

Zur Tonerzeugung auf der Trompete

Versuch einer Systematik möglicher Einflußfaktoren
unter Berücksichtigung einiger empirischer Forschungsansätze

Matthias Bertsch

Verschiedenste Blickwinkel auf die Tonerzeugung auf der Trompete werfen sehr unterschiedliche Fragestellungen auf. Für Instrumentalisten, Pädagogen, Instrumentenmacher oder Akustiker stehen meist unterschiedliche Aspekte im Vordergrund, die jedoch fast nie unabhängig voneinander zu betrachten sind. Intonation, Klangvorstellung, Spieltechnik oder Instrumentencharakteristiken sind Beispiele von derartigen sich gegenseitig beeinflussenden Merkmalen. Die Forschungsarbeiten des Autors stellen einen Ansatz dar, Zusammenhänge verschiedener Faktoren zu erkennen und darzustellen. Im Rahmen seiner Dissertation wurden Studien zu zwei verschiedenen Aspekten durchgeführt. Eine Untersuchung des Einblasvorganges - dem "warm up" — sowie eine Studie zur Intonation, deren beider Ergebnisse im Anschluß an die nachfolgenden allgemeinen Überlegungen dargestellt werden.

1. Systematik möglicher Einflußfaktoren bei der Tonerzeugung auf der Trompete

Die vom Autor durchgeführten Studien (Bertsch 1998) bilden Ansätze, ausgesuchten Aspekten der Tonerzeugung auf der Trompete nachzugehen. Dabei stellte sich die Frage nach dem Einfluß anderer Aspekte, die in dem komplexen gekoppelten System von "Spieler-Instrument" bzw. organischen und anorganischen Elementen beteiligt sind¹. Wichtig zu erwähnen ist, daß bei der Durchführung dieser Studien angestrebt wurde, soviel wie möglich "Konstanten" in den Versuchsreihen zu haben. Zu diesem Zweck wurde der Anlauf unternommen, unter Einbeziehung der eigenen praktischen Erfahrungen des Verfassers im Trompetenspiel und unter Berücksichtigung von wissenschaftlichen Untersuchungen zur Tonerzeugung, sämtliche relevante Faktoren zu sammeln und zu klassifizieren. Eine detaillierte Beschreibung aller Aspekte würde den Rahmen dieses Überblicks jedoch bei Weitem sprengen. Ein derart komplexer Vorgang, dessen Teile Aspekte sehr unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen darstellen, kann nur durch eine Verbindung einer Vielzahl von interdisziplinären Studien verstanden werden. Die Auflistung verschiedenster Einflußfaktoren und die Beschreibung einiger Aspekte in Zusammenhang mit den durchgeführten Studien sollen einen Einblick in die Vielfältigkeit möglicher Ursachen geben, warum kein Ton einem anderen völlig gleicht.

Der Versuch, alle Aspekte systematisch aufzulisten ist jedoch aufgrund der wechselseitigen Abhängigkeit verschiedener Faktoren nicht eindeutig möglich. Die getroffenen Einteilungen und Zuordnungen stellen daher nur *eine* Möglichkeit unter vielen dar.- Im folgenden Abschnitt wird zunächst versucht, eine allgemeine Definition eines Trompetentons zu formulieren. Anschließend werden die daraus abgeleiteten Kategorien möglicher Einflußfaktoren erläutert und danach über 100 Aspekte aufgezählt und zu einzelnen Variablen Vermerke bezüglich der vom Autor durchgeführten Studien gemacht.

¹ Während es bei anorganischen Elementen noch leichter möglich ist, den Einfluß konstant zu halten (wie z.B. Aufnahmeort, Aufnahmegerät), wird dies bei organischen oder psychologischen Elementen (spielerbezogene Faktoren) oftmals unmöglich. Zum Beispiel sagen manche Trompeter, ein guter Ansatz sei unter anderem davon abhängig, was sie zuvor gegessen hätten. Während es für jeden nachvollziehbar ist, daß man sich nach einem Essen in anderer körperlicher Verfassung befindet und sich das auf das Musizieren auswirken kann, erscheint für manchen jedoch die Aussage verwunderlich, daß es einen Einfluß hat was sie gegessen haben. Bedenkt man jedoch, daß beim Blechbläser die Lippenschleimhäute zum Schwingen gebracht werden, kann man sich vorstellen, daß z.B. besonders salzige Speisen oder die Mundhygiene die Beschaffenheit der Schleimhäute beeinflussen. Dies ist lediglich ein Beispiel für einen Aspekt, für den es keine wissenschaftliche Untersuchung gibt.

Was ist ein 'real gespielter' Trompetenton ?

Durch das Zusammenspiel des gekoppelten Systems von Spieler (Trompeter) und Instrument (Trompete) wird innerhalb einer bestimmten Umgebung, zu einer bestimmten Zeit, ein akustisches Signal abgegeben, welches von einem Zuhörer als ein Trompetenton wahrgenommen werden kann. Dabei fungieren die Lippen des Spielers als Schwingungs-Erreger und das Instrument als Strahler.

Aus dieser Definition werden folgende vier Kategorien abgeleitet:

- 1.) Variablen, welche die Person des Spielers betreffen
- 2.) Einflußfaktoren des Instrumentes
- 3.) Variablen der Umgebungsbedingungen
- 4.) Aspekte bezüglich der Wahrnehmung eines Trompetentons durch den Zuhörer

Die ersten drei Kategorien sind untrennbar in einem geschlossenen Regelkreis miteinander verbunden. Die vierte Kategorie beinhaltet Aspekte der Wahrnehmung, welche einerseits Teilaspekte des Spielers darstellen und somit als wichtige Faktoren direkt in den Regelkreis eingebunden sind. Andererseits müssen weitere Aspekte berücksichtigt werden, wenn der Trompetenton von einer anderen Person als dem Spieler, also einem Zuhörer, wahrgenommen wird.

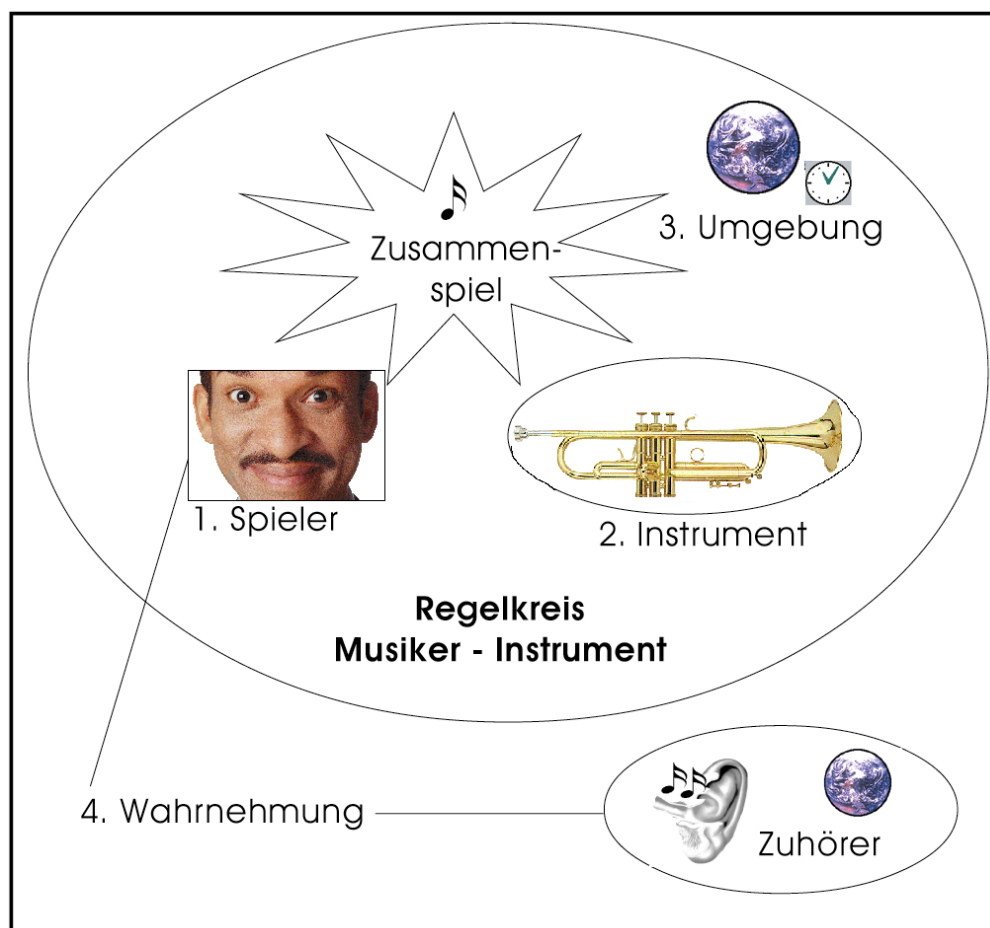


Abbildung 1 skizziert das Zusammenspiel der Kategorien. Zwischen allen vier Kategorien bestehen Kopplungen und Rückkopplungen. So beeinflusst zum Beispiel die Raumtemperatur - ein Aspekt der Umgebungsbedingungen - sowohl den Spieler, als auch das Instrument und die Wahrnehmung. Umgekehrt werden auch manche Aspekte der Umgebungsbedingungen (wie z.B. die Raumakustik) vom Spieler und dem Zuhörer beeinflusst.

