar. Dieses Argument erscheint auf den ersten Blick durchaus logisch, wenn man die ungeheuren Zeitdifferenzen bei der Interpretation einer Symphonie durch z.B. Furtwängler und Maazel betrachtet.

Aufgrund der nachfolgend ausgeführten Überlegungen zeigt sich allerdings, daß die Dirigentenfrage für den speziellen Fall unserer Konzertmitschnitte durchaus vernachlässigbar ist.

Die von uns aufgenommenen Orchester waren allesamt internationale Spitzenorchester, die entweder mit ihrem Chefdirigenten oder mit einem Gastdirigenten in Wien konzertierten.

Für den ersten Fall kann als gesichert angenommen werden, daß durch die intensive und über einen längeren Zeitraum dauernde Zusammenarbeit eine hohe Übereinstimmung zwischen der Auffassung des Dirigenten und des Orchesterkollektivs besteht (im Falle von größeren Auffassungsunterschieden wird bekanntlich der Dirigentenvertrag gelöst oder einzelne Musiker, welche sich nicht den Intentionen des Orchesterleiters anschließen können oder wollen, ausgewechselt). Es kann also angenommen werden, daß in diesem Fall der Klangcharakter des Orchesters nicht durch willkürliche und dem musikalischen Verständnis des Musikerkollektivs zuwiederlaufende Eingriffe durch den Dirigenten verfälscht wird.

Im Falle eines Gastdirigenten sind folgende Überlegungen angebracht: Da in jedem Orchester eine strenge Hierarchie existiert - an deren Spitze immer der Dirigent steht^{44,45}, müssen die Einflußmöglichkeiten des Dirigenten unter Berücksichtigung der besonderen Umstände (die Mitschnitte erfolgten meist im Rahmen von Veranstaltungen der Wiener Festwochen) auf den Orchesterergesamtklang kurz betrachtet werden:

Der Dirigent hat (wenn man den Orchesterklang aus physikalischer Sicht betrachtet) von den drei den Klang repräsentierenden Parametern KLANGHÖHE, KLANGFARBE und ZEITLICHE STRUKTUR, nur auf die ZEITLICHE STRUKTUR ("Makrostruktur") eine ungehinderte Einflußmöglichkeit. Diese ist aber für unsere Untersuchungen nicht von Bedeutung, denn niemand hat je ernsthaft in Erwägung gezogen, die Dauer der Interpretation eines Werkes als "Charakteristikum" eines Orchesters anzusehen!"

Die KLANGHÖHE ist in der Partitur eindeutig festgelegt und der Einfluß auf den dritten Parameter, die KLANGFARBE, ist nur bedingt möglich, denn sie hängt bei Hörnern ab von:

- der gespielten Dynamik
- der Bauform und -art des benützten Instrumentes
- den physiologischen Gegebenheiten des Musikers und
- dem aktuellen Klangideal des Musikers.

In den Einflußbereich des Dirigenten fällt also nur der erste der oben angeführten Punkte: die Dynamik. Über seine Anweisung, eine Stelle lauter oder leiser zu spielen, kann er indirekt die Klangfarbe beeinflussen. Allerdings muß diese Einflußnahme über dem Hintergrund der in unserer Zeit existierenden allgemeinen Normen betreffend der Interpretation bekannter "klassischer" Werke gesehen werden, welche dem Dirigenten keinen allzugroßen Spielraum lassen. Zusätzlich wird der indirekte Einfluß des Dirigenten auf die Klangfarbe mittels Spiel-Dynamik-Anweisungen noch durch den Widerstand der betreffenden Musiker eingeschränkt, falls die Dynamikanweisungen den Auffassungen der Musiker (und damit dem für das Orchester typischen Klangcharakter) zuwiderlaufen: In solchen Fällen wird seitens der Musiker (dies gilt nur für Bläser) meist mit Argumenten operiert, denen ein Dirigent nichts entgegenzusetzen hat:

"wenn ich an dieser Stelle noch mehr forcieren muß, kann ich am Abend nicht mehr für eine perfekte Intonation, beziehungsweise einen exakten Rhythmus garantieren."

"wenn ich hier noch noch leiser spielen muß, kann ich nicht mehr garantieren, daß der Ton am Abend auch wirklich anspricht."

Welcher Dirigent wagt es schon bei Konzerten, welche von Rundfunkanstalten mitgeschnitten und unter Umständen in alle Welt übertragen werden, nur um seinen Willen gegenüber einem oder mehreren Musikern durchzusetzen, einen "Kiekser" oder Intonationsmängel zu provozieren?"")

*) Schr wohl gibt es jedoch Unterschiede zwischen den Orchestern in der zeitlichen "Mikrostruktur" der von den Musikern erzeugten Klängen. Als Mikrostruktur bezeichnen wir die "Gestalt" der einzelnen vom Musiker produzierten Klänge über die Zeit. Als "Makrostruktur" ergibt sich sinngemäß die zeitliche Struktur des gesamten Werkes. Die Mikrostruktur kann daher innerhalb der Toleranzgrenzen, welche von der vom Dirigenten gestalteten Makrostruktur vorgegeben sind, durchaus variieren. Orchesterspezifische Charakteristika der Mikrostruktur ergeben sich größtenteils aus den technischen Gegebenheiten des Instrumentariums (z.B.: schnelle Läufe auf einem Wiener F-Horn und einem Doppelhorn - siehe Kapitel 3.3.2 und 3.3.5) und der "Mentalität" des Musikerkollektivs. Sie entziehen sich somit dem direkten Einfluß des Dirigenten. Untersuchungen der Mikrostruktur wurden, da sie in einem hohen Maße "dirigentenunabhängig" und daher als orchesterspezifisch angesehen werden kann, in unsere Arbeit miteinbezogen. Ein gutes Beispiel dafür ist der berühmt "verhatschte" 3/4-Takt des von Wiener Orchestern interpretierten "Wiener Walzers": Für Dirigenten ist dieser Effekt in der Regel bei Wiener Orchestern nicht abstellbar und wenn doch, dann nur mit viel gutem Willen der Musiker und auch das nur für kurze Zeit!

") Ganz anders stellt sich die Situation bei Schallplattenaufnahmen dar: Hier hat der Dirigent das "absolute Sagen". Argumente der Musiker (wie vorhin angeführt) gelten hier nicht, da ja die Möglichkeit besteht, mißlungene Stellen zu wiederholen bzw. so lange daran zu arbeiten, bis sie den Intentionen des Dirigenten entsprechen. Risiken durch an den Grenzen der Spieltechnik sich bewegende Musiker stellen bei Aufnahmen keine Gefahr dar und entbinden den Musiker daher nicht der Verpflichtung, den Vorstellungen des Dirigenten zu folgen. Dies ist auch einer der Gründe, warum wir für unsere Untersuchungen keine Schallplattenaufnahmen herangezogen haben und den einigermaßen aufwendigen und riskanten Weg der digitalen Direktmitschnitte gewählt haben. Weitere Gründe, die gegen eine Einbeziehung von Plattenaufnahmen in unsere Arbeit sprachen, sind der große Einfluß der Aufnahmetechnik. Bei Plattenaufnahmen werden oft exzessiv "Stützmikrophone" eingesetzt, welche die Lautstärkeverhältnisse der Instrumentengruppen innerhalb des Orchesters sowie die dynamikabhängige Klangfarbe der Blasinstrumente gegenüber dem Originalklang mitunter verschärfen.

Darüber hinaus kann festgestellt werden, daß das Verhältnis "Dirigent - Orchester" trotz der naturgemäß notwendigen hierarchischen Prinzipien umso partnerschaftlicher ausfällt, je höher das internationale Ansehen des Orchesters ist. Selbstverständlich ist in einer funktionierenden Arbeitsgemeinschaft der Musiker bemüht, seinen Part weitgehendst entsprechend den Vorstellungen des Dirigenten zu realisieren und auch ihm neuen und ungewöhnlich erscheinenden Anweisungen Folge zu leisten, wobei die Motivation der Musiker dem internationalen Ruf des Dirigenten meist direkt proportional ist. Dies allerdings nur, solange ihm die Anweisungen sinnvoll und möglich erscheinen. Alles was über eine (durch die individuelle Klangvorstellung bestimmte) Grenze geht, versucht der Musiker wie oben dargestellt "abzubiegen" oder offen zu bekämpfen.

Abschließend kann daher festgestellt werden, daß der Einfluß des Dirigenten auf den Klang einzelner Instrumente des Orchesters bei den Konzertmitschnitten im Rahmen unserer Untersuchungen vernachlässigbar ist.

ANHANG B: EIN BEMERKENSWERTES EXPERIMENT IN JAPAN

Um die Auswirkungen des im Kapitel 4.2.4 festgestellten Effektes auf den Orchesterklang in der Praxis zu illustrieren, sei ein Bericht über ein Experiment wiedergegeben, der dem Autor (Widholm) anlässlich eines Besuches der Produktionsstätten für Blechblasinstrumente der Firma YAMAHA in Hamamatsu (Japan) vom Direktor der Firma zur Kenntnis gebracht wurde (die Fa. Yamaha beschäftigt sich seit einigen Jahren mit dem Bau von Wiener Hörnern).

Fachleute und kundige Musikliebhaber im Publikum stellten immer wieder bei Aufführungen von Bruckner-Symphonien fest, daß die Blechbläser, vor allem aber die Horngruppe bei Fortissimostellen die Streicher "zudecken". Dieser Effekt trete jedoch bei Aufführungen dieser Werke durch Wiener Orchester in denselben Konzertsälen nicht auf. Gleichfalls sei dieses Faktum bei Plattenaufnahmen von "Nicht Wiener" Orchestern fast bis gar nicht zu bemerken. (Für das Nicht-Vorhandensein bei Plattenaufnahmen gibt es eine einfache logische Erklärung: Mittels der gebräuchlichen Stützmikrophone kann der Pegel der Streicher beliebig angehoben werden).

Da die Ursachen für diesen Verdeckungseffekt bei den Instrumenten vermutet wurde (auch Dynamik-Anweisungen der Dirigenten konnten keine Abhilfe bringen), startete das NHK-Orchester folgendes Experiment:

Bei einer Serie von Konzerten mit den Symphonien von Anton Bruckner wurden von der Horngruppe des Orchesters ausschließlich Wiener F-Hörner benutzt, und zwar 4 von Yamaha neu gefertigte Instrumente (Kopie Wiener Produktivgenossenschaft "Kaiserstraße") und 2 Stück aus der Fertigung einer Wiener Firma.

Das Resultat soll verblüffend gewesen sein: Der von früheren Aufführungen her bekannte Effekt der Verdeckung der Streicherfiguren bei Fortissimo-Passagen des Blechs war nahezu nicht mehr vorhanden!

Zu dem Zeitpunkt des Experiments (1980, der Autor erfuhr davon 1982) war dafür keine Erklärung vorhanden; anhand der Ergebnisse der Abschnitte 4.2.4 und 4.2.5 ist sie aber leicht zu geben:

Nachdem für den subjektiven Lautstärkeindruck bei einem Musikinstrumentenklang nicht der objektive Schallpegel, sondern vielmehr der spektrale Aufbau des Klanges maßgeblich ist und der für ein "Fortissimo" charakteristische Teiltongehalt bei Wiener F-Hörnern schon bei niedrigeren Schalldruckpegeln als bei b- oder f-Hörnern auftritt, ist der in der Psychoakustik bekannte Effekt, daß tiefere Frequenzen höhere verdecken, durch die Schalldruck-Relationen zwischen der Horngruppe und den in höheren Frequenzbereichen agierenden Violinen stark abgeschwächt bzw. nicht merkbar.

ABBILDUNGEN

- 2.1 a) Wiener Horn (Uhlmann), b) Wiener Horn (Produktivgenossenschaft "Kaiserstraße"), c) Doppelhorn(Paxman),
d) Tripelhorn (Paxman)
- 2.1.1 Naturtonreihe
- 2.1.2 Schematische Darstellung der Röhrensysteme eines Wiener Horns und eines Doppelhorns (F/b)
- 2.1.3 Schematische Darstellung des Röhrensystems eines Tripelhorns
- 2.2.1 Mensurabschnitte eines Hornes
- 2.2.2 Schalltrichterformen nach Pyle
- 2.2.3 Gemessene Schalltrichterformen
- 2.3.1 Ventilarten (Dreh-, Pumpenventil)
- 2.3.2 Gestänge
- 2.3.3 Kraftaufwand für Ventilbetätigung

- 3.2.1 Meßaufbau Eingangsimpedanzmessung
- 3.2.2 Foto: Meßeinrichtung
- 3.2.3 Foto: Impedanzmeßkopf
- 3.3.1.1 Resonanz(Impedanz)kurven a) Wiener Horn, b) b-Horn, c) f-Horn
- 3.3.2.1 Zeitfunktion Einschwingvorganges: a) Wiener Horn, b) b-Horn, c) f-Horn, d) Anregung
- 3.3.2.2 Umhüllende der Zeitfunktionen von 3.3.2.1
- 3.3.4.1 Resonanzkurvenvergleich (7 Wiener Hörner, 7 Doppelhörner)
- 3.3.5.1 Ventilfunktion, offene Pfade in Mittelstellung
- 3.3.5.2 Resonanz während der Bindung c2 - c2
- 3.3.5.3 Resonanzlagenverteilung bei Ventilmittenstellung a) Pumpenventil, b) Drehventil
- 3.3.5.4 Resonanzänderungen bei Halbtonbindungen (2.Ventil)
- 3.3.5.5 Schalldruckverlauf bei Halbtonbindung im Mundstück

- 4.1.1.1 Lochsirene
- 4.1.1.2 Schematische Darstellung des künstlichen Bläzers
- 4.1.1.3 Foto: künstliche Hand
- 4.1.1.4 Einfluß der Hand auf die Resonanzkurve
- 4.1.1.5 Foto: elektronische Steuerung des künstlichen Bläzers
- 4.1.1.6 Foto: mechanischer Teil des künstlichen Bläzers
- 4.1.2.1 Signalfluß bei Aufnahmen im schalltoten Raum
- 4.1.3.1 Bandbreite und angezeigter Wert bei FFT-Spektren
- 4.1.3.2 Darstellungsarten: 3D-normal, 3D-Bark, Spektrogramm
- 4.1.4.1 Regelkreise beim Blechblasinstrumentenspiel
- 4.1.4.2 Notenbild der Teststücke

- 4.2.1.1/1 Hornspektren: tiefes Register
- 4.2.1.1/2 Hornspektren: c, g, c1 (10-fach Zoom)
- 4.2.1.1/3 Hornspektren: mittleres Register
- 4.2.1.1/4 Hornspektren: hohes Register
- 4.2.1.2/1 Spektren piano/fortissimo c: Wiener, b-, f-Horn
- 4.2.1.2/2 Spektren piano/fortissimo g1: Wiener, b-, f-Horn
- 4.2.1.2/3 Spektren piano/fortissimo g2: Wiener, b-, f-Horn

- 4.2.3.1 Spektrum: künstlicher Bläser
- 4.2.3.2 Vergleich Spektren mit künstlicher Anregung: Wiener Horn, Tripelhorn (F,b,f)
- 4.2.4.1 Vergleich Teiltongehalt: Wiener Horn - Doppelhorn
- 4.2.4.2 Vergleich: lineare - exponentielle Regression
- 4.2.4.3 k-Faktor Wiener Hörner - Doppelhörner
- 4.2.4.4 3D-Plot eines Crescendos
- 4.2.5.1 Dynamikunterschied: piano/fortissimo (Wr.-,F-,b-,f-Horn)
- 4.2.5.2 Teiltonentwicklung bei Crescendo (Material von 4.2.5.1)

- 4.3.2.1 Lippenbindung g2 - c2 Wiener Horn
- 4.3.2.2 Lippenbindung g2 - c2 Doppelhorn
- 4.3.2.3 Ventilbindung b1 - a1 Wiener Horn
- 4.3.2.4 Ventilbindung b1 - a1 Doppelhorn
- 4.3.2.5 Ventilbindung b1 - es2 Wiener Horn
- 4.3.2.6 Ventilbindung b1 - es2 Doppelhorn

- 4.4.1 Partiturstellen der Spektren Mahler 5
- 4.4.2 Position der Horngruppe am Podium
- 4.4.3 Spektren Beispiel A
- 4.4.4 Spektren Beispiel B
- 4.4.5 Spektren Beispiel C
- 4.4.6 Spektren Beispiel D
- 4.4.7 Spektren Beispiel E

- 4.5.1 Teiltongehalt/Klangfarbe c2: 6 verschiedene Musiker
- 4.5.2 Maskierung der Klangfarbe durch den Menschen
- 4.5.3 Oktavbindung Wiener Horn
- 4.5.4 Oktavbindung Doppelhorn
- 4.5.5 Oktavbindung Doppelhorn
- 4.5.6 Ventilbindung (Maskierung durch den Musiker)
- 4.5.7 Sechzehntel-Lauf aus dem ersten Satz des Strauss-Konzertes: Tripelhorn - Wiener Horn - Doppelhorn - Wiener Horn - Doppelhorn - Wiener Horn

LITERATUR

1. Widholm, G.: Wiener Klangstil - was ist das? In: Hochschulblätter Nr. 2 (1985). Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien, S. 2 - 8.
2. Untersuchung der Wirtschaftsuniversität Wien. Zitiert nach: Kurier vom 3.1.1984.
3. Hadamovsky, H.: Die Klang- und Musiziertradition der Wiener Bläserschule. Eigenverlag, Wien 1973.
4. Meyer, J.: Akustische Untersuchungen über den Klang des Hornes. In: Das Musikinstrument 16 (1967) S. 32ff, s. 199ff.
5. Nödl, K.: Metallblasinstrumentenbau, Fachbuchreihe Bd. 23. Verlag Das Musikinstrument, Frankfurt am Main.
6. Heyde, H.: Trompeten, Tuben, Posaunen. VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1980.
7. Heyde, H.: Hörner und Zinken. VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1983.
8. Jungwirth, A.: Persönliche Mitteilung. 1986.
9. Benade, A. H.: The Physics of Brasses. In: Scientific American Vol. 229 (1973), S. 24 - 35.
10. Wogram, K.: Einfluß von Material und Oberfläche auf den Klang von Blechblasinstrumenten. In: Instrumentenbauzeitschrift Nr. 5 (1976), S. 414 - 418.
11. Pyle, R.: Effective Length of Horns. In: JASA Vol. 5 (1975), No. 6, Part 1, S. 1309 - 1317.
12. Leloir, E.: Horn Call Newsletter No. 4 (June 1985), International Horn Society.
13. Wogram, K.: Einfluß von Material und Oberfläche auf den Klang von Blechblasinstrumenten. In: Instrumentenbauzeitschrift Nr. 5 (1976), S. 414 - 418.
14. Aebi, W.: Das Waldhorn und seine innere Akustik. In: Schweizerische Bauzeitung Vol. 87 (1969), Heft 38.
15. Wogram, K.: Ein Beitrag zur Ermittlung der Stimmung von Blechblasinstrumenten. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972.
16. Pratt, R.: The Assessment of Brass Instrument Quality. Dissertation, University of Surrey, 1978.
17. Pratt, R., Bowsher, J.: The Measurement of the Acoustic Impedance of Brass Instruments. In: Acustica Vol 38 (1977), No. 4, S. 236 - 246.
18. Elliott, S.: Acoustics of Brass Wind Instruments. Dissertation, University of Surrey, 1980.
19. Pichler, H., Dum, H., Widholm, G.: Mikroprozessorgesteuertes Meßsystem für den Test von Blechblasinstrumenten. In: Bericht 14. Tonmeistertagung, München 1986.
20. Reallexikon der Akustik, Stichwort Klangfarbe. Verlag E. Bochinsky, Frankfurt am Main, 1982.
21. Widholm, G.: Meßmethoden zur objektiven Beurteilung der Qualität von Blechblasinstrumenten. In: Alta Musica Bd. 8 (1983), S. 129 - 147.
22. Wogram, K.: Ein Beitrag zur Ermittlung der Stimmung von Blechblasinstrumenten. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972.
23. Martin, D.: Lip Vibrations in a Cornet Mouthpiece. In: JASA Vol. 17 (1942), S. 305 - 308.

24. Brüel & Kjaer: Handbuch 2033, 1981.
25. Helmholtz, H. v.: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig, 1863.
26. Schumann, E.: Physik der Klangfarben. Habilitationsschrift, Universität Berlin, 1929.
27. Mertens, H.: Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Sprache und Musik. Verlag E. Bochinsky, Frankfurt am Main, 1975.
28. Winckel, F.: Klangwelt unter der Lupe. Max Hesses Verlag, Berlin, 1952.
29. Rösing, H.: Probleme und neue Wege der Analyse von Instrumenten- und Orchesterklängen. Dissertation, Universität Wien, 1969.
30. Stauder, W.: MGG, Stichwort Horninstrumente. Kassel, 1949/1968.
31. Deutsch, W.: Musik und Computer. In: Musikpsychologie, ein Handbuch in Schlüsselbegriffen, Hrsg.: Bruhn/Oerter/Rösing, Verlag Urban und Schwarzenberg, 1985, und persönliche Mitteilung, 1986.
32. Merewether, R.: Einige Bemerkungen zum Horndesign. In: Horncall XVI,2 (1986).
33. Roger Delmotte, ein Portrait. In: Brass Bulletin Vol. 59 (1987), S. 48 - 55. (R. Delmotte war 35 Jahre lang Solotrompeter der Pariser Oper)
34. Bruhn, H.: Psychomotorik. In: Musikpsychologie, ein Handbuch in Schlüsselbegriffen, Hrsg.: Bruhn/Oerter/Rösig, Verlag Urban und Schwarzenberg, 1985.
35. Schmidt, R.: Motorische Systeme. In Grundriß der Neurophysiologie, Springer, Heidelberg, 1979.
36. LaBerg, D.: Perceptual and Motor Schemes in the Performance of Musical Pitch. In: Documentary Report of the Ann Arbor Symposium, Reston, Educators National Conference 1981.
37. Schmidt, R.: Motor Control and Learning. A Behavioral Emphasis. Human Kinetics publishers, Illinois, 1982.
38. Shaffer, L.: Intention and Performance. In: Psychological Review 83 (1976), S. 375 - 393.
39. Shaffer, L.: Performances of Chopin, Bach and Bartok: Studies in Motor Programming. In: Cognitive Psychology 13 (1981), S. 326 - 376.
40. Shaffer, L.: Rhythm and Timing Skill. In: Psychological Review 89 (1982), S. 109 - 122.
41. Haider, M., Groll-Knapp: Psychophysiologische Untersuchungen über die Belastung des Musikers in einem Symphonieorchester. In: Piperek, M.: Streß und Kunst. Braumüller, Wien, 1971.
42. Hartmann, K.: Das Lampensieber des Musikers - Möglichkeiten der Selbsthilfe und Profilaxe. Z. für Musikpädagogik 8 (1983), S. 21.
43. Hamann, D.: An Assessment of Anxiety in Instrumental and Vocal Performances. In: J. of Research in Musical Education 30 (1982), S. 77 - 90.
44. Bruhn, H.: Sinfonieorchester. In: Musikpsychologie, ein Handbuch in Schlüsselbegriffen. Hrsg.: Bruhn/Oerter/Rösing, Urban und Schwarzenberg, 1985, S. 417 - 423.
45. Faulkner, R.: Orchestra Interaction: Some Features of Communication and Authority in an Artistic Organisation. In: Sociological Quarterly 14 (1973), S. 147 - 157.

GREGOR WIDHOLM und GERALD SONNECK

WIENER HORN versus DOPPELHORN

Mag. GREGOR WIDHOLM

Institut für Wiener Klangstil, Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien

Musikstudium (Konzertfach Horn) an der Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien und Studium der Nachrichtentechnik an der Technischen Universität Wien. Seit 1971 Mitglied des Orchesters der Wiener Volksoper. 1980 Ausbau des Institutes für Wiener Klangstil für Forschungsaufgaben auf dem Gebiet der Musikanstrumentenakustik und der Analyse musikalischer Klänge im Auftrag der Musikhochschule Wien. Führte erstmals in Österreich physikalische Meßmethoden zur Beurteilung von Musikanstrumenten und deren Klänge ein. Arbeitet derzeit an einem Konzept zur digitalen Untersuchung und Software-Simulation der Interaktion von Musiker und Instrument.

Dipl.-Ing. GERALD SONNECK

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf

Institut für Wiener Klangstil, Hochschule für Musik und darstellende Kunst in Wien

Studierte Technische Physik an der Technischen Universität Wien und Violoncello am Konservatorium der Stadt Wien. Substitut beim ORF-Symphonieorchester und im Orchester der Wiener Volksoper. Mitglied des Ensemble Musica Antiqua, Wien. Seit 1973 Mitarbeiter des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf. Seit 1984 Lehrbeauftragter am Institut für Wiener Klangstil. Derzeit stellvertretender Leiter des Institutes für Energie- und Anlagentechnik des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf.

