

Universität zu Köln
Musikwissenschaftliches Institut

Sommersemester 1999

Dozent:

Prof. Dr. Jobst P. Fricke

Hauptseminar:

Ergebnisse systemischen Arbeitens in der Musikwissenschaft

Thema:

Die Notwendigkeit der Formantbildung wegen der Verdeckung

vorgelegt von:

Yvonne Bastian

8. Fachsemester

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Die Klangfarbenwahrnehmung
 - 2.1. Formanten und die Schumannschen Klangfarbengesetze
 - 2.2. Die Beziehung zwischen Formant und Einschwingvorgang
3. Die Verdeckung oder Maskierung
 - 3.1. Vor- und Nachverdeckung
 - 3.2. Partielle Verdeckung
4. Der Einfluß der Formanten auf die Klangfarbenerkennung
 - 4.1. Die Untersuchungen
 - 4.2. Fazit
5. Schlußbemerkung

Bibliographie

1. Einleitung

Zentrale Frage dieser Arbeit ist, was passiert, wenn mehrere Instrumente gleichzeitig zusammenspielen? Welche Klangfarben hört man besonders gut heraus, welche weniger gut? Welche akustischen und psychologischen Parameter liegen der Klangfarbenwahrnehmung zugrunde?

Ich werde zunächst auf verschiedene Einflüsse der Klangfarbenwahrnehmung eingehen. Daran anschließend werde ich die Schumannschen Klangfarbengesetze und die Auswirkung des Einschwingvorganges in Hinblick auf die Klangfarbenwahrnehmung näher beleuchten. Bei dieser Betrachtung finden die Formanten an Bedeutung, die im weiteren Teil der Arbeit von besonderer Wichtigkeit sind. Im Speziellen werde ich dann das Phänomen der Verdeckung erklären, die wesentlichen Einfluß auf die Klangfarbenerkennung im Ensemblespiel hat. Dazu werde ich eine Untersuchungsreihe, durchgeführt von Christoph Reuter, zum Einfluß der Formanten auf die Klangfarbenerkennung vorstellen und versuchen die enorme Notwendigkeit der Formantbildung herauszustellen.

2. Die Klangfarbenwahrnehmung

Simultan erklingende Klänge können schon allein durch ihren Tonhöhenabstand voneinander unterschieden werden (Reuter 1996, S. 69). Dies funktioniert um so besser, je weiter die Grundtöne der einzelnen Klänge auseinander liegen. Je enger die Tonhöhen beieinanderliegen, desto weniger Einzelklänge können unterschieden werden, desto weniger wird auch das Hinzu- oder Wegtreten eines Einzelklanges bemerkt (Reuter 1996, S. 77). Ist der Gesamtklang konsonant, so wird die Anzahl der ihn zusammensetzenden Einzelklänge oft unterschätzt, während dissonierende Klänge in der Anzahl ihrer Einzelklangfarben meist überschätzt werden. Je tiefer ein Klang im Gedächtnis eines Hörers verankert ist, desto schneller kann er diesen aus einem Klanggemisch heraushören (Reuter 1996, S. 78).

Zur gleichen Zeit einsetzende Frequenzkomponenten werden aufgrund des Gestaltprinzips des gleichen Schicksals zu einem Klang gehörig wahrgenommen, zu verschiedenen Zeitpunkten einsetzende Teiltöne hingegen werden verschiedenen Klängen zugeordnet (Reuter 1996, S. 79). Kleine Abweichungen beim gleichzeitigen Stimmeinsatz (Onset-Asynchrony) steigern die Durchsichtigkeit des Zusammenklanges erheblich und werden auch als ein Klang wahrgenommen (Reuter 1996, S. 79).

Die durch Oktavierung auftretende Klangverschmelzung ist ein Produkt der frequenzabhängigen Anhebung der Hörschwelle zur Verdeckungshörschwelle. Diese funktioniert bei einer Doppeloktavierung oder oberhalb einer Frequenz von etwa 4000Hz nicht mehr so lückenlos, da besonders die Teiltöne niedriger Ordnungszahl aufgrund ihres großen Abstands über die vom höheren Klang produzierte Mithörschwelle ragen können (Reuter 1996, S. 70).

Es gelten für Intervalle folgende Verschmelzungsgrade (Stumpf 1890, S. 135):

Verschmelzungsgrad	Intervall	Frequenzverhältnis
1. maximal	Oktave	1:2
2. groß	Quinte	2:3
3. weniger groß	Quarte	3:4
4. gering	Terzen, Sexten	4:5, 5:6, 3:5, 5:8
5. am geringsten	alle anderen	

Der Einfluß der Klangfarbenkombinationen auf das Klangerlebnis, hier am Beispiel von Akkorden von Flöte und Oboe dargestellt, ist sehr wichtig (Reuter 1996, S. 71):

Klangfarbenkombinationen in Akkorden am Beispiel von Flöte und Oboe			
Schichtung	Überlappung	Kreuzung	Umrahmung

aus Reuter 1996, S. 71

1. *Schichtung*

Geschichtete Klangfarben behalten am meisten ihre Individualität und heben sich am besten voneinander ab, wobei der Gesamtklang meist durch die höheren Instrumente noch etwas aufgehellt wird.

2. *Überlappung*

Hier entsteht der Nachteil, daß durch die Mehrfachbesetzung die Mittelstimmen oft stärker werden, als die Außenstimmen und somit den Klang dominieren.

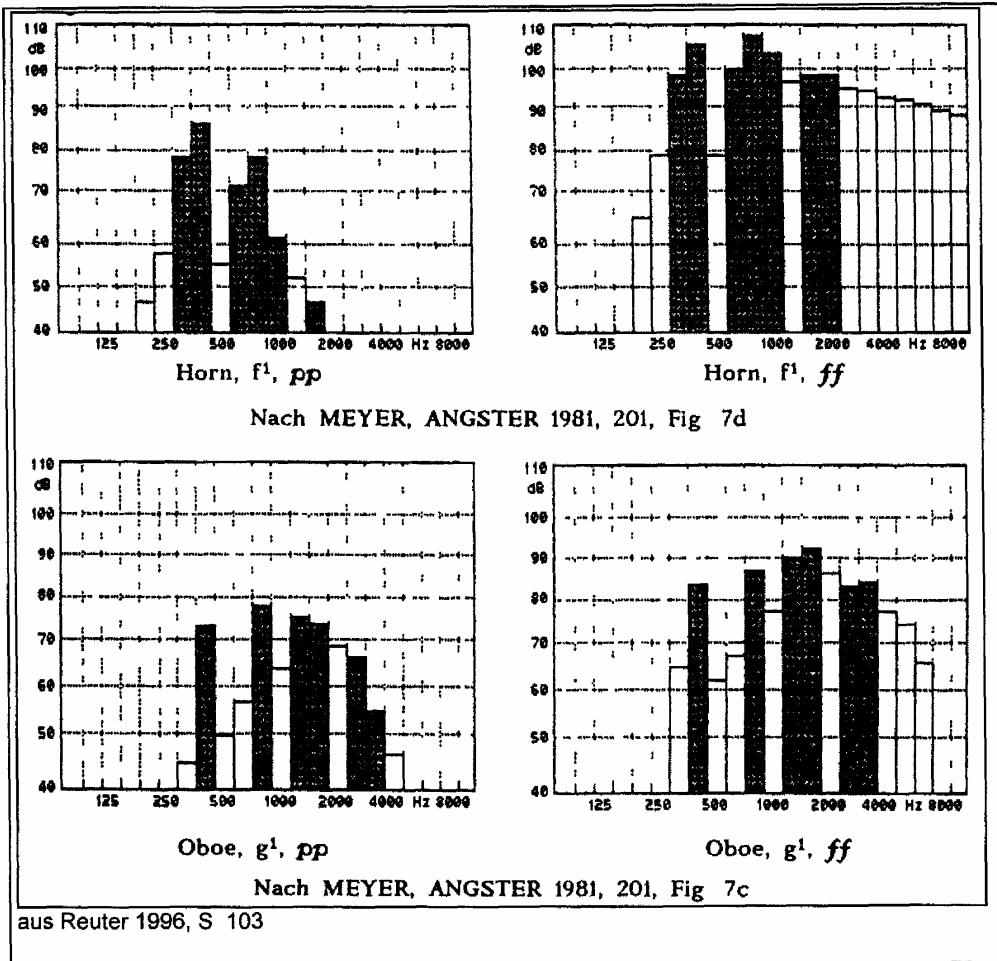
3. *Kreuzung*

Die beste Möglichkeit Klangfarben verschmelzen zu lassen.

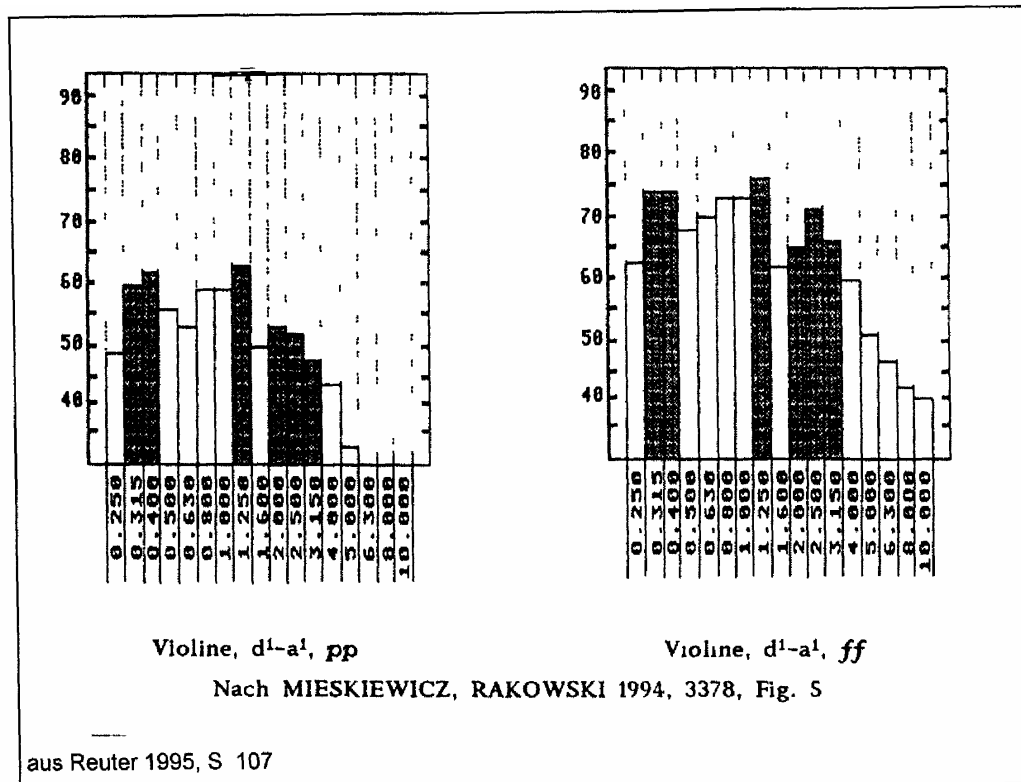
4. *Umrahmung*

Auch diese Klangfarbenkombination findet die Verschmelzung.

Je unterschiedlicher die Lautheit der Einzelklänge ist, desto weniger können sie unterschieden werden. Gleiche Lautheit hingegen trägt dazu bei, daß alle beteiligten Klangfarben erkannt werden können (Reuter 1996, S. 73). Der Dynamikeindruck wird beim Hörer dabei viel weniger durch den Schallpegel bzw. die Pegeldynamik sondern viel eher durch die spektralen Vorgänge, die Spektraldynamik, hervorgerufen (Reuter 1996, S. 93). So bilden sich bei Blasinstrumenten im Forte viel mehr Teiltöne aus als im Piano (Reuter 1996, S. 93), wie folgende Terzpegelspektren zeigen:



Die Form des Spektrums bei Streichern, vor allem bei den Geigen, bleibt jedoch von der Dynamik nahezu unbeeinflusst (Reuter 1996, S. 103)



Während beim Streichervibrato je nach Lage der Resonanzen auch die schwankenden Teiltöne in der Frequenz des Vibratos gedämpft oder verstärkt werden (Reuter 1995, S. 149), erfahren besonders die Teiltöne der Blechblasinstrumente und der Flöte aufgrund der Impulsformung eine gleichphasige Modulation. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Klänge der Blasinstrumente aufgrund dieser Unterschiede im spektralen Verhalten besser differenzierbar sind. Selbst bei kurzen Dauern können noch chorische Unisono-Klänge von schwebungslosen Klängen gleicher Art unterschieden werden (Reuter 1996, S. 77).

2.1. Formanten und die Schumannschen Klangfarbengesetze

Unter Formanten versteht man breitbandige Amplitudenmaxima im Spektrum eines Signals. Die grundlegenden Studien zur Ausbildung der Instrumentalformanten stammen von Karl Erich Schumann. Er untersuchte die Spektren der Instrumentalklänge und ihr Verhalten bei Dynamik- und Tonhöhenwechseln. Nach seinen Versuchen war es ihm im Jahre 1929

möglich folgende vier Klangfarbengesetze aufzustellen: (aus Reuter 1996, S. 111)

1. Das *Formantstreckengesetz*: Formanten bei Musikinstrumenten sind feste, vom Grundton abhängige Strecken oder Bereiche im Spektrum, in denen die Teiltonamplituden besonders stark hervorgehoben werden. Erreicht mit ansteigendem Grundton der amplitudenstärkste Teilton die Formantgrenze, so verlagert sich das Amplitudenmaximum auf den nächst tieferen bzw. gerade in die Formantstrecke eintretenden Teilton.
2. Das *Formantverschiebungsgesetz*: Mit stärker werdender Dynamik verlagert sich das Amplitudenmaximum innerhalb des Formanten auf Teiltöne höherer Ordnung.
3. Das *Sprunggesetz*: Es kann als Extremfall des Verschiebungsgesetzes aufgefaßt werden. Bei sehr starker Tongebung überspringt das in p-Klängen im ersten, tieferen Formanten liegende Amplitudenmaximum die Teiltöne zwischen den Formanten und zeichnet die zweite, höhere Formantstrecke aus.
4. Das *Formantintervallgesetz*: Der amplitudenstärkste Teilton der einen Formantstrecke bildet mit dem amplitudenstärksten Teilton der zweiten Formantstrecke ein für das jeweilige Instrument charakteristisches Verhältnis.

Das Formantintervallgesetz ist allerdings heute so nicht mehr gültig, da es dem Formantverschiebungsgesetz widerspricht. So muß sich das Intervall zwischen den amplitudenstärksten Teiltönen zweier Formanten zwangsläufig ändern, wenn sich bei stärkerer Dynamik die Amplitudenmaxima auf den nächst höheren Teilton verlagern. Dennoch scheint es für verschiedene Instrumente spezifische Formantintervalle zu geben, wie neuere Untersuchungen ebenfalls zeigen. Eine Erklärung dafür, daß die Formanten trotz unterschiedlicher Dynamik an der gleichen Stelle bleiben, gibt das Impulsformungsgesetz für Holz- und Blechblasinstrumente.

Formantbereiche einzelner Instrumente:

<i>Instrument</i>	1. <i>Formantbereich</i>	1. <i>Formantzentrum</i>	2. <i>Formantbereich</i>	2. <i>Formantzentrum</i>
Oboe	1100-1850Hz	1400Hz	2350-3750Hz	3000Hz
Englisch Horn	750-1300Hz	950Hz	1850-3750Hz	1350Hz
Fagott	400-650Hz	450Hz	950-1450Hz	1200Hz
Klarinette	950-1550Hz	1250Hz	2200-3800Hz	3750Hz
Querflöte	650-850Hz	800Hz		

(nach: Schumann 1929, Mertens 1975, Winkhaus 1930, aus Reuter 1995, S.99f,108,113)

2.2. Die Beziehung zwischen Formant und Einschwingvorgang

Im folgenden möchte ich anhand einer Studie von Christoph Reuter, 1995, kurz erläutern, welchen Einfluß der Einschwingvorgang auf die Formantbildung hat.

Je kürzer und unkomplizierter sich der Einschwingvorgang vollzieht, desto deutlicher ist der Formant im Spektrum ausgeprägt, desto geringer ist die Stärke der Fluktuationen im Spektrum, und umgekehrt. Zum Beispiel ist der Einschwingvorgang bei Blasinstrumenten wesentlich einfacher als bei Streichinstrumenten. Das hat zur Folge, daß Blasinstrumente durch feste Formantbereiche gekennzeichnet sind, während sich Streichinstrumente durch starke Fluktuationen der Formanten kennzeichnen.

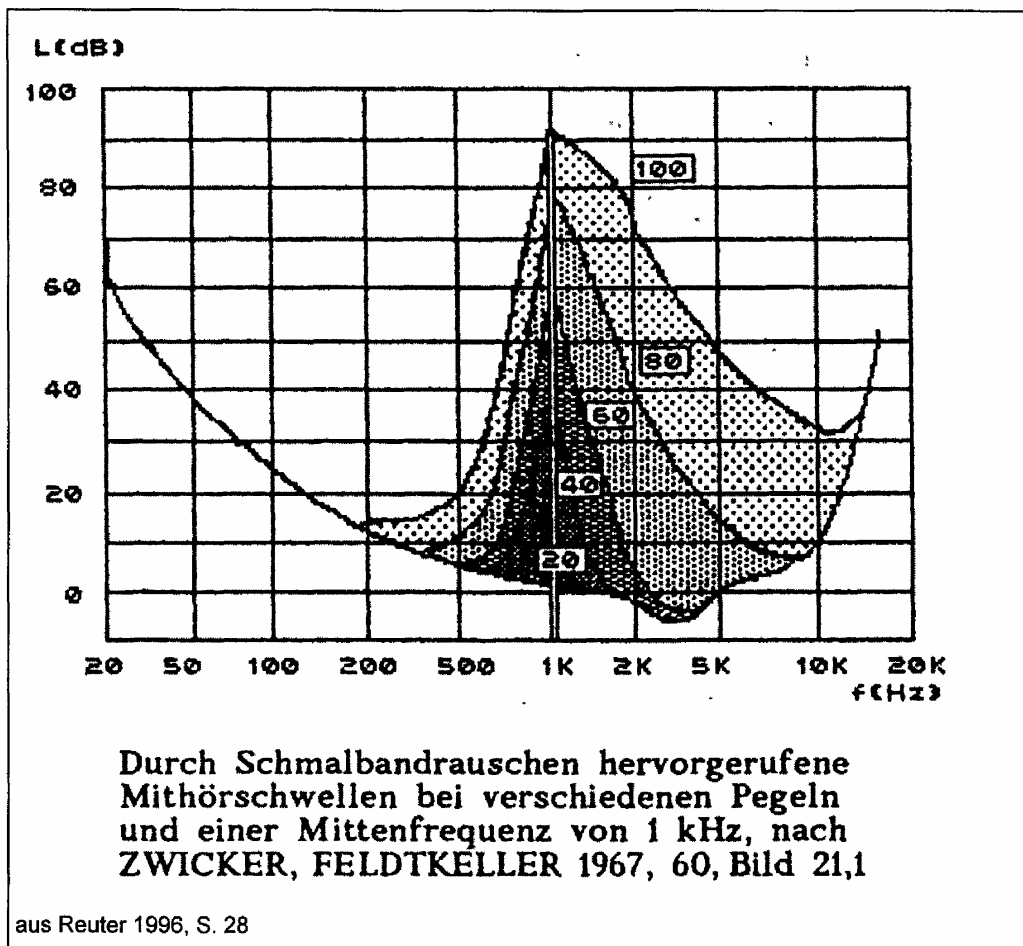
Liegt der Grundton unterhalb des ersten Formantbereiches, so sind die Formanten für die Klangfarbenerkennung das Hauptkriterium, während nach einer Überschreitung der Formantgrenzen durch den Grundton der Einschwingvorgang für die Identifizierung des Klanges an Bedeutung gewinnt. Dies gilt nicht bei Streichinstrumenten, da diese wie oben beschrieben keine festen Formanten besitzen.

Liegt der Grundton unterhalb des ersten Formanten, so vollzieht sich die Dynamikwahrnehmung nach dem 2. und 3. Schumannschen Klangfarben-gesetz, während bei einer Grundtonhöhe innerhalb oder oberhalb des ersten Formanten wiederum der Einschwingvorgang für die Dynamikwahrnehmung wichtiger wird (ausgenommen bei Streichinstrumenten). Die Ursachen müssen jedoch noch anhand von spektralen Untersuchungen der dargebotenen Klänge erforscht werden.

Klänge, die ohne ihre natürlichen Einschwingvorgänge häufig verwechselt werden, werden in den meisten Fällen auch in ihrem Originalzustand mit Einschwingvorgang schon häufig miteinander verwechselt.

3. Die Verdeckung oder Maskierung

Als Verdeckung beschreibt man das Phänomen, daß einzelne lautere Töne andere gleichzeitig erklingende leisere Töne in ihrer Lautheit so beeinflussen, daß diese nur noch sehr leise oder gar nicht mehr hörbar sind (Zwicker 1982, S. 41). Der lautere Ton bleibt in seiner Lautheit unbeeinflusst. Er heißt Maskierer. Die folgende Abbildung zeigt, wie laut Töne verschiedener Tonhöhen sein müssen, damit sie bei einem Maskierer von 1000Hz und unterschiedlicher Lautstärke noch hörbar sind. Die untere Begrenzungskurve stellt die Ruhehörschwelle dar.



Aus obiger Abbildung kann man sehen, daß höhere Frequenzen durch den Maskierer in viel stärkerem Maße in ihrer Lautheit vermindert werden als tiefere. Daraus folgt, daß tiefe Töne hohe Töne mehr verdecken, als hohe Töne tiefe Töne (Stumpf 1890, S. 227f).

Die Töne, deren Pegel nur ein wenig oberhalb der Verdeckungsschwelle liegt, werden als leiser empfunden, als sie ohne Anwesenheit des Maskierers eigentlich sind (Reuter 1996, S. 29). Bei diesem Phänomen spricht man von Drosselung. Während also in der Nähe der Verdeckungsschwelle der einzelne Ton fast unhörbar ist, ist er nur wenige dB von ihr entfernt (-4 dB bis +6 dB), in seiner Lautheit nahezu ungestört (Reuter 1996, S. 29). Dies ist ein Ergebnis der enormen Aufholtendenz unseres Ohres, das auch als Recruitment bezeichnet wird.

3.1. Vor- und Nachverdeckung

Da die Vor- (ca. 10-20 ms) und Nachverdeckung (ca. 100-300 ms) unmittelbar von den Integrationszeiten des Ohres abhängig ist, werde ich zunächst kurz auf diese eingehen.

Die erste Integrationszeit dauert bis zu 10 ms (Reuter 1996, S. 15). Sie dient zur Ausbildung bzw. Umorientierung der Frequenzgruppenbreiten. Für die erste Integrationszeit gilt, je höher die Frequenz oder je geringer die Lautstärke des einsetzenden Klanges ist, desto kürzer darf dessen Einschwingzeit sein, ohne als Impuls wahrgenommen zu werden.

Die zweite Integrationszeit dauert 10-90 ms (Reuter 1996, S. 16). Sie bildet die Grenze, oberhalb derer aufeinanderfolgende Einzelereignisse zu einem Gesamt ereignis zusammengefaßt werden (siehe oben, Onset-Asynchrony). Sie ist abhängig von der Art, der Dauer und dem Einfallswinkel der Klänge.

Die dritte Integrationszeit dauert bis zu 250 ms (Reuter 1996, S. 16f). Innerhalb dieser Zeit wird ein quasiperiodischer Klang trotz seiner vielen Mikroschwankungen in Amplitude und Periode noch als periodisch und mit fester harmonischer Teiltonstruktur wahrgenommen.

Nach dem Abschalten des Signals bleibt die Nachhörschwelle je nach Art und Dauer des vorangegangenen Signals noch ca. 2-5 ms auf der gleichen Höhe und sinkt erst in einer der 3. Integrationszeit entsprechenden Dauer von 100-300 ms wieder zurück auf die Ruhehörschwelle (Zwicker 1982, S. 94).

Unterscheiden sich die Spektren von zwei aufeinanderfolgenden Klänge nicht, so geht die Vorverdeckungsschwelle ohne Störung in die Mithörschwelle über. Sind die Spektren jedoch unterschiedlich, so steigt die Vorhörschwelle zunächst sehr stark an, erreicht kurz vor Einsatz des zweiten Klanges ihr Maximum und fällt dann in einer Zeit von unter 25 ms zurück auf die Mithörschwelle, was wahrscheinlich mit einer Neuordnung der

Frequenzgruppen zusammenhängt, verursacht durch das im Spektrum unterschiedliche zweite Signal (Reuter 1996, S. 31).

Sind die Pausen zwischen zwei Maskierern kleiner als 200msec, so gehen Vor- und Nachverdeckung ineinander über (Mithörschwellen-Periodenmuster nach Zwicker 1982, S. 99f). In unserer Musikpraxis gehen Vor- und Nachverdeckung aufgrund der schnellen Aufeinanderfolge der Klänge meist ineinander über. Die Verdeckungsschwelle kann nur bei größeren Pausen (mehr als 200 ms) zur Ruhehörschwelle absinken.

3.2. Partielle Verdeckung

Spielen zwei oder mehrere Instrumente im Ensemble zusammen, so drosseln oder verdecken sich je nach Tonhöhe und Schallpegel die einzelnen Klänge gegenseitig, und im Grunde dürften bei gleicher Tonhöhe nur noch die lautesten Schalle hörbar sein. Beim Unisonospiel können dennoch einzelne Klänge aus dem Gesamtklang herausgehört werden, da die spektralen Erkennungsmerkmale der einzelnen Instrumente, die Formanten, je nach Instrument und Register unterschiedliche Bereiche im Spektrum besetzen. Beim Zusammenspiel treffen die festen Formanten des einen Instruments auf spektrale Lücken des anderen Instruments, dessen Formanten können wiederum auf die spektralen Lücken des ersten Instruments fallen (Reuter 1996, S. 79). Dadurch, daß die Formanten der verschiedenen Instrumente auch an unterschiedlichen spektralen Positionen liegen, verdecken sich viele Instrumente unseres abendländischen Orchesters trotz gleichen Pegels nie vollständig, sondern immer nur partiell (Reuter 1996, S. 80).

Weil alle Klänge in ihren Tonhöhen und Amplituden stets etwas schwanken, ist im Zusammenklang kurz mal der eine Klang mal der andere besonders deutlich wahrnehmbar, und so können schließlich alle beteiligten Klänge aufgrund dieser partiellen Verdeckung im zeitlichen Bereich erkannt werden (Reuter 1996, S. 78).

Bei der gegenseitigen Verdeckung von formanthaltigen im Unisono spielenden Orchesterinstrumenten scheint die Residualtonbildung (Residualton/Residuum: ein virtueller Grundton, d.h. für eine Tonhöhenwahrnehmung, die der Frequenz des Grundtons einer periodischen Schallschwingung entspricht, unabhängig davon, ob die Grundfrequenz tatsächlich im Spektrum erhalten ist oder nicht (Reuter 1996, S. 18)) eine große Rolle zu spielen. Sobald sich zwei Instrumente aufgrund unterschiedlicher Formantpositionen beim Unisonospiel nur teilweise verdecken, ergibt sich aus psychoakustischer Sicht hauptsächlich folgende Situation:

Da trotz gleicher Tonhöhe aufgrund der teilweisen Verdeckung zwei unterschiedliche Teiltonbereiche für die Ausbildung der Residuen verantwortlich sind, müßten die Instrumente schon allein dadurch unterschieden werden können. Das Verhalten des Residuums richtet sich nach den jeweiligen Teiltonkomplexen, so daß z.B. die unterschiedlichen Minimalschwankungen jedes Teiltonkomplexes in das dazugehörige Residuum projiziert werden. Das Residuum des einen Instrumentes bildet sich aus den unverdeckten Teiltönen der Formanten dieses Instrumentes, während sich das Residuum des anderen Instruments aus den unverdeckten Komponenten des Formanten des anderen bildet (Reuter 1996, S. 33). Die tiefen Teiltöne der jeweilig nicht verdeckten Teile der Spektren üben dabei einen viel wichtigeren Einfluß auf die Ausbildung der Residuen aus als die hohen Teiltöne.

Nicht verschmelzende Klänge (non-blending) sind auf unterschiedliche Formantpositionen, Verschmelzungsklänge (blending) auf gleiche Formantpositionen bzw. auf gleiche spektrale Energieverteilung des Schallereignisses und des Maskierers zurückzuführen. Das bedeutet, daß Instrumente mit ähnlichen oder gleichen Klangfarben (z.B. Oboe und Trompete) sehr gut miteinander verschmelzen und sich leichter gegenseitig verdecken als Instrumente mit unterschiedlichen Klangfarben. So ist der Verschmelzungsgrad nicht nur von dem erklingenden Intervall oder der

Klangfarbenkombination abhängig, sondern auch von den jeweiligen spektralen Gegebenheiten.

4. Der Einfluß der Formanten auf die Klangfarbenerkennung

Christoph Reuter hat für seine Dissertation einige Untersuchungen zum Einfluß der Formanten auf die Verdeckung gemacht. Besonders wichtig für diese Untersuchungen waren im Unisono spielende Musikinstrumente, da in oktavierter, akkordischer oder gar polyphoner Spielweise es nicht experimentell beweisbar ist, daß die am Gesamtklang beteiligten Instrumente allein aufgrund ihrer Klangfarbenunterschiede herausgehört werden können.

Zu Beginn seiner Versuchsreihe hat er den Einfluß der Melodie auf die Klangfarbenwahrnehmung untersucht. Damit wollte er belegen, daß sich melodische Floskeln nicht für seine weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen eignen. Er wählte deshalb Tonleiterauschnitte verschiedener Instrumente, deren Klangfarbenerkennung er sich bestätigen ließ. Im Kern seiner Untersuchungen kombinierte er die Tonleiterauschnitte jeweils zwei verschiedener Instrumente im gleichen Register miteinander. Er testete die Klangfarbenerkennung der Unisono-Paare sowohl in ihrem originalen Spektren als auch in manipulierten Spektren. Daraus folgte er dann sein Modell für die Wahrnehmung des musikalischen Zusammenspiels.

4.1. Die Untersuchungen

In einer ersten Voruntersuchung wurde der Einfluß der Melodie auf die Klangfarbenwahrnehmung getestet. Um ein möglichst allgemeingültiges Ergebnis zu erhalten, erschien es notwendig nicht mit realen Instrumenten sondern mit synthetischen Klängen zu arbeiten. Dazu ließ Reuter einen Oboenton einspielen, den er dann auf verschiedene Tonhöhen modulierte und mit rosa Rauschen kombinierte, so daß der Originalklang nicht mehr

erkennbar war. Es wurden den Probanden verschiedene bekannte Melodien der abendländischen Orchesterliteratur vorgespielt, die alle mittels des synthetischen Klanges erzeugt wurden. Das Ergebnis zeigte, je vertrauter dem Hörer die Melodien waren, desto eher schloß er allein schon von der gespielten melodischen Floskel auf ein bestimmtes Instrument. Folgende Abbildung zeigt oben die eingespielten synthetischen Melodien der verschiedenen Instrumente und links die von den Hörern wahrgenommene Klangfarbe.

Gesanhörer		Melodie typisch für					
		Flöte	Oboe	Klarinette	Fagott	Horn	Trompete
gehörte Klangfarbe	Flöte	63	8	5	5	10	2
	Oboe	7	64	15		2	15
	Klarinette	9	9	34	3	22	8
	Fagott	1	5	23	66	11	1
	Horn		2	8	14	35	16
	Trompete	10	4	5	2	10	48

aus Reuter 1996, S.172

Daraus folgerte Reuter für seine weiteren Untersuchungen, daß er nicht Melodieausschnitte als Stimuli sondern Tonleiterausschnitte verwenden würde, die er von elf gängigen Orchesterinstrumenten in allen erreichbaren Lagen einspielte und digital speicherte. Dabei bestand ein Tonleiterausschnitt aus den fünf Tönen c bis g oder den fünf Tönen g bis d jeweils in C-Dur.

Instrument	Register tief		Register Mitte			Register hoch	
	t1	t2	n1	n2	n3	h1	h2
Flöte	c1-g1		g1-d2,	c2-g2,	g2-d3	c3-g3	
Oboe	c1-g1		g1-d2,	c2-g2,	g2-d3	c3-g3	
B-Klarinette	g-d1,	c1-g1	g1-d2,	c2-g2		g2-d3	
Fagott	C-G,	G-d	c-g,	g-d1		c1-g1,	g1-d2
Ventilhorn (F)	G-d		c-g,	g-d1		c1-g1,	g1-d2
Trompete (B)	g-d1		c1-g1,	g1-c2		c2-g2	
Tenorposaune	G-d,	c-g	g-d1,	c1-g1		g1-d2	
Tuba	C-G		G-d,	c-g		g-d1	
6 Violinen	g-d1		c1-g1,	g1-d2		c2-g2,	g2-d3
3 Violon	c-g		g-d1,	c1-g1		g1-d2,	c2-g2
3 Violoncelli	C-G		G-d,	c-g		g-d1,	c1-g1

Das klangliche Ausgangsmaterial

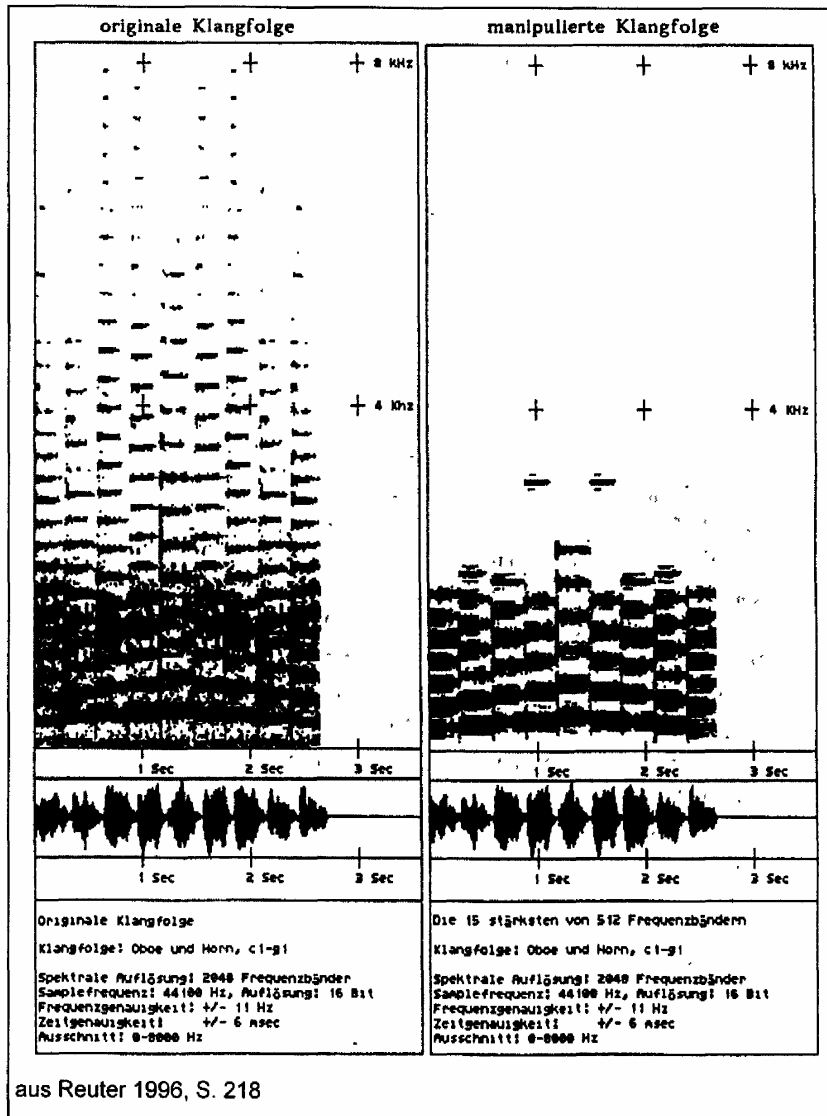
aus Reuter 1996, S. 180

Die Probanden mußten nun bestimmen, welche Instrumente an dem jeweiligen Unisonoklang beteiligt waren, wobei auch die Möglichkeit bestand zwei gleiche Instrumente anzukreuzen. Das Ergebnis war folgendes: Klänge mit unterschiedlichen Formantpositionen konnten besser getrennt herausgehört werden (non-blending) als Klänge mit gleichen Formantpositionen, die häufig zu Schmelzklangerlebnissen führten (blending). Die Klänge, die hauptsächlich durch Fluktuationen geprägt sind (Streicher) erwiesen sich als nicht homogen mischbar mit formanthaligen Klängen. Unisonomischungen von zwei Streichinstrumenten hingegen führte wiederum zu einem blending Erlebnis. Insgesamt läßt sich sagen, daß Klangkombinationen, die den Hörern vertrauter waren besser differenziert werden konnten, als weniger bekannte Kombinationen. Nach dieser Untersuchung wählte Reuter als Grundlage für seine weiteren Experimente die 11 besten blending Klänge und die 35 schlechtesten non-blending Klänge aus.

Klangkombinationen, die von mehr als 40% der Upn getrennt, bzw. als Schmelzklänge (■) erkannt wurden	
C-g	c¹-g¹
Fagott + Tuba (Fg+Tb)	Oboe + Fagott (Ob+Fg)
Tuba + Celli (Tb+Vc)	Oboe + Horn (Ob+Hn)
G-d	Fagott + Trompete (Fg+Tp)
Fagott + Horn (Fg+Hn) ■	Fagott + Violen (Fg+Va)
Fagott + Posaune (Fg+Ps)	Horn + Trompete (Hn+Tp)
Fagott + Tuba (Fg+Tb)	Trompete + Violen (Tp+Va)
Horn + Posaune (Hn+Ps) ■	g¹-d²
Horn + Tuba (Hn+Tb) ■	Flöte + Oboe (F1+Ob)
Posaune + Tuba (Ps+Tb)	Flöte + Horn (F1+Hn)
Posaune + Celli (Ps+Vc)	Oboe + Klarinette (Ob+K1)
Tuba + Celli (Tb+Vc)	Oboe + Horn (Ob+Hn)
C-g	Oboe + Trompete (Ob+Tp) ■
Fagott + Horn (Fg+Hn) ■	Oboe + Violinen (Ob+V1)
Fagott + Posaune (Fg+Ps) ■	Klarinette + Violinen (K1+V1)
Fagott + Tuba (Fg+Tb)	Horn + Trompete (Hn+Tp)
Fagott + Violen (Fg+Va)	Trompete + Violinen (Tp+V1)
Horn + Posaune (Hn+Ps) ■	c²-g²
Horn + Tuba (Hn+Tb) ■	Flöte + Oboe (F1+Ob)
Posaune + Celli (Ps+Vc)	Flöte + Klarinette (F1+K1)
Violen + Celli (Va+Vc) ■	Flöte + Violinen (F1+V1)
g-d¹	Oboe + Trompete (Ob+Tp)
Klarinette + Fagott (K1+Fg)	Oboe + Violinen (Ob+V1)
Klarinette + Celli (K1+Vc)	Klarinette + Trompete (K1+Tp) ■
Fagott + Horn (Fg+Hn) ■	Trompete + Violinen (Tp+V1)
Fagott + Trompete (Fg+Tp)	g²-d³
	Flöte + Klarinette (F1+K1)
	Flöte + Violinen (F1+V1)

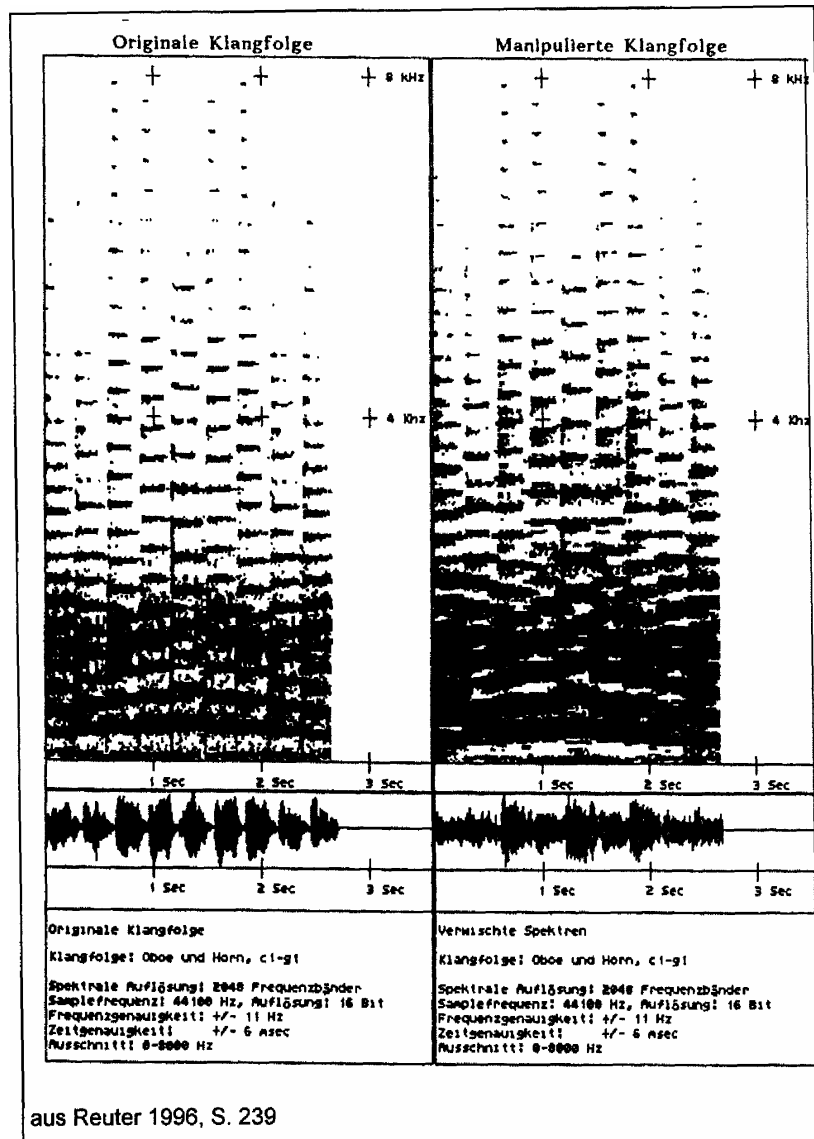
aus Reuter 1996, S. 215

Reuter manipulierte in seinem zweiten Versuch die ausgewählten 46 Klangfolgen. Zunächst löste er die Spektren der Klangfolgen in 512 Frequenzbänder auf. Dann löschte er alle Frequenzbänder der Signale bis auf die 15 stärksten.

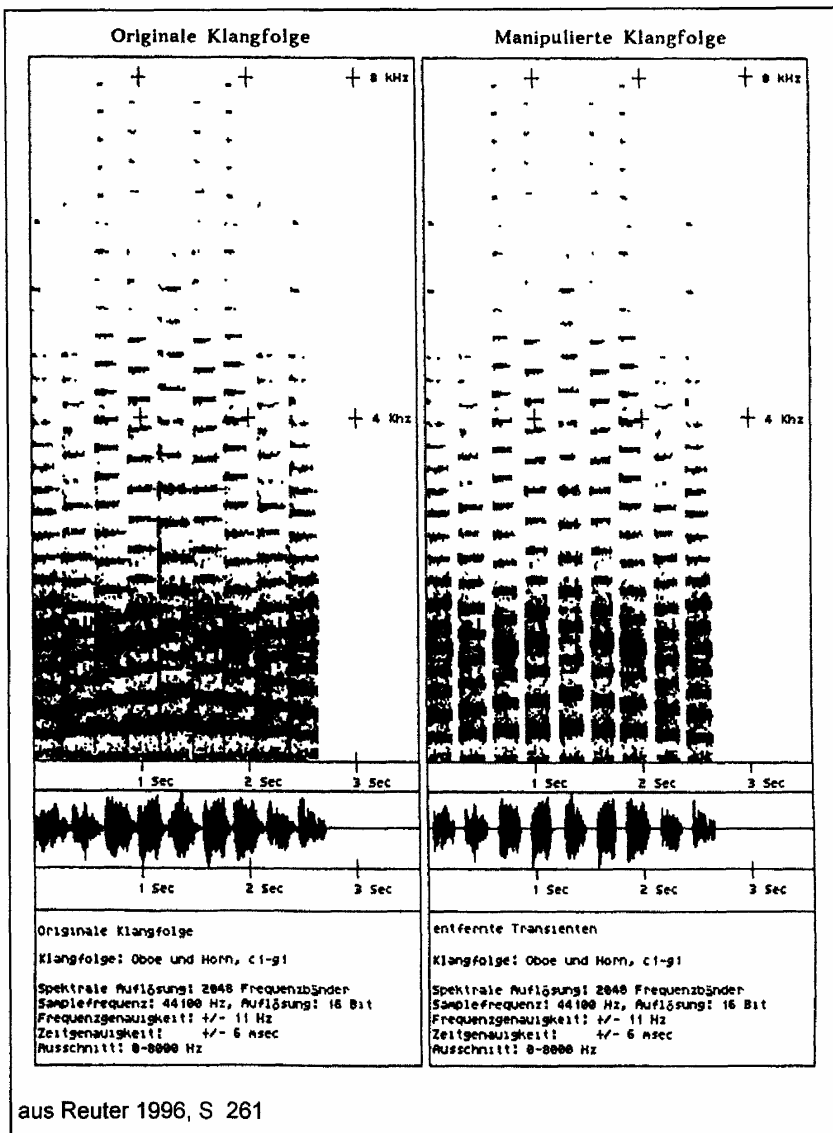


Der Hörtest dieser manipulierten Klänge ergab, daß die Blasinstrumente in den meisten Fällen trotzdem, die Streichinstrumente hingegen fast gar nicht erkannt wurden.

Reuter verwischte für seine dritte Untersuchung die originalen Signale der Unisono-Paare, woraufhin die Blasinstrumente nicht mehr wohl aber die Streichinstrumente identifiziert werden konnten.



In einer letzten Untersuchung entfernte Reuter die Transienten der Klänge, das heißt er löschte die Einschwingvorgänge und die Übergangsvorgänge, so daß nur noch die ein- und ausgeblendeten Klangmittelteile wahrnehmbar waren, die genau gleichzeitig einsetzten und aufhörten.



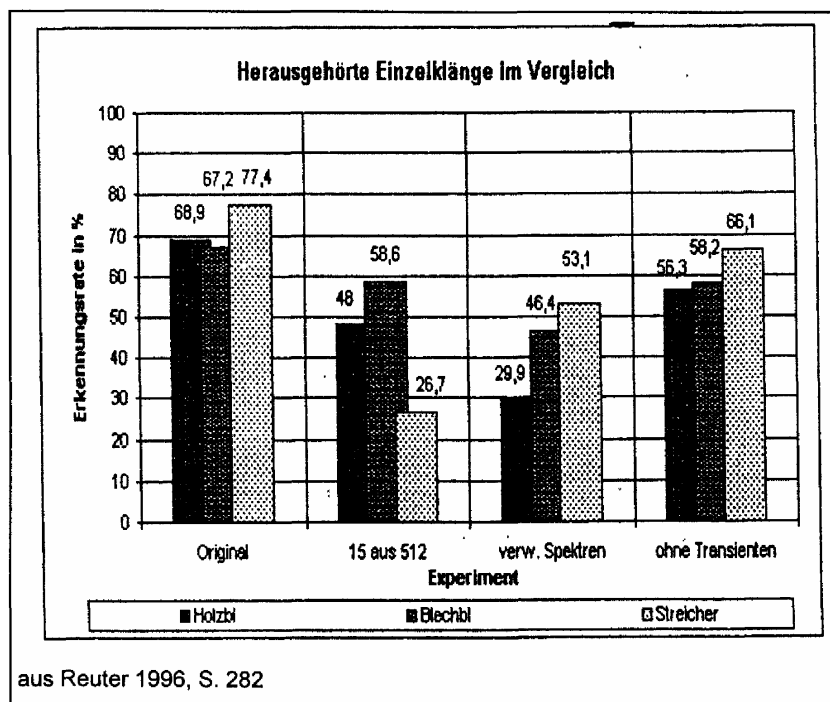
Aber auch ohne die typischen Transienten wurden die meisten Instrumente recht gut erkannt. Die Transienten haben somit keinen Einfluß auf das Urteil über Klanghomogenität oder Klangheterogenität.

Nach der Entfernung der Transienten häufiger oder gleich häufig erkannte Instrumente					
Tonlage	Instrument	in der Kombination	Art der Wahrnehmung	in Original erkannt	nach der Manipulation erkannt
C-G	Tuba	Fg+Tb	non-blend.	27 mal	27 mal
C-G	Tuba	Tb+Uc	non-blend.	28 mal	28 mal
G-d	Horn	Fg+Hn	blending	3 mal	4 mal
G-d	Fagott	Fg+Ps	non-blend.	20 mal	24 mal
G-d	Posaune	Fg+Ps	non-blend.	20 mal	23 mal
G-d	Horn	Hn+Ps	blending	4 mal	6 mal
G-d	Posaune	Hn+Ps	blending	14 mal	24 mal
c-g	Posaune	Fg+Ps	blending	26 mal	32 mal
c-g	Violen	Fg+Va	non-blend.	15 mal	19 mal
c-g	Horn	Hn+Ps	blending	5 mal	8 mal
c-g	Horn	Hn+Tb	blending	3 mal	6 mal
c-g	Violen	Ua+Uc	blending	3 mal	14 mal
g-d1	Klarinette	K1+Fg	non-blend.	26 mal	27 mal
g-d1	Klarinette	K1+Uc	non-blend.	23 mal	25 mal
g-d1	Horn	Fg+Hn	blending	4 mal	12 mal
g-d1	Trompete	Fg+Tp	non-blend.	23 mal	25 mal
c1-g1	Oboe	Ob+Fg	non-blend.	26 mal	26 mal
c1-g1	Violen	Tp+Va	non-blend.	19 mal	19 mal
g1-d2	Flöte	F1+Ob	non-blend.	16 mal	17 mal
g1-d2	Flöte	F1+Hn	non-blend.	20 mal	22 mal
g1-d2	Klarinette	Ob+K1	non-blend.	21 mal	29 mal
c2-g2	Flöte	F1+Ob	non-blend.	18 mal	26 mal
c2-g2	Klarinette	K1+Tp	blending	1 mal	5 mal
g2-d3	Flöte	F1+U1	non-blend.	21 mal	21 mal

aus Reuter 1996, S. 266

4.2. Fazit

Folgende Grafik faßt das Ergebnis der vier Untersuchungen zusammen. Dargestellt ist, wieviel Prozent der Hörer bei welcher Untersuchung die richtigen Klangfarben erkennen konnten. So sieht man, daß die Streicher bei dem zweiten Versuch, 15 aus 512 Frequenzbändern, nur zu 26,7% erkannt wurden, wohingegen das Mittel der Blasinstrumente bei 53,8% liegt. Beim dritten Versuch, verwischte Spektren, hingegen wurden 53,1% der Streicher erkannt, jedoch im Mittel nur 38,15 der Blasinstrumente.



Christoph Reuter stellte nach den Untersuchungen folgendes Modell für die Wahrnehmung des musikalischen Zusammenspiels auf:

1. Hauptsächlich durch unterschiedliche Formantbereiche geprägte Klangfarben können im Unisonozusammenspiel gut voneinander unterschieden werden.
2. Hauptsächlich durch übereinstimmende Formantbereiche geprägte Klangfarben können im Unisonozusammenspiel nicht mehr voneinander getrennt werden, sie verschmelzen homogen.
3. Hauptsächlich durch Fluktuationen geprägte Klangfarben können im Unisonozusammenspiel aufgrund gleicher Klangmerkmale nicht mehr voneinander getrennt werden, sie verschmelzen homogen.

4. Spielen Instrumente, die hauptsächlich durch Fluktuationen geprägt sind zusammen mit Instrumenten, deren Hauptklangmerkmale die Formanten sind, so bestimmt der Pegel unterschied zwischen den Instrumenten, ob sie getrennt wahrgenommen werden können oder nicht.

5. Schlußbemerkung

Mit dieser Arbeit habe ich versucht einen Teil der Aspekte aus verschiedener Fachrichtungen aufzuzeigen, die bei der Klangwahrnehmung eine Rolle spielen. Es ist klar geworden wie eng die Akustik mit der Psychologie zusammenhängt und wie wichtig systemisches Arbeiten für die Forschung heute ist.

10. Bibliographie

- Reuter, Christoph; Die auditive Diskrimination von Orchesterinstrumenten, Verschmelzung und Heraushörbarkeit von Instrumentalklangfarben im Ensemblespiel in Europäische Hochschulschriften; Band 162; Peter Lang, Frankfurt am Main, 1996
- Reuter, Christoph; Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente in Europäische Hochschulschriften; Band 148; Peter Lang, Frankfurt am Main, 1995
- Stumpf, Carl; Tonpsychologie; Band 2; Hirzel, Leipzig, 1890
- Zwicker, Eberhard; Psychoakustik; Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 1982