Zur Untergliederung in vier Teilaspekte (Kategorien)

1. Spieler: Das klangliche Resultat eines gespielten Tones ist seitens des Spielers von drei Faktoren abhängig:

- von seinem Können bzw. seinen technischen Fähigkeiten (z.B. seiner Spielerfahrung)
- von seiner musikalischen Intention (z.B. die Dynamikstufe)
- von der tatsächlichen Umsetzung im Moment der Tonerzeugung (z.B. der Ansatz)

2. Instrument: Die Eigenschaften einer Trompete, die direkt oder indirekt die Tonerzeugung beeinflussen können, sind

- entweder für alle Spieler konstant, und daher objektiv (z.B. die Mensur, Lackierung)
- oder subjektiv, da verschiedene Spieler auf bestimmte Aspekte unterschiedlich reagieren (z.B. das Aussehen des Instrumentes, Wert)

3. Umgebung: Die Umgebungsbedingungen betreffen Aspekte von

- Raum (Ort) (z.B. die Raumgröße, Temperatur)
- Zeit (z.B. die Tageszeit)

4. Wahrnehmung: Die Aspekte der Wahrnehmung sind einerseits ein Teil im Regelkreis Musiker-Instrument und bilden ein Bindeglied im gekoppelten System. Andererseits kann die Wahrnehmung des vom Spieler erzeugten Signals für andere Zuhörer durch zusätzliche Faktoren beeinflusst werden. Dazu zählen

- individuelle Merkmale des Zuhörers (z.B. Alter)
- die Einflußfaktoren des Übertragungsweges (z.B. "live" oder zeitversetzt)

Teilaspekte



Zu den instrumentalrelevanten Fähigkeiten des Spielers (1.1)

- 1.1. Fähigkeiten / Können
 - 1.1.1 Ausbildungsstand
 - 1.1.1.1 Kreativität
 - 1.1.1.2 Spieltechnische Fähigkeiten
 - 1.1.1.2.1 Unterrichtsmethoden
 - 1.1.2 Talent
 - 1.1.3 Intelligenz
 - 1.1.4 Psyche / Charakter
 - 1.1.5 Körperliche Konstitution & Veranlagungen
 - 1.1.5.1 Lippen & Schleimhautbeschaffenheit
 - 1.1.5.2 Zähne
 - 1.1.5.2.1 Zahnpflege
 - 1.1.5.2.2 Zahnprothesen, Spangen
 - 1.1.5.3 Luft / Atem
 - 1.1.5.3.1 Lungenfunktionen
 - 1.1.5.3.2 Atemwege
 - 1.1.5.4 Gehör
 - 1.1.5.5 Muskulatur
 - 1.1.5.6 Ausdauer
 - 1.1.5.7 Geschlecht
 - 1.1.5.8 Alter

Das Vorhandensein von spieltechnischen Fähigkeiten, bzw. das "Können" des Spielers ist Grundvoraussetzung für die Tonerzeugung auf dem Instrument. Die Bandbreite des "Könnens" ist jedoch sehr groß und reicht vom Stadium "gerade einen Ton herausbringen" bis zur künstlerisch-technischen Perfektion.

Die Fähigkeiten werden einerseits erworben, und hängen daher vom Ausbildungsstand und von der Spielerfahrung des Spielers ab. Andererseits sind bestimmte körperliche Funktionen (z.B. Atmung) wesentlich an der Tonerzeugung beteiligt, deren Verfassung wiederum von verschiedenen Parametern bestimmt wird.

Einige der Parameter sind in der Auflistung 1.1 angegeben. Die Mehrzahl der Aspekte sind relativ allgemein und nicht nur für das Trompetenspiel relevant, so daß an dieser Stelle auf grundlegende Literatur zur Musikpsychologie (z.B. Bruhn, Oertner, Rösing, 1993) und Fachliteratur zur Physiologie (z.B. Bartels 1995) hingewiesen wird. Manche der Aspekte sind jedoch insbesondere für das Spiel auf Blechblasinstrumenten von Bedeutung und wurden zum Teil wissenschaftlich untersucht. Einer medizinischen Betrachtung des Klangerzeugungsapparates der Blechbläser und neurologischen Problemen widmete sich zum Beispiel Toshio Nemoto (1996), der auch Arbeiten über die Auswirkungen der Mundstruktur veröffentlichte (1995).

In den Studien zur Dissertation des Autors wurde versucht, aufgrund der eigenen Angaben der Spieler vergleichbare Spielergruppen einzuteilen und die Ergebnisse der Gruppen statistisch zu untersuchen. Verwendete Kriterien, die möglicherweise in Zusammenhang mit den spieltechnischen Fähigkeiten stehen waren: Der Status des Spielers (Profi, Student, Amateur, Schüler), das Alter, das Geschlecht² und die Spielerfahrung des Musikers.

Zur Musikalischen Intention des Spielers (1.2)

- 1.2. Musikalische Intention
 - 1.2.1 Musikal. Erfahrung / Background
 - 1.2.1.1 Vererbung
 - 1.2.1.2 Umwelt
 - 1.2.1.2.1 Soziale Umgebung (Eltern, Freunde, Schule)
 - 1.2.1.2.2 Medienkonsum
 - 1.2.1.2.3 Musikalischen Idolen & Vorbildern
 - 1.2.2 Kulturelle Erfahrungen
 - 1.2.2.1 Klangvorstellungen
 - 1.2.2.2 Tonsysteme
 - 1.2.2.3 Regionale Einflüsse
 - 1.2.2.4 Zeitgeist
 - 1.2.3 Musikalische Gattung
 - 1.2.3.1 Kompositionsregeln
 - 1.2.4 Musikalischer Kontext
 - 1.2.4.1 Informationsgehalt (Vertrautheit)
 - 1.2.4.2 Register / Lage
 - 1.2.4.2.1 Tonhöhe
 - 1.2.3.2.1.1 zyklische Modulation (Frequenz-Vibrato)
 - 1.2.3.2.1.2 azyklische Modulation (Transienten)
 - 1.2.4.2.2 "Hohe Lage Syndrom"
 - 1.2.4.3 Lautstärke
 - 1.2.4.3.1 zyklische Modulation (Amplituden-Vibrato)
 - 1.2.4.3.2 nicht - zyklische Modulation (Dynamik)
 - 1.2.4.4 Artikulation (Anstoß)
 - 1.2.4.4.1 Tonbeginn (Anstoß)

² Mit Ausnahme beim direkten Vergleich der Ergebnisse von -männlichen Trompetern und weiblichen Trompeterinnen werden vom Autor aus Gründen der Lesbarkeit unter den Begriffen "Spieler", "Trompeter", "Musiker", usw. beide Geschlechter subsumiert und auf Wortkonstruktionen wie "SpielerInnen" verzichtet. Der Anstoß, auf den Geschlechter-Aspekt einzugehen, stammt aus den gegenwärtigen Diskussionen um die Aufnahme von weiblichen Musikerinnen bei den Wiener Philharmonikern. Argumente aus dem Kreis des Orchesters stehen entgegen der allgemeinen Gleichstellung der Frau und negieren die oftmals bewiesene Gleichwertigkeit im Bereich des Musiklebens. Die Wurzeln der Argumentation wurden auch in früheren wissenschaftlichen Arbeiten genährt. So schrieb zum Beispiel Heinrich Hoffmann noch 1956 in seinem Buch über den Ansatz der Blechbläser, daß Frauen aufgrund ihres kleineren Lungenvolumens ungeeignet für das Spiel von Blechblasinstrumenten seien.

- 1.2.4.4.2 Tonende
 - 1.2.4.5 Bedeutung des Tones
 - 1.2.4.5.1 Melodischer Kontext
 - 1.2.4.5.2 Zusammenspiel
 - 1.2.4.5.2.1 Hauptstimme
 - 1.2.4.5.2.2 Nebenstimme
 - 1.2.4.5.2.3 Harmonische Bedeutung
 - 1.2.4.6 Klangfarbe
 - 1.2.4.7 Stimmtonhöhe (Kammerton)
 - 1.2.4.8 Intervallzusammenhang
 - 1.2.4.8.1 Vorheriger Ton
 - 1.2.4.8.2 Nächster Ton
 - 1.2.4.9 Rhythmischer Zusammenhang
 - 1.2.4.9.1 Länge des Tones (Tondauer)
- 1.2.5 Erfahrung & Routine

Der Begriff "musikalische Intention" bezieht sich auf die Zielvorstellung des Spielers, wie er die Töne auf dem Instrument erzeugen möchte, ungeachtet der praktischen Durchführbarkeit bzw. seiner technischen Fähigkeiten.

Was ein Trompeter spielen möchte, ist im wesentlichen aus seinen Erfahrungen und von seinem Vorstellungsvermögen bestimmt. Sowohl Imitation oder Interpretation von Bekanntem, als auch die Kreation von neuen musikalischen Ideen werden von seiner persönlichen Präferenz und seinem im Gedächtnis abgespeicherten Vorrat an Mustern bestimmt.

Die in der Auflistung 1.2 angegebenen Aspekte umfassen sowohl allgemeine musikalische Erfahrungswerte, als auch den konkreten musikalischen Kontext. Die meisten der Parameter bezüglich dem Kontext sind untrennbar miteinander verbunden und bilden jeweils Teilaspekte eines Musters.

Die allgemeinen Merkmale des musikalischen Backgrounds unterscheiden sich in mannigfaltiger Art und sind nur schwer zu erfassen. In einem sehr groben Ansatz wurde bei den Studien das Kriterium "Repertoiretyp" ausgewählt, um Spieler zu klassifizieren. Dabei wurde zwischen jenen Spielern unterschieden, die ausschließlich oder überwiegend klassische Musikerfahrung haben und jenen, die auch Erfahrung im Jazz- oder Populärmusikbereich haben.

Sehr wesentlich für eine Vergleichbarkeit von Aufnahmen ist der konkret vorgegebene musikalische Notentext und des Kontextes. Neben den jeweiligen schriftlichen Vorgaben wurden bei fallweisen Unklarheiten mündliche Erklärungen abgegeben. Die Notation von Musik bietet eine (wenn auch beschränkte) Möglichkeit der Konkretisierung einer musikalischen Intention. Die Auffassungs- und Interpretationsunterschiede von Musik sind jedoch sehr subjektiv und vielseitig und daher auch Gegenstand unzähliger musikwissenschaftlicher Arbeiten.

Zur praktischen Umsetzung der Tonerzeugung eines Spielers (1.3)

- 1.3. Realisation (Umsetzung)
 - 1.3.1 Bekanntheit mit dem Instrument
 - 1.3.2 Psychologische Verfassung
 - 1.3.2.1 Konzentration
 - 1.3.2.2 Motivation
 - 1.3.2.3 Tagesverfassung (Gemütslage)
 - 1.3.2.4 Streß
 - 1.3.3 Körperliche Verfassung
 - 1.3.3.1 Vitalfunktionen
 - 1.3.3.1.1 Blutdruck
 - 1.3.3.1.2 Puls
 - 1.3.3.1.3 andere Vitalfunktionen
 - 1.3.3.2 Blutversorgung (Warm up)
 - 1.3.3.3 Drogeneinfluß
 - 1.3.3.3.1 Alkohol

- 1.3.3.3.2 Rauchen
- 1.3.3.4 Befeuchtung der Lippen und Schleimhäute
- 1.3.4 Spieltechnik
 - 1.3.4.1 Ansatz
 - 1.3.4.1.1 Lippenschwingung
 - 1.3.4.1.1.1 Oberlippe
 - 1.3.4.1.1.2 Unterlippe
 - 1.3.4.1.1.3 Schwingungsrichtung
 - 1.3.4.1.1.4 Form der Lippenöffnung
 - 1.3.4.1.1.5 Amplitude der Lippenöffnung
 - 1.3.4.1.2 Mundstückdruck
 - 1.3.4.1.3 Ansatzstelle des Mundstückes
 - 1.3.4.1.4 Ansatzrohr
 - 1.3.4.1.4.1 Gaumenlage
 - 1.3.4.1.4.2 Zungenstellung
 - 1.3.4.2 andere Körperarbeiten
 - 1.3.4.2.1 Luftführung
 - 1.3.4.2.1.1 Lungentätigkeit
 - 1.3.4.2.1.2 Zwerchfellaktivität
 - 1.3.4.2.1.3 Luftdruck
 - 1.3.4.2.1.4 Luftmenge
 - 1.3.4.2.1.5 Luftgemisch
 - 1.3.4.2.2 Instrumentenhaltung
 - 1.3.4.2.3 Spielhaltung
 - 1.3.4.2.4 Grifftechnik
 - 1.3.4.2.4.1 Fingerhaltung
 - 1.3.4.3 Gesamtschwierigkeit

Die praktische Umsetzung einer musikalischen Intention zu einem akustischen Signal wird durch zahlreiche Parameter bestimmt. Neben spieltechnischen Aspekten, welche jedoch oftmals subjektiv und mit unterschiedlichen Angaben in Trompetenschulen oder pädagogischen Unterweisungen mehrfach festgehalten sind (z.B. Farkas 1980), besteht die Frage nach prinzipiellen physiologischen Vergleichen zum Spiel der Trompete.

Einige dieser physiologischen Parameter wurden innerhalb der "Warm up" Studie des Autors untersucht. Die beobachteten Variablen der "Warm up" Studie waren die Vitalfunktionen und die Blutversorgung des Spielers im Ansatzbereich. Diese Aspekte hängen eng mit der gesamten physiologischen und psychologischen Konstitution des Spielers zusammen.

Aus diesem Grund wurde den Spielern einige Vorgaben gegeben, um so gut wie möglich vergleichbare Situationen zu schaffen und einige Konstanten in den Test einzubringen. So sollten sie zum Beispiel vor dem Test einige Zeit nichts essen, nicht rauchen, keine körperliche Arbeit verrichten, usw.. Eine tatsächlich in allen Aspekten gleiche Situation zu schaffen ist unmöglich, da die Körperfunktionen auch von der psychischen Verfassung mitgeprägt werden, die von außen nicht oder nur kaum zu erfassen ist.

Bei der Versuchsreihe zum "Warm up" wurden die für Thermographien üblichen Standardvorgaben berücksichtigt. Aus den Ergebnissen der Studie wurde versucht, Rückschlüsse auf die Spieltechnik zu ziehen, die ebenfalls einen Aspekt der Umsetzung darstellen.

Ein Einblick auf den Ansatz von Trompetern wurde in einer Vorversuchen gewonnen. Der Begriff "Ansatz" bezeichnet im engeren Sinne die eigentliche Schnittstelle- von Instrument und Spieler. Im weiteren Sinne bezeichnen Blechbläser damit auch ihre generelle Verfassung bzw. die momentane Form. Gegenüber den Unmengen an Meinungen und Erfahrungen von Spielern sowie Ratschlägen und Lehrmeinungen von Pädagogen, die zum Thema Ansatz im weiteren Sinne existieren, ist die Anzahl an wissenschaftlichen Arbeiten zum Ansatz im engeren Sinne eher gering.

Eine Pionierrolle kommt der Studie von Daniel W. Martin zu, der bereits im Jahr 1942 optische Analysen der Ansatzposition und der Schwingungsform der Lippen durchführte. Angeregt von der Notwendigkeit weiterer Forschungen dieser Art, wurden vom Autor Experimente durchgeführt. Mit Hilfe eines Endoskops wurden Bilder im Mundstück der Trompete aufgenommen, aus denen interessante Aussagen zu gewinnen sind.

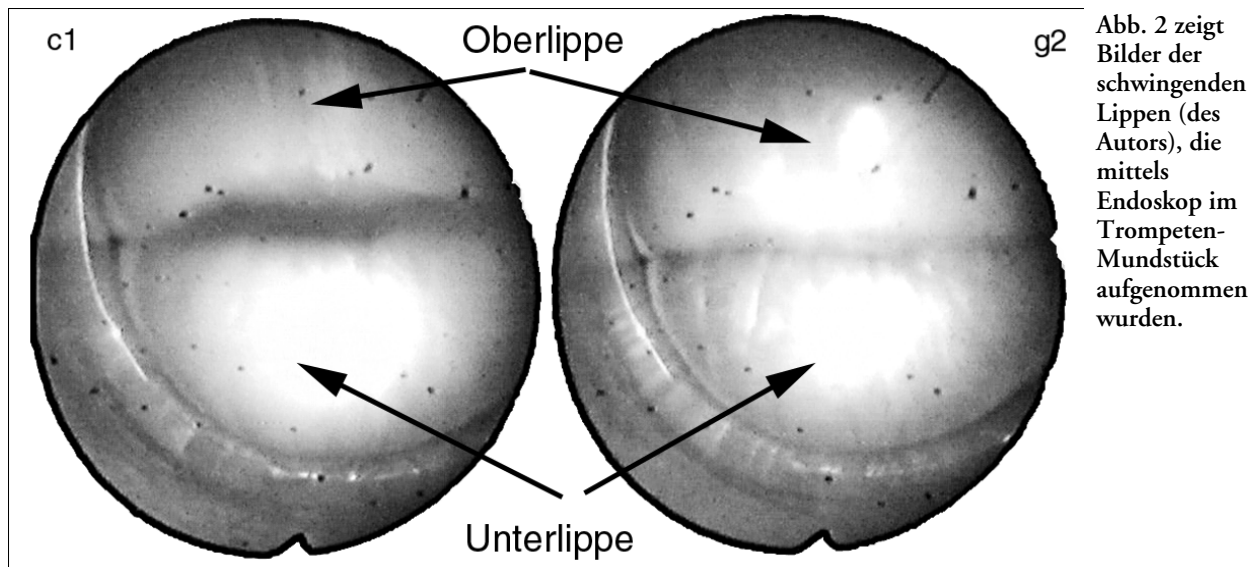


Abb. 2 zeigt Bilder der schwingenden Lippen (des Autors), die mittels Endoskop im Trompeten-Mundstück aufgenommen wurden.

Zwei Beispiele sind in den Abbildungen oben wiedergegeben. Man erkennt zwar deutlich die Ansatzstelle der Lippen, doch sind die schwingenden Lippen, mit einer normalen Videokamera aufgenommen, stark verschwommen. Das linke Bild (Abb. 2a) wurde bei einem tiefen Ton (c1) aufgenommen, das rechte (Abb. 2b) bei einem hohen Ton (g2). Gut sichtbar ist der wesentlich größere Lippenöffnungspalt beim tiefen Ton. Die Ansatzposition bei diesem Spieler ist sehr mittig, d.h. in beiden Registern sind etwa 50 % der Oberlippe und der Unterlippe im Mundstück. Welche der beiden Lippen stärker an der Tonerzeugung beteiligt ist kann aus den Bildern und Filmen nicht abgeleitet werden. Auch die beabsichtigte Ermittlung des Quellenspektrums kann mit der angewandten Methode jedoch nicht erreicht werden. Theoretische Ansätze an das Schwingungsverhalten der Lippen machten 1993 Yoshikawa und Plitnik, 1994 Adaci und Sato.

Etwa zur selben Zeit der Experimente des Autors (Bertsch 1995) wurden u.a. von Copley und Strong (1996) Versuche mit der Stroboskop Technik und einem teilweise durchsichtigen Mundstück einer Posaune durchgeführt. Sie erbrachten erste optische Information über den Lippenöffnungspalt und die Lippenschwingungsformen. 1998 wurden von Vergez et al. die ersten Meßergebnisse mit einem künstlichen Blechbläser präsentiert. Durch den Verzicht auf die menschliche Komponente und den Ersatz der schwingenden Lippen durch Latex-Imitationen konnten aufwendigere technische Meßinstrumente eingesetzt werden. Erwähnenswert ist auch die Neuadaption des von Martin entwickelten Verfahrens zur Darstellung schwingender Lippen mittels Plexiglasmundstück und seitlichem Mundstückschaft von Ayers (1998). Durch die Beobachtung mit Stroboskop und Videokamera konnten praktisch relevante Tonerzeugungsmuster beschrieben werden.

Angeregt von diesem Versuchsaufbau von Ayers, der eine Beobachtung der schwingenden Lippen in Echtzeit erlaubt, wird diese Untersuchungsmethode derzeit am Institut für Wiener Klangstil erprobt und soll in Bälde den Spielern zur Verfügung stehen.



Abb. 3 zeigt das angesetzte Plexiglasmundstück beim Spiel des Tones c1. Gegenüber herkömmlichen Ansatzbetrachtern ist bei dieser Methode die Rückkopplung vom Instrument gegeben. Ungewohnt ist die seitliche Spielweise der Trompete.

Kurz Erwähnung finden soll noch eine weitere Untersuchungsmethode, die aus gesundheitlichen Gründen heute nicht mehr aufgegriffen wird. 1967 verwendete der Amerikaner Joe Meidt Röntgentonfilme, um Erkenntnisse über die Einstellungen von Zunge und Kehle während des Spiels auf Blechblasinstrumenten zu erlangen. Dieser Aspekt ist von beträchtlicher pädagogischer Bedeutung. Er bildet die Basis für die Produktion von Tönen und deren Artikulation, Intonation und Dynamik. Obwohl die meisten Lehrer von Blechblasinstrumenten die Prozesse aufgrund eigener Erfahrungen beschreiben, variieren ihre Meinungen bezüglich intra-oraler Änderungen sehr und nicht selten muß der Spieler seine eigene Lösung durch "Versuch und Irrtum" herausfinden.

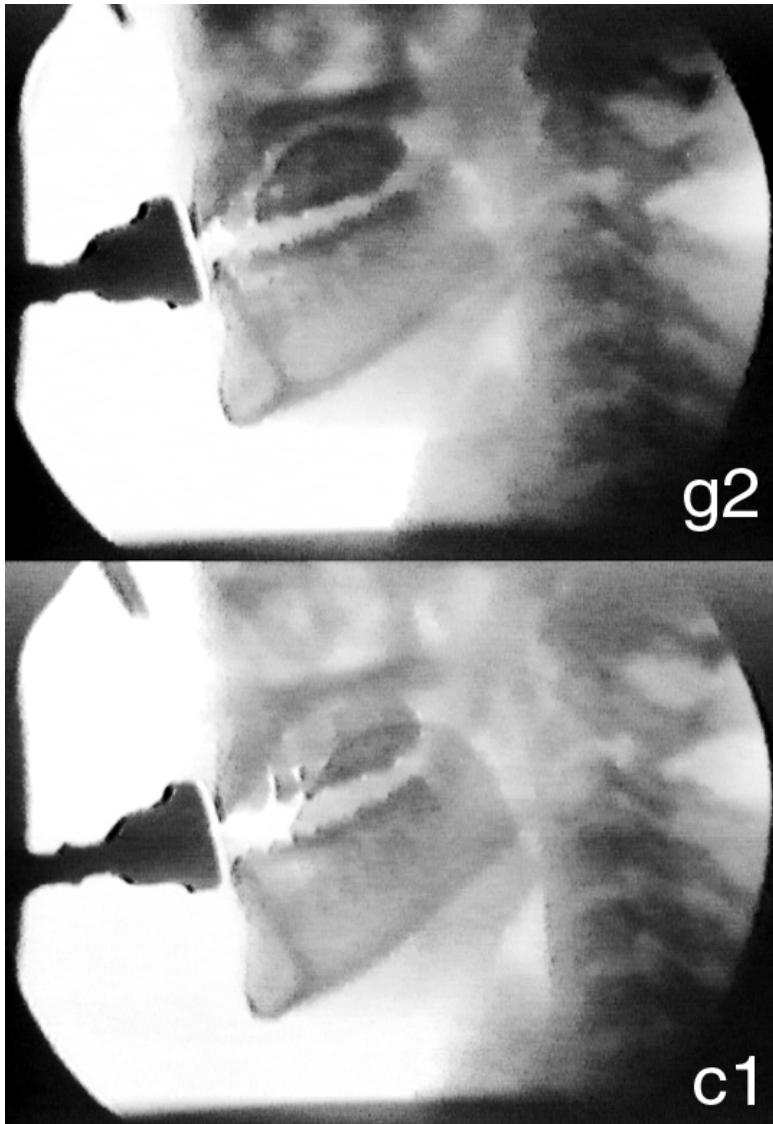


Abbildung 4 zeigt zwei Momentaufnahmen aus den Röntgentonfilmen von Joe Meidt (1967). Im oberen Teil sieht man die Zungenstellung beim Anstoß der 6ten Resonanzfrequenz der Trompete (g2); im unteren Teil beim Anstoß der zweiten Resonanzfrequenz.

Aus seinen Untersuchungen geht hervor, daß alle Spieler zu eigenen "intra-oralen" Stellungen neigten. Die häufigste Stellung bei Trompetern und dem Hornisten entspräche jedoch der Vokalformation zwischen "ah" und "oo". Meidt beobachtete ferner einige typische Muster "supralaryngaler" Einstellungen bezüglich Registerwechsel. "Einige Versuchspersonen bewegen die Zunge auf- und vorwärts für höhere Töne, während andere das nicht tun. Hornisten neigen dazu den Unterkiefer für höhere Töne zu erhöhen, wodurch sie die vordere Öffnungsbreite verkleinern. Diese Änderung war bei den Trompetern nicht festzustellen. Die "pharyngeal dimensions" werden bei den Hornisten eher kleiner bei höheren Tönen und bei den Trompetern im Gegensatz dazu größer. Einige Hornisten und Trompetern schnalzen bei Bindungen die Zungenspitze nach vorne, so ähnlich wie beim Anstoßen. Töne innerhalb gebundener Intervallsequenzen beginnen gewöhnlich mit einem leichtem hoch und vorwärts Ruck der Zunge. Weiters schreibt er in der Zusammenfassung, daß im

wesentlichen dieselben “supralaryngalen” Positionen für einen Ton im Forte oder Piano verwendet werden. Auch bei ab- und aufsteigenden Passagen gäbe es keine großen Unterschiede.



Zu den objektiven Eigenschaften des Instrumentes (2.1)

- 2.1. Objektive Eigenschaften /Qualität
 - 2.1.1 Mechanische Parameter
 - 2.1.1.1 Mensurverlauf
 - 2.1.1.1.1 Dichtheit
 - 2.1.1.1.2 Wand-Innenoberfläche
 - 2.1.1.2 Material
 - 2.1.1.2.1 Wandstärke
 - 2.1.1.2 Lackierung
 - 2.1.1.3 Form
 - 2.1.1.3.1 Konstruktion
 - 2.1.1.3.2 Deformierungen
 - 2.1.2 Physikalische Parameter
 - 2.1.2.1 Transferfunktion
 - 2.1.2.1.1 Klangfarbe
 - 2.1.2.1.2 Abstrahlung
 - 2.1.2.1.3 Dynamikumfang
 - 2.1.2.2 Impedanz
 - 2.1.2.2.1 Intonation
 - 2.1.2.3 Pulsantwort
 - 2.1.2.3.1 Ansprache (Energiebedarf)
 - 2.1.2.3.1.1 Energiebedarf Tonbeginn
 - 2.1.2.3.1.2 Energiebedarf Tonerhaltung
 - 2.1.3 Einzelteile
 - 2.1.3.1 Mundstück
 - 2.1.3.1.1 Kessel
 - 2.1.3.1.2 Bohrung
 - 2.1.3.1 Rand
 - 2.1.3.2 Mundrohr
 - 2.1.3.3 Ventile
 - 2.1.3.3.1 Ventiltyp
 - 2.1.3.3.2 Ventil-Öl
 - 2.1.3.3.3 Lage der Ventile
 - 2.1.3.3.4 Ventildurchgang
 - 2.1.3.4 Schallstück
 - 2.1.3.5 Stürze
 - 2.1.3.6 Dämpfer

Die objektiv vergleichbaren Eigenschaften von Blechblasinstrumenten sind die mechanischen Parameter des gesamten Instrumentes sowie die Einzelteile, aus denen das Instrument zusammengesetzt ist. Diese bestimmen auch die physikalischen Parameter, die in der musikalischen Akustik meßtechnisch erfaßt werden können.

Einige Aspekte waren bereits Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Zum Beispiel untersuchte Stefan Campidell den Einfluß unterschiedlicher Ventiltypen (1995) und der Einfluß verschiedener Trompetendämpfer war Gegenstand der Diplomarbeit des Autors. (1992). Arbeiten zu den Eigenschaften von Blechblasinstrumenten bilden den Forschungsschwerpunkt am Institut für Wiener Klangstil, welches auch die notwendigen Meßsysteme besitzt bzw. an der Verbesserung derartiger Meßsysteme arbeitet. (Widholm 1995)

Generell kann man sagen, daß heute zwar prinzipielle Erkenntnisse über das Funktionsprinzip von Blechblasinstrumenten vorhanden sind³, nach wie vor jedoch viele Detailfragen offen sind. Der Großteil der Erfahrungen im Instrumentenbau basiert auf dem Prinzip von Versuch und Irrtum. Noch immer werden vorwiegend bewährte Modelle nachgebaut oder modifiziert, und kaum

³ Zu erwähnen sind hier u.a. die Arbeiten von Wogram (1972, 86), Bowsher (1980) oder Adachi (1994).

naturwissenschaftliche Konstruktionsmethoden verwendet. Vorausberechnungen einer Instrumentalcharakteristik waren bis vor kurzem fast ganz unmöglich.

Durch den Einsatz moderner Computertechnologie werden nun seit einigen Jahren sowohl theoretische Modelle als auch praktische Werkzeuge entwickelt. So stellt das am Institut für Wiener Klangstil entwickelte BIAS ein technisches Hilfsmittel dar, um aufgrund der gemessenen Eingangsimpedanz u.a. Rückschlüsse auf Intonation und Ansprache zu erhalten. Die durchgeführten Versuche tragen auch zur Weiterentwicklung dieses Systems bei und indem sie die Reliabilität und Variabilität in Bezug auf die berechnete Intonation überprüfen.

Durch die Verwendung eines Referenzinstrumentes im zweiten Durchgang der Intonationsstudie wurde versucht, die objektiven Eigenschaften des Instrumentes konstant zu halten. Bis auf den Mundstückrand wurde von jedem Spieler dasselbe Instrument verwendet. Die beobachteten Variablen sollten lediglich vom Spieler abhängig sein. Die Möglichkeit einen von vier verschiedenen Mundstückrändern auszuwählen, stellt ein Kompromißangebot für die Spieler da, die normalerweise nur mit ihrem persönlichen, ausgesuchten und bekannten Mundstück spielen möchten. Der Mundstückrand, der die direkte Schnittstelle von Instrument und Spieler bildet, hat nach bisherigen Erfahrungen einen geringen Einfluß auf die Intonation, wohingegen die Eigenschaften von Kessel, Seele und Schaft des Mundstück sehr wesentlich die Charakteristik des Instrumentes und seiner Intonation mitbestimmen. (Anglmayer, 1998)

Im Gegensatz zum zweiten Durchgang hat im ersten Durchgang der Studie jeder Spieler sein eigenes Instrument verwendet, so daß die Auswirkungen der verschiedenen Instrumente auf die Intonation beobachtet wurden.

Zu den subjektiven Eigenschaften des Instrumentes (2.2)

- 2.2. Subjektive Eigenschaften
 - 2.2.1 Optischer Gesamteindruck
 - 2.2.2 Name des Erzeugers (Markenname)
 - 2.2.3 Besitzer
 - 2.2.4 Wert
 - 2.2.5 Alter

Die für jeden Spieler unterschiedlich relevanten Faktoren der subjektiven Eigenschaften von Instrumenten sind nicht unerheblich für das Zusammenwirken von Spieler und Instrument. Akustisch irrelevante Faktoren, wie der Wert eines Instrumentes oder die persönliche Markenpräferenz des Spielers oder auch seine Einschätzungen der Funktionstüchtigkeit eines Instrumentes beeinflussen zum Beispiel die Motivation eines Spielers. Aus diesem Grund werden subjektive Qualitätsurteile von Instrumenten, falls möglich, in Blindversuchen durchgeführt. Die Methode der Blindversuche wird u.a. bei der Bestimmung der Gewinner des "Deutschen Musikinstrumentenpreises" angewendet, die von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig durchgeführt wird. Die Spieler müssen die Blechblasinstrumente im abgedunkelten Raum ausprobieren und beurteilen.

Die subjektive Beurteilung des Referenzinstrumentes konnte bei dieser Studie nicht verhindert oder durch Blindversuche minimiert werden, da die Testreihe zum einen die zu spielenden Noten vorgab und zweitens mit Video aufgenommen wurde. Bei der Auswahl des Referenzinstrumentes für diese Studie wurde daher ein Instrument ausgewählt, welches aufgrund von Erfahrungen überwiegend eine grundsätzlich positive Einstellung bei Trompetern bewirkt.

Den kritischsten Aspekt stellt vielleicht die Auswahl eines Instrumentes mit Perinétventilen dar, da die Auswahl des Instrumententyps je nach Spieler auf unterschiedliche Präferenzen trifft. Bei der Durchführung wurde vom Versuchsleiter jedoch keine extreme Reaktion eines Spielers bezüglich des ausgewählten Referenzinstrumentes beobachtet.

Zum Faktor "Zeitpunkt" (3.1)



- 3.1. Zeit
 - 3.1.1 Jahreszeit
 - 3.1.2 Tageszeit
 - 3.1.3 historischer Kontext

Der Zeitpunkt kann mehrere Aspekte der Tonerzeugung beeinflussen. Der Einfluß ist jedoch kaum faßbar und wirkt in verschiedener Richtung auf Umgebungsbedingungen und Spielsituation ein, so daß der Aspekt bei den Versuchen zu den Studien in der Dokumentation berücksichtigt wird, in die Auswertung aber nicht eingeht.

Die Tageszeit wurde mit den Spielern individuell vereinbart. Die Dauer der Warm-up Studie erstreckte sich über die Monate September 95 bis Januar 96. Die Aufnahmen für die Intonationsstudie wurden innerhalb eines Dreivierteljahres von September 96 bis Juni 97 durchgeführt.

Zum Einfluß des Raumes (3.2)



- 3.2. Raum (Ort)
 - 3.2.1 Raumakustik
 - 3.2.1.1 Größe und Dimensionen
 - 3.2.1.2 Nachhall
 - 3.2.1.3 Absorption
 - 3.2.1.4 Feuchtigkeit
 - 3.2.1.5 Temperatur
 - 3.2.2 Optischer Eindruck
 - 3.2.3 Haptischer Eindruck
 - 3.2.4 Lage des Raums (Örtlicher Kontext)
 - 3.2.5 Auditorium

Der Ort, an dem die Tonerzeugung stattfindet, stellt ebenfalls eine wesentliche Umgebungsbedingung dar, die auf verschiedene Art einen Einfluß auf Spieler, Instrument und Wahrnehmung haben kann.

Die Orte, an denen die für diese Arbeit durchgeführten Versuchsreihen realisiert wurden, stellten die Versuchsteilnehmer vor eine ungewöhnliche Situation. Aus meßtechnischen Gründen fanden die Versuche zur "Warm up" Studie in einem Labor des Allgemeinen Krankenhauses der Stadt Wien statt. Die Bedingungen waren zwar vom Prinzip für jeden Spieler gleich, doch ist der Umgang der Spieler mit der Situation unterschiedlich.

Die für die Intonationsstudie ausgewerteten Aufnahmen wurden im reflexionsarmen Raum des Instituts für Wiener Klangstil gemacht, um den Einfluß der Raumakustik auf den Klang zu minimieren. Neben den besonderen akustischen Eigenschaften des Raumes bewirkt auch der unbekannt optische und haptische Eindruck des schallarmen Raumes mit den Telwolle-Keilen, daß der Spieler sich in einer ungewöhnlichen Spielsituation wiederfindet. Die außergewöhnliche Raumakustik wurde dadurch entschärft, daß die Spieler über einen Kopfhörer zusätzlichen Nachhall hören konnten, der künstlich erzeugt wurde.

Die objektiven Eigenschaften des Raumes, wie die Temperatur und Luftfeuchtigkeit, wurden innerhalb gewöhnlicher Bereiche gehalten, die von den Spielern subjektiv wahrgenommenen Eigenschaften des Raumes können hingegen nicht beurteilt werden.

Zum Einfluß der Wahrnehmung (4.)



- 4.1. Zuhörer
- 4.2. Übertragungsweg
 - 4.2.1 Erfassungspunkt
 - 4.2.2 direkt / Live
 - 4.2.3 indirekt
 - 4.2.3.1 Gleichzeitig
 - 4.2.3.2 Konserviert
 - 4.2.3 Manipulationen / Übertragungscharakteristik
 - 4.2.4. Art des Mediums

Die Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung bestimmen den subjektiven Höreindruck eines Tones. Zum einen hängt die Wahrnehmung von der individuellen Informationsverarbeitung ab, zum anderen auch vom Transfer des Signals von der Quelle zum Empfänger.

Die Qualität eines Signales wird von verschiedenen Aspekten geprägt. Es besteht zum Beispiel ein großer Unterschied, ob ein Ton vom Spieler während des Spielens direkt wahrgenommen wird und er einen Einfluß auf die Tonerzeugung hat, oder ob ein aufgezeichneter Ton zeitversetzt, und durch die Übertragungscharakteristik der Schallmedien beeinflusst, gehört wird. Vielfältige psychoakustische Faktoren bestimmen die Wahrnehmung von akustischen Reizen.

Die Wahrnehmung der Spieler bei den Aufnahmen im reflexionsarmen Raum war sicher außergewöhnlich, da die Spieler zum einen den Direktschall vom Instrument hören konnte, zum anderen zusätzlichen Nachhall über den Kopfhörer wahrnahm, der von den Signalen erzeugt wurde, die von einem zwei Meter entfernten Mikrophon aufgenommenen wurden.

Von der Mehrzahl der Spieler wurde die zusätzliche Schallquelle, deren Intensität von den Spielern individuell einstellbar war, als positiv wahrgenommen.

2. Zu den durchgeführten Studien

2.1 Zur "Warm up" Studie

Als "Warm up" bezeichnet man das Einblasen bzw. das Aufwärmtraining mit der Trompete. Ziel der Studie war es, die Temperaturänderung der Hautoberfläche im Ansatzbereich des Trompeters beim "Warm up" zu dokumentieren, und dadurch auf die beim Ansatz beteiligte Muskulatur Rückschlüsse zu gewinnen.

Bei jeder Art von Muskelaktivität ist der Aufwärmvorgang von großer Wichtigkeit. Durch die Beanspruchung der Muskulatur wird die Durchblutung in dieser Gegend verstärkt und daher vermutlich auch die Hautoberfläche wärmer. Das Erwärmen der Hautoberflächentemperatur kann mit einer Wärmekamera demonstriert werden.

Um eine genaue physiologische Lokalisation der beteiligten Muskeln und Regionen zu sichern, wurde die Zusammenarbeit mit Medizinern gesucht. Gemeinsam mit Dr. Thomas Maca - Assistenzarzt an

der Universitätsklinik für Innere Medizin II, Abteilung für Angiologie, am AKH Wien - wurde im Oktober 1995 eine Versuchsreihe mit 16 Versuchspersonen gestartet.

Die Durchführung und statistische Auswertung der Thermo-Aufnahmen konnte mit Hilfe modernster Geräte und spezifischer Software mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden. Besonders interessant ist jedoch bereits die optische Auswertung der farblichen Temperatur-Verteilungsmuster der Wärmebilder. Die Wiedergabe dieser Informationen in einer Graustufendarstellung erlaubt nur eine Annäherung an deren Aussagekraft (siehe Abbildung 5).

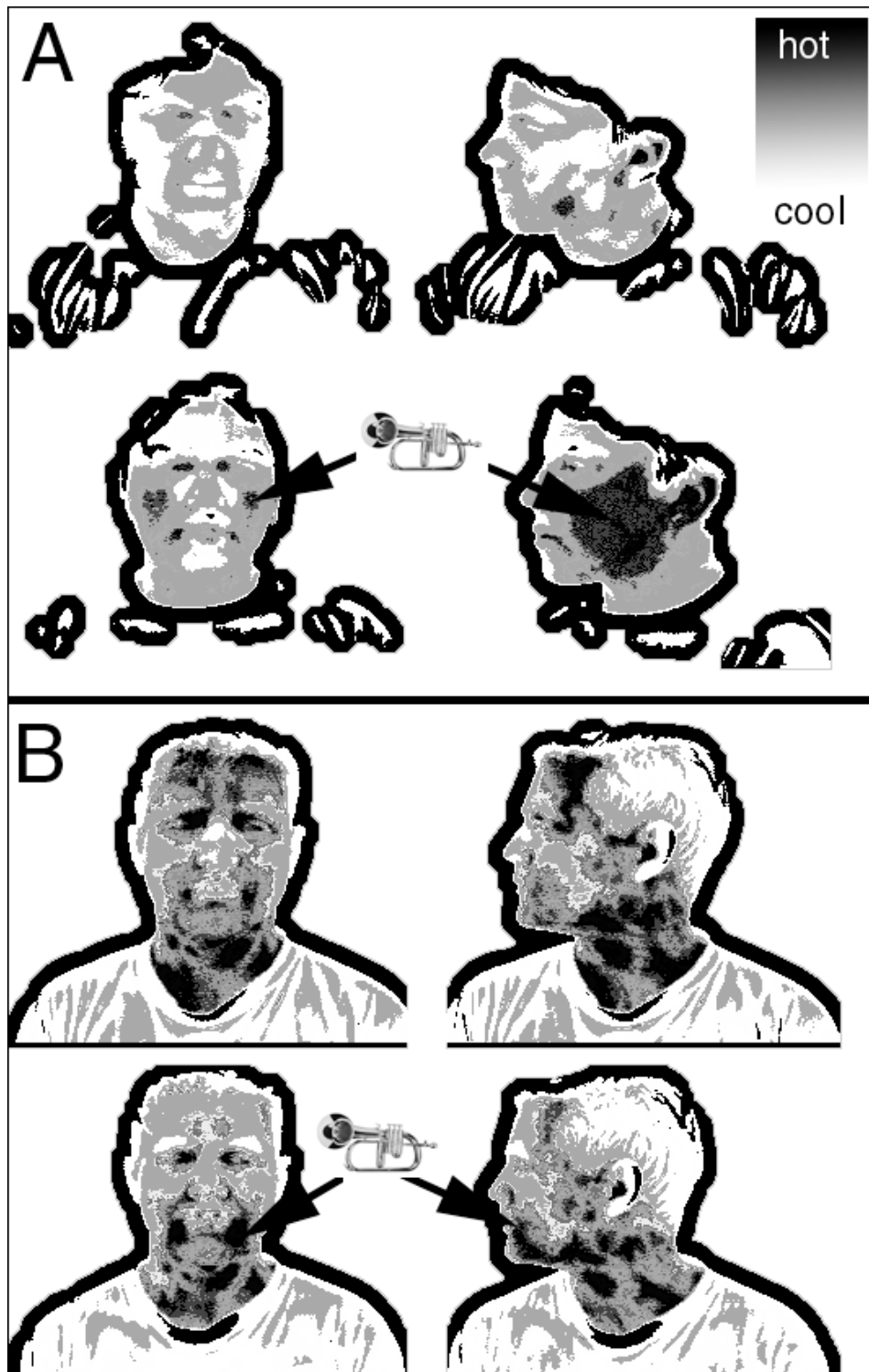


Abbildung 5:
Thermographien (frontal und lateral) von zwei verschiedenen Trompetern jeweils vor dem "warm up" (erste bzw dritte Bilderzeile) und nach einem 10-15 minütigen "warm up" (zweite bzw vierte Bilderzeile). In den Darstellungen sind die jeweils stärken Temperatur-Unterschiedsbereiche mit einem Pfeil gekennzeichnet. (Je dunkler desto wärmer) Während das Erwärmungsmuster von Spieler A eine Ausnahme bildete (buccaler Typus), entspricht Spieler B dem am häufigsten beobachteten Typus, bei denen der Bereich um die Mundwinkel die stärkste Erwärmung erfuhr.

Ergebnisse der "Warm up" Studie

Die Analysen der Wärmebilder erbrachten erstmals den eindeutigen Nachweis der Erwärmung der Hauttemperatur im Bereich der Ansatzmuskulatur beim "Warm up" von Trompetern. Die Ergebnisse belegen eine eindeutige Blutumverteilung zu den zentral aktiven Gesichtspartien. Die Intensität ist dabei von lateral zu distal (Gesichtsmitte) zunehmend. Des Weiteren konnte die Studie die graduell unterschiedlich starken Erwärmungen einzelner Gesichtspartien beim "Warm up" zeigen.

An den Temperaturmeßflächen am Mundwinkel konnten die stärksten Erwärmungen gemessen werden. Der Mittelwert des Temperaturanstieges aller Spieler betrug 1,3 Grad Celsius. Ebenfalls Bereiche deutlicher Erwärmung sind die Nasenseiten und die inneren Wangenpartien. Die Wangenpartien zeigen eine klare Tendenz zur relativen Blutumverteilung in die zentrale Gesichtsmuskulatur; mit deutlicher Erwärmung der inneren, geringerer der zentralen und praktisch fehlender Erwärmung der äußeren Wangenabschnitte. Die Temperatur an den Augenwinkeln bleibt unverändert (sie sind Wärmepole vor und nach dem Einblasen). An der Stirn konnte keine einheitliche Temperaturänderung gemessen werden. Die Stirn kühlte sich bei einigen Spielern durch Schweißbildung deutlich ab.

Die für diese Untersuchung entwickelte und angewandte Methode stellt eine einfache, da nicht invasive Untersuchungsmöglichkeit für die Spieltechnik auf Blasinstrumenten dar. Durch die aussagekräftige optische Darstellung besteht eine Anschaulichkeit, die Untersucherunabhängig ist. Mögliche Einsatzgebiete dieser Methode im Bereich der Instrumental-Physiologie sind:

- die Kontrolle des Trainingszustandes und der Symmetrie
 - die Bestimmung des Spielertypus (nasal, oral, buccal)
 - Überprüfung von bestehenden oder neu entwickelten Hilfsmitteln (Ansatztrainer) auf ihre Wirkung und Sinnhaftigkeit
 - Optimierung und anschauliche Führung der Spieltechnik
-

2.2 Zur Intonations - Studie

Mit der Intonationsstudie wurde versucht, den Einfluß einzelner Komponenten auf die letztendlich vom Spieler mit seinem Instrument produzierte "Intonation" aufzuzeigen. In die Untersuchung wurden die Komponenten "Spieler", "Instrument", "musikalischer Kontext" und "die Behauptung, daß Bläser prinzipiell die reine Stimmung anstrebten" miteinbezogen. Die Studie zur Intonation gliedert sich in vier Teile:

1.) Intonations-Messungen von Trompeten mit BIAS

BIAS ist ein Blas-Instrumenten-Analyse-System, welches die Eingangsimpedanz mißt und eine spielerunabhängige "objektive" Intonation von Blechblasinstrumenten berechnet. Durch BIAS-Messungen von 35 Instrumenten soll die typische Intonationscharakteristik von Trompeten ermittelt und mit statistischen Methoden der Zusammenhang zu anderen Faktoren aufgezeigt werden.

2.) Gespielte Intonation von Trompetern:

Die von 35 Trompetern auf ihrem eigenen Instrument und auf einem Referenzinstrument gespielte Intonation einer G-Dur Tonleiter über zwei Oktaven soll auf verschiedene Aspekte untersucht werden: Varianzbreiten der Grundfrequenz; Intra-individuelle und inter-individuelle Variationen; Korrelation mit musikalischen Stimmungen; Unterschiede zwischen verschiedenen Spielergruppen (z.B. Profis versus Studenten; Männliche versus weibliche Spieler).

3.) "BIAS"-Intonation versus gespielte Intonation:

Mit Hilfe der gewonnenen empirischen Daten der gespielten "subjektiven" Intonation soll die Gültigkeit der mit BIAS gemessenen "objektiven" Intonation der Trompeten überprüft werden.

4.) Intonation im Zusammenhang mit Klangfarbe und Dynamik:

Untersuchung der Wechselbeziehung zwischen der gespielten Grundfrequenz einzelner Töne und weiteren Aspekten, wie der Dynamik, der Klangfarbe und den Zusammenhängen mit der Impedanzcharakteristik des Instrumentes.

Ergebnisse der Intonations - Studie

SPIELER: Die Ergebnisse der Studie zeigen, daß Spieler sich primär an den vom Instrument vorgegebenen Tonhöhen orientieren, diese aber dem musikalischen Kontext anpassen können. Die Auswertung der Aufnahmen von 35 Trompetern hat erkennen lassen, daß der Musiker eine deutliche Einflußmöglichkeit auf die gespielte Tonhöhe hat. Die intra- und interindividuellen Variationsbreiten bei den gespielten Tonhöhen betragen in der tiefen Lage bis über 50 Cent, im mittleren und höheren Bereich mehr als 20 Cent. Dies bedeutet, daß ein Ton, der auf einem Instrument nicht "stimmt", d.h. dessen Resonanzfrequenz etwas höher oder tiefer liegt als erwünscht, vom Spieler korrigiert werden kann. Allerdings nicht über die vorhin angeführte gesamte Spannweite.

Das Instrument erlaubt dem Spieler einen Ton innerhalb einer gewissen Spanne, dem sogenannten "Ziehbereich" zu spielen, sodaß die Vermutung auf der Hand liegt, daß jeder Musiker seine bevorzugte "subjektive Intonation" spielt. Diese Folgerung liegt zwar nahe, trifft aber nur für Einzelfälle zu. Denn der Trompeter kann zwar einen Ton auf eine bestimmte Tonhöhe "ziehen", dieser Vorgang ist jedoch mit erhöhtem Energie- und Konzentrationsaufwand verbunden. Die Steuerung dieser Korrektur verlangt dem Spieler Ressourcen ab, die er für andere musikalische oder spieltechnische Aufgaben benötigt.

Ein interessantes Ergebnis ist die Tatsache, daß es keine bzw. nur sehr geringe Unterschiede bezüglich der Intonation zwischen verschiedenen Spielergruppen gab. Die Intonation der Studenten war nicht wesentlich anders gelagert als die von professionellen Musikern, oder die von "Jazz-Trompetern" als jene von "klassischen Trompetern", oder von weiblichen und männlichen Spielern.

Dies ist auf die gemessene typische Intonationscharakteristik von B-Trompeten und auf die oben erwähnte Orientierung der Spieler zurückzuführen.

INSTRUMENT: Bei den 35 Trompeten deren objektive Intonation mit BIAS gemessen wurde gab es zwar Abweichungen von Tönen im Ausmaß von ca. 20 Cent, die Intonationscharakteristik war jedoch bei allen Instrumenten sehr ähnlich. Sie ist zum einen durch die bekannten Intonationsprobleme beim gleichzeitigen Drücken mehrerer Ventile bedingt, zum anderen gibt es typische Abweichungen zur gleichschwebend temperierte Stimmung die mensurbedingt sind. Z.B. sind Töne die mit der sechsten Resonanzspitze erzeugt werden durchwegs zu hoch.

MUSIKALISCHER KONTEXT: Der musikalische Kontext des gespielten Tones hat einen deutlichen Einfluß auf die gespielte Tonhöhe. Obwohl sich die Auswertung auf einfache Tonleitern beschränkte, zeigte sich doch, daß von allen Spielern ein und derselbe Ton je nach seinem Kontext systematisch unterschiedlich intoniert wurde.

STIMMUNG: Die Auswertungen ergaben, daß Trompeter im Großen und Ganzen jene Tonhöhe spielen, die von den mechanischen Merkmalen des Instruments vorgegeben sind. Im Schnitt liegt die gespielte Intonation sehr nahe bei der mit BIAS ermittelten Intonation, die mit den vom Instrument vorgegebenen Resonanzfrequenzen korreliert.

Im mittleren Register der Trompete (e1-e2) beträgt die durchschnittliche Abweichung zu dieser mit BIAS gemessenen "objektiven" Intonation nur 3,2 Cent. Dagegen beträgt die durchschnittliche Abweichung in diesem Register zur gleichschwebend temperierten Stimmung 4,2 Cent und zur reinen Stimmung gar 7,7 Cent. Die gespielte Intonation liegt also näher bei der vom Instrument vorgegebenen als bei irgendeiner der theoretischen musikalischen Stimmungen. Die musikalische Stimmung, die der gespielten Intonation noch am nächsten kommt, ist die gleichschwebend temperierte Stimmung.

3. Literaturhinweise

- ADACHI, Seji; SATO, Masa-Aki. (1995). Brass sound simulation using a two-dimensional lip vibration model. in: Proceedings of the 15th ICA. Bd. III. Trondheim: ICA. S. 385-388.
- ANGLMAYER, Paul. (1998). Ein neuer Optimierungsalgorithmus zur Intonationskorrektur bei Blechblasinstrumenten. in: Fortschritte der Akustik. Zürich: DAGA.
- AYERS, Dean. (1998). New Perspectives on the Brass Instruments. in: Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics. Leavenworth: Catgut Society. S. 129-34.
- BARTELS, Heinz. (1995). Physiologie: Lehrbuch und Atlas. 5. Aufl. München: Urban und Schwarzenberg.
- BENADE, Arthur H. (1990). Fundamentals of musical acoustics. New York: Dover Publications.
- BERTSCH, Matthias. (1992). Der Einfluß des Dämpfers auf das akustische Verhalten und die Klangfarbe der Trompete. [Phil. Dipl.]. Wien: Geisteswiss. Fakultät der Universität.
- BERTSCH, Matthias. (1995). Two Aspects of Trumpet Playing. On trumpets mutes - Aspect of the embouchure. in: Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics. Dourdan, Paris: SFA, IRCAM. S. 40-46.
- BERTSCH, Matthias. (1998). Studien zur Tonerzeugung auf der Trompete. Dissertation eingereicht an der Universität Wien.
- BOWSER, John M. (1980). The Physics of brass wind instruments. in: Endeavour, New Series Volume 4 Nr.1. London: Pergamon Press. S. 20-25.
- BRUHN, Herbert (Hg); OERTNER, Rolf (Hg); RÖSING, Helmut (Hg). (1993). Musikpsychologie: Ein Handbuch. Rowohlt: Hamburg.
- CAMPIDELL, Stefan; WIDHOLM, Gregor. (1995). The influence of valve mechanism of brass wind instruments on the microstructure of slurs - new results. in: Speech - Music - Hearing, Proceedings of the 32nd Czech Conference on Acoustics. Prag: VUZORT. S. 87-90.
- COPLEY, David; STRONG, William. (1996). A stroboscopic study of lip vibration in a trombone. in: Journal of the Acoustical Society of America (JASA). Vol 99 (2). S. 1219-1226.
- FARKAS, Philip. (1980). Die Kunst der Blechbläser. Ansatzgrundlagen. (deutsch von Peter Steidle). München: Edition Hans Pizka.
- FLETCHER, Neville (1979). Excitation Mechanisms in Woodwind and Brass Instruments. in: Acustica. S. 63-72.
- HOFMANN, Heinrich. (1956). Über den Ansatz der Blechbläser. Kassel: Bärenreiter.
- MARTIN, Daniel W. (1942). Lip Vibrations in a Cornet Mouthpiece. in: Journal of the Acoustical Society of America Vol.13. S. 305-308.
- MEIDT, Alexis Joseph. (1967). A cinefluorographic investigation of oral adjustments for various aspects of brass instrument performance. [Doctor thesis]. Iowa, University of Iowa.
- MEYER, Jürgen (Hg.). (1988). Qualitätsaspekte bei Musikinstrumenten. (Beiträge zum Kolloquium). Celle: Moeck.
- NEMOTO, Toshio. (1995). Medizinische Betrachtung des Klangerzeugungsapparates der Blechbläser. in Brass Bulletin. Basel: BIM.
- VERGEZ, Christoph; RODET, Xavier. (1998). Experiments with an artificial mouth for trumpet. in: Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics. Leavenworth: Catgut Society. S. 153-58.
- VOGEL, Martin. (1961). Die Intonation der Blechbläser. Neue Wege im Metallblas-Instrumentenbau. in: Orpheus-Schriftenreihe zu Grundfragen der Musik 1. Düsseldorf: Ges. z. Förd. d. System. MW.
- WIDHOLM, Gregor. (1995). Brass wind instrument quality measured and evaluated by a new computer system. in: Proceedings of the 15th Int ICA. Bd. III. Trondheim: ICA. S. 517-520.
- WOGRAM, Klaus. (1972). Die Beeinflussung von Klang und Ansprache durch das 'Summenprinzip' bei Blechblasinstrumenten. in: Bericht 1. IMS-Kongress, Kopenhagen. S. 715-720.
- WOGRAM, Klaus. (1986). Diskrepanz in der Beurteilung von Blechblasinstrumenten zwischen Spieler und Zuhörer. in: Bericht 14. Tonmeistertagung. München: K. G. SAUR, S. 378-387.
- YOSHIKAWA, S.; PLITNIK, G. R. (1993). A Preliminary Investigation of Brass Player's Lip Behavior. (Englisch). in: J. Acoust. Soc. Japan 6 Vol. 14. Japan. S. 449-451.
- YOUNG, Robert W. (1982). Dependence of Tuning of Wind Instruments on Temperature. in: Journal of the Acoustical Society of America 3 Vol. 17. S. 187-191.

Hinweise auf allgemeine Literatur zu den verschiedensten Aspekten der Trompete und zu weiteren wissenschaftlichen Arbeiten zur Tonerzeugung auf der Trompete sind in der Literaturdatenbank des Institut für Wiener Klangstil zu finden, die unter Mithilfe des Autors erstellt wurde, und über nachfolgende URL online im Internet zur Recherche angeboten wird:
HTTP://IWK.MHSW.AC.AT

Der vorliegende Artikel von Dr. Matthias Bertsch ist in Druckvorbereitung und wird in der "Zeitschrift für systematische Musikwissenschaft" erscheinen.