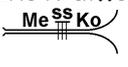
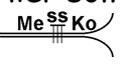


Ein verbessertes Verfahren für Doppelkorrekturen an Blechblasinstrumenten

Klaus Wogram, Vollbüttel

Einleitung:

Die Formgebung des Rohres von Blechblasinstrumenten, also ihre Mensur, d.h. das Verhältnis der Durchmesser zur Länge, bestimmt im wesentlichen die Lage der Resonanzfrequenzen des Instrumentes und damit seine Stimmung oder Intonation. Daraus ergibt sich, daß es die wichtigste Aufgabe des Instrumentenmachers ist, den Durchmesser Verlauf des Blechblasinstrumentes zu optimieren. Hierbei bedienen sich viele Instrumentenmacher des computergestützten Meß- und Korrekturprogrammes , mit dem nicht nur der akustische Zustand eines beliebigen Blechblasinstrumentes auf objektive Weise gemessen werden kann, sondern mit dem auch Mensuränderungen ermittelt werden können, die zu einer Verbesserung der Intonation und damit auch der Ansprache führen. Hier soll nun über eine neue Möglichkeit des überarbeiteten Programmes  berichtet werden, die das Finden von Korrekturvorschlägen beschleunigt und gleichzeitig die Anzahl von notwendigen Korrekturen verringert.

Funktionsprinzip für Intonationskorrekturen:

Das Prinzip der Mensurkorrekturen bei  beruht auf der Tatsache, daß sich eine Resonanz bei Blasinstrumenten in ihrer Amplitude sowie ihrer Frequenzlage verändert, wenn man an denjenigen Stellen, an denen die stehenden Schalldruckwellen einen Bauch (Maximum) oder einen Knoten (Minimum) aufweisen, den Durchmesser des Instrumentenrohres verändert. Vereinfacht ausgedrückt steigt die Resonanzfrequenz an, wenn das Rohr bei einem Schalldruckbauch eingeengt wird, oder wenn das Rohr an einem Druckknoten erweitert wird. Diese Zusammenhänge kann man gut bei der Berechnung der Intonation einer Trompete demonstrieren, wie sie in Abb.1 dargestellt ist.

In der oberen Bildhälfte ist der Radiusverlauf des Instrumentes sowie der Verlauf der stehenden Welle für die 4. Resonanz wiedergegeben. Das untere Teilbild gibt die errechnete Stimmungskurve für die ersten 12 Resonanzen der Trompete wieder. Erweitert man nun den Rohrverlauf an der Stelle bei 99 cm von der Stürze entfernt, wo die stehende Welle der 4. Resonanz einen Bauch aufweist, so erhält man die Zustände, wie sie in Abb. 2 wiedergegeben sind.

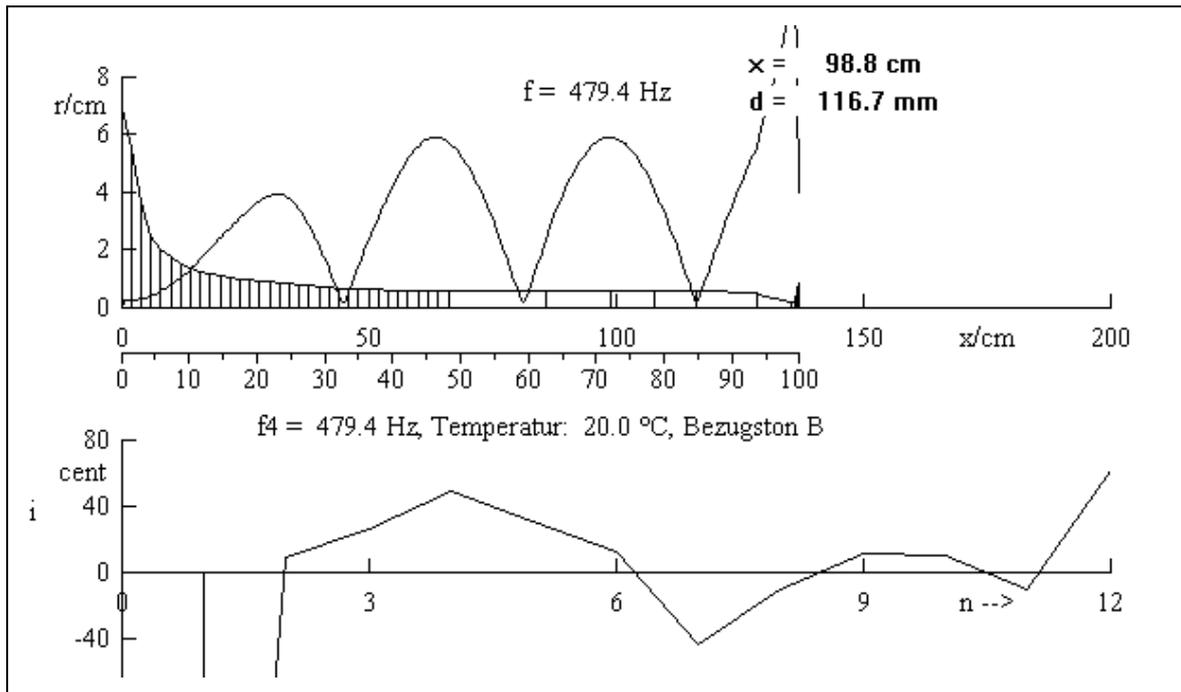


Abb. 1. Berechnung der Resonanzlage einer Trompete

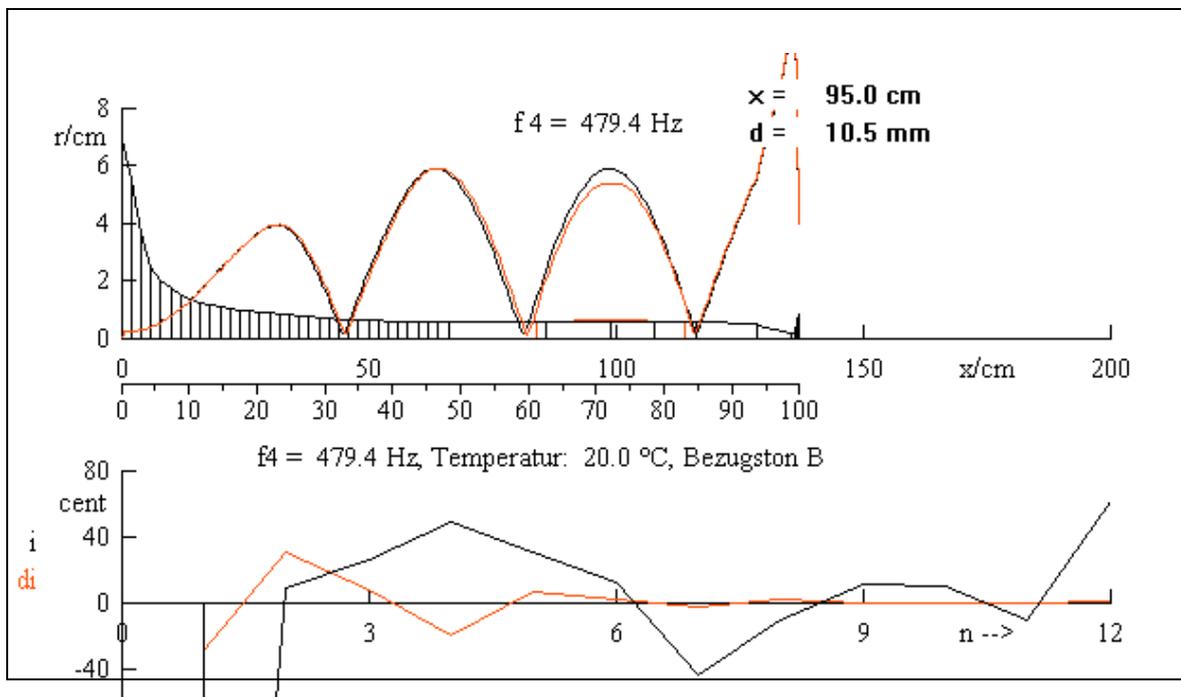


Abb. 2. Veränderung von stehender Welle und Stimmung der 4. Resonanz bei Erweiterung an der Stelle eines Druckbauches bei 99 cm

Die Ausgangsdaten sowie die Intonation sind in schwarz gezeichnet, die Änderungen in rot, wobei die rote Intonationskurve die Veränderung des Ausgangszustandes wiedergibt. Man erkennt, daß sich die Stimmung der 4. Resonanz deut-

lich erniedrigt hat, was im Sinne einer besseren Intonation liegt. Daß sich bei dieser Maßnahme auch andere Resonanzen in ihrer Intonation verändert haben, bedarf keiner gesonderten Erwähnung, denn auch die weiteren Resonanzen besitzen ja Bäuche und Knoten im Bereich der gewählten Mensuränderungen.

Funktionsprinzip von $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$:

Das besondere des Meß- und Korrekturprogrammes $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$ liegt darin, daß die stehenden Wellen der Resonanzen einer Vielzahl von Blechblasinstrumenten gespeichert sind, und sich daraus Korrekturvorschläge für die Praxis ableiten lassen. Sollte einmal das gespeicherte Modell nicht ausreichend gut mit dem untersuchten Instrument übereinstimmen, so lassen sich die Lagen der stehenden Wellen ohne Probleme meßtechnisch mit $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$ erfassen.

Betrachten wir zunächst die Anwendung des Korrekturteiles von $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$ für ein beliebiges Blechblasinstrument, das viele Intonationsfehler aufweist. In Abb. 3 sind die Daten für die Mustertrompete in $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$ eingetragen.

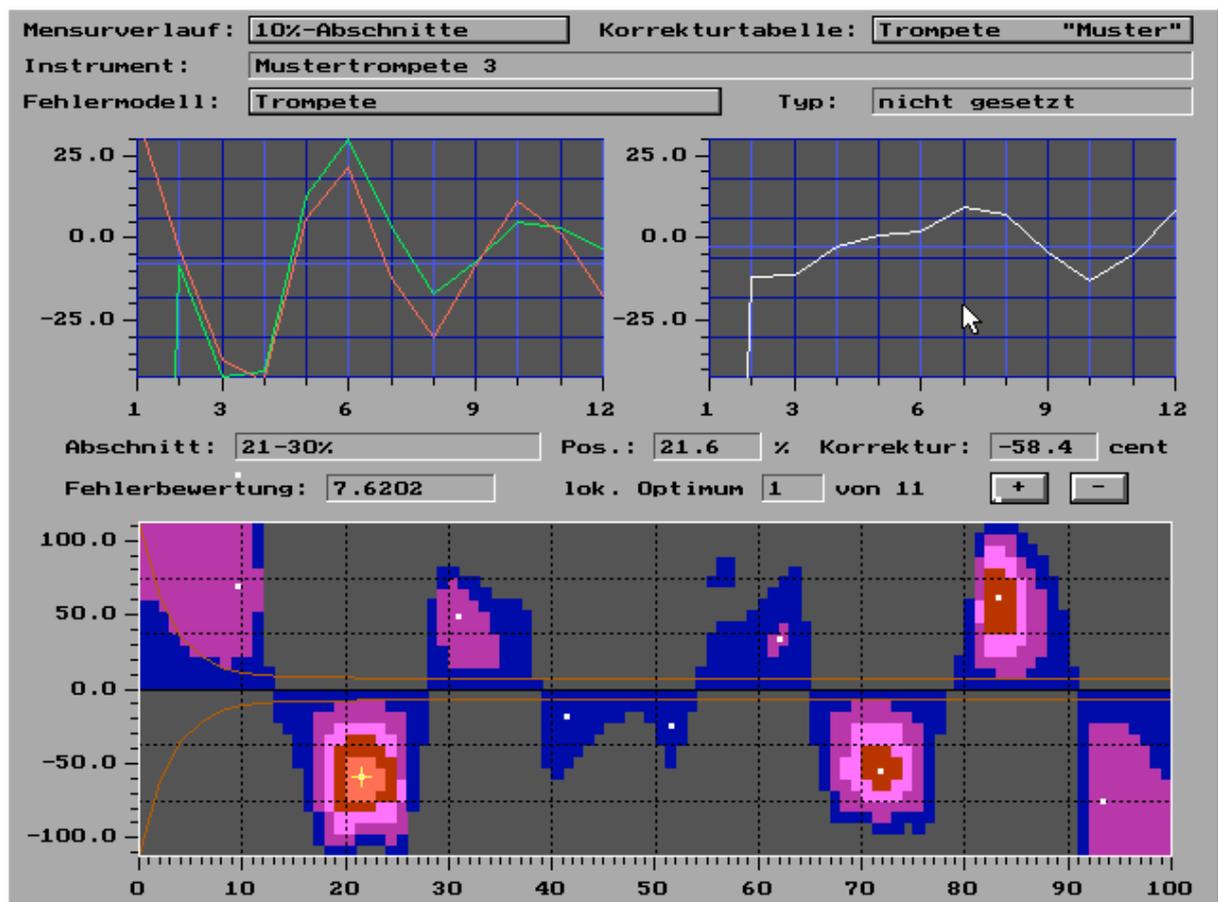


Abb. 3. Mensurkorrektur einer Mustertrompete mit $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$
Einstellung: Einzelkorrektur, automatische Bereichsfindung

Links oben ist die grüne Stimmungskurve des Instrumentes wiedergegeben sowie die rote (gespiegelte) günstigste Korrekturkurve, rechts oben die Intonation nach der Korrektur und unten ein Schnitt des geraden Instrumentes (links die Stürze, rechts die Mundstückszwinge, Länge in %) mit der Darstellung der für eine Korrektur sinnvollen Bereiche. Hier gilt die obere Bildhälfte für eine Erweiterung des Rohres, die untere für eine Einengung. Die farbigen Bereiche zeigen die Qualität in einer Abstufung von blau (noch möglich) bis hellrot (sehr gut) mit einem lokalen Optimum als weißem Quadrat.

Wie man sieht, reicht eine einzige Korrektur der Mensur noch nicht aus, um eine sehr gute Intonation zu erreichen. Für diesen Fall liefert $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$ die Möglichkeit, 4 nacheinander anzuwendende Korrekturen zu ermitteln. Sie werden als Linien in dem unteren Teilbild gekennzeichnet, wie man in Abb. 4 erkennen kann.

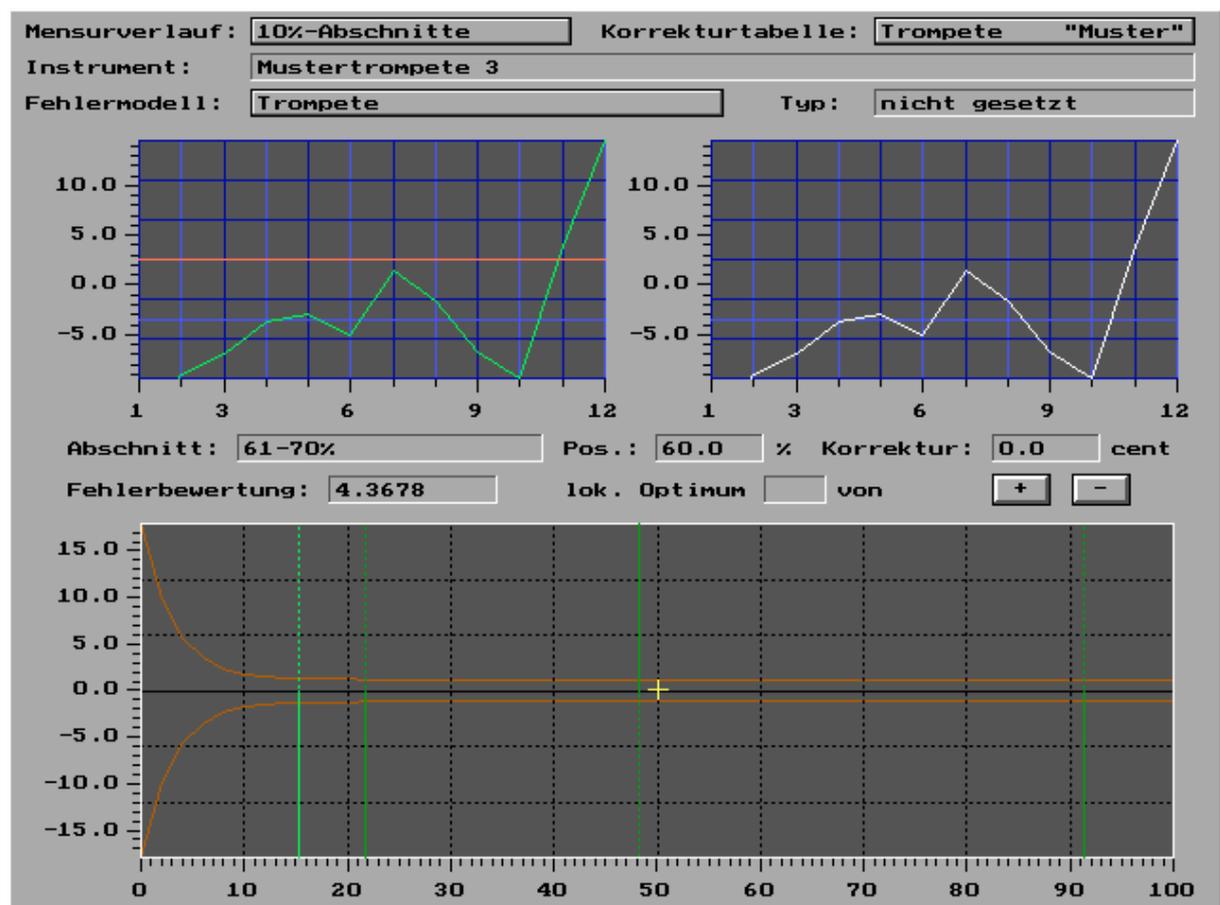


Abb. 4. Kennzeichnung von 4 Korrekturen bei $\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}$ durch grüne Linien

Diejenigen Stellen, an denen das Programm günstige Korrekturen gefunden hat, werden mit grünen Linien gekennzeichnet. Dabei bedeutet der durchgezogene Bereich, daß hier eine entsprechende Einengung bzw. Erweiterung notwendig ist; der gestrichelte Teil der Linie dient nur der Orientierung. In diesem Fall liegen

die Einengungen im Bereich 15% und 22% sowie 91%, wohingegen bei ca. 48% eine Erweiterung notwendig ist. Das Ergebnis ist rechts oben sowie links oben eingetragen, denn man kann ja noch weitere Korrekturen vornehmen.

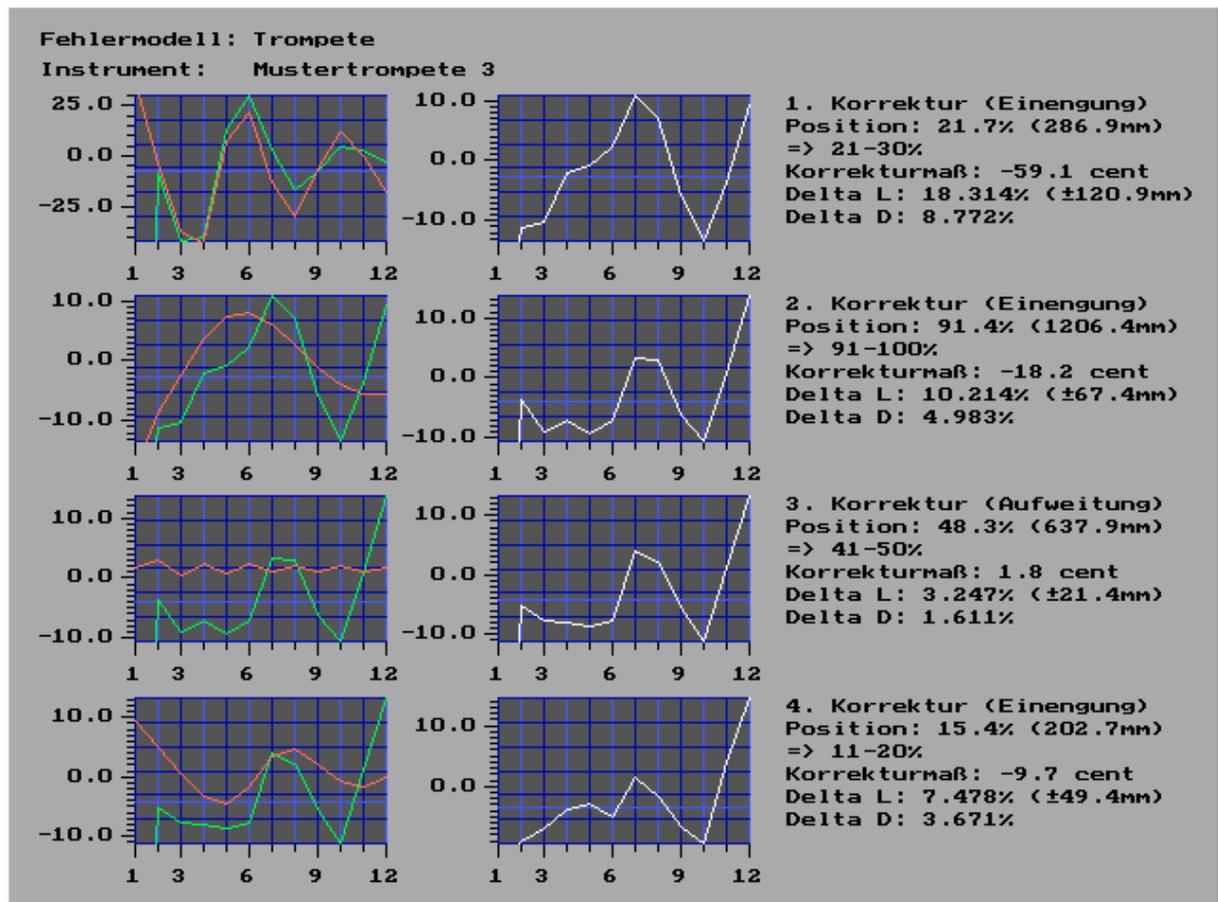


Abb. 5. Auflistung der Ergebnisse für 4 serielle Einzelkorrekturen

Für die weiteren mechanischen Arbeiten werden die Ergebnisse detailliert aufgelistet, wie man es in Abb. 5 sehen kann. Die einzelnen Korrekturen sind übereinander dargestellt (vorher - nachher) und die Daten für die mechanische Messurüberarbeitung rechts daneben aufgeführt.

Doppelkorrekturen als Neuerung bei $\overline{\text{Me}}^{\text{SS}}\text{Ko}$:

Bei dem gezeigten Beispiel sieht man, daß die bisherige Methode von $\overline{\text{Me}}^{\text{SS}}\text{Ko}$ zwar ein gutes Resultat liefert, jedoch erst nach Durchführung von Messurkorrekturen an 4 verschiedenen Stellen. Hier setzt die neue Methode der Doppelkorrekturen an, bei der die einzelnen Korrekturen nicht nacheinander (seriell) angewandt werden, sondern bei der zwei Korrekturen derart aufeinander abgestimmt werden, daß sich daraus schneller ein Optimum finden läßt - und zwar mit nur noch 2 Korrekturstellen! Hierbei werden zunächst die Korrekturmöglichkei-

ten an möglichst vielen Orten auf dem Instrument analysiert und dann weitere Korrekturmöglichkeiten für jeden der gefundenen Orte ermittelt. Aus dieser Vielzahl von Korrekturmöglichkeiten werden diejenigen Paare herausgesucht, die das beste Ergebnis liefern. Dazu ist es erforderlich, daß man 2 Korrekturdiagramme gleichzeitig darstellt und mit Hilfe von 2 getrennten Mauszeigern auch verändern kann. Für den manuellen Betrieb können wir nun mit zwei Mauszeigern arbeiten und die Auflösung zwischen fein (für serielle Korrekturen) und grob (für Doppelkorrekturen) wählen. Üblicherweise werden entlang der Rohrachse an 100 Stellen jeweils 30 Korrekturen errechnet und daraus die Sinnhaftigkeit in einer Farbskala dargestellt. Im Normalfall sieht das für 2 Mauszeiger (2 Korrekturmöglichkeiten) so aus wie in Abb. 6. Hier ist nur der Zeiger 1 gesetzt, der Zeiger 2 bei 50% besitzt keinen Wert!

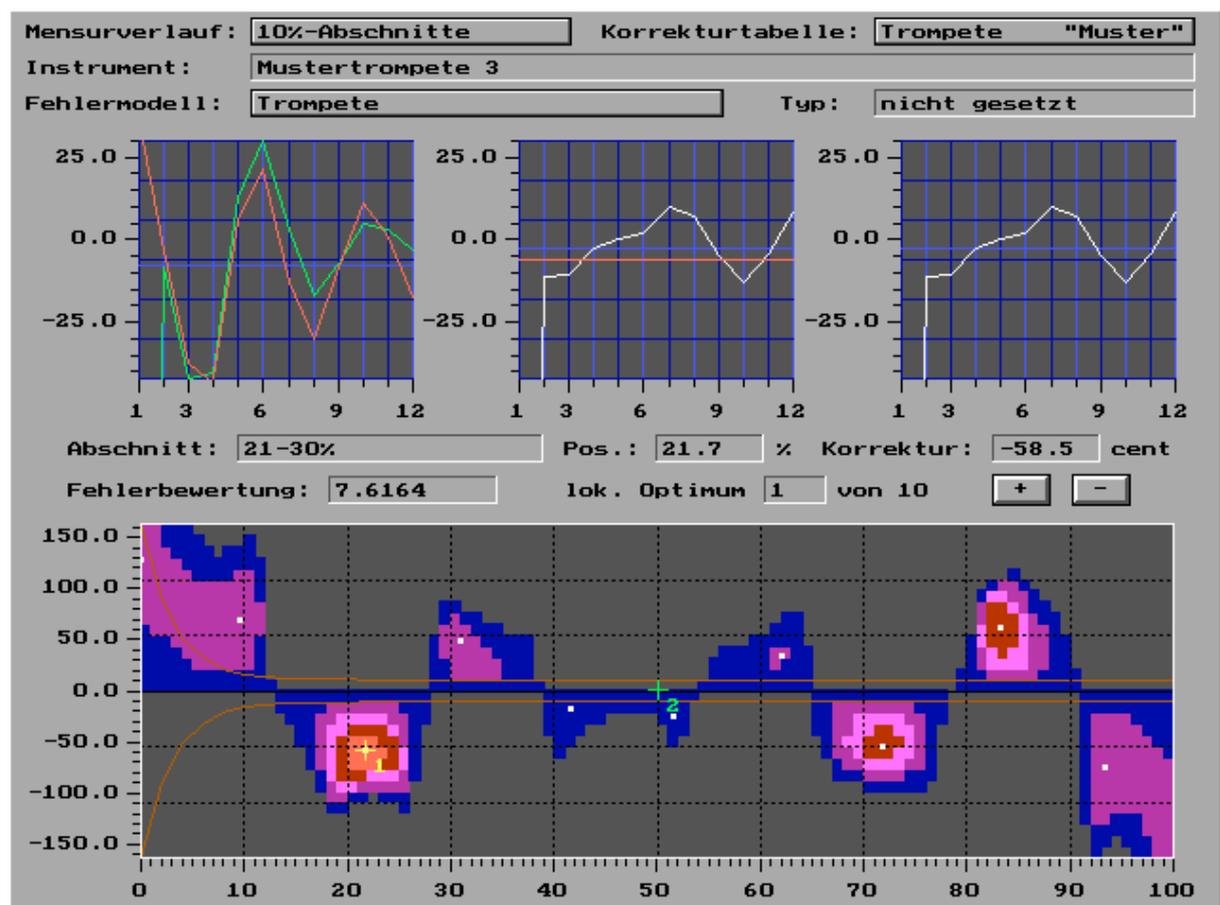


Abb. 6. Darstellung von $\overset{\text{Me}}{\text{SS}}\text{Ko}$ mit feiner Auflösung und 2 Korrekturzeigern (1 und 2)

Für die Berechnung von Doppelkorrekturen würde die Rechenzeit des Computers einen für die Praxis unakzeptablen hohen Wert annehmen, deshalb wird die Auflösung derart reduziert, daß nur noch 10 Stellen entlang der Rohrachse mit jeweils maximal 11 Werten untersucht werden. Durch besondere Optimierungs-

verfahren kann damit aber die volle Leistungsfähigkeit des Programmes erhalten bleiben, so daß sich die Rechenzeit nur unwesentlich verlängert. Bleibt man bei der gewählten Darstellung, so ergibt sich rein formell die Ausgabe wie in Abb. 7.

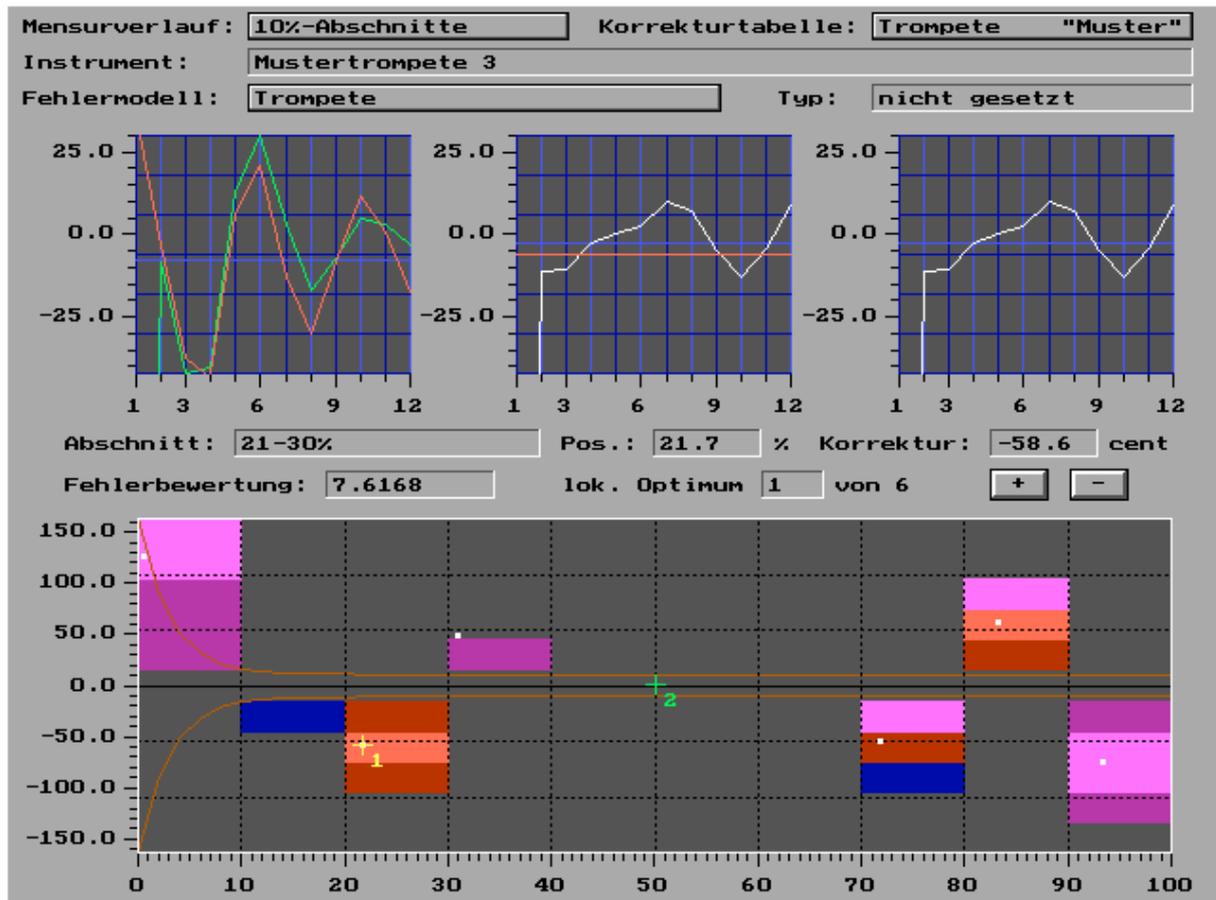


Abb. 7. Darstellung wie in Abb.6, aber mit reduzierter Auflösung (grob)

Will man nun auch den 2. Korrekturzeiger verwenden, so kann man in dieser Darstellung auch manuell ein vernünftiges Ergebnis erarbeiten. Das ist im Beispiel von Abb. 8 getan worden. Das Ergebnis rechts oben sieht schon recht ordentlich aus. Läßt man sich die Ergebnisse der beiden Korrekturen von $\overset{Me}{\text{---}} \overset{SS}{\text{---}} \overset{Ko}{\text{---}}$ anzeigen, so erhält man die Darstellung von Abb. 9.

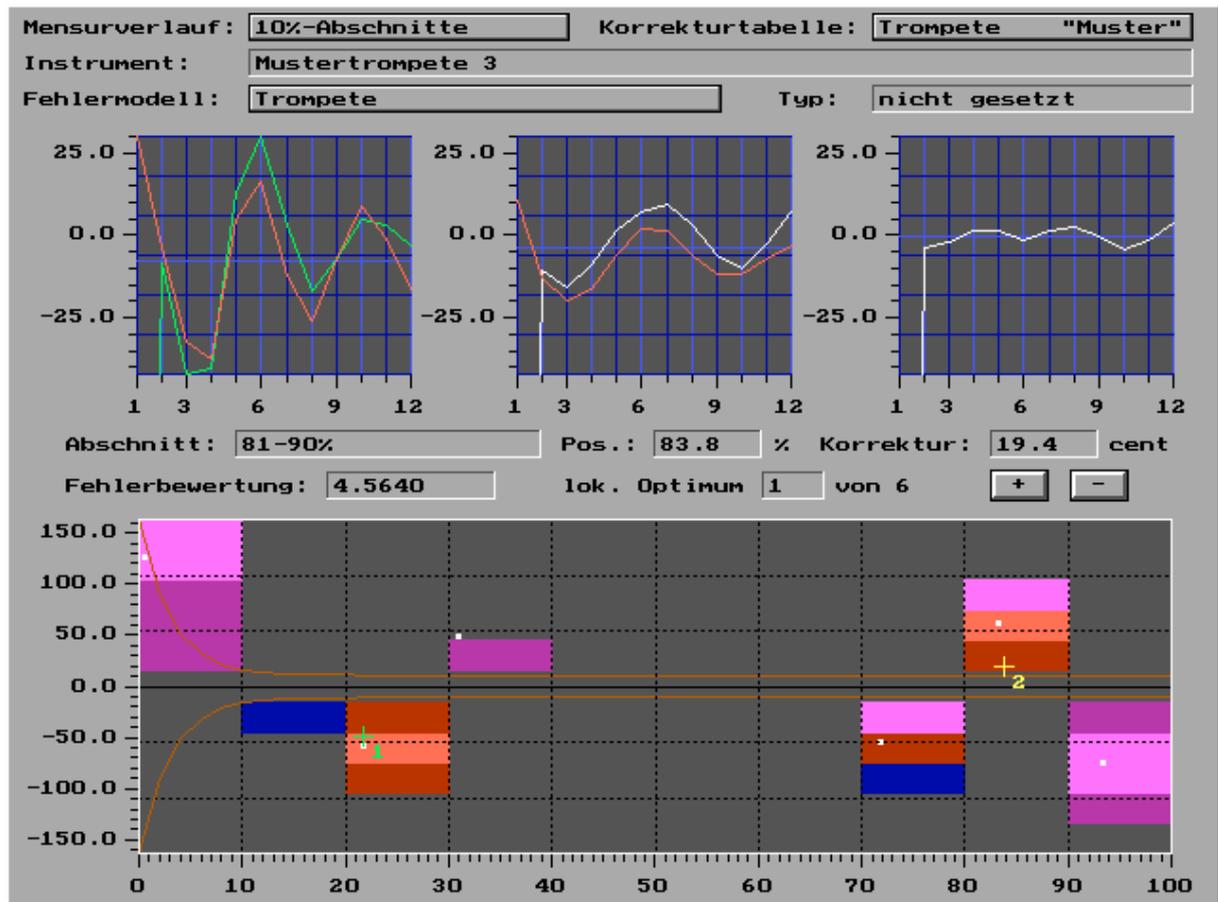


Abb. 8. Manuelle Doppelkorrektur bei grober Auflösung (Cursor 1 bei ca. 22%, Cursor 2 bei ca. 84%)

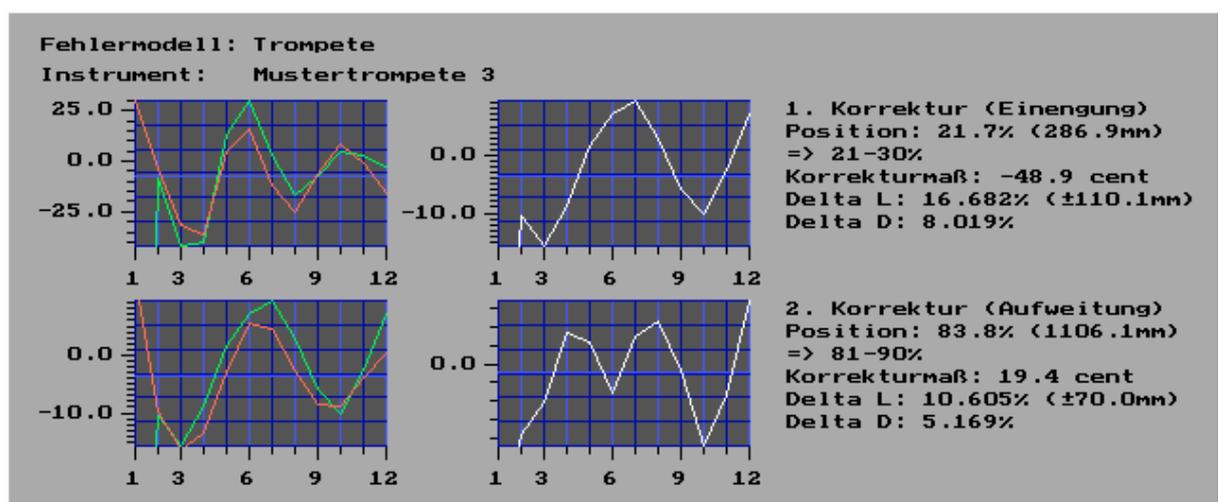


Abb. 9. Ergebnis der manuellen Doppelkorrektur entspr. Abb. 8
(Intonationsskalen unterschiedlich!)

Eine noch bessere Annäherung an das Optimum erhält man durch Einschalten des automatischen Betriebes für Doppelkorrekturen in dem Computerprogramm. Hierbei werden von vornherein gleich 2 Korrekturzeiger berücksichtigt, und die Darstellung der Farbfelder entfällt. Dafür werden sehr viele Paare für die Doppelkorrekturen aufgelistet, aus denen sich der Instrumentenmacher die für ihn geeignetsten herausuchen kann. In dem Feld "lok. Optimum" erscheinen Ordnungszahlen für die Sinnhaftigkeit von Doppelkorrekturen, die mit den Feldern "+" und "-" weitergeschaltet werden können. Die Ergebnisse für die Intonation sowie die Positionen der beiden aufeinander abgestimmten Korrekturen werden detailliert angezeigt, wie man es in Abb. 10 sehen kann.

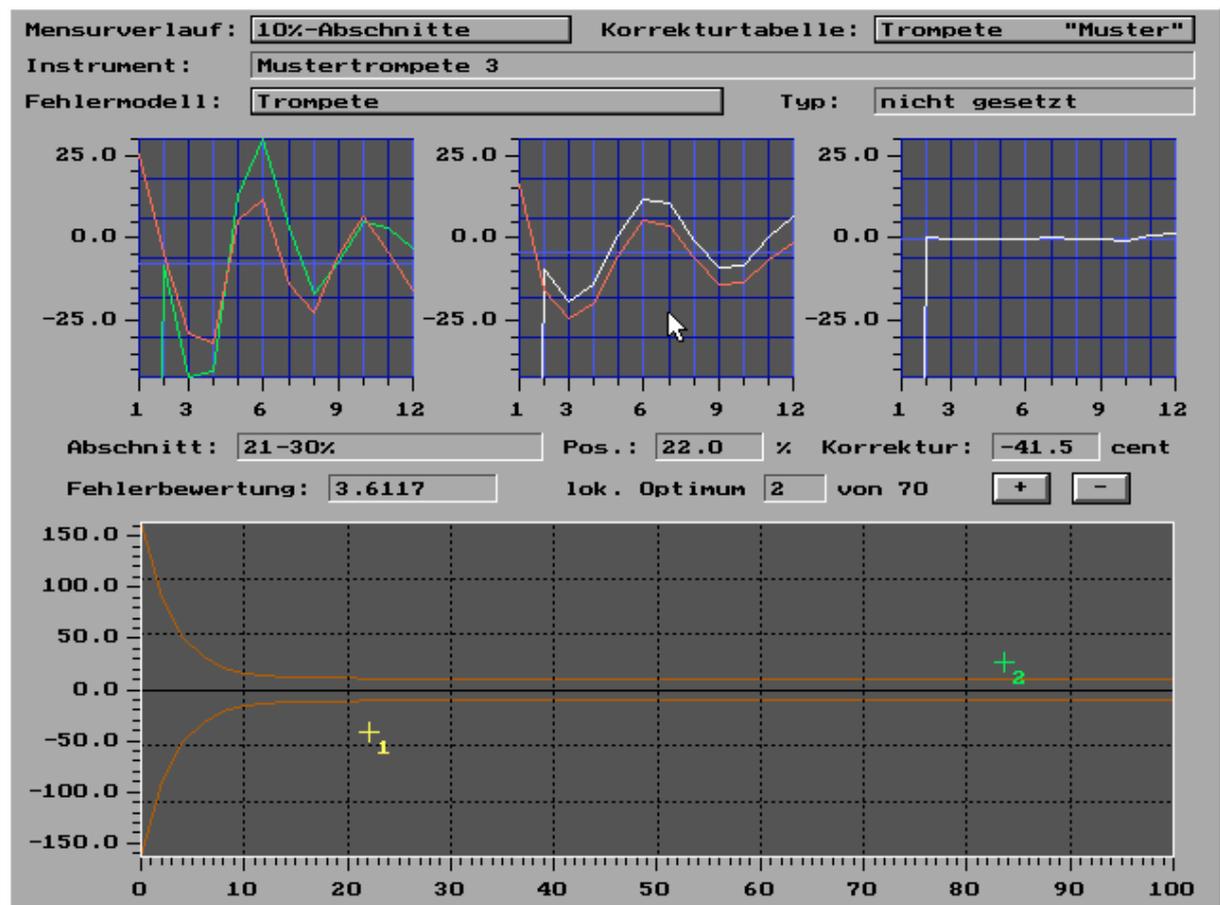


Abb. 10. Darstellung eines lokalen Optimums bei automatischer Doppelkorrektur

Vergleich der Ergebnisse verschiedener Verfahren von $\overbrace{\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}}$:

Am interessantesten ist ein Vergleich der Ergebnisse für die verschiedenen Methoden von $\overbrace{\text{Me}^{\text{SS}}\text{Ko}}$. In Abb. 11. sind die Ergebnisse für die folgenden Verfah-

ren dargestellt: 1. Intonation nach 4 nacheinander vorgenommenen Korrekturen (Normalfall mit Automatik), 2. Intonation mit Verfahren der Doppelkorrektur bei manuellem Suchen des Optimums und zuletzt 3. die Intonation mit dem Verfahren der Doppelkorrektur mit automatischem Suchlauf für das Optimum. Man beachte die Maßstäbe für die Intonationsachse, die aussagen, daß die Schwankungsbreite der resultierenden Intonationskurve bei üblichem manuellem Suchen bei ± 10 cent liegt, bei manuellem Suchen von Doppelkorrekturen bei ± 4 cent und bei dem automatischen Suchlauf für Doppelkorrekturen nur noch bei ± 1 cent. Diese Darstellung untermauert deutlich die Vorteile der neuen Doppelkorrekturmethode.

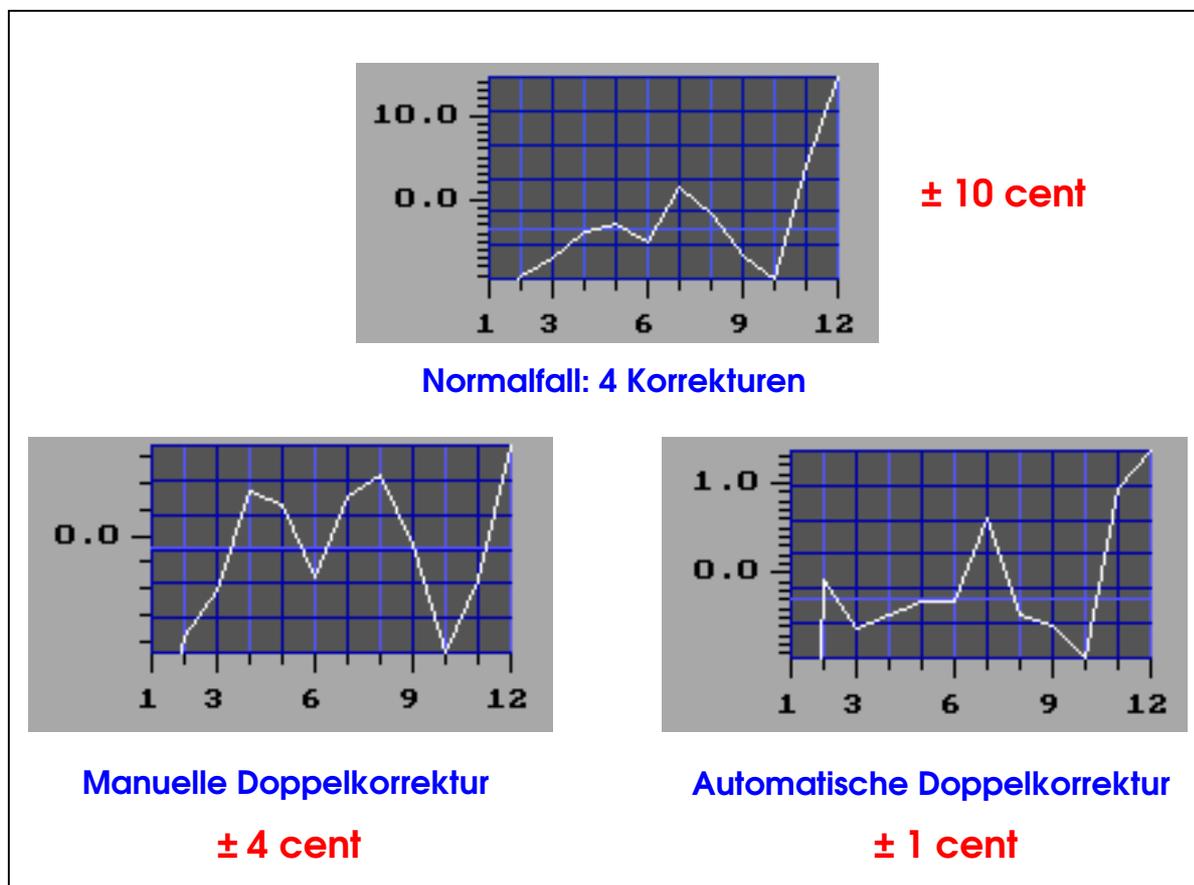


Abb. 11. Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Methoden von 