

Forschungsarbeit

„Transparenz bei Orchesterproduktionen“

Untersuchungen zur Erhöhung der Transparenz mit den Mitteln der Laufzeitkompensation

von Prof. Michael Sandner
Erich-Thienhaus-Institut
der Hochschule für Musik Detmold

Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung, Untersuchungsgegenstand..... | 5 |
| 2. Akustische Gegebenheiten, Aufnahmepraxis Stereo..... | 5 |
| 2.1. Akustische Gegebenheiten..... | 5 |
| 2.2. Aufnahmepraxis..... | 6 |
| 2.3. Kleiner klangästhetischer Exkurs..... | 6 |
| 3. Hilfsmittel nach heutigem Stand..... | 7 |
| 3.1. keine Stützrn (bzw. nur Hauptmikro)..... | 7 |
| 3.2. Hall..... | 7 |
| 3.3. Delay..... | 8 |
| 3.4. Virtual Surround Panning..... | 10 |
| 3.5. Plugins..... | 10 |
| 4. Bisherige Untersuchungen zu vergleichbaren Themen..... | 10 |
| 5. Festlegung der zu untersuchenden Parameter..... | 11 |
| 6. Phasen- / Zeitkorrektur..... | 12 |
| 6.1. Manuelle Methode..... | 12 |
| 6.2. Verfügbare Plugins zur Phasenkorrektur..... | 13 |
| 6.3. Untersuchung der Zuverlässigkeit bei der automatischen Zeitmessung..... | 15 |
| 6.4. Spezielle Voraussetzungen bei Klassikaufnahmen..... | 16 |
| 6.5. Fehlerquellen und Unschärfen..... | 16 |
| 7. Differenzierung der Laufzeitkompensation..... | 17 |
| 7.1. Nach Laufzeitunterschied (genaue Kompensation)..... | 17 |
| 7.2. Als Reflexion (ab +10 ms)..... | 18 |
| 7.3. Stereo Reflexion..... | 18 |
| 7.4. Gruppen-Verzögerung nach Abstand..... | 19 |
| 7.5. Gezielte Verzögerung nach Instrumentengattung..... | 20 |
| 8. Wechselbeziehung der Stützmikrofone..... | 20 |
| 8.1. Pauke / Holzbläsermikrofone..... | 21 |
| 8.2. Streicher als Gruppe..... | 22 |
| 9. Auswahl des Materials..... | 23 |
| 9.1. Sinfonie-Orchester des SWR / Herreweghe: Schumann Manfred Ouvertüre, Beethoven Violinkonzert..... | 23 |
| 9.2. Staatsorch. Stuttgart / Cambreling..... | 23 |
| 9.3. Rademann: Bach Kantate BWV 126..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 9.4. große Besetzung..... | 24 |
| 10. Voruntersuchungen..... | 25 |
| 10.1. Kammermusikbeispiele..... | 25 |
| 10.2. Berechnung der Delay Werte..... | 26 |
| 10.3. Wechselwirkung Pauke / Holzbläser..... | 26 |
| 10.4. Kadenz Beethoven Violinkonzert..... | 27 |
| 10.5. Pegelanalyse..... | 28 |
| 10.6. Bezugspunkt Hauptmikrofon..... | 29 |
| 10.7. Gesangssolisten Präzedenz-Effekt..... | 29 |
| 10.8. Stütze als Reflexion..... | 29 |
| 10.9. Räumliche Integrität..... | 30 |
| 10.10. Resümee..... | 30 |
| 11. Beispielmischungen..... | 30 |
| 11.1. Mischung Schumann..... | 31 |
| 11.2. Mischung Beethoven..... | 31 |
| 11.3. Mischung Egmont und Mahler-Lieder..... | 31 |
| 12. Exemplarische Auswertung..... | 32 |
| 12.1. Beispiele..... | 32 |
| 12.2. Feedback Studenten Bild & Ton..... | 33 |
| 12.3. Feedback Studenten Musikübertragung..... | 33 |
| 12.4. Feedback Tonmeister..... | 33 |
| 12.5. Feedback Toningenieure..... | 34 |
| 12.6. Auswirkungen..... | 34 |
| 13. Schlussfolgerung..... | 35 |
| A Anhang..... | 36 |
| A.1 Audio-Beispiele CD1..... | 36 |
| A.2 Audio-Beispiele CD2..... | 37 |
| A.3 Mischungen CD2..... | 37 |
| A.4 Loudness-Werte zu den CDs..... | 38 |
| A.5 Aufnahme SO 2017 43K / Herreweghe..... | 40 |
| A.6 Tabelle der Delay-Zeiten Herreweghe Freiburg und Stuttgart..... | 42 |
| A.7 Aufnahme SO/09/17 - UTOPIE! EGMONT-ECHOS..... | 44 |
| A.8 Ablaufplan UTOPIE! EGMONT-ECHOS..... | 44 |
| A.9 Aufbau und Spurenplan Staatsorchester Stuttgart:..... | 45 |
| A.10 Tabelle der Delay-Zeiten Staatsorchester Stuttgart..... | 46 |

| | |
|---|----|
| A.11 Aufbau und Spurliste Rademann CD Produktion..... | 48 |
| A.12 Pläne und Spurliste Produktion Dillon - THE GATES..... | 49 |
| A.13 Time-/Phase-Align Plugins..... | 50 |
| A.14 Screenshots zu den verwendeten Plugins..... | 51 |
| A.15 Umrechnungstabelle..... | 53 |
| A.16 Aufnahmekritik / Kriterien zur Beurteilung..... | 54 |
| A.17 Literatur..... | 55 |

1. Einleitung, Untersuchungsgegenstand

Der Prozess der Musikübertragung, das heißt die Übertragung eines realen Klangerlebnisses auf das Format der Stereowiedergabe, ist natürlich immer eine Reduktion auf ein zweidimensionales akustisches Abbild mit allen damit einhergehenden Kompromissen. Die räumliche Plastizität wird zu einem kompakten Klangvorhang mit einer begrenzten Abbildungsbreite und Tiefe. Schon lange beschäftigt mich daher die Frage der Transparenz oder Durchhörbarkeit bei komplexen Aufnahmen. Es muss doch möglich sein, auch für das CD-Format ein plastisches, durchhörbares Klangbild zu erzeugen, das Abbild sozusagen zu schärfen und mit mehr Kontur zu versehen.

Eine viel diskutierte Technik dieses zu erreichen, ist die Laufzeitkompensation der verwendeten Mikrofone. Diese Arbeit entstand aus der Idee eines Kollegen, die Verzögerung der Holzbläser-Stützen alle auf das Signal der Pauke einzustellen, da er damit einen Klarheitsgewinn erzeugen wollte. Das spornte mich an, die Addition der Signale in einer multimikrofonen Aufnahmesituation mal eingehender zu betrachten. Vor allem die Frage der Zeit- und Phasenkorrektur der Stütz-Signale steht dabei im Fokus, sie ist dank digitaler Mischpulttechnik heute fast immer verfügbar. Dank leistungsfähiger Rechner können sogar innerhalb der DAW die Mischprozesse realisiert werden, mit aller damit einhergehenden Flexibilität und Vergleichsmöglichkeit.

Nun ist natürlich für den Tonmeister auch die Relevanz der Erkenntnisse in der Praxis interessant. Diese misst sich in unserem Metier praktisch zu 100% an dem akustisch-ästhetischen Ergebnis der Aufnahme. Daher versuchte ich wenigstens ein kleines Feedback anzuschließen, und die Meinung meiner jetzigen Kollegen und angehender Tonmeister einzuholen. Ein ursprünglich gedachter umfassender Hörtest hätte den Rahmen gesprengt, er bleibt zukünftigen Untersuchungen vorbehalten. Er wäre aber auch schwierig auszuwerten, da die Voraussetzungen und klanglichen Präferenzen selbst bei Experten erheblich variieren, wie das Feedback gezeigt hat.

Ich möchte mich in dieser Arbeit ausschließlich mit Orchesteraufnahmen beschäftigen (alle Bezüge zur Aufnahmetechnik und -praxis sind in diesem Kontext zu lesen), denn dort ist die Anzahl und auch der Abstand der Stütz-mikrofone zueinander meist erheblich. Diese in eine Stereomischung so einzubetten, dass sie den gewünschten Effekt haben aber die Transparenz und räumliche Abbildung nicht beeinträchtigen, ist die hohe Kunst der Tonmeister.

2. Akustische Gegebenheiten, Aufnahmepraxis Stereo

Ein Grundsatz der aufnahmepraktischen Erfahrung ist: „Der Klang entsteht vor dem Mikrofon“. Ohne hierauf näher einzugehen, möchte ich dem hinzufügen: meist, hauptsächlich, aber nicht ausschließlich. Wir sind nämlich oft in der Situation, dass ein einzelnes „Haupt“-Mikrofon nicht alle unsere Vorstellung von einer idealen Balance, Klang- und Räumlichkeit erfüllt. Diese zu ergänzen bzw. korrigieren verwendet man zusätzliche „Stütz“-Mikrofone und ggf. auch „Raum“-Mikrofone, Letztere in Konkurrenz oder Ergänzung zu künstlichen Raumsimulatoren. Je nach ästhetischen Zielvorstellungen werden dann diese Signale addiert.

Diese Arbeit beschäftigt sich nun mit der Addition der Signale von Stütz-mikrofonen und Haupt-mikrofon, ausgehend von der gängigen Aufnahmepraxis die Stimmen eines Orchesters „durchstützen“. Dabei spielen neben der Balance auch klangästhetische Aspekte eine Rolle, die hier allerdings nicht berücksichtigt werden können. Zu groß ist der Unterschied verschiedener Klangvorstellungen bezüglich der Orchester- und Instrumental-Klangfarben. Hingegen ist die Balance und Tiefenstaffelung der Abbildung annähernd an der Hörerfahrung bei Live-Konzerten zu messen.

2.1. Akustische Gegebenheiten

Die Aufnahmesituation bei Orchestern ist zum Glück meist an entsprechend geeignete Räume gebunden. Der Grund dafür ist in erster Linie die Verknüpfung mit dem Konzertbetrieb, aber auch die Hörsamkeit innerhalb des Ensembles und die Anforderungen an eine gute Aufnahme-Akustik. Dies erlaubt uns i.d. Regel die Aufstellung eines Hauptmikrofons am Hallradius, der meist über bzw. knapp hinter dem Dirigenten bis in die ersten Publikumsreihen reicht. An diesem Punkt sollte

die Raumbalance stimmen, die Balance zwischen Streichern und Bläsern passend sein und möglichst wenig Raummoden den Klang verfälschen.

Die Situation bei den Stützmikrofonen ist anders. Im Nahbereich ist die Rauminformation meist zu vernachlässigen, dafür spielen frühe Reflexionen über Boden oder Seitenwände und das Übersprechen durch Nachbarinstrumente eine Rolle. Der Klang ist im Nahbereich teilweise erheblich verändert: Die richtungsabhängige Frequenzabstrahlung wird nicht über den Raum integriert und Spielgeräusche und Einschwingvorgänge wirken überproportional. Letzteres wird allerdings auch als willkommene Ergänzung des eher pauschalen Klangs des Hauptmikrofons betrachtet.

Ein weiterer Faktor sind die oft großen Ausdehnungen der Orchesteraufstellung, vom Dirigenten bis zum letzten Podest können es gut 12 Meter oder mehr sein, was Schalllaufzeiten von über 30 ms zur Folge hat. Dies führt dazu, dass die Signale der Stützmikrofone unweigerlich früher in der Mischung vorhanden sind als das Hauptmikrofonsignal. Auch sind die Klanglichkeiten der Signale v.a. bei halligem Aufnahmeraum über die Entfernung so voneinander verschieden, dass für die hinteren Musiker das Hauptmikrofon seiner Funktion nicht mehr wirklich gerecht werden kann.

2.2. Aufnahmepraxis

Wie erwähnt werden Aufnahmen klassischer Orchester heute in der Regel mit einer Kombination aus Haupt-, Stütz- und Raummikrofonen bewältigt. Dies hat auch den Grund der Möglichkeit zur Balancekorrektur im Sinne einer partiturgerechten Instrumentalbalance und einer als adäquat empfundenen Räumlichkeit. Dabei möchte ich die Diskussion um verschiedene Raum- und Hauptmikrofonaufstellungen in dieser Arbeit nicht berücksichtigen - bis auf eine Ausnahme. Bei den Untersuchungen fiel mir auf, dass die im SWR übliche Decca-Tree Kombination in der Stereomischung durch Laufzeiten zwischen Center und L/R Mikrofonen Kammfiltereffekte und Impulsdoppelungen erzeugt. Deshalb wurde auch ein Vergleich zur reinen "ab" Konfiguration ohne das Center-Mikrofon einbezogen.

In der klassischen Musik werden Abstände vom Stützmikrofon zum Instrument bevorzugt, die etwa bei ein bis zwei Metern liegen, größere Abstände sind v.a. bei chorischen Stimmen (wie den Streichern) gewünscht, um einen flächigen Klang zu erreichen. Eine Kanaltrennung erfolgt meist über die Wahl der Mikrofonrichtcharakteristik, neben Nieren sind hier auch gelegentlich Supernieren und Acht-Charakteristiken üblich. Dennoch sind Übersprechen und die Wechselwirkung zwischen den Mikrofonen ein nicht zu vernachlässigendes Problem. Dies zeigen die Untersuchungen v.a. im Bereich der Holzbläser.

2.3. Kleiner klangästhetischer Exkurs

Es würde täuschen, wenn diese Arbeit nur als akustisch-technische Studie erscheint. Der wahre Beweggrund für die Suche nach optimaler Transparenz ist, dem Ziel einer klangästhetisch plastischer Gestaltung des Stereobildes näher zu kommen. Ich möchte bewusst nicht von 'Abbildung' sprechen, da eine realistische Darstellung der Aufnahmesituation am guten Hörplatz eher dokumentarische Bedürfnisse befriedigt, sofern sie aufnahmetechnisch überhaupt möglich ist. Betrachtet man die Partitur und den darin enthaltenen Willen des Komponisten, und nimmt noch die Interpretationsabsicht des Dirigenten und ev. Solisten hinzu, dann wird man das dringende Bedürfnis verspüren einzugreifen. Das Ergebnis wird dann durch die künstlerisch-ästhetische Perspektive des Tonmeisters bereichert.

Balancegestaltung ist sicher der Hauptbestandteil einer jeden Orchestermischung, und im englischen wird der Tonmeister am Mischpult nicht ohne Grund „balance engineer“ genannt. Ich möchte der in erster Linie gemeinten Instrumentalbalance hier noch die Aspekte Raum- und Klangfarbenbalance hinzufügen, die bei der Wahl der Mikrofonpositionen und -Typen und bei der Mischung eine große Rolle spielen.

Die „Instrumentalbalance“ beschreibt die korrekten Lautheitsrelationen der Instrumentalgruppen zueinander. Bezugspunkt ist sowohl die in der Partitur dokumentierte Absicht des Komponisten, als auch die orchesterübliche Klangentfaltung im (Konzert-)Saal. Bei den Streichern ist hier eine leichte Präferenz der Oberstimme zu beobachten, diese darf aber nicht die Mittelstimmen

überdecken. Bei den Holzbläsern z.B. sollten Flöte, Oboe, Klarinette und Fagott gleichberechtigt abgebildet werden, was wegen der unterschiedlichen Klangstrukturen und Dynamiken aber keine einfache Aufgabe darstellt.

Eine gelungene „Raumbalance“ stellt sich m.E. ein, wenn die direkten Klanganteile von einem angenehmen Raumsignal unterstützt werden, ohne zu verwaschen. In einem guten Aufnahmeraum strebt man als Anhaltspunkt einen etwas gleichen Anteil an Diffus- und Direktschall (Hallradius) an. Wie das Raumsignal idealerweise auszusehen hat, ist immer wieder Thema zahlreicher Diskussionen und Untersuchungen, und so möchte ich auf die einschlägige Literatur verweisen.

Zuletzt ist auch die „Klangfarbenbalance“ für den ästhetischen Gesamteindruck mitbestimmend. Eine verzerrte Wiedergabe bestimmter Klangfarben kann auch die empfundene Instrumentalbalance beeinflussen, z.B. bei Präsenzverlust, im Bassbereich oder bei sich überschneidenden Lagen unterschiedlicher Instrumentalgruppen. Ein gutes Beispiel sind die Mixturklänge in der Themenentwicklung bei Ravels „Bolero“. (Siehe auch die „Kriterien zur Aufnahmekritik“ im Anhang)

3. Hilfsmittel nach heutigem Stand

Die Zumischung von Stütz-Signalen wurde schon seit Beginn der Stereoaufzeichnung praktiziert, die Klanggestaltung wurde dadurch extrem bereichert. Balance, Nähe/Kontur, Ortung und Anderes lassen sich beeinflussen, indem einige (oder alle) Instrumentengruppen gesondert mikrofoniert werden. Allerdings geschieht dies mit gewissen Wechselwirkungen, denn diese Stützmikrofone sind naturgemäß näher und direkter und meist als Monosignal verfügbar. Um diese in den Griff zu bekommen, bedient man sich einiger technischer Hilfsmittel, die ich hier zusammenfassen möchte.

3.1. keine Stützrn (bzw. nur Hauptmikro)

Puristische Aufnahmen, die ausschließlich ein Hauptmikrofon verwenden, sind bei Orchester-aufnahmen sehr selten, dennoch gab es einige Ansätze dieses Aufnahmeoptimum in der Praxis umzusetzen. Reine Hauptmikrofonaufnahmen bedingen allerdings, dass das Ensemble vor dem Mikrofon schon die gewünschte Balance hat. Wenn nicht, muss die Sitzordnung geändert, bzw. ein anderer Raum gefunden werden. Bei Orchesteraufnahmen kostet diese Klangoptimierung viel, meist zu viel Zeit, deshalb findet man reine Hauptmikrofonaufnahmen v.a. in kleinbesetzter Kammermusik (z.B. Streichquartett).

Die Stützmikrofone als Zumischung, ohne eine weitere Beeinflussung, dienen neben der Balancekorrektur auch der Positionierung der Stützen als Phantomschallquelle. Dies ist besonders bei den beliebten AB-Hauptmikrofonen hilfreich, weil hier die Ortung nicht immer stabil wiedergeben werden kann.

... da ein AB-Stereomikrofon für die korrekte Richtungsabbildung ohnehin ungeeignet ist. Entweder werden in diesen Fällen bewusst auf eine ausgewogene stereofone Darstellung der Richtungen verzichtet oder es wird - entgegen der Regeln für die raumbezogene Stütztechnik - mit Hilfe der Stützmikrofone die Richtungsabbildung bewerkstelligt.¹

In dieser Arbeit soll die reine Hauptmikrofon-Mischung als Referenz dienen, denn auch wenn die Instrumentalbalance nicht immer optimal ist, so ist diese doch frei von Additionsartefakten wie Kammfiltereffekten oder Ortungsverschiebungen.

3.2. Hall

Um die Signale der Stützmikrofone an den richtigen Platz in der Tiefenstaffelung, d.h. in die Reihen des Orchesters, zu rücken, wurde jahrzehntelang ein künstlicher Hall benutzt. Oft wurde dafür dasselbe Hallgerät verwendet, welches auch für die Hauptmikrofone zum Einsatz kam.

1 Wöhr, Theile, Goeres, Persterer: „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“; Bericht zur TMT 1988 S. 302

Um die negative Wirkung eines solchen Hörereignisses zu mildern, benutzt ein Tonmeister schon lange die künstliche Verhallung. Das Stützsignal wird nichtmehr nur als diskretes Signal gehört, sondern ist mit unkorrelierten, quasiräumlichen Anteilen angereichert und somit in der Raumperspektive ein wenig nach hinten gerückt.²

Heute sind Hallgeräte meist in ausreichender Zahl verfügbar, sodass es lohnt, die Parameter der Hallsimulation gezielt auf die Belange der Stützen einzustellen. Meistens verlangen diese nach mehr Diffusität ohne langem Nachhall, und nicht nach einer realistischen Raumnachbildung. Entsprechend ist ein parametrisches Hallgerät mit gezielt einstellbaren Parametern, wie frühen Reflexionen, Diffusität und Nachhall, von Vorteil. Dieses kann dann auch gattungsspezifisch konfiguriert werden, also anders für Streicher als für Holzbläser oder Gesangssolisten etc.

3.3. Delay

Schon vor dem Aufkommen der Digitaltechnik machte man sich Gedanken zur Zeitkorrektur des Stützsignals. Das Signal der Instrumente erreicht die Stützmikrofone ja wesentlich zeitiger (pro Meter ca. 2.9 ms), als das Hauptmikrofon. Die Auswirkungen sind hinlänglich bekannt:

2 ebenda

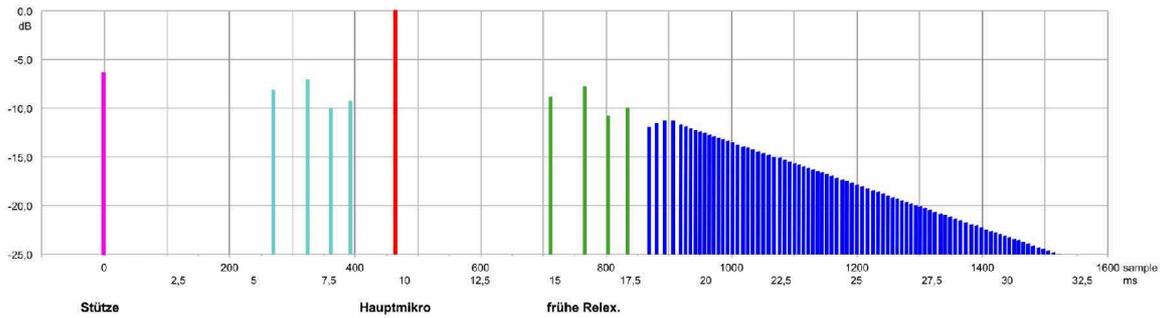


Bild 1: Reflexionsmuster Stützsinal und Hauptmikrofon (schematisch, mit Stützreflexionen)

- Gesetz der ersten Wellenfront

Der Präzedenz-Effekt, erstmals von Lothar Cremer 1948³ formuliert, besagt in seiner Essenz, dass das Ohr die Signalortung an der zuerst eintreffenden Wellenfront vornimmt. Stützmikrofone haben in einer Mischung immer die erste Wellenfront, da sie dem Instrument am nächsten sind, sie wären demnach ortungsbestimmend, d.h. ihre Position bestimmt die Position der Phantomschallquelle im Klangbild. (siehe Kapitel 10.7)

Ist die Diskrepanz zur Ortung im Hauptmikrofon sehr groß, kann sogar eine Doppelortung entstehen. Dann wird das Signal gleichzeitig an verschiedenen Positionen wahrgenommen. Oft betrifft dies einzelne Signalanteile, z.B. hört man das Anblasgeräusch einer Flöte an anderer Position als den nachfolgenden Ton.

- Verwaschung der Einschwingvorgänge

Durch die Laufzeit des Signals zum Hauptmikrofon erscheinen die Einschwingvorgänge dort später. In der Addition ergibt das eine Verdoppelung dieser Impulse, die sich als unklares Signal (bei kurzen Verzögerungen) bis hin zum Echo äußern kann. Da meist mehrere Stützmikrofone nah beieinander stehen, kommt durch Übersprechen oft eine Vielzahl von Einschwingvorgängen erscheinen. (siehe Kapitel 10.5)

- Kammfiltereffekt durch gegenphasige Addition der Signale.

Stützmikrofonensignale unterscheiden sich in vielen Aspekten von dem Signal des gestützten Instruments im Hauptmikrofon (deshalb werden sie u.a. ja eingesetzt). Im tonalen Anteil, v.a. in den Grundton-Frequenzen und markanten Obertönen können aber Überlagerungen entstehen, die durch die Laufzeit des Signals in der Phase verschoben sind. Das führt u.U. zu Klangveränderungen bis hin zu Auslöschungen (Audio-Beispiel CD1 Track 5: Rauschen mit Kammfiltereffekt). Allerdings sind diese nicht immer leicht zu hören, v.a. wenn die Signale recht unterschiedlich sind.

Eine Berechnung des Kammfiltereffekts ist mit folgender Formel möglich:

$$H(f) = a + b \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot \Delta T) + j \cdot b \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot \Delta T)$$

Dabei ist a das Hauptmikro, b die Stütze⁴

Bei der Mikrofonaufnahme können im Raum erscheinende Reflexionen mit einer Verzögerung zwischen 2 und 15 ms zu auffälligen, unangenehm störenden Klangfärbungen führen. Man sollte hier von "hörbarem" Kammfiltereffekt sprechen, denn nur der ist störend.

Die Notches und Peaks von Kammfiltern sind am stärksten hörbar, wenn zwei Signale (eines ist verzögert) genau den gleichen Pegel haben. Wenn man einmal mit dem verfärbten Kammfilter-Klang vertraut ist, dann wird man diesen sofort wiedererkennen, wenn man ihn hört.⁵

3 Lothar Cremer: Vorlesungen zur techn. Akustik (auch Görne: Akustik S. 128)

4 [26] Harrit, Danmarks Radio

5 <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-kammfilter.htm> aufgerufen am 19.11.2017

- Frequenzgang tieffrequenter Signalanteile

Die Beeinträchtigung durch gegenphasige Signalanteile kann man v.a. bei tieffrequenten Tönen hören (siehe Kapitel 10.1). Der Gewinn durch korrekte Kompensation ist hier besonders deutlich beim Kontrabass zu hören. Auch bei Klavieraufnahmen kann man durch die richtige Einstellung der Laufzeitkompensation der Stützmikrofone den Bass verstärken (oder auch reduzieren). Allerdings lassen sich die erforderlichen Werte nicht durch einen Knack ermitteln, da die Abstrahlfläche des Resonanzbodens zu groß und komplex ist, hier hilft nur ausprobieren.

Nun stellt man die Verzögerung i.d. Regel so ein, dass beide Signale möglichst zur Deckung kommen. Damit gewinnt man idealerweise sowohl die Ortung zurück, als auch den kammfilterfreien Frequenzgang - soweit die Theorie. Da dies in der beschriebenen Aufnahmesituation nie zu erreichen ist (siehe dazu die Diskussion über Fehlerquellen), hat Theile vorgeschlagen, das Stützsinal als Reflexion einzubinden (Ausnutzung des „Haas-Effekts“⁶), dazu mehr in Kapitel 7.

3.4. Virtual Surround Panning

Die von Studer entwickelte Technik des „Virtual Surround Panning“ (VSP II) benutzt neben frühen Reflexionen und den üblichen Pegelunterschieden, auch Phasen und Frequenzganginformation, um das Stützsinal zu positionieren. Dadurch kann nicht nur eine Links/Rechts Position eingestellt werden, sondern auch eine Verschiebung in die Tiefe, bzw. in Surround auch nach hinten.

1) *Generating early reflections within a simulated acoustic space, depending on the pan position. These reflections are reproduced from the correct direction, at the correct time.*

2) *Better directional imaging (left-right panning), by adding phase and frequency spectrum information to the customary amplitude difference between left and right loudspeakers.*⁷

Studer bietet auch eine komplette Raumsimulation an, die zusammen mit individuell erzeugten dekorrelierten späten Reflexionen und einem Nachhall realisiert wird. Leider verbraucht diese Technik viel Rechenleistung (was eine Halbierung der konfigurierbaren Kanäle bedeutete), sodass sie wohl ein Nischenprodukt bleiben wird. Z.Zt wird es meines Wissens nur noch in der Vista 5 M3 Konsole angeboten.

3.5. Plugins

Mit dem Einzug normierter Plugin-Schnittstellen in die DAW-Produktionstechnik ist es möglich, beliebige Klangbearbeitungen jedem Kanal hinzuzufügen. Es gibt inzwischen sogar Digitalmischpulte mit Plugin-Schnittstelle, sowie Frames zur Einbindung einer solchen in eine beliebige Umgebung. Zur Unterstützung der Mischung, insbesondere zur Klanganpassung der Stützmikrofone bietet sich eine ganze Palette von signalbeeinflussenden Tools an. Und für Kaskadierungen oder sogar frequenzselektiver Bearbeitung kann man zusätzlich noch ein Meta-Plugin wie den MB-7 Mixer von blue cat audio⁸ dazwischenschalten.

Jeder, der sich schon mal in der Plugin-Welt umgeschaut hat, weiß um die fast unendliche Vielfalt angebotener Lösungen von den unterschiedlichsten Herstellern. Software ist mit wenig Aufwand zu erstellen und vertreiben, sodass auch Start-ups und Nischenanbieter eine faire Chance haben. Da mein Anliegen aber die Laufzeitkompensation der Signale ist, möchte ich nicht auf andere Plugins eingehen, als solche zur reinen Laufzeit- und Phaseinstellung.

4. Bisherige Untersuchungen zu vergleichbaren Themen

An dieser Stelle möchte ich einige relevante Veröffentlichungen erwähnen. Nach meiner Erfahrung speist sich das Thema vorrangig aus der Praxis, sodass schwerpunktmäßig Vorträge der Ton-

6 Helmut Haas, „Über den Einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache“ (1951), Acustica 1, Seiten 49–58, im Englischen: Journal Of The Audio Engineering Society, Volume 20 Number 2, March 1972, P. 146

7 „Vista - Virtual Surround Panning Flyer“, VirtualSurroundPanning_Flyer_original.pdf auf <https://www.studer.ch/en/products/vista-5-m3> aufgerufen am 19.3.2018

8 https://www.bluecataudio.com/Products/Product_MB7Mixer/ aufgerufen am 19.3.2018

meistertagung und der AES gesichtet wurden. Aber allein die Suchanfrage "spot microphone* AND delay*" bei der AES brachte 640 Treffer! Die von mir gesichteten Beiträge sind im Anhang in der Literaturliste aufgeführt, man möge es mir daher nachsehen, wenn ich andere wissenschaftliche Bereiche nicht durchforstet habe.

In den 80er Jahren wurde das Thema in erster Linie durch die Initiative von Günther Theile bekannt, dessen streben nach einer realistischen räumlichen Abbildung seine Arbeit wie ein Leitfaden durchzieht. Zu nennen sind im Wesentlichen:

- Theile 1984 - „Hauptmikrofon und Stützmikrofone ...“⁹ und
- Wöhr/Theile/Goeres/Persterer 1988 - „Raumbezogene Stütztechnik ...“¹⁰

Interessant in diesem Zusammenhang sind weitergehende Untersuchungen zur Hörbarkeit von Kammfiltereffekten ("Digital Time Coherent Recording Technique" von Anazawa und Takahashi¹¹) und zur erforderlichen Genauigkeit der Kompensationszeiten. Hierbei darf man aber nicht vergessen, dass digitale Mischpulte und DAWs mit samplegenauen Einstellparametern in den 80er und 90er Jahren, aus denen diese Untersuchungen stammen, noch nicht verfügbar waren.

5. Festlegung der zu untersuchenden Parameter

Die Klarheit oder Transparenz des Klangeindrucks resultiert aus einer Handvoll Parametern, die sich gut beschreiben lassen. Das sind z.B. der ITDG (initial time delay gap), "clarity"¹² und "definition". Deren Beurteilung ist aber abhängig von der eingesetzten Wiedergabetechnik, da die akustischen Bedingungen im realen Raum sich nicht ohne Weiteres auf die Wiedergabe über Lautsprecher oder Kopfhörer übertragen lassen (hierüber gibt es unzählige Informationen in der einschlägigen Fachliteratur). In meiner Untersuchung steht ja das Ergebnis einer CD-Mischung im Fokus, daher beschränke ich mich ausdrücklich auf Stereowiedergabe über Lautsprecher und Kopfhörer.

Die räumliche Wahrnehmung des Klangbildes wird in erheblichem Maße von dem Muster der eintreffenden Reflexionen (aus dem realen Raum) sowie den vermeintlichen Reflexionen, die über die Stützsignale bzw. durch Übersprechen eintreffen, bestimmt. Eine räumliche Aufnahme muss nicht auch klar und transparent sein, diese beiden Aspekte sind unabhängig zu betrachten. Mitunter verhalten sie sich sogar gegensätzlich, wie in der Auswertung in Kapitel 12 zu sehen ist.

Die folgenden Parameter spielen bei der Bewertung eine Rolle:

- Ortung und Ortungsschärfe (Position im Panorama und Erkennbarkeit der Position)
- Klangfarbe (Kammfilter - Theile 84 und Differenzierung frontale und seitliche Reflexionen - Nipkow)
- Tiefenwiedergabe (Veränderung im Bassbereich)
- Räumliche Integrität (plausible Folge Direktsignal, Reflexionen und Nachhall)
- Näheindruck (virtuelle Distanz, Tiefenstaffelung)
- Impulsklarheit (zum Beispiel bei der Pauke)

9 „Hauptmikrofon und Stützmikrofone - neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren“, Günther Theile, IRT; Tagungsbericht zur TMT 1984(12) S. 170

10 „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“, Martin Wöhr, Günther Theile, Hans-Jürgen Goeres, Alexander Persterer; IRT; Bericht zur TMT 1988(20) S. 302, ISBN 3-598-20356-X, K.G. Saur Verlag

11 "Digital Time Coherent Recording Technique", T. Anazawa and Y. Takahashi; AES Paper 4909, Preprint2, 493(H-2) (October 1987),1-8

12 http://www.concerthalls.org/?page_id=86 und http://www.concerthalls.org/?page_id=88 aufgerufen am 19.3.2018

lich wahrzunehmen, haben jedoch dort andere Auswirkungen als bei den entfernten Instrumenten (wie Pauke), bei denen die Laufzeitdifferenzen auch nicht so groß sind.

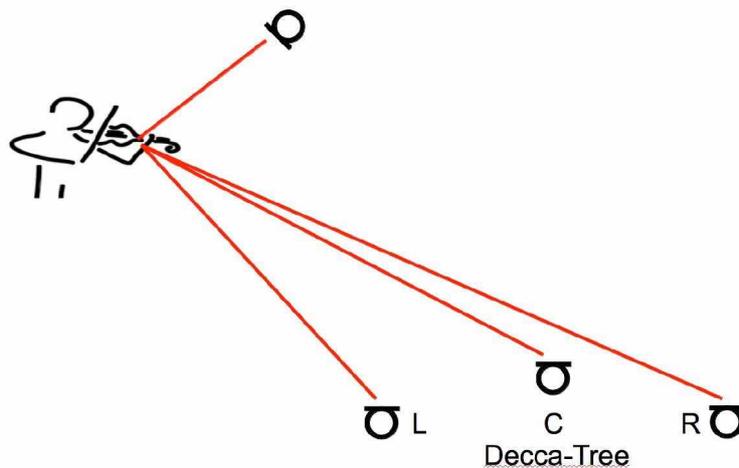


Bild 4: Unterschiedlicher Bezugspunkt bei einem Decca-Tree Hauptmikrofon

Die Situation ist naturgemäß bei reinem ab (ohne Center) anders, hier gibt es nur zwei Laufzeitwerte. Allerdings sind die Auswirkungen drastischer, da es auch keine Mittenortung über das Center-Mikrofon gibt, hierfür wäre dann die Stütze allein verantwortlich. Ich habe auch Beispiele mit nur dem linken und rechten Mikrofon gemacht, diese Problematik allerdings nicht getrennt betrachtet.

6.2. *Verfügbare Plugins zur Phasenkorrektur*

Die Welt der dedizierten Align-Plugins ist relativ klein, was sicher an der Möglichkeit liegt, direkt in der DAW eine individuelle Verzögerung je Spur einzustellen. Bisher sind nur wenige Produkte als VST-Plugin zu haben¹³, die ich im Folgenden kurz einzeln vorstellen will. Zuvor jedoch eine kleine Anmerkung zum Unterschied "Phase alignment" und "Time alignment", die oft beide einzustellen sind. Im Fall einer Laufzeitkompensation zwischen unterschiedlichen Mikrofonsignalen kommt eine reine Zeitkorrektur zur Anwendung, es sei denn, eines der beiden Signale ist verpolt (landläufig wird von "Phasendrehung um 180°" gesprochen, dies gilt jedoch nur für rein symmetrische Wellenformen). Sollen zwei unterschiedliche Signale angeglichen werden, wie z.B. ein elektrischer Tonabnehmer und ein akustisches Signal, so kann es zusätzlich auch zu (frequenzabhängigen) Phasenverschiebungen kommen.

- AutoAlign von SoundRadix

Das Plugin von SoundRadix hat sich auf die Fahnen geschrieben, den zeitaufwändigen manuellen Prozess des "Time alignment" zu automatisieren. Dazu wird es einmal in die Referenzspur wie das Hauptmikrofon eingeschleift und einem send-bus zugeordnet (es stehen max. 9 sends zur Verfügung) und ein zweites Mal in den Zielkanal eingesetzt. Dort kann dann mittels die Schaltfläche "detect" das Signal analysiert werden, unerwünschtes Übersprechen wird mit den "noise-floor" Reglern unterdrückt.

AutoAlign hat zwei Anzeige-Modi (siehe Anhang), der erste zeigt die Phasenbeziehung zwischen den beiden Signalen an, wobei die Mitte das Ideal wäre. Während des detektierens oder nach Betätigung des "display"-Buttons wird der zweite Modus eingeschaltet, bei dem die Übereinstimmung der Signal über die Zeit dargestellt wird. AutoAlign sucht sich die wahrscheinlichste Spitze aus, reagiert aber oft unberechenbar auf den Gehalt des analysierten Ausschnitts. Über die Pfeiltasten können aber auch benachbarte Werte eingestellt werden, so dass in geringem Maße eine Korrektur möglich ist. Die Zeitanzeige kann von Sample auf ms, cm oder inch umgestellt werden.

13 Weitere Informationen in der Tabelle aller recherchierten Plugins im Anhang, dort finden sich auch Screenshots.

- MautoAlign von MeldaProduction

Das zweite Plugin mit einer Analysemöglichkeit für die automatische Anpassung kommt von MeldaProduction. MautoAlign hat zwar nicht so eine spektakuläre Optik, wie AutoAlign, dafür aber mehr Einstellmöglichkeiten und eine etwas technischere Herangehensweise. Das Plugin wird in alle zu bearbeitenden Kanäle eingeschleift, wobei für die Analyse Gruppen gebildet werden können (es stehen 36 Gruppen zur Verfügung). Bei der Analyse kann sowohl die "capture"-Dauer, als auch ein Tief- und Hochpass und der "noise-floor" eingestellt werden, bei eingeschalteter spektraler Phasenanalyse zusätzlich die Auflösung und ein weiterer Schwellwert.

Die Analyse setzt eine etwa 2 bis 4 Sekunden Passage voraus, in der möglichst nur das eine Instrument/Stimme zu hören ist. Dennoch ergeben sich oft irritierend andere Werte, v.a. weil MautoAlign mitunter auch die Referenzspur verändert. Es ist durchaus sinnvoll hier (wie auch bei AutoAlign) schon vorab den Zielwert im groben abzuschätzen, um bei Ausreißern gleich eine zweite Analyse anzuschließen. Nützlich ist bei MautoAlign auch die mögliche Vorgabe einer maximalen Verzögerung (diese kann bis zu 1000 ms betragen).

- InPhase von Waves

InPhase ist ein manuell einzustellendes Plugin, das die Phasenbeziehung zwischen zwei Kanälen oder eines Stereosignals korrigieren kann. Waves benutzt ein Allpass-Filter, um die Phasenverschiebung über den Frequenzgang anzupassen. Zusätzlich hat es ein time-delay: bei einer Latenz von 20 ms (Live-Komponenten haben keine Latenz) kann ± 20 ms Verschiebung realisiert werden. Als Hilfsmittel dient eine hochauflösende Wellenformanzeige, in die 2 Sekunden Audio zur Analyse ge"captured" werden können, und ein Korrelationsgradmesser, der die Maximal- und Minimalwerte über farbige Reiter festhält.

Die Bedienung ist etwas gewöhnungsbedürftig, da in beiden Zweigen (Kanälen) die gleichen Einstellungen vorgenommen werden können, diese aber gegensätzliche Auswirkung haben. Dennoch erzielt InPhase bei sich ähnelnden Signalen recht genaue und dank der genauen Wellenformdarstellung nachvollziehbare Ergebnisse.

- Voxengo PHA-979

Das Plugin ermöglicht die manuelle Justage von Delay und Phase, jeweils für den linken und rechten Kanal getrennt. Als Unterstützung gibt es dazu einen Multiband-Korrelationsgradmesser, der im Idealfall über alle Frequenzen im grünen (positiven) Bereich sein sollte. Eine schöne Idee, kann man doch so die Phasenbeziehungen leichter bewerten und sich auf den primären Frequenzbereich beschränken. Im Ausgangsmodul ist auch eine M/S Matrix, Monoschaltung und Seitentausch möglich, ein A-B Vergleich zwischen zwei Einstellungen ist ebenfalls hilfreich.

Der Voxengo PHA-979 ist ein professionelles Plugin, um einem Audiosignal Phasenverschiebungen zuzufügen ... Außerdem kann das Plugin für positive oder negative Zeitverschiebung eingesetzt werden. Dadurch ist es nicht mehr notwendig Audiomaterial im Sequenzer manuell zeitlich anzugleichen. Der PHA-979 verfügt ebenfalls über einen Regler zur Einstellung der Mitten-/Seiten-Balance sowie für das Panning ...¹⁴

Man darf nicht vergessen, dass diese Plugins in erster Linie für Pop-Musik Produktionen entwickelt wurden, bei denen die Signale i.d. Regel sauber getrennt und nicht mehr als 20 ms voneinander entfernt sind. Einige dieser Plugins müssen demnach auch bei größeren Verzögerungswerten passen (InPhase Live), bzw. geben falsche Werte an (AutoAlign), dazu mehr im nächsten Absatz.

Probleme bei der Erkennung der richtigen Phasen- bzw. Laufzeitkompensation im echten Material entstehen zum einen aus der Tatsache, dass die Wellenformen sehr unterschiedlich sein können, und daraus, dass v.a. die relevanten Grundtöne durch Übersprechen auch auf anderen Wegen in die

14 Bedienungsanleitung Voxengo PHA-979

Mischung finden. Es gibt zwar Algorithmen zur Erkennung der ersten Wellenfront¹⁵, leider aber keine mir bekannten Untersuchungen zum Wiederauffinden dieses Signals im meist diffusen Hauptmikrofonsignal.

Darüber hinaus sind natürlich alle delay-Plugins zur Laufzeitkompensation geeignet. In der DAW Sequoia ist auch ein "Timeshift/Delay" direkt in den Spureinstellungen integriert, dieses kann auch mit negativen Werten umgehen. Ich benutze aber lieber das hauseigene Plugin "Echo/Delay/Reverb", da es sich über Snapshot abspeichern und so besser in Vergleiche einbeziehen lässt. Hierbei muss natürlich die Einstellung auf nur 1 Delay mit 100% Decay und ohne Originalmischung verändert werden (siehe Screenshot im Anhang).

6.3. Untersuchung der Zuverlässigkeit bei der automatischen Zeitmessung

Um die Zuverlässigkeit der Zeit- bzw. Phasenmessung zu überprüfen, verwendete ich die beim Herreweghe-Projekt aufgenommenen Delay-Impulse. Diese wurde während der Produktion anhand der Wellenform nur mit einer Genauigkeit von 1ms gegenüber dem Center-Hauptmikrofon ausgemessen, und so in die Live-Mischung eingepflegt. Die Messung erfolgt anhand der Wellenform, idealerweise erkennt man den ersten starken Druckimpuls bei der Stütze und in den Hauptmikrofonen. Natürlich ist so auch eine samplegenaue Erfassung möglich, während der Produktion blieb aber keine Zeit dafür. Dies habe ich deshalb nachträglich für meine Beispiele gemacht (siehe dazu die Tabelle im Anhang).

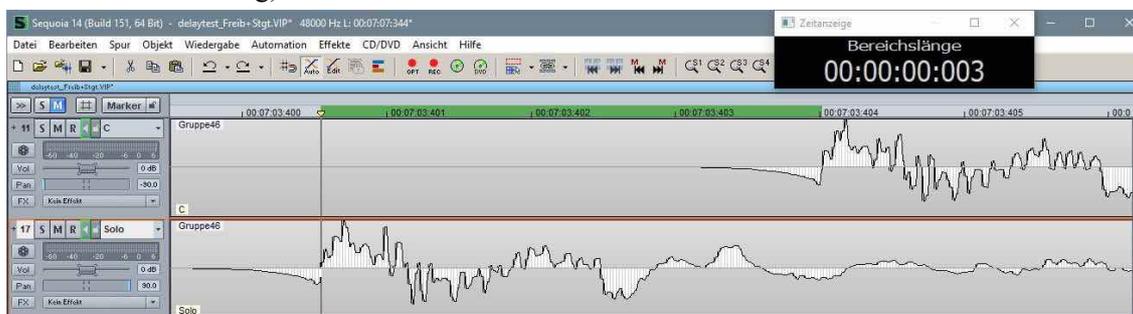


Bild 5: Ausmessung der Laufzeit mit Hilfe des ersten Nulldurchgangs

Im Großen und Ganzen stimmen die ermittelten Werte mit den automatisch generierten Werten von AutoAlign und MautoAlign überein, Abweichungen gab es bei Verzögerungswerten über 21 ms (in der Tabelle im Anhang sind diese rot markiert). Vor allem AutoAlign von Soundradix muss da passen, offensichtlich rechnet der Hersteller nicht mit hohen Laufzeiten (im Pop Bereich sind diese auch unüblich). Bei MautoAlign von MeldaProduction kann man das Zeitfenster manuell erhöhen, dennoch sind die Messungen dann nicht immer zuverlässig. Dies mag daran liegen, dass meine Impulse durch den hohen Geräuschanteil ein Phasenerkennen erschweren. In größerem Abstand verändern sich die Signale außerdem durch Reflexionen und Raumeinflüsse so stark, dass ein techn. Vergleich schwierig bis unmöglich wird.

Die offensichtlichen Abweichungen der beiden "Auto"-Plugins wurden mit mindestens drei Messungen bestätigt und dann noch manuell überprüft, dabei half das Plugin „InPhase“ von Waves. Hier zeigte sich, dass die manuelle Methode bei Weitem am zuverlässigsten war. Eine visuelle Erkennung der Hüllkurve ist eindeutig im Vorteil, und es wird nur eine Frage der Zeit sein, bis die automatischen Algorithmen dieses auch berücksichtigen.

Als Fazit des Vergleichs dieser Plugins kann man leider nur eine Warnung abgeben: Es gibt keine zuverlässige Laufzeiterkennung auf Knopfdruck! Ohne Plausibilitätscheck und manuelle Überprüfung ist deren Einsatz nicht sinnvoll. Auch sollte man sich der Obergrenze von ca. 20 ms bewusst sein (siehe Grafik). Diese Erkenntnis bezieht sich, wie eingangs erwähnt, allerdings nur auf Orchesterproduktionen. Bei Kammermusik oder anderen Aufnahmesituationen mögen die Plugins besser funktionieren (siehe Kapitel 10.1).

15 Hummersone, Mason, Brookes: A Comparison of Computational Precedence Models for Source Separation in Reverberant Environments, Journal Audio Eng. Soc., Vol. 61, No. 7/8, 2013

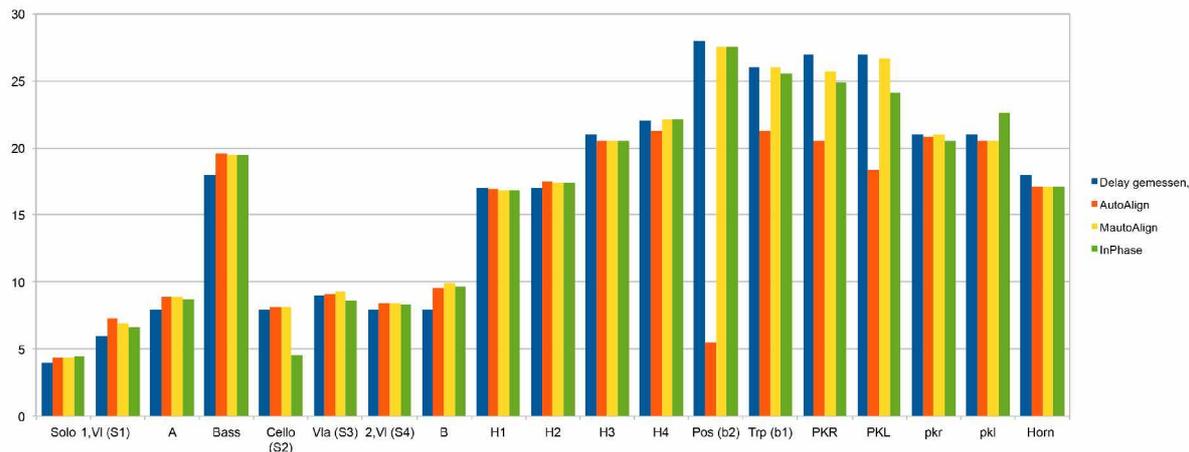


Bild 6: Gegenüberstellung der ermittelten Werte aus dem Plugin-Vergleich

6.4. Spezielle Voraussetzungen bei Klassikaufnahmen

Bei Klassikaufnahmen gibt es einige Parameter, die eine korrekte Delay-Einstellung zusätzlich erschweren:

- Übersprechen zwischen verschiedenen Stützmikrofonen
- Anteil des zu stützenden Signals im Hauptmikrofon (ist überhaupt eine Korrelation da?)
- Mehrere Mikrofone mit unterschiedlichen Laufzeiten im Hauptsystem (AB, Decca Tree)

Vor allem der Bezug auf ein Hauptsystem und die doch recht großen Mikrofonabstände unterscheiden die Arbeitsweise von typischen Pop-Produktionen. Das dort der Segen der Laufzeitkompensation nicht immer gesehen wird, zeigt folgendes Zitat aus einer Pop-Musik Diskussion zur Frage „Do you time/phase align your drum tracks? Why/ why not?“:

No, get it right when recording. Time-aligning has a couple big disadvantages. It eliminates the time delay between close mics and overhead/room mics, which robs them of depth and affects the perceived sustain of the drums. This might not always be bad depending on what you want but it defeats much of the purpose of distant mics.

Moved your OH/room mics earlier in time to line up with the snare? Now other elements of the kit that were closer to the OH/room mics than the snare (like the cymbals and toms in overhead mics or the cymbals and kick with room mics) are now arriving early in those mics, messing up the timing of the drums. Putting some frequencies more "in phase" will move other frequencies further out of phase. It's a trade-off either way, and it's one that's generally not worth making.

TL;DR - There's no substitute for getting good phase relationships during the actual tracking phase. Time-aligning mics may change phase relationships but it won't fix them and it'll cause other issues as well. (BLUElightCoryProfessional, vor 2 Jahren)¹⁶

6.5. Fehlerquellen und Unschärfen

Bei der Laufzeitkompensation müssen natürlich auch mögliche Fehlerquellen benannt werden:

- Der Ort der Impulsgenerierung ist nicht identisch mit dem der Schallerzeugung.
- Die Zuordnung zu den Hauptmikrofonen ist nicht eindeutig (siehe Kapitel 6.1).
- Das Instrument (der Musiker) bewegt sich.
- Unterschiedliche Tonhöhen werden unterschiedlich abgestrahlt (Richtwirkung Instrument), und treffen so mit frequenzspezifischen Veränderungen im Hauptmikrofon ein.

¹⁶ https://www.reddit.com/r/audioengineering/comments/2wo18e/do_you_timephase_align_your_drum_tracks_why_w_hy/ aufgerufen am 9.9.2017

Diese Phänomene können nicht ausreichend kompensiert werden, sodass eine gewisse Toleranz und Unschärfe hingenommen werden muss. Die Frage stellt sich nur, in welche Richtung eine Toleranz angelegt werden sollte: ist ein Mittelwert anzustreben, oder sollte sicherheitshalber eine kleine Zugabe geschehen? In der schon öfter erwähnten Arbeit von Wöhr, Theile u.a.¹⁷ wird diese Frage dadurch umgangen, dass generell eine Zugabe von ca. 20ms geschieht, sodass das Stützsinal als künstliche Raumreflexion angesehen wird (siehe Kapitel 7.2).

Im realen Spiel werden sich die Musiker je nach Instrument und Temperament bewegen - und mit Ihnen das Instrument und der Ort der Schallabstrahlung. Um die Größenordnung abzuschätzen möchte ich als Beispiel folgende Rechnung für eine sich bewegende Geige machen:

angenommene Bewegung: $\pm 10\text{cm}$
max. Laufzeitdifferenz: 0,6 ms
max. Sample bei 48 KHz: 28
Kammfilterfrequenzen: 860, 2580, 4300, 6020 Hz etc.

Die resultierenden Schwankungen können zu Kammfiltereffekten im empfindlichsten Bereich des Gehörs zwischen etwa 1 und 3kHz führen (siehe auch Tabelle im Anhang). In wie weit diese hörbar sind, hängt auch von den Mischungsverhältnissen und Klangfarbenunterschieden der Signale ab.

Weitere Fehlerquellen in der Praxis sind die (geringfügige) Veränderung der Abstände bei einem notwendigen Abbau und Wiederaufbau der Mikrofonierung. Dies geschah bei der Herreweghe-Aufnahme, da das erste Konzert in Freiburg war, und so in Stuttgart nach den Proben abgebaut, und zum zweiten Konzert dort auch wieder aufgebaut werden musste. Dabei war der Bühnenvorbau nicht identisch und somit die Mikrofonpositionen einschließlich des Hauptmikrofons nicht exakt zu reproduzieren. Aus Zeitgründen konnten nur einige wenige Stützen überprüft werden, die Unterschiede sind in der Tabelle im Anhang nachzulesen und betragen zw. 20 und 40 Sample.

Eine weitere Unstimmigkeit stellte ich beim Überprüfen der Werte für die Aufnahme mit dem Staatsorchester Stuttgart fest: bei allen Signalen in der linken Hälfte des Orchesters war die Laufzeit zum Center größer als zum rechten Hauptmikrofon. Ein Tausch der Spuren lag nahe und wurde durch die konsistenten Abweichungen bestätigt, somit konnte nachträglich ein Routingfehler entdeckt und korrigiert werden.

7. Differenzierung der Laufzeitkompensation

7.1. Nach Laufzeitunterschied (genaue Kompensation)

Die genaue Kompensation wird heute doch recht häufig angewandt. Dies hat wahrscheinlich den Grund, dass eine samplegenaue Ausmessung in der DAW problemlos möglich ist, und die Übertragung 1:1 geschehen kann. Wie im vorigen Kapitel bereits gezeigt, ist aber meist keine hundertprozentige Kompensation möglich, die kann nur bei statischen Punktschallquellen (z.B. Pauken/Schlagzeug) gelingen.

Versuche haben auch gezeigt, dass die Kompensation bei mehreren Hauptmikrofonen auf den Maximalwert - bei einem Decca-Tree ist dies das entfernteste Hauptmikrofon - notwendig ist, um störende Auswirkungen zu minimieren (für Beispiele siehe Kapitel 10). Damit umgeht man Lokalisationsverschiebungen, die auftreten können, wenn das Stützsinal zeitlich sozusagen zwischen den Hauptmikros eingeordnet wird, und stellt sicher, dass Kammfiltereffekte wenig auftreten.

17 „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“, Martin Wöhr, Günther Theile, Hans-Jürgen Goeres, Alexander Persterer; IRT; Bericht zur TMT 1988(20) S. 302, ISBN 3-598-20356-X, K.G. Saur Verlag

7.2. Als Reflexion (ab +10 ms)

Dieses Verfahren fusst auf frühe Untersuchungen und Empfehlung von Günther Theile (IRT)¹⁸. Er ordnet die Signale der Stützmikrofone als starke (frühe) Reflexionen ein, entsprechend wird die Verzögerung um ca. 20 ms erhöht. Hiermit umgeht er u.a. Probleme wie sich bewegende Musiker und die daraus resultierenden Kammfiltereffekte.

In der Praxis stellte sich aber heraus, daß bei nicht exakt gemessener Entfernung und durch Bewegungen der Musiker unangenehme Kammfiltereffekte entstehen. Sie können durch geeignete Verhallung abgeschwächt werden. Klangverfälschungen werden aber erst vermieden, wenn das verzögerte Stützsignal deutlich hinter dem Hauptmikrofonsignal liegt, also im Bereich der ersten Reflexionen des Aufnahmeraums.¹⁹

In der Praxis ist die Nachbildung einer einfachen Reflexion durch entsprechende Erhöhung der Zeitverschiebung zu erreichen, diese erscheint dann an der eingestellten Panoramaposition in der Mischung. Ich habe in den Voruntersuchungen die Auswirkung von zusätzlichen 10ms und 20ms bei der Verzögerung untersucht, mit dem Ergebnis, dass der Höreindruck erstaunlicherweise der unverzögerten Mischung ähnelt (zur Diskussion über dieses Phänomen siehe Kapitel 12).

7.3. Stereo Reflexion

Neben der Einbettung einer einzelnen Reflexion schlägt Theile²⁰ auch die Erzeugung von Stereoreflexionen vor. Diese sollten in die vorhandenen (frühen) Reflexionen eingebettet werden, also ca. 20 ms mehr also die reine Laufzeit des Signals zum Hauptmikrofon betragen. Im Rahmen des Haas-Effekts²¹ ist eine genaue Einordnung im Panorama nicht nötig (und auch nicht möglich), die Ortung wird durch das Hauptmikrofon bestimmt.

Die optimale stereofone Repräsentation dieser Stützreflexionen müßte dann vorliegen, wenn die Stützreflexionen die gleiche stereofone Qualität wie die vom Hauptmikrofon aufgenommenen Reflexionen aufweisen. Daraus folgt, daß ein monofones Stützsignal mit entsprechenden stereofonen Eigenschaften versehen werden sollte.²²

18 Theile: Hauptmikrofon und Stützmikrofone – Neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren, 13. Tonmeistertagung, München, 1984

19 Wöhr, Theile, Goeres, Persterer: „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“; Bericht zur TMT 1988 S. 302

20 Theile: Hauptmikrofon und Stützmikrofone – Neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren, 13. Tonmeistertagung, München, 1984

21 Haas, „Über den Einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache“ (1951), Acustica 1, Seiten 49–58

22 Wöhr, Theile, Goeres, Persterer: „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“; Bericht zur TMT 1988 S. 302

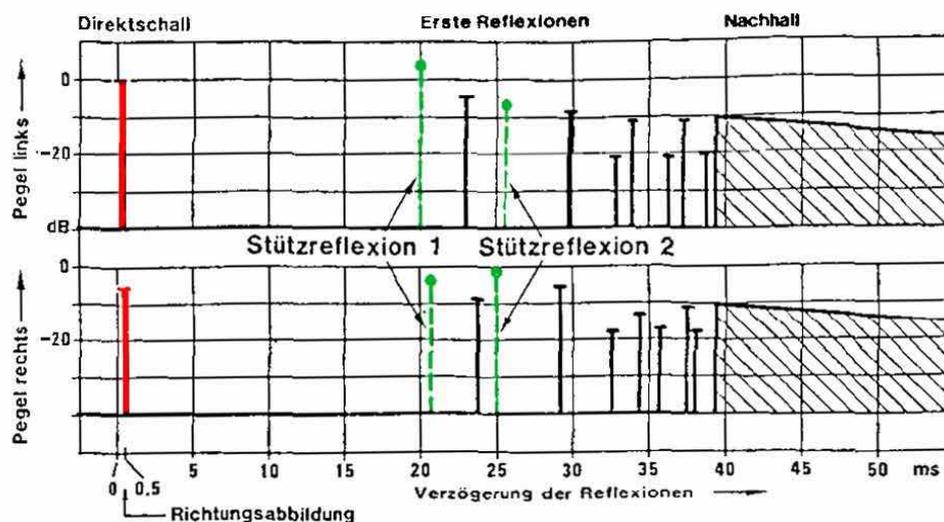


Bild 7: Hauptmikrofonsignal plus 2 künstlich erzeugte Stützreflexionen (Theile 1984)

In der Praxis würde diese Idee bedeuten, dass pro Stütz- oder Stützmikrofon zwei (oder sogar vier) Reflexionen erzeugt werden müssen, bei Laufzeitstereofonie jeweils zwei nah beieinanderliegende Signale für links und rechts (siehe Bild 7). Die Zeit- und Pegelinstellung, bzw. Panoramaposition der Reflexionen, muss für jede Stütze einzeln optimiert werden, ein aufwändiges und zeitraubendes Verfahren. So schön das in der Theorie sein mag, außerhalb des Experiments von Goeres²³ wird wohl keiner den Aufwand betreiben wollen. Heutige Orchestermischungen beinhalten meist 40 Stützen oder mehr, deshalb wäre eine Vervielfachung der Signale eher bei Kammermusik realistisch, und so geschah es auch in dem erwähnten Experiment. Die Auswertung der Ergebnisse ergab dort wenig Unterschiede, sodass eine panoramalose links-/rechts-Verteilung der Reflexionen durchaus gerechtfertigt erscheint (so verfahren auch die Algorithmen der weit verbreiteten "Lexicon"-Hallgeräte). Allerdings sei diese Vereinfachung nur gültig für einen Additionspegel unterhalb der -6dB Marke²⁴

7.4. Gruppen-Verzögerung nach Abstand

Zu Zeiten analoger Mischtechnik waren Verzögerungen nicht ohne Weiteres einzufügen, dazu bedurfte es externer Effektgeräte. Es gab damals einige analoge (basierend auf Eimerkettentechnik) und dedizierte digitale Verzögerungsgeräte, die in der Regel als Zweikanal-Effekt in den Signalweg eingeschleift werden konnten. Wir besaßen im SWR zwei Stück AMS DMX 15-80S Computer Controlled Stereo Digital Delay²⁵, konnten also 4 Mono- bzw. zwei Stereo-Kanäle bearbeiten. So lag es nahe, die kritischen Instrumente in Gruppen mit ähnlichem Abstand zusammenzufassen und über einen Insert gemeinsam zu verzögern. Die Streicher wurden nicht verzögert, das Holz und die Hörner über eine Gruppe, Pauken und Schlagzeug dann über die Zweite. Vor allem Letzteres hat sich sofort bemerkbar gemacht, sind doch die Laufzeiten der Schlaginstrumente i.d.Regel über 25ms und meist hörbar. Instrumente wie Klavier, Harfe oder Celesta, wurden meist der Holzbläsergruppe zugeschlagen, um sie weniger vordergründig zu hören.

23 Wöhr, Theile, Goeres, Persterer: „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“; Bericht zur TMT 1988 S. 302

24 Sengpiel: Pegeladdition von Stützmikrofon und Hauptmikrofon, Unterrichtsblätter UdK-Berlin 03-92

25 <https://www.vintagedigital.com.au/ams-dmx-15-80s-computer-controlled-stereo-digital-delay/> aufgerufen am 23.3.2018



Bild 8: AMS DMX 15-80S Computer Controlled Stereo Digital Delay

7.5. Gezielte Verzögerung nach Instrumentengattung

Die Auswirkungen der Laufzeitkompensation können sehr unterschiedlich sein. Wie die Versuche ergaben, kann man je nach Struktur des Signals andere Hörsamkeiten erwarten. Bei impulshaltigen Instrumenten wird eine fehlende oder falsche Verzögerung die Klarheit zunichtemachen, bei solistischen Vokalstimmen werden ggf. Kammfiltereffekte hörbar. Und chorische Stimmen, wie z.B. die Streicher, erzeugen sowieso schon mehrfache Einschwingvorgänge in den Stützmikrofonen, sodass eine Laufzeitkompensation hier wenig Wirkung zeigt.

Aus dem Vorangegangenen speist sich die Idee, die verschiedenen Charakteristika der Instrumente auch unterschiedlich zu behandeln. Dies ist ein neuer, pragmatischer Ansatz, der aus den Erfahrungen meiner Untersuchung entstanden ist: es werden nicht alle Stützen gleich behandelt, stattdessen schlage ich die folgenden Gruppen vor:

- Stark impulshaltige Signale (wie Pauken, Schlagzeug, Klavier, Harfe) sollten möglichst exakt kompensiert werden, ggf. die angrenzenden Stützen mit hohem Übersprechen gleich mit (siehe dazu die Beispiele der Pauken und Holzbläserstützen)
- Solistische Instrumente mit starkem Obertongehalt (v.a. Holz- und Blechbläser), sollten in etwa exakt kompensiert werden, Abweichungen im ms-Bereich stören oft nicht, müssen aber auf Kammfilter hin überprüft werden.
- Solisten (Vokal und Instrumental) können bei starken tonalen Anteilen Kammfilter-verfärbungen hervorrufen, zu empfehlen ist dennoch eine etwas geringere Verzögerungszeit oder gar keine Kompensation, um die Kontrolle der Positionierung über das Panoramapotiometer nicht zu verlieren. Ist die Positionierung kein Problem, dann ist natürlich eine exakte Laufzeitkompensation von Vorteil (bezogen auf das entfernteste Hauptmikrofon - s. Text).
- Chorische Stimmen (wie Streicher oder Chorstimmen) brauchen gar nicht, oder nur ungefähr kompensiert zu werden. Ich würde einen Chor pauschal auf die geringste Entfernung der Stützmikrofone verzögern, die Streicher gar nicht.

8. Wechselbeziehung der Stützmikrofone

In Mischungen klassischer Musik haben wir es fast nie mit klar getrennten Signalen zu tun, sondern mit einem teilweise erheblichen Übersprechen zwischen den Stützmikrofonen. Dies wird noch durch die Tatsache verstärkt, dass die lauterer Instrumente (Blech, Schlagzeug) hinten im Orchester sitzen und auf die Mikrofone der vor ihnen sitzenden Instrumente durchschlagen. Die einzelnen Signale treffen dann über verschiedene Wege mit erheblichen Laufzeitunterschieden, aber natürlich auch mit unterschiedlichen Pegeln ein. In der Mischung spielen beide Parameter eine Rolle, zusätzlich aber noch um den eingestellten Spurpegel und Laufzeitkorrektur ergänzt.

Ich habe für einen Teil der Stützen das Übersprechen ausgemessen (siehe "Tabelle der Delay-Zeiten Staatsorchester Stuttgart" im Anhang), und dabei auch die relativen Pegel erfasst. Um die Dimension dieses Effektes einschätzen zu können, habe ich anhand der Impulse des Pauken-Signals in deren Stütze, Hauptmikrofon und diversen Mikrofonen der Holzbläser die Vielzahl einmal grafisch dargestellt (Bild 9).

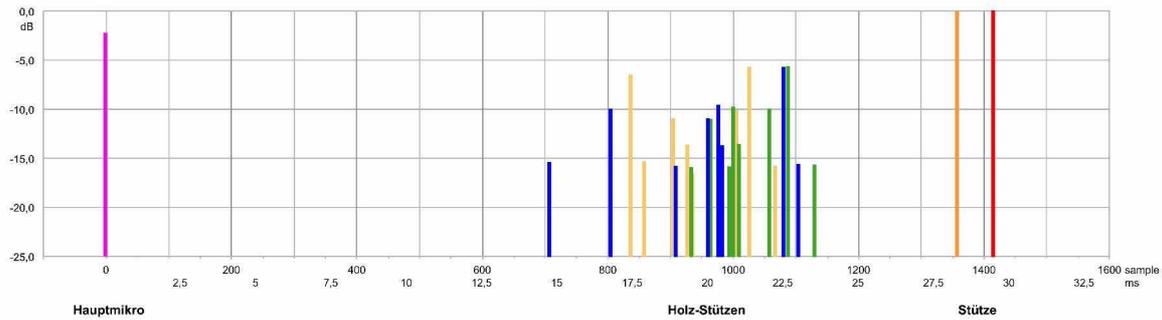


Bild 9: Verzögerungen des Pauken-Signals auf der Achse Holzbläser / Pauken

Diese Grafik zeigt die Laufzeiten in Relation zum Hauptmikrofon, also letztendlich annähernd die räumlichen Abstände dazu. Aufgetragen sind dabei nur Anteile, die mit mindestens -18dB unter dem Direktsignal eingehen (dies ist in etwa die Wahrnehmungsgrenze bei Paukenimpulsen), hier ohne Berücksichtigung der realen Mischungsverhältnisse. Würde man sämtliches Übersprechen abbilden wollen, würde sich ein recht diffuses, entmutigendes Bild ergeben. Zum Glück sind aber die geringfügigen Anteile nicht relevant und erhöhen allenfalls den Räumlichkeitseindruck ein wenig.

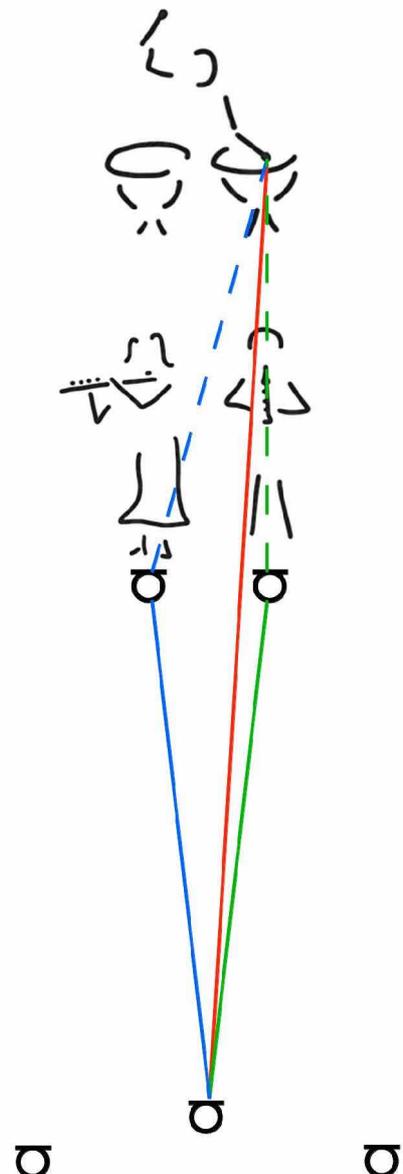
An zwei konkreten Beispielen möchte ich diese Wechselwirkung etwas detaillierter beschreiben:

8.1. Pauke / Holzbläsermikrofone

Die Pauken befinden sich im Orchester meist direkt hinter den Holzbläsern und schlägt auf deren Stützmikrofone kräftig durch. So wird bei korrekt ausgemessenen Laufzeiten ihr Impuls zusätzlich und mit abweichenden Werten in die Mischung eingehen, es entstehen ungewollte Verdoppelungen, wie in vorigen Absatz dargestellt. Schaut man sich die realen Differenzen an, so sind das im typischen Fall der Liederhalle Stuttgart, Pauken direkt hinter den Holzbläsern, nur wenige Sample (2 bis 10) bei den einzelnen Holzstützen. Nur beim Holz-Hauptmikrofon ergeben sich größere Abweichungen (bis zu 100 Sample), da dieses ja deutlich höher hängt und sich somit näher an der Pauke aber weiter weg von den Holzbläsern befindet.

Zu dieser Problematik habe ich in den Voruntersuchungen (s. Kapitel 10) einige Beispiele gemacht. Die Unterschiede sind deutlich wahrnehmbar und eine für die Pauke optimierte Lösung wäre, diese auch für die Holzbläserstützen richtig zu verzögern. Allerdings verlagern sich dann die Abweichungen in die Holzbläser über deren Hauptmikrofon. Wenn man dieses vorzugsweise bei leiseren Passagen (ohne Pauken) verwendet und bei den Ecksätzen auf die direkten Stützen umsteigt, könnte das Holzauptmikrofon theoretische auch auf Flöte/Oboe verzögert werden. Nach einigen Versuchen habe ich jedoch den Eindruck gewonnen, dass eine Fehlanpassung bei den Holzbläsern aufgrund der anders gearteten Signale weit weniger wiegt, als bei der Pauke. Deshalb wurde diese Variante nicht weiter verfolgt.

Bild 10 (rechts): Übersprechen zwischen Pauke und Holzbläsern



8.2. Streicher als Gruppe

Eine andere Rolle spielen chorische Stimmen, wie die Streicher. In einer großen Orchesterbesetzung spielen da z.B. 14 bis 16 erste Violinen, die wir i.d.Regel mit zwei Stützmikrofonen aufnehmen. Und auch wenn ich meist versuche, jedes Stützmikrofon in einer Vierergruppe mit gleichem Abstand zu platzieren, sind damit nur die Hälfte der Instrumente annähernd gleich in der Laufzeit abgebildet. Das heißt noch lange nicht, dass diese auch exakt synchron spielen, und das ist auch gut so, denn so kommt ja erst der chorische Effekt dieser Stimmen zustande.

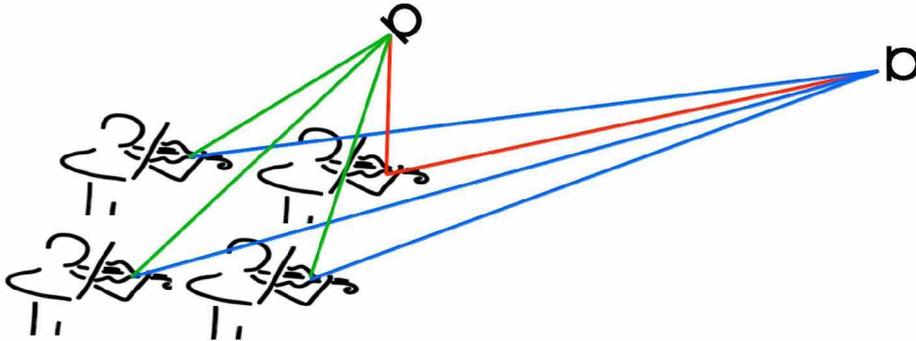


Bild 11: Eine Laufzeitkompensation ist nur für ein Instrument der Gruppe exakt zu realisieren.

Ist es also egal, ob bzw. wie wir die Streicherstützen verzögern? Nein - denn es wird sich nie der Effekt deckungsgleicher Einschwingvorgänge ergeben, allerdings sollten die eingestellten Werte plausibel sein, d.h. sich im Rahmen der akustisch-geometrischen Gegebenheiten bewegen. Die Laufzeitkompensation kann also allenfalls Ausreißer wieder in die realistische Zone zurückholen, und auch wenn sie kaum etwas nützt, schadet sie doch nicht.

Ein anderes Problem entsteht bei den Streichern, wenn eine Stimme über ein Stützmikrofon einer anderen Stimme überspricht, oft sogar mit weniger Laufzeit und nur wenig reduziertem Pegel. Ich habe in der "Tabelle der Delay-Zeiten Staatsorchester Stuttgart" die Violine1-Impulse auch für die Stützen Violine 2 vorn, Viola vorne und Solo 1 ausgemessen. Bei einer Kombinationen entstand sogar ein negativer Werte (V11 hinten auf V1a vorne), d.h., dass das Signal kommt auf der fremden Stütze sogar früher als auf dem Hauptmikrofon an.

Und hier macht es dann doch wieder Sinn, für die Streicher eine exakte Kompensation anzustreben. Wird die Viola also z.B. um 548 Sample exakt verzögert (Wert zum linken Hauptmikrofon), erscheint das Signal der Violine 1 vorne um $548 - 59 = 489$ Sample später, was einer frühen Reflexion von ca. 10ms bei einem Pegel von -11 dB entspräche.

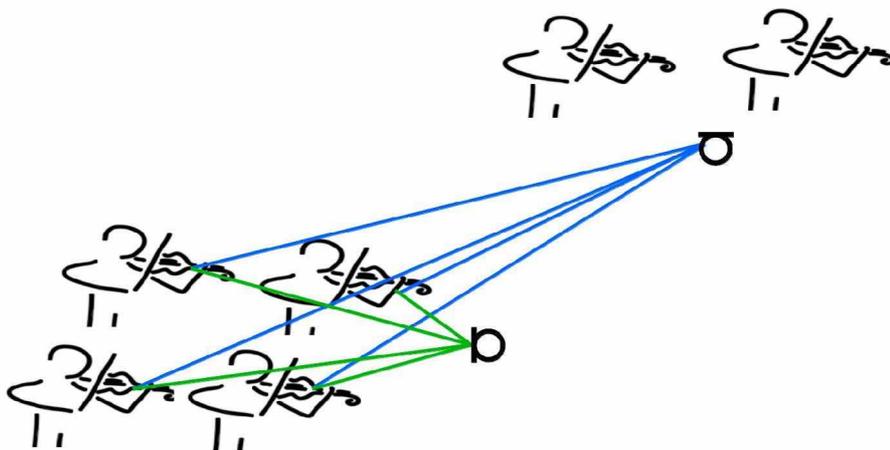


Bild 12: Übersprechen auf die Stütze einer benachbarten Gruppe.

9. Auswahl des Materials

Die Auswahl des Materials richtete sich natürlich nach meiner Aufnahmepraxis und damit der Verfügbarkeit und Kenntnis des Materials. Folgende Überlegungen haben eine große Rolle gespielt:

- Ich wollte mich auf Orchesterproduktionen beschränken, da hier die Frage der Transparenz allgegenwärtig ist, hat man doch den realen Höreindruck als Vergleich. Gleichzeitig sollten die Aufnahmen nicht zu kompliziert in der Struktur und klanglichen Abbildung sein. Auch wollte ich Solisten dabei haben, sowohl Instrumental als auch Vokal.
- Die Aufnahmen sollten im gleichen Saal und gleichem Studio aufgenommen sein, aber dafür mit unterschiedlichen Klangkörpern und Besetzungen.
- Um den Raumeinfluss zu untersuchen, bot sich bei der Herreweghe-Aufnahme²⁶ ein Quervergleich zu einem anderen Konzertsaal (Konzerthaus Freiburg) an. Hier waren dafür die Orchesterbesetzung, Aufnahmeteam und Mikrofonierung Konstanten, sodass durchaus Vergleiche gezogen werden können.
- Es sollten möglichst individuell ausgemessene Laufzeiten verfügbar sein. Aus Zeitgründen ist dies im SWR allerdings nicht die Regel, aber bei den beiden untersuchten Produktionen habe ich versucht genau zu messen.

9.1. Sinfonie-Orchester des SWR / Herreweghe: Schumann Manfred Overtüre, Beethoven Violinkonzert

Diese Aufnahme wurde in der Woche vom 29.5. bis zum 2.6.2017 gemacht, SWR Produktionsnummer: SO 2017 43K. Das SWR Symphonieorchester spielte unter der Leitung von Philippe Herreweghe drei Konzerte, das Erste im Konzerthaus Freiburg am 31.5., die anderen Beiden in der Liederhalle Stuttgart, Beethovensaal, am 1. und 2.6.2017. Toningenieurin war Ute Hesse, weitere Informationen dazu befinden sich im Anhang.

Aus dieser Produktion habe ich das erste Stück verwendet: Robert Schumann (1810 - 1856) - Overtüre aus Manfred op.115, und: Ludwig van Beethoven (1770 - 1827) - Konzert für Violine und Orchester D-Dur, op. 61, 1. Satz: Allegro ma non troppo (gekürzt), Solist war Thomas Zehetmair, Violine. Außerdem spielte das Orchester in dem Konzert noch die Sinfonie Nr. 2 C-Dur, op. 61 von Robert Schumann, wegen der vergleichbaren Struktur zur Manfred-Overtüre habe ich diese jedoch nicht berücksichtigt.

In diesem Konzert machte ich bereits bei den Proben am 29.5. Delay-Tests, da dann am meisten Zeit dafür war. Nach der Generalprobe in Freiburg und vor der Anspielprobe der dann folgenden Konzerte in Stuttgart (da war allerdings nur Zeit für eine exemplarische Überprüfung einiger Stützen) wiederholte ich dieses. Hierbei ergaben sich in Stuttgart Abweichungen, die v.a. von einem veränderten Bühnenvorbau und der damit einhergehenden Anpassung des Hauptmikrofonabstands herrührten.

9.2. Staatsorch. Stuttgart / Cambreling

Unter dem Titel "UTOPIE! EGMONT-ECHOS" veranstaltete das Staatsorchester Stuttgart ein Abschiedskonzert seines langjährigen Chefdirigenten, Sylvain Cambreling. Das Programm war eine Zusammenstellung der Stücke von Beethovens Egmont, dazu die Mahler-Lieder aus "Des Knaben Wunderhorn": Tambourgsell, Revelge, Lied des Verfolgten im Turm; und zwei Stücke von Wolfgang Rihm: "Ernster Gesang" für Orchester alleine und "Lied" für Gesang und Orchester. Diese Produktion entstand vom 7. bis 10. Juli 2017 in der Liederhalle Stuttgart, Beethovensaal.

Als Solisten wirkten mit Josefín Feiler: Sopran, Shigeo Ishino: Bariton und Wolfgang Michalek, der zwischen (und während) der Musik die Texte des Egmont und Gedichte von Mahmud Darwisch rezitierte. Der Rezipient bewegte sich dabei über die gesamte Chorempore hinter dem Orchester,

26 Konzert vom 31.05.2017 in Freiburg und am 01.+02.06.2017 in Stuttgart

weit weg vom Orchester. Seine Stimme wurde über ein Headset abgenommen und dezent in den Saal verstärkt. Die hierbei auftretenden deutlichen Laufzeiten habe ich auch in meine Untersuchung einbezogen (siehe Kapitel 10.7), vor allem, weil der Direktanteil im Hauptmikrofon zu vernachlässigen war und dort nur Raumanteile zu hören waren.

Es wurden zwei Konzerte gegeben, eine Matinée am Sonntag den 9. Juli um 11:00 Uhr und ein Abendkonzert am darauffolgenden Montag um 19:30 Uhr. Zusammen mit der Generalprobe kam so ausreichend Schnittmaterial zusammen, was im Hinblick auf eine eventuelle Zweitverwertung (Veröffentlichung) die Korrekturen nach dem heute üblichen Standard ermöglichte.

9.3. Rademann: Bach Kantate BWV 126

Als Vertreter kleinerer Besetzungen und historisch informierter Aufführungspraxis schien die Produktion einiger Kantaten zur Reformation mit der Gaechinger Cantorey unter Hans-Christoph Rademann:

- Johann Sebastian Bach:
"Erhalt uns, Herr, bei Deinem Wort" BWV 126
"Gott, der Herr, ist Sonn und Schild" BWV 79
Missa brevis ("Lutherische Messe") G-Dur BWV 236
- Dorothee Miels | Sopran, Benno Schachtner | Altus,
Benedikt Kristjánsson | Tenor, Tobias Berndt | Bass
- Produktion vom 4. bis 6.10.2016 jeweils 10:00 bis 18:00 (mit Pause), und
Konzerte am 8. und 9.10.2016 in der Liederhalle Stuttgart, Beethovensaal, jeweils 19:00

Zu dieser Produktion standen leider keine Verzögerungswerte zur Verfügung, ich hoffte aber, diese mit Hilfe der Plugins nachträglich herausfinden zu können. Aber mit "einfach mal AutoAlign einschalten und kurz warten" war es nicht getan. Offensichtlich sind die Algorithmen nicht in der Lage aus zwei komplexen (gemischten) Signalen eine Korrelation zu erkennen und die dazugehörige Laufzeit zu errechnen. Dies gelang überhaupt nur in wenigen, ganz kurzen freistehenden Passagen. Die so ermittelten Werte schienen mir viel zu vage und teilweise überhaupt nicht plausibel (Messungen der Orgel z.B. 5.1, 6.5, 9.6 und 17.2ms mit verschiedenen Plugins bei dem gleichen Signal), sodass ich dieses Beispiel schließlich aufgab.

Die Lehre daraus ist, dass auch die automatisch arbeitenden Plugins im klassischen Umfeld ein dediziertes Testsignal zur Ermittlung der Laufzeiten und Phasen brauchen. Dabei reicht ein etwas breiterer Klatsch-Impuls, wie ihn meine leere (Holz-)Mikrofonschachtel erzeugt, aus.

9.4. große Besetzung

Ich hatte geplant, auch eine wirklich große Besetzung eines modernen Stücks mit einzubeziehen. In die engere Auswahl kam "THE GATES" von James Dillon, in dem als "Solist" ein Streichquartett vorgesehen ist, und "Das Floß der Medusa" von Henze, quasi ein Oratorium mit Sprecher, zwei Gesangs-Solisten, Chor und Orchester. Da die Medusa-Produktion erst kürzlich entstand, konnte ich bei der Nachmischung am 11. und 12. Januar 2018 exakt gemessene Laufzeitwerte einbeziehen. Einen expliziten Vergleich habe ich aber aus Zeitgründen nicht mehr vornehmen können (es standen für die gesamte Mischung nur zwei Tage zur Verfügung), dieser musste auf meine Wunschliste verschoben werden.

Die Daten zu den beiden Produktionen (Details im Anhang):

- **James Dillon "The Gates"** für Streichquartett und Orchester (2016) Uraufführung, 30 Min., Kompositionsauftrag des SWR "Dedicated to the memory of Armin Köhler"
- Arditti String Quartet / SWR Symphonieorchester, Ltg. Pierre-André Valade
- Produktion am 10. und 11.10.2016 in der Liederhalle Stuttgart, Beethovensaal, Konzertmitschnitt am 14.10.2016 in der Baarsporthalle Donaueschingen.

- **Hans Werner Henze:** (1926 - 2012):
Das Floß der Medusa. Oratorium für Sopran, Bariton, Sprechstimme, gemischten Chor (dazu neun Knaben S/A) und Orchester
- Camilla Nylund (Sopran), Peter Schöne (Bariton), Peter Stein (Sprecher) SWR Vokalensemble, WDR Chor, Freiburger Domsingknaben
- SWR Symphonieorchester, Dirigent: Peter Eötvös
- ProdNr: SO 2017/11b, Mitschnitt aus der Elbphilharmonie Hamburg vom 17.11.2017 mit musikalischen Korrekturen aus dem Konzert vom 15.11.2017 im Konzerthaus Freiburg
Tonmeister am Mischpult war Klaus-Dieter Hesse.

Bei der Produktion von James Dillon war keine Zeit, exakte Laufzeiten auszumessen. Stattdessen griff ich auf Werte zurück, die der Toningenieur Martin Vögele aus vorangegangenen Produktionen ermittelt und in die Kanäle eingepflegt hatte. Ich fertigte damit mehrere Mischungen ohne und mit Delay an, und versuchte sinnvolle Passagen für einen aussagekräftigen Vergleich zu finden. Leider erwiesen sich die Verzögerungswerte als zu ungenau, um eindeutige Unterschiede herauszuhören, vielleicht auch, weil es sehr viel flächigen Streicherklang in dem Werk gibt, der nur selten durch sanfte Perkussion oder Harfe konturiert wird (siehe Kapitel 8.2).

10. Voruntersuchungen

10.1. Kammermusikbeispiele

Ich habe mich zwar für diese Arbeit auf die Untersuchung von Orchestermischungen beschränkt, für die Analyse und Hörbarmachung der Effekte möchte ich trotzdem zwei Kammermusikbeispiele aus früheren Produktionen voranstellen. Hier wurden nur wenige Mikrofone verwendet, das Klangbild ist gut durchhörbar und die Unterschiede leicht wahrnehmbar.

Andreas Weller, Tenor / Götz Payer, Klavier - **Arnold Schönberg** (1874-1951) „**Mannesbagen**“ (T: Richard Dehmel), eine Aufnahme aus dem SWR Kammermusikstudio Stuttgart vom 28.-31.01.2008. Diese sollte nachbearbeitet und für CD-Veröffentlichung neu gemischt werden. Natürlich standen keine ausgemessenen Laufzeiten zur Verfügung, da aber sowohl für die Stimme, als auch für das Klavier ausreichend lange solistische Passagen zu finden waren, konnten die beiden Plugins AutoAlign und MautoAlign ziemlich genaue Werte ermitteln:

Delay Stimme = 58 Sample, Klavier = 229 Sample, (häufigste Werte bei mehreren Versuchen)

Mit diesen Werten habe ich eine neue Mischung aus Hauptmikrofon, Gesangs- und Klavierstütze (jeweils in Stereo) gemacht, und mit einem Summenhall (Waves H-Reverb) in einen größeren Raum gestellt. Dadurch erhielt die Stimme eine Fokussierung und Klarheit, die sie auch bei weniger Stützpegel im Vordergrund hielt (siehe CD1 Track 1&2). Dies war ein Effekt, den ich so deutlich nicht erwartet hatte, nahm ich doch bisher an, dass der Sänger OHNE Stütze in den Vordergrund rücken würde (gemäß dem Gesetz der ersten Wellenfront).

An einer weiteren Aufnahme wollte ich die Auswirkungen bei der Tiefenwiedergabe untersuchen. Dazu verwendete ich die Harmoniemusiken von **Albert Lortzing** aus "**Der Wildschütz**", arrangiert für Bläser von Andreas N. Tarkmann. Die Aufnahme entstand in der Ludwig-Hofacker-Kirche, Marbach-Rielingshausen vom 14.-17.3.2017, es spielten die "SWRwinds", eine Bläserensemble aus Mitgliedern des SWR-Symphonieorchesters.

Bei den Harmoniemusiken waren, wie früher oft üblich, ein oder zwei Kontrabässe dem Bläseroktett zur Verstärkung hinzugefügt. Ich ermittelte die Laufzeit der Bassstütze wieder mit Hilfe der Plugins, es waren 296 Samples. In den Beispielen auf der CD (Audio-Beispiel CD1 Track 3 & 4) kann man ganz deutlich die viel stärkere Tiefenwiedergabe mit Kompensation hören, die durch gleichphasige Addition des Stützsignals zustande kommt.

10.2. Berechnung der Delay Werte

Für die weiteren Untersuchungen beschränkte ich mich auf die beiden ersten Aufnahmen (Kapitel 9.1 und 9.2). Um verlässliche Werte für die Laufzeiten zu haben, wurden die aufgenommenen Impulse nochmals exakt anhand der Wellenform ausgemessen. Bei der Aufnahme hatten wir ja die Verzögerungen beim Symphonieorchester mit Herreweghe nur recht schnell in ms erfasst, um bei der live-Mischung mit einer Annäherung arbeiten zu können. Für die weitere Auswertung wollte ich aber samplegenaue Daten haben, die in der Tabelle im Anhang ersichtlich sind.

Diese Signale waren dann Grundlage für den Vergleich der Plugins (Kapitel 6.2). Ich ermittelte deren Werte auch in ms (mit einer Kommastelle), da dadurch die Abweichungen leichter in ihrer Dimension verglichen werden können. In der Mischung verwendet wurden allerdings nur die manuell ausgemessenen Sample-Werte, da diese wesentlich verlässlicher waren (siehe Diskussion in Kapitel 6.3).

Bei der Erfassung der Laufzeiten in der zweiten Produktion mit dem Staatsorchester Stuttgart unter Cambreling, wollte ich den Bezugspunkt im Hauptmikrofon, sowie die Wechselwirkung der Stützen untereinander untersuchen. Deshalb wurden hier wesentlich mehr Daten erfasst, und zwar die samplegenauen Werte für alle drei Hauptmikrofone, sowie teilweise auch die Laufzeiten zu "fremden" Stützen und der Pegel des Übersprechens. Bei der Auswahl beschränkte ich mich auf die zwei untersuchten Wechselbeziehungen: Pauke zu Holzbläsern, und der 1. Violine zu einigen anderen nahen Stützmikrofonen.

Schon nach den ersten Messungen erkannte ich, dass offensichtlich eine Vertauschung der Spuren des mittleren und rechten Hauptmikrofons vorlag (siehe Kapitel 6.5). Da bei allen Werten von der linken Orchesterseite das vermeintliche Center-Mikrofon größere Laufzeiten, und bei den Werten von der rechten Seite geringere Laufzeiten als das Rechte ergab, war eindeutig, dass die beiden Kanäle (Spuren) vertauscht waren. In der Tabelle und für die Mischungen wurde dies selbstverständlich korrigiert.

Nach den Versuchen mit dem Bezugspunkt (Links, Mitte, Rechts) entschied ich mich dazu, jeweils den Maximalwert der Verzögerung in die Tabelle einzutragen. Eine Gegenüberstellung der Differenzen zu den vor Ort gemessenen und über Plugin ermittelten Werte, ergab ein interessantes Bild. Signale die nahe am Hauptmikrofon waren verursachten erhebliche Abweichungen (bei der Solo Violine z.B. 5.5 gegenüber 3 ms, bei der 1. Violine 9.1/9.4 gegenüber 6 ms), Signale, die mittig und entfernter waren ließen sich dagegen weniger Abweichungen ermitteln (z.B. Flöte 18.9 gegenüber 17 ms, oder Pauken 27.2 gegenüber 27 ms). Ein Blick auf die Geometrie der Mikrofonaufstellung erklärt dieses im Wesentlichen, dennoch bleiben Unterschiede, die wahrscheinlich nur durch eine ungenaue Messung vor Ort entstehen konnten.

10.3. Wechselwirkung Pauke / Holzbläser

Eine starke Anregung für diese Forschungsarbeit kam von meinem Kollegen Prof. Oliver Curdt (Hochschule der Medien, Stuttgart), der bei einem gemeinsamen Orchester-Mitschnitt berichtete, dass er die Holzbläser auch auf das Signal der Pauken verzögert, um das Einschwingen der Pauke zur Deckung zu bringen. Er berichtete von einer größeren Klarheit und mache das jetzt immer so. Ob bei der standardmäßigen Sitzordnung eines klassischen Orchesters mit den Pauken in der Mitte hinter den Holzbläsern tatsächlich einen Unterschied zu hören ist, wollte ich natürlich nachprüfen. Ich habe in der Tabelle der Produktion mit dem Staatsorchester Stuttgart (sie spielen in der beschriebenen Aufstellung), die Laufzeiten und das Übersprechen der Pauken-Signale auf die naheliegenden Mikrofone der Holzbläser und der Hörner erfasst (siehe Anhang). Mit diesen Werten mischte ich zusätzlich zu den individuell richtigen Laufzeiten einige Beispiele. Deutlich zu hören ist der Effekt schon bei den Klatsch-Signalen der Pauke, dies zeigt sich auch in dem screenshot: Die Wellenform wird durch die Kompensation klarer, die Vorechos verschwinden (Audio-Beispiel CD1 Track 6 - 9: Delay-Impuls bei der Pauke).



Bild 13: Impulse des Paukensignals mit und ohne delay

Die stattliche Laufzeit (29 ms) ist auf der letzten Zeile gut zu sehen und als Vorecho wahrzunehmen. Verzögert man die Holzbläser entsprechend ihren eigenen gemessenen Werten, werden diese Vorechos auf wenige ms verkürzt. Gegenüber den auf Pauke kompensierten Laufzeiten kann man dennoch ein kleiner Unterschied hören: die Idee der Impulsdeckung ist eindeutig nachzuvollziehen. sie äußert sich in einem präzisen, klaren Impuls.

Interessant ist auch der Vergleich zwischen der Mischung mit der Decca Kombination und einem Stereo-Hauptmikrofon (L/R Mikrofone des Decca-Tree - siehe erste und zweite Spalte). Erkennbar ist das etwas frühere Signal des Center-Mikrofons (in meiner Mischung um -6dB leiser) der auch deutlich hörbar ist. Nun ist dem Decca-Tree der vorgesezte Center immanent, ohne ihn würden die Phantomstrecken Links-Mitte und Mitte-Rechts im Surround nicht korrekt von der Strecke Links-Rechts abgegrenzt werden, im Stereo wird das Center-Signal jedoch auf die beiden Kanäle aufaddiert, es kommt ggf. zu den gezeigten Einschränkungen.

Ich habe die gewonnenen Erkenntnisse in eine Mischung des Orchester-Tutti eingearbeitet. Als Beispiel kam die kurze Siegesinfonie aus dem Egmont zur Geltung. Die Pauken- und Holzbläserstützen wurden dann mal mit, mal ohne Verzögerung ausgespielt. Hier kann man durchaus hören, dass die Pauke mit Laufzeitkompensation direkter und klarer zu hören ist, als ohne.

10.4. Kadenz Beethoven Violinkonzert

Einem spontanen Impuls folgend habe ich mir die Kadenz aus dem Beethoven Violinkonzert (Aufnahme Herreweghe) als erstes Beispiel vorgenommen. Thomas Zehetmeier spielte die von Schneiderhahn ungearbeitete Kadenz der Klavierfassung des Konzerts, dort musiziert der Solist im Zwiegespräch mit der Pauke. Dies schien mir eine gelungene Kombination für die Untersuchung, da beide sehr unterschiedliche Abstände zum Hauptmikrofon haben, sodass ich vermutete, die Tiefenstaffelung und die Auswirkung einer Laufzeitkompensation gut zeigen zu können.

In dieser Produktion waren die Kesselpauken rechts hinter den Bratschen angeordnet, da das Orchester mit einer kleineren 12er Besetzung in deutscher Aufstellung spielte. Durch die seitliche Aufstellung war auch für die Kadenz ein guter Kontakt zwischen Solist und Pauke möglich (siehe Bild).



Bild 14: Aufstellung Beethoven Violinkonzert im Beethovensaal der Stuttgarter Liederhalle

Die Versuche zeigten schon recht bald die unterschiedlichen Auswirkungen der Laufzeitkompensation. Die Pauke ließ sich mit einem Delay nicht in die Tiefe verschieben, wie oft vermutet wird, stattdessen hatte die höhere Deutlichkeit des Anschlags den Effekt, dass sie etwas präsenter und näher wahrgenommen wurde. Eine räumliche Tiefe lässt sich also nur mit der Reduktion des Stützpegels oder zusätzlicher Rauminformation (ggf. künstlich) bewerkstelligen, oder mit einer Theil'schen Zugabe zum Delay. Dagegen hatte die Kompensation bei der Violine vor allem den Effekt, dass die Position im Klangbild stabilisiert wurde, die Bewegungen des Solisten traten nicht mehr störend auf. Eine Auswirkung auf den Näheindruck konnte ich aber nicht erkennen.

10.5. Pegelanalyse

Die korrekte Verzögerung der Stützsingnale führt zu deckungsgleichen Signalen. Dies hat auch Auswirkungen auf den Pegel, und zwar sowohl auf den Spitzenpegel, als auch auf die Loudness-Werte. Ich habe deshalb bei allen relevanten Beispielen der CD während des Bounce eine Loudness- und True-Peak Analyse gemacht (siehe Liste im Anhang). Die stärkste Erhöhung ließ sich naturgemäß bei den Pauken beobachten, z.B. TP -3.1dB (ohne) zu -0.7dB (mit) bei der Pauke allein und TP -4.7dB (ohne) zu -2.7dB (mit) bei der Siegessinfonie. Die Loudness-Werte stiegen auch an, und zwar um 0.9 und 2.1 LU (Short-Term), was angesichts der alleinigen Veränderung der Verzögerung der Pauke schon signifikant ist. Zu erwarten ist eine ähnliche Steigerung auch bei stetigeren Signalen, wie z.B. den Bässen, dieses wurde jedoch nicht eigens untersucht.

| | |
|---|---|
| <p>Pauke Signal (ohne delay): Loudness: -9.4 LU (-32.4 LUFS) Max. Momentary: -5.4 LU (-28.4 LUFS) Max. Short-Term: -14.0 LU (-37.0 LUFS) LRA: 2.5 LU Max. True Peak: -3.1 dBTP L: -6.3 dBTP R: -3.1 dBTP</p> | <p>Siegessinfonie (ohne delay): Loudness: 5.0 LU (-18.0 LUFS) Max. Momentary: 10.0 LU (-13.0 LUFS) Max. Short-Term: 7.6 LU (-15.4 LUFS) LRA: 9.6 LU Max. True Peak: -4.7 dBTP L: -4.7 dBTP R: -4.8 dBTP</p> |
| <p>Pauke Signal (delay auf Pauke): Loudness: -8.9 LU (-31.9 LUFS) Max. Momentary: -4.5 LU (-27.5 LUFS) Max. Short-Term: -13.1 LU (-36.1 LUFS) LRA: 3.6 LU Max. True Peak: -0.7 dBTP L: -2.1 dBTP R: -0.7 dBTP</p> | <p>Siegessinfonie (delay auf Pauke): Loudness: 5.8 LU (-17.2 LUFS) Max. Momentary: 12.6 LU (-10.4 LUFS) Max. Short-Term: 9.7 LU (-13.3 LUFS) LRA: 11.8 LU Max. True Peak: -2.7 dBTP L: -3.7 dBTP R: -2.7 dBTP</p> |

Tabelle 1: Pegelanalyse (Auszug)

In einer realen Mischung war der Anstieg bei gleicher Reglerstellung (kein Hall) auch zu messen, fiel aber nur gering aus: beim Beethoven in Stuttgart +0.9 LU (TP +1.3dB) und beim Manfred

in Freiburg +0.1 LU (+0.5dB TP). Vor allem die erhöhten Peak-Werte lassen sich durch die Addition phasensynchroner Signale erklären, die ja eine Pegelerhöhung von bis zu +6dB hervorrufen, gegenüber +3dB bei inkohärenten Signalen. In diesem Bereich bewegen sich dann auch die beobachteten Unterschiede (bis ca. 2.5dB bei der Pauke).

Als Konsequenz der Pegelerhöhung für die praktische Mischung könnte man die Stütze ein wenig absenken, um die gleiche Präsenz zu erreichen - oder umgekehrt formuliert: in einer Mischung ohne Laufzeitkompensation braucht das Stützschriftal mitunter mehr Pegel, um sich durchzusetzen. Ich fertigte daraufhin auch ein Beispiel der Siegesinfonie an, bei dem ohne Verzögerung die Pauke um 3dB angehoben war. Die Auswirkung im Klug war dennoch nicht vergleichbar, da die Klarheit der Pauke so nicht erhöht werden konnte, es ist eben doch nicht nur eine Frage des Pegels.

10.6. Bezugspunkt Hauptmikrofon

Wie in Kapitel 6.1 erwähnt, äußert sich die Wahl des Bezugspunktes für die Laufzeitmessung am stärksten bei Solisten-Stützen. Das ist auch logisch, stehen diese doch in der Regel in geringem Abstand seitlich vom Dirigenten unter dem linken oder rechten Hauptmikrofon. Aus der Egmont-Produktion wählte ich zwei Beispiele, um den Einfluss des Bezugspunktes zu untersuchen. Bei Klärchens Lied "Freudvoll und Leidvoll" steht die Sopranistin links vom Dirigenten vor dem ersten Pult der Geigen, eine typische Orchesterlied-Aufstellung. Das Verhältnis der Laufzeiten zu den äußeren Hauptmikrofonen beträgt hier immerhin 32/25 oder von 5.5 bis 7ms.

Ich wollte wissen, wie sich eine Laufzeitkompensation bei allen drei gemessenen Werten auswirkt, und habe dafür getrennte Beispiele gemacht (Audio-Beispiel CD1 Track 22 - 26). Dabei liegt die Verzögerung des mittleren Hauptmikrofons mit 273 Sample so zwischen den Laufzeiten der äußeren Mikrofone, dass sich bei annähernd gleichen Pegeln zusätzliche Phantomschallquellen ergeben können (Differenz nach links = 0,16ms, nach rechts, 1.3ms), vielleicht ein Grund, warum die Ortungsstabilität außerhalb der Eckwerte (Links 265 und Rechts 339 Sample) deutlich zunimmt.

Im Beispiel aus Mahlers "Lied der Verfolgten im Turm" singen beide Solisten abwechselnd. Ich habe hier einen Ausschnitt mit Bariton gewählt und auch mit den drei gemessenen Werten verzögert (CD1, Tracks 14 bis 21). Zusätzlich stellte noch ich Beispiele mit nur dem Stereo-Hauptmikrofon her, um den Einfluss des Center-Mikrofons zu untersuchen. Es zeigt sich, dass die Ortungsstabilität mit dem Centermikrofon ungleich höher ist als ohne. In Stereo bricht der Solist schnell nach rechts aus und kann dann nur mit einer unter- oder unverzögerten Stütze in die Mitte gezogen werden (dies ist auch gängige Praxis).

Als Ergebnis dieser Hörproben kann ich empfehlen, bei einem Decca-Tree die jeweils größte gemessene Laufzeit zu wählen, bei einem Stereo (ab) Hauptmikrofon die Kleinste oder weniger.

10.7. Gesangssolisten Präzedenz-Effekt

Bei dem ersten Beispiel (Klärchens Lied) wollte ich den Präzedenz-Effekt (auch bekannt als Haas-Effekt) nachvollziehen. Dem gemäß sollte die Ortung ja aufgrund der ersten Wellenfront geschehen, bei einer verzögerten Stütze also über das Hauptmikrofon. So fertigte ich zusätzlich zwei Mischungen an, bei der die Sopran-Stütze auf die falsche (rechte) Seite gepanned wurde. Im Unterschied zu der unverzögerten Mischung, wo tatsächlich eine Doppelortung wahrzunehmen ist, bleibt die Sopranistin mit der maximalen Verzögerung von 7ms weitestgehend stabil in der Ortung (Audio-Beispiel CD1 Track 25 - 28: Solo mit Stütze links bzw. rechts). Dass es dennoch einige hörbare Ausreißer gibt, lässt sich durch die unterschiedlichen Frequenzanteile der Signale erklären - man könnte das sicher genauer untersuchen, es führt hier jedoch vom eigentlichen Thema weg.

10.8. Stütze als Reflexion

Eine dritte Untersuchung bot sich bei den Gesangssolisten an - die Verifizierung des Ansatzes von Theile und Wöhr von 1988, in dem das Stützmikrofonsignal als Reflexion propagiert wurde. Ich fertigte also zusätzlich zwei weitere Beispiele an, bei denen die Solostützen um jeweils weitere 10 bzw. 20ms verzögert wurden. Diese wurden dann mit der unverzögerten Mischung und der kor-

rekten Kompensation verglichen. Hier zeigt sich schon bei der +10ms Mischung eine interessante Nähe zur unverzögerten Fassung, was nicht weiter verwundert, da die resultierenden Abstände der Transienten mit -7ms und +10ms recht nahe beieinander liegen. Die zweite Mischung mit +20ms war für meine Ohren nicht akzeptabel, da schon gelegentlich doppelte Transienten wahrnehmbar waren, diese Meinung teilten aber nicht alle Experten, denen ich in der exemplarischen Auswertung die Takes vorspielte (siehe dazu Kapitel 12).

10.9. Räumliche Integrität

Bei dem Egmont-Projekt bot sich noch eine etwas andere Untersuchung an. Der beteiligte Sprecher war, anders als sonst bei Konzerten üblich, in großer Entfernung auf der Chorbühne platziert und über das Headset mit einer sehr trockenen Stütze eingebunden. Im Hauptmikrofon war, auch wegen der Beschallung, eigentlich kein Direktsignal zu hören, zudem bewegte sich Herr Michalek über die ganze Chorbühne hin und her und vor und zurück. Man könnte also meinen, eine Laufzeitkompensation wäre nicht gewinnbringend, schwankten doch die ermittelten Delay-Werte zwischen 45 und fast 70 ms.

Dennoch stellte ich eine Beispiel-Sequenz her, in der die Verzögerung zwischen 32 und 100ms in 5 Stufen erhöht wurde. Vergleicht man nun die Eckwerte ohne und mit 100ms Verzögerung, so hört man den Sprecher beide Male mit einer unnatürlichen Räumlichkeit - im ersten Fall mit viel zu später Raumantwort (quasi wie ein Echo), im zweiten Fall mit einer vorausseilenden Hallfahne. Mit einer Kompensation auf den Mittelwert (54 ms) hört man dann einen angenehmen, wenig aufdringlichen, plausiblen Raum. (Audio-Beispiel CD1 Track 29 - 35) Diesen Effekt möchte ich die räumliche Integrität nennen, die durch die Laufzeitkompensation hergestellt werden kann.

10.10. Resümee

Die vorangegangenen Erkenntnisse möchte ich kurz zusammenfassen, da sie m.E. ein etwas differenzierteres Bild der Wirkung einer Laufzeitkompensation zeigen:

- Der Tieftonfrequenzgang lässt sich beeinflussen (Bsp. Lortzing)
- Erhöhung der Klarheit bei Impulshaltigen Material
- Pegelerhöhung bei phasengleichem Signal (Bsp. Pauke)
- Ortungsstabilität wird bei der max. Laufzeit bezogen auf alle Hauptmikrofone erreicht.
- Der Präzedenzeffekt greift bei Verzögerungen größer der max. Laufzeit (Bsp. Solisten)
- Räumliche Integrität bei großen Laufzeiten (Bsp. Sprecher)

11. Beispielmischungen

Natürlich müssen diese Erkenntnisse in eine reale Mischung eingebaut werden, um deren Praxistauglichkeit zu überprüfen. Idealerweise würde man hierbei nicht nur die Balance, sondern auch den Raumanteil und künstlichen Hall in Abhängigkeit von dem klanglichen Ergebnis einstellen. Um aber die Unterschiede deutlicher zu zeigen, wurden alle Beispiele ohne künstlichen Hall gemischt, zum Teil auch ohne die Streicherstützen. Diese Reduktion soll einen Vergleich der Versionen erleichtern, da die Unterschiede manchmal nicht leicht auszumachen sind. Je komplexer das gemischte Signal wird, d.h. je diffuser das Klangbild durch ein Cluster aus Impulsverdoppelungen wird, desto weniger fallen Änderungen an einzelnen Parametern ins Gewicht.

Die Räumlichkeit des Hautmikrofons in den beiden Konzertsälen Liederhalle Stuttgart und Konzerthaus Freiburg, ist so unterschiedlich, dass bei den Mischungen aus der Liederhalle die vorderen Raummikrofone hinzugezogen wurden, um eine vergleichbare Räumlichkeit zu erzielen. Aber auch die "outrigger", bei uns als A-B bezeichnet, hatten ganz unterschiedliches Klanvolumen. Sie wurