

Georg Heike und Heinrich Dünwald

Neuere Klanguntersuchungen an Geigen und ihre Beziehung zum Gesang

Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen Übertragungsfunktion und qualitativen Klangeigenschaften von Violinen ist unter dem Gesichtspunkt der ästhetischen Übereinstimmung mit dem Klangideal des Belcanto einer neuen Betrachtung unterzogen worden. Es zeigte sich, daß das phonetische Formantkonzept sich nach einer entsprechenden Adaptation auch auf die Interpretation von Frequenzmeßkurven übertragen läßt. Insbesondere scheint dem *Sängerformanten* sowohl im Frequenzbereich als auch in der klanglichen Funktion bei Violinen ein spektrales Energiemaximum zu entsprechen, das für die subjektiven Attribute der Brillianz und Tragfähigkeit verantwortlich gemacht werden kann.

Meßmethoden und akustische Qualitätsmerkmale

Für physikalische Messungen der Übertragungsfunktion von Streichinstrumenten liegen unterschiedliche Verfahren vor. Ein Vergleich von Systemen, die eine elektromechanische Anregung des Steges vornehmen, wird von JANSSON et al. (1986, S. 12) beschrieben. Das vergleichsweise vorteilhafte System von DÜNNWALD (1982, 1984) ist inzwischen zur Messung von über 1000 Violinen unterschiedlicher Herkunft unter denselben Bedingungen verwendet worden. Die Meßdaten liegen in digitalisierter Form vor und stellen die Grundlage dar für Interpretationen des Zusammenhanges zwischen akustischen Merkmalen und qualitativen Bewertungen. Abb. 1a, b zeigt zwei Frequenzkurven, die als typisch für qualitativ extrem gegensätzliche Instrumente gelten können.

Abb. 1a) Frequenzkurve einer P. Guarnerius von 1742

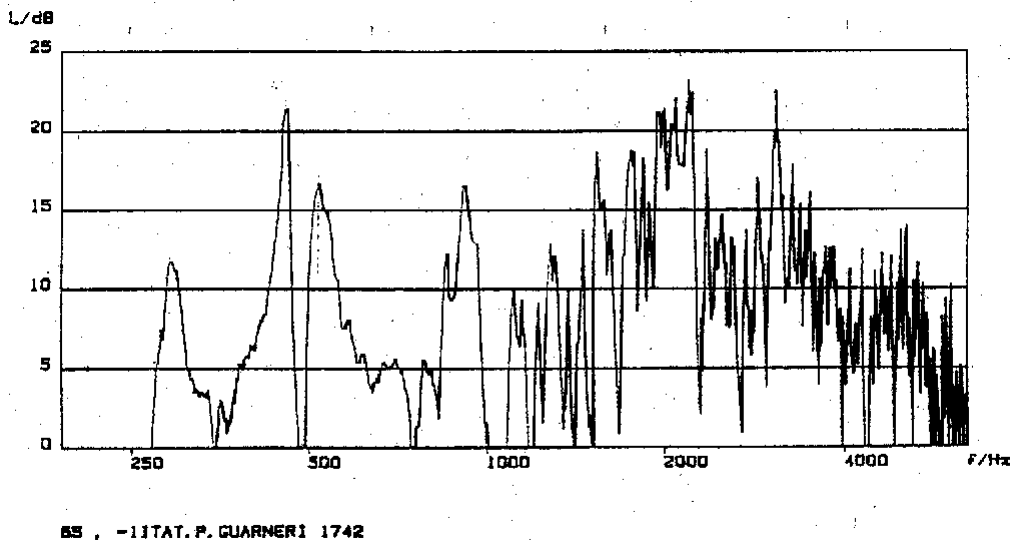
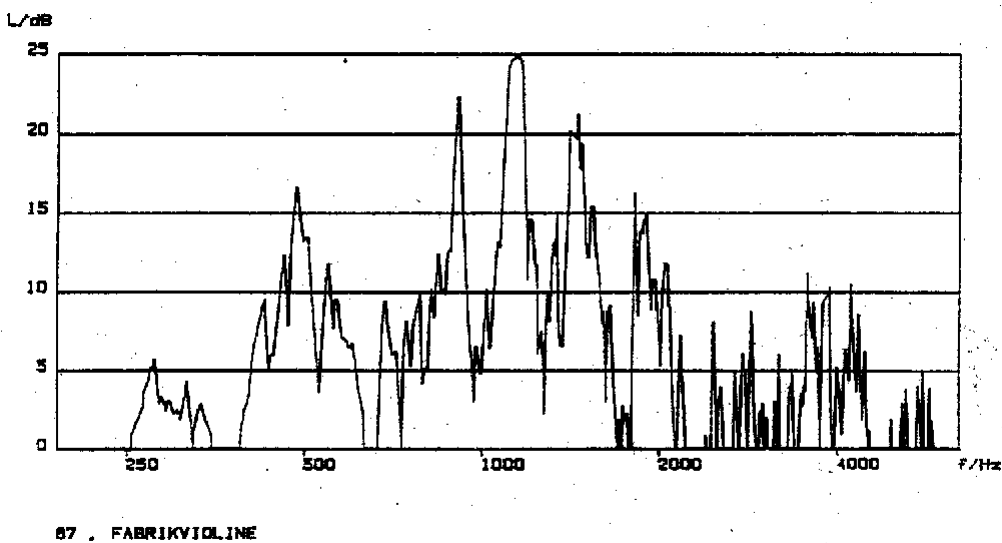


Abb. 1b) Frequenzkurve einer Fabrikvioline



In DÜNNWALD (1984 und 1985) werden Qualitätsmerkmale beschrieben, die gut klingende altitalienische und neue Instrumente von den übrigen zu unterscheiden gestatten. Dieses Merkmalsystem ist in DÜNNWALD (1990) weiterentwickelt worden.

Die wichtigsten Kriterien können etwa folgendermaßen charakterisiert werden:

- (1) relativ hohe Energie im Frequenzbereich unterhalb ca. 700 Hz korreliert mit Sonorität und gegebenenfalls mit "dunkler Klangfarbe";
- (2) zu hohe Energie im Bereich von ca. 700 bis 1600 Hz ergibt unangenehme Klangmerkmale ("topfig", "nasal" etc.);
- (3) hohe Energieanteile im Bereich von ca. 1600 bis 4000 Hz korrelieren mit Brillanz und Tragfähigkeit;
- (4) relativ hohe Energie oberhalb ca. 4000 Hz bewirkt unangenehme Eigenschaften der "Schärfe", "Rauhigkeit" u. ä..

Das italienische Klangideal

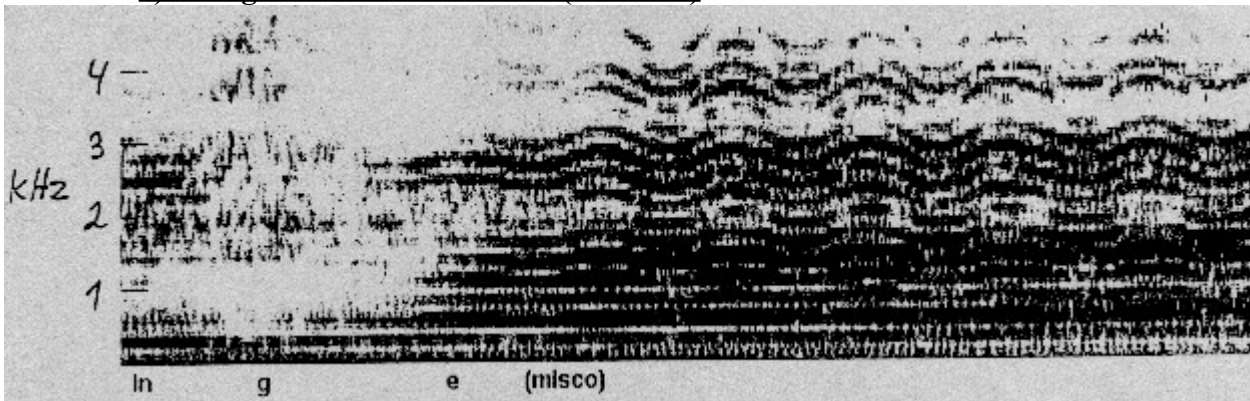
Wir gehen von der naheliegenden Annahme aus, daß zwischen dem mitteleuropäischen Klangideal von Streichinstrumenten und dem des Belcanto eine enge historisch bedingte Beziehung besteht. Die Entwicklung der Familie der Violinen im 16. Jh. und ihre Verfeinerung bis ins 18. Jh. hinein in Norditalien verläuft nicht nur in zeitlicher, sondern offensichtlich auch in klanglicher Hinsicht parallel zur Entstehung der neuen Singweise (Belcanto). Geänderte kompositorische und aufführungstechnische Voraussetzungen (größere Räume) erforderten tragfähige, brillante Klänge sowie eine leistungsfähigere Gesangs- und Spieltechnik. Die allmähliche Ausprägung der Größenverhältnisse von Diskantviolin, Bratschen, Celli und Contrabässen erfolgte nicht nur in Stimmung und Tonumfang, sondern sicherlich auch im Timbre nach dem Vorbild der Singstimme (u. a. OSSE 1992, S. 30). Gesanglichkeit und Modulationsfähigkeit der Klangfarbe sind Eigenschaften der Streichinstrumente, auf die in bewußter Analogie zur Singstimme Wert gelegt wird. Noch im 19. Jh. wurde die E-Saite "allgemein chanterelle (>Sangsaite<) genannt" (Der Musikbrockhaus 1982, S. 638). Von Interesse sind in diesem Zusammenhang Vergleiche, die Violinisten zwischen Geigenspiel und Gesang gebrauchen. Nach OSSE (1992, S. 97) beschreibt der bekannte Geiger Rugiero Ricci die Eigenschaften einer Guarneri folgendermaßen: "Man kann mit dem Bogen stoßen und schluchzen oder ihn abbrechen, wie es die italienischen Tenöre tun ..." (unsere Hervorhebung).

Diese Aussage bezieht sich augenscheinlich in erster Linie auf Ähnlichkeiten im Zeitverlauf von Dynamik und Intonation. Untersucht man den Gesangsstil eines italienischen Tenors etwas genauer (hier exemplarisch Pavarotti), so stellt man zusätzlich und letztlich als besonders charakteristisches Merkmal die Modulationsfähigkeit der Klangfarbe fest, auch unabhängig von der jeweils durch den Vokal bzw. den Vokalwechsel vorgegebenen Farbe. Abb. 2a, b zeigt als Ausschnitt das offene *e* in 'ingemisco', gesungen von Luciano Pavarotti (CD 444957-2. BOUQUET: Mr. Big P., Luciano Pavarotti live. Nr. 9, aus *Requiem* von G. Donizetti). Dem auditiven Eindruck der Klangfarbenänderung entsprechen vor allem zwei Feststellungen: Zum einen sind deutliche Frequenzschwankungen der Obertöne aufgrund des Vibratos mit starken Intensitätsschwankungen verknüpft, zum anderen baut sich die Obertonstruktur des Vokals erst allmählich auf. In Abb. 2b

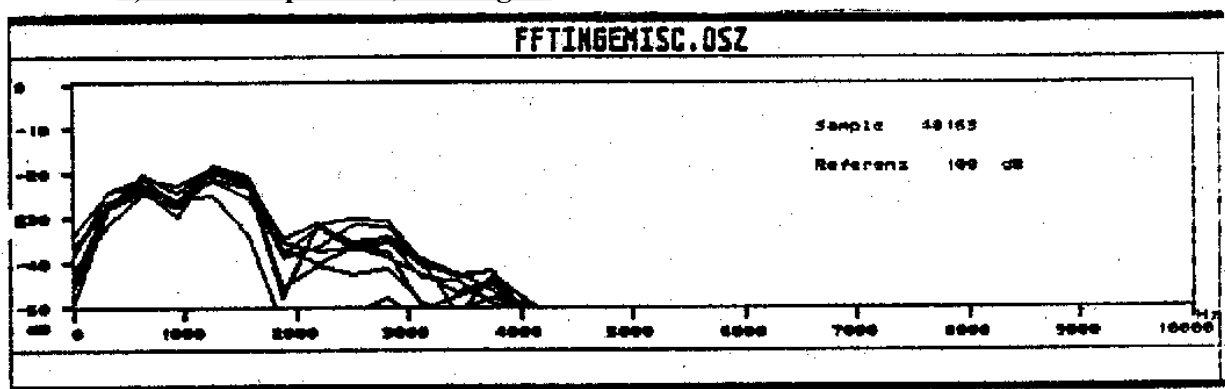
zeigen die überlagerten Kurzzeitspektren, etwa je ein FFT-Spektrum (128 Punkte bei 20 kHz Abtastrate) pro Vibrationszyklus, daß die ersten beiden den Vokal charakterisierenden Formanten wesentlich geringere Intensitätsschwankungen aufweisen als die Formanten im Bereich zwischen 2000 und 4000 Hz. Mit zunehmender Schallenergie (Anschwellen des Tons) nimmt die Energie der hohen Formanten überproportional zu und korreliert damit offensichtlich mit dem Eindruck der Zunahme an Brillanz und Tragfähigkeit.

Abb. 2: Ausschnitt aus "ingemisco ...", gesungen von L. Pavarotti

a) Sonagramm des Vokals "e" (offenes e)



b) Kurzzeitspektren, überlagert



In einer Betrachtung der Verwandtschaft von Streichinstrumenten und Singstimmen macht ASKENFELT (1991) vor allem folgende wichtige Feststellungen: Sowohl Sänger als auch Streicher haben die Möglichkeit, durch entsprechende Kontrolle der Stimmbandspannung bzw. der Streichparameter (Druck, Geschwindigkeit, Strichstelle zwischen Griffbrett und Steg) die Intensität der hohen Obertöne anzuheben bzw. abzuschwächen (in seiner Terminologie "pressed" gegenüber "flow"). Diese veränderliche Anreicherung bzw. Verringerung des Obertongehalts ist in der musikalischen Praxis ein wichtiges Ausdrucksmittel. Eine weitere wichtige Gemeinsamkeit unter dem Aspekt der Klangfarbenbestimmung ist in der Tatsache begründet, daß im Gegensatz zu den Blasinstrumenten bei Streichinstrumenten wie beim Gesang nur eine geringe, in diesem

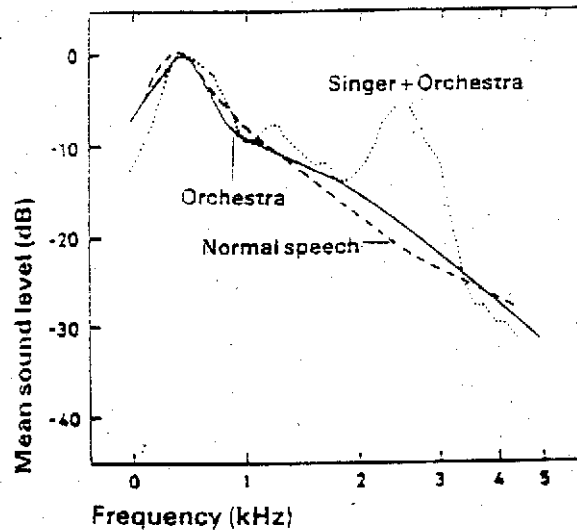
Zusammenhang zu vernachlässigende Kopplung zwischen primärer Tonerzeugung und Resonator bzw. Korpus besteht. Die beträchtlichen Grundfrequenzänderungen beim Vibrato bewirken bis zu einem gewissen Grade auch eine Klangfarbenmodulation: Aufgrund der spektralen Feinstruktur der Frequenzkurven von Violinen, die durch sehr schmale Resonanzen gekennzeichnet sind, resultiert aus den kontinuierlichen Frequenzänderungen beim Vibrato eine wechselnde Obertonauswahl (bzw. Amplitudenschwankung der Obertöne); beim Gesang erfüllen diese Schwankungen die Funktion, im Falle von weitabstündigen Obertönen eine Abtastung und damit Abbildung der Vokalformanten zu ermöglichen.

Erwähnenswert schein mir in diesem Kontext die Beobachtung, daß offensichtlich ein *universaler* kultureller Zusammenhang zwischen Streichinstrumentenklang und Gesangsstil besteht. Man denke z. B. an den Klang von Streichinstrumenten im orientalischen Kulturkreis. Für unsere Ohren scheint eine große subjektive Ähnlichkeit zum orientalischen Gesang zu bestehen. Die notwendigen Untersuchungen zur Bestätigung einer Hypothese über einen solchen Zusammenhang stehen allerdings noch aus.

Der Sängerformant

Bei ausgebildeten Singstimmen wurde in der einschlägigen Forschung mehrfach der sog. Sängerformant (BARTHOLOMEW 1934) beschrieben. Er soll im Bereich von ca. 2800 Hz liegen. Nach SUNDBERG (1987) handelt es sich dabei nicht eigentlich um einen speziellen Formanten, sondern um das Resultat einer Zusammenfassung von Oberformanten (3. bis 5. Vokalformant) zu einem Energiebereich, der u. a. durch gesangstechnische Verstärkung der höheren Harmonischen (s. oben "pressed") und vermutlich durch Kehlkopfsenkung zustande kommt. Im Falle der i-Vokale kann auch der 2. Formant in den Bereich des Sängerformanten fallen. Nach SCHULTZ-COULON (1979) sorgt ein ausgeprägter Sängerformant für die Tragfähigkeit der Stimme. Abb. 3 (nach Sundberg 1987) demonstriert diesen Sachverhalt: Das Durchschnittsspektrum eines Tenors besitzt im Bereich um 2800 Hz ein Energiemaximum, das aus dem Durchschnittsspektrum des Orchesters herausragt. In Abb. 2a, b kann der Sängerformant mit dem 3. und 4. Formanten (2-3 kHz) identifiziert werden. Interessant ist im Hinblick auf eine mögliche Übertragung auf Streicherklänge, daß im Falle hoher Frauenstimmen das Durchsetzungsvermögen ausgebildeter Stimmen aufgrund der hohen Stimmtonlage nicht mehr nach dem Konzept eines hohen Sängerformanten erklärt werden kann, sondern aus der kompensatorischen Artikulation, mit deren Hilfe die Sängerin versucht, die Frequenz des 1. Formanten mit der Grundtonfrequenz zur Deckung zu bringen. Dies ermöglicht eine hohe Energieabstrahlung des Grundtons. Der Sopranstimmlage entspricht auf der Violine in etwa der Spielbereich der A- und E-Saite. Erfahrungsgemäß sind Qualitätsunterschiede zwischen Violinen insbesondere auf der E-Saite nur minimal oder (bei optimaler Einrichtung des Stags) verschwindend gering ausgeprägt. Die Erklärung dieses Sachverhalts liegt auf der Hand: Die Obertöne liegen infolge der hohen Grundfrequenz so weit auseinander, daß sie keine charakteristische Frequenzkurve abbilden können.

Abb. 3: Langzeitspektren von a) Orchesterklang (ausgezogene Kurve); b) Gesangssolist (punktierte Kurve, c) gesprochener Sprache (gestrichelte Kurve). Aus SUNDBERG (1987, S. 123).



Sängerformant und Frequenzkurven von Violinen

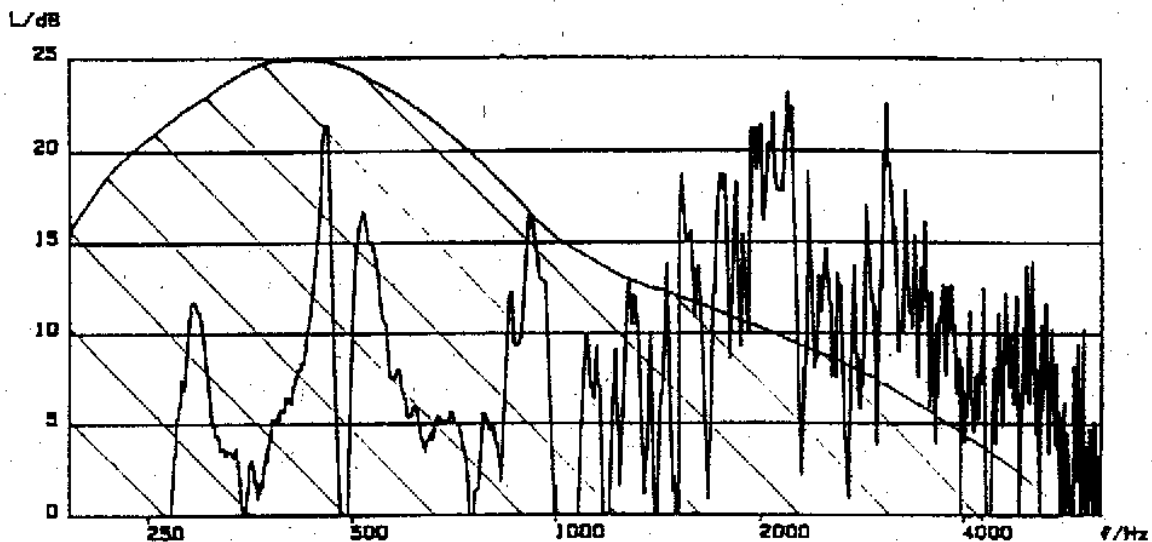
MEYER (1982, S. 11) erwähnt eine von F. Winckel persönlich mitgeteilte, auf von Karajan zurückgehende Anregung, neue Violinen so zu bauen, daß eine besonders gute Tragfähigkeit in großen Räumen durch Intensitätsmaxima im Bereich des Sängerformanten gewährleistet wird.

DÜNNWALD (1984, S. 98) kommt aufgrund seiner Untersuchungen u. a. zu dem Schluß, daß offenbar *ein* Qualitätsmerkmal altitalienischer Geigen, nämlich typische Energiekonzentrationen im Bereich von ca. 1600 bis 4000 Hz, mit der Lage des Sängerformanten übereinstimmt. Die nähere Inspektion der Frequenzkurve von Abb. 1a (Guarneri 1742) ergibt, daß dieser Bereich noch einmal deutlich unterteilt ist, wobei das frequenzhöhere Maximum sich sehr genau mit dem Sängerformanten (ca. 2800 Hz) deckt.

In Experimenten zur Rolle der Stegresonanz haben JANSSON et al. (1986) festgestellt, daß die klanglich günstigste Resonanz bei ca. 2800 Hz liegt. Die Autoren geben auch bekannt, wie sich die Resonanz des Steges durch geringe Veränderungen seiner Form und Stärkeverhältnisse einstellen läßt. Nach den Untersuchungen von DÜNNWALD (1984, S. 47) trägt die Stegresonanz nur dann hörbar zum Klangergebnis bei, wenn sie mit einer Resonanzspitze der Frequenzkurve zusammenfällt, wenn also im Bereich um 2800 Hz bei einem Instrument ohnehin ausreichende Frequenzkomponenten vorliegen. Immerhin hat es der Geigenbauer offenbar in der Hand, durch

entsprechende Dimensionierung des Steges (und gleichzeitige auditive Kontrolle!) eine klangliche Optimierung vorzunehmen, falls Frequenzkomponenten des Korpus der Violine im Bereich des Sängerformanten vorhanden sind. Auf die weiter oben erwähnte Anregung von Karajans zurückkommend können wir nun eigentlich nur darauf verweisen, daß die Funktion des Sängerformanten, nämlich für eine tragfähige und durchsetzungsfähige Stimme zu sorgen, bei altitalienischen Solistengeigen offensichtlich durch ein ausgeprägtes Formantengebiet ebenfalls im Bereich von 2800 Hz erfüllt wird. Abb. 4 zeigt durch Superposition des Durchschnittsspektrums eines Orchesters mit der Frequenzkurve der Violine aus Abb. 1a (P. Guarneri 1742) in etwa denselben Sachverhalt wie Abb. 3 (zur Demonstration des Sängerformanten). Problematisch scheint mir allerdings bei solchen Vergleichen durch Superposition, auf welche Weise die absoluten Schalldruckpegel in Beziehung zueinander gesetzt werden können.

Abb. 4: Durchschnittsspektrum des Orchesters, überlagert mit der Frequenzkurve von Abb. 1a (P. Guarneri 1742). Nach Greiner 1992.



Zur Frage, ob und gegebenenfalls wie im Geigenbau präzise Klangeigenschaften bewußt erzielt werden können, bieten sich zumindest folgende Überlegungen mit einiger Plausibilität an: Bei über 1000 Frequenzkurven von unterschiedlichsten Violinen, die bisher nach dem DUNNWALDSchen Verfahren ermittelt wurden, sind altitalienische Instrumente - statistisch gesehen - in der Minderzahl (ca. 7 %), das Vorhandensein spektraler Merkmale, die mit der Funktion des Sängerformanten identifiziert werden können (ausgeprägter i-Formant) aber innerhalb dieser Gruppe überrepräsentiert im Vergleich zu den nichtitalienischen Violinen. Man kann also den Schluß ziehen, daß diese klangliche Eigenschaft, die Brillianz und Tragfähigkeit garantiert, von den altitalienischen Geigenbauern bewußt erzeugt werden konnte. Ob dies bei einigen neuen Instrumenten, die ebenfalls diese Eigenschaft aufweisen, auch angenommen werden kann, ist allerdings fraglich. Unter zeitgenössischen Geigenbauern ist nach unseren Erfahrungen typischerweise die Meinung vertreten, daß der Geigenbau in erster Linie eine handwerkliche,

nahezu skulpturale Kunst ist, bei welcher das Einhalten äußerer ästhetischer Kriterien, die sich an klassischen Vorbildern orientieren, entscheidend ist (z. B. bei Geigenbauwettbewerben). Daß dennoch gut klingende Instrumente gelingen können, ist auch durch den Zufall erklärbar, denn die notwendigen geigenbautechnischen Prinzipien eines hohen handwerklichen Standards schaffen selbstverständlich gute Voraussetzungen. Wäre eine bewußte Kontrolle der akustischen Eigenschaften der Instrumente im modernen Geigenbau vorhanden, dann müßten Instrumente mit ähnlichen Eigenschaften, wie sie bei der Gruppe der altitalienischen Instrumente gefunden wurden, statistisch gesehen viel häufiger repräsentiert sein.

Formantkurven von Violinen

Frequenzkurven von Violinen unterscheiden sich von denen gesungener Töne - abgesehen von der wechselnden, vom Vokal abhängigen Formantstruktur beim Singen - insbesondere dadurch, daß (a) keine ausgeprägte formantartige Gliederung vorliegt und (b) viele schmalbandige Resonanzspitzen für eine auf den ersten Blick sehr zerklüftete Übertragungsfunktion sorgen. Gespielte Töne benachbarter Grundfrequenz können deshalb beträchtlich unterschiedliche Spektren aufweisen, je nachdem, ob eine Harmonische der Saitenanregung mit einer Resonanzspitze zusammenfällt oder nicht. Man könnte also daraus folgern, daß diese Feinstruktur der Frequenzkurve für einzelne gespielte Töne ohne Relevanz ist. Eine Nivellierung der spektralen Frequenzstruktur läßt sich durch Glättung erzielen. Führt man eine solche Glättung mit unterschiedlich großen Integrationsintervallen durch, so ergeben sich bei den bisher in dieser Weise bewerteten Frequenzkurven der DÜNNWALDschen Datensammlung bei einer Glättung über dem Intervall einer Oktav Kurven, die große Ähnlichkeit mit 4- bis 5-formantigen Vokalspektren haben. Die dabei entstehenden formantartigen Frequenzgebiete entsprechen im wesentlichen den qualitätsrelevanten Frequenzbereichen von DÜNNWALD (s. oben).

Abb. 5: Frequenzkurve einer Amati-Violine mit überlagerter Glättungskurve

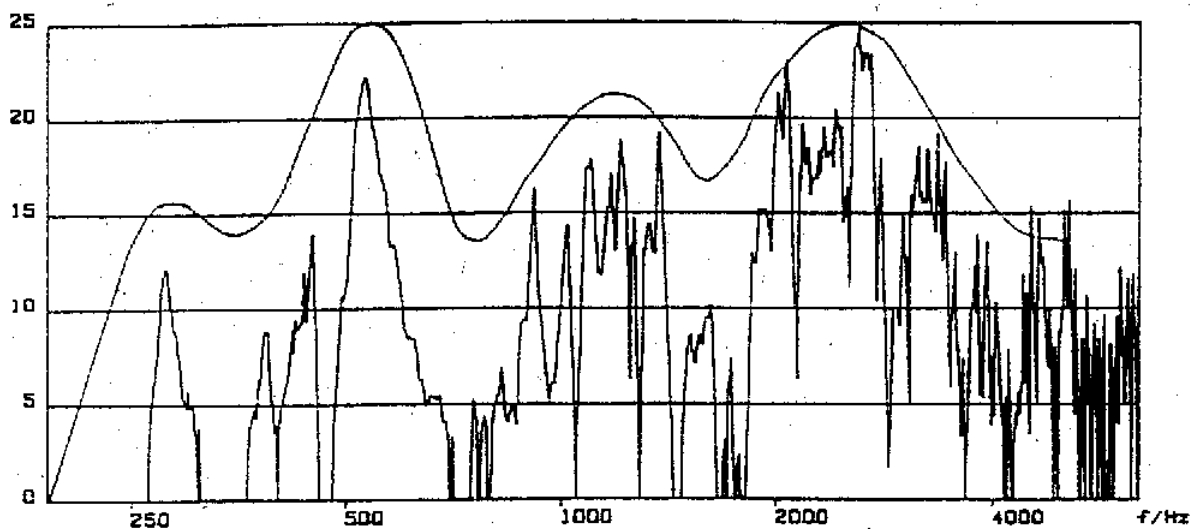
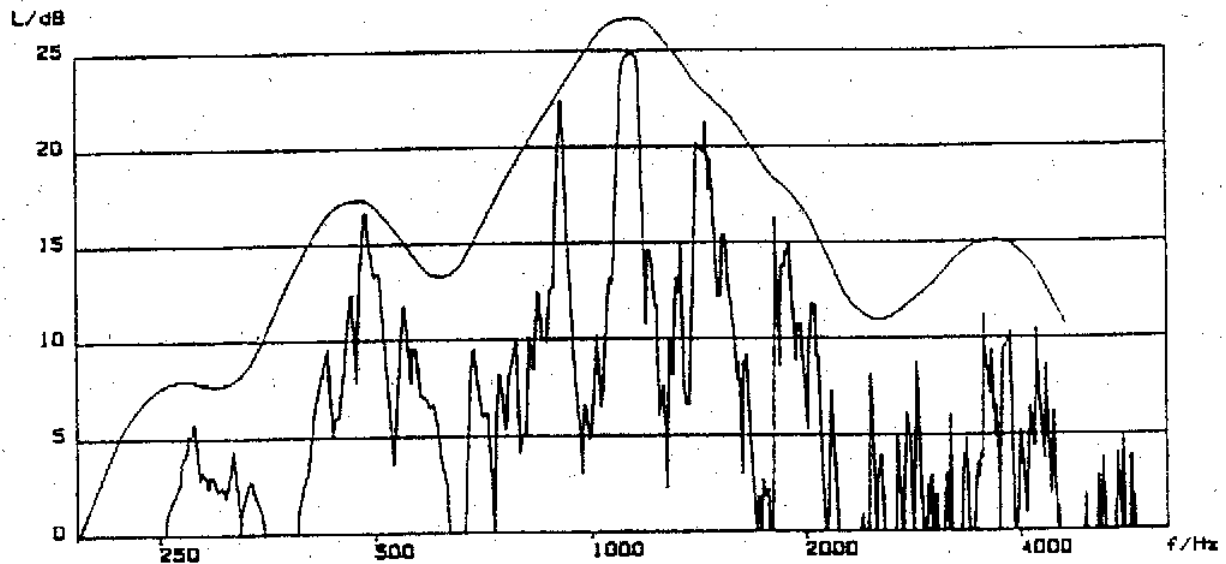


Abb. 5 zeigt die Frequenzkurve einer altitalienischen Amati-Violine mit überlagerter Glättungsfunktion. Man erkennt, daß die feinstrukturierte Frequenzkurve nach der Integration in 4 deutlich hervorgehobene und voneinander abgegrenzte Formantbereiche transformiert wird. Diese Bereiche lassen sich unter zwei Gesichtspunkten interpretieren, unter einem physikalischen und einem klangästhetischen (s. weiter oben): Der erste Bereich mit einer Mittenfrequenz von in der Regel ca. 275 Hz gibt die Helmholtzresonanz (den sog. Luftton) wieder; der zweite Bereich reflektiert die langsamen Auf- und Abbewegungen hauptsächlich der Decke als Ganzes und der "Deckenmitte mit Baßbalken etwa um eine Linie in der Nähe des Stimmstocks parallel zum F-Loch" (DÜNNWALD 1984, S. 29). Die relative Amplitude dieser beiden Bereiche zueinander und zu den höheren Resonanzbereichen korreliert mit subjektiven Klangeigenschaften wie etwa "voller Klang" und "dunkel" und bildet einen wichtigen Qualitätsparameter. Der dritte, den mittleren Frequenzbereich umfassende Gipfel der geglätteten Frequenzkurve hängt von einer großen Zahl von Plattenresonanzen unterschiedlicher und komplexer Ursache ab, definiert aber ein sehr wichtiges subjektives Klangkriterium: Weist dieser Bereich hohe Intensitäten auf, die im ungünstigsten Fall sogar die der anderen Formantbereiche überragen, so liegen mangelnde klangästhetische Attribute ("topfig", "hohl", "nasal") vor.

Eine besondere Bedeutung für den subjektiven klanglichen Eindruck, der mit den Attributen "Brillianz", "Tragfähigkeit", "Klarheit" (allg. "altitalienisches Timbre") verknüpft ist, hat der *vierte* Formantbereich (ca. 1500 bis 4000 Hz). Die Energie in diesem Bereich muß, um die zugesprochene subjektive Funktion zu erfüllen, beträchtlich sein (entweder gleich hoch oder höher als die übrigen Bereiche).

Ein Beispiel für eine klangästhetisch unbefriedigende Frequenzkurve gibt Abb. 6. Es handelt sich um eine topfig und flach klingende Fabrikvioline.

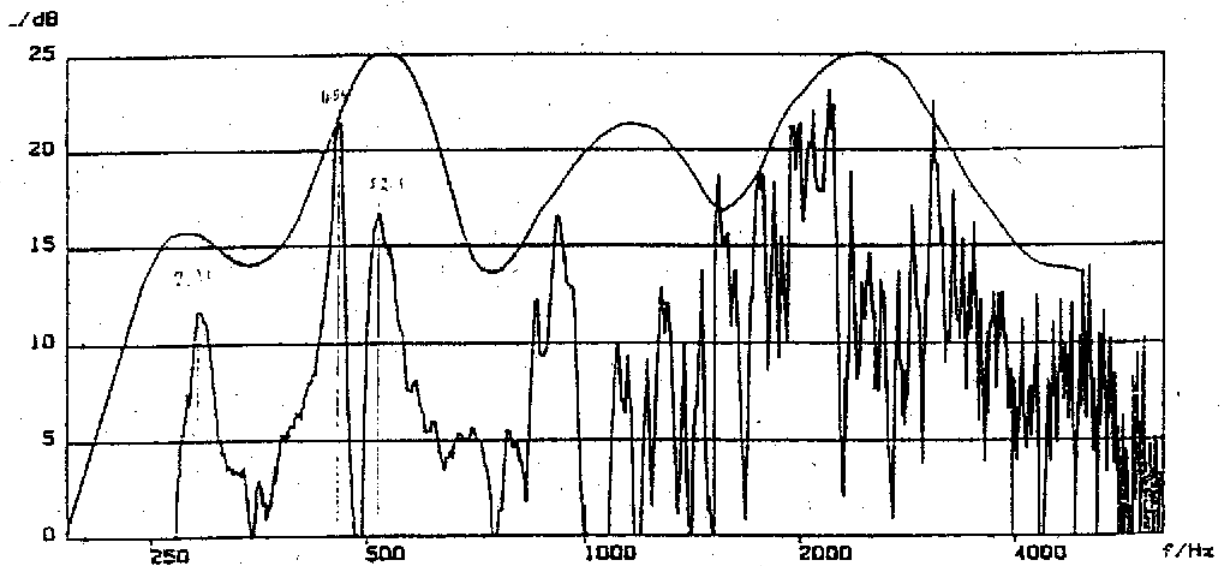
Abb. 6: Frequenzkurve einer Fabrikvioline mit überlagerter Glättungskurve



67 . FABRIKVIOLINE

Einer weitergehenden Untersuchung bedarf wohl die Frage, in welchem Ausmaß die absoluten Eigenschaften von Frequenzkurven, auch in der geglätteten Form, variieren können und welche Korrelationen daher mit Klangmerkmalen bestehen. Abb. 7 demonstriert durch Superposition der Glättungskurve von Abb. 5 (Amati) mit der Frequenzkurve von Abb. 1a (Guarneri), daß mit Verschiebungen der absoluten Frequenzlage der Maxima zu rechnen ist, die Intensitätsverhältnisse der Maxima und ihre ungefähre Lage jedoch im wesentlichen erhalten bleiben. Diese Aussage hat allerdings noch einen hypothetischen Charakter und müßte durch eine Vielzahl von Vergleichen überprüft werden.

Abb. 7: Frequenzkurve einer Guarnerius-Violine mit überlagerter Glättungskurve einer Amati (Abb. 5).



65 . -IIITAT. P. GUARNERI 1742

Untersucht werden müßte ebenfalls die Frage, welche Rolle die Feinstruktur der Frequenzkurve einer Violine dennoch für den auditiven Eindruck oder für den Interpreteten spielen könnte. *Eine* Hypothese besagt, daß die oben behandelte Glättungskurve für den kategoriellen Klangcharakter ("altitalienisch", "Strad", "topfig", etc.) verantwortlich ist, die spektrale Feinstruktur dagegen durch das Vibrato eine wenn auch nicht präzise beschreibbare, aber dennoch wahrnehmbare und ästhetisch nutzbare Klangfarbenmodulation ermöglicht (s. oben). Es ist zu vermuten, daß diese Klangfarbenmodulation die speziellen Eigenheiten des Instruments und seiner spieltechnischen Eigenschaften betrifft. Eine Möglichkeit der Klärung dieser Fragen bestünde in der Resynthese gespielter Töne. Ein auditiver Vergleich zwischen einer Klangsynthese aufgrund der Glättungsfunktion und einer Synthese nach der gemessenen Frequenzkurve könnte einen Beitrag zur Beantwortung liefern.

Literatur:**Askenfelt, A.**

1991: Voices and strings: Close cousins or not? In: *Music, Language, Speech and Brain, Proceedings of an International Symposium at the Wenner-Gren Center, Stockholm 1990*. Stockholm, 243-256.

Bartholomew, W. T.

1934 A physical Definition of 'good voice quality' in the male voice. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 6, 25-33.

BROCKHAUS

1982 Der Musik-Brockhaus. Wiesbaden, Mainz.

Dünnwald, H.

1982: Messung von Geigenfrequenzgängen. In: *Acustica* 51, 282.

1984: *Die Qualitätsbestimmung von Violinen mit Hilfe eines objektiven Verfahrens*. Diss. Aachen.

1985: Ein Verfahren zur objektiven Bestimmung der Klangqualität von Violinen. In: *Acustica* 58, 162-169.

1990: Ein erweitertes Verfahren zur objektiven Bestimmung der Klangqualität von Violinen. In: *Acustica* 71, 272.

Greiner, S. P.

1992: Objektive Klanganalyse von Violinen. Unveröffentl. Seminararbeit, Musikwissenschaftliches Institut der Universität zu Köln. Seminarleiter: Prof. Fricke.

Jansson, E., I. Bork, J. Meyer

1986 Investigation into the acoustical properties of the violin. In: *Acustica* 62, 1-15.

Jansson, E.V., L. Fryden, G. Mattson

1990 On tuning of the violin bridge. In: *Catgut Acoust. Soc. Journal* Vol 1, 11-15.

Meyer, J.

1982 Zum Klangphänomen der altitalienischen Geigen. In: *Acustica* 51, 1-11.

Osse, K.

1992 *Violine - Klangwerkzeug und Kunstgegenstand*. Leipzig 1985, 2. Aufl. 1992.

Schultz-Coulon, H.-J., R.-D. Battner, H. Riechert

1979 Der 3-kHz-Formant - ein Maß für die Tragfähigkeit der Stimme? I. Die untrainierte Normalstimme. II. Die trainierte Singstimme. In: *Folia Phoniatica* 31, 291-313.

Sundberg, J.

1987 *The Science of the Singing Voice*. Illinois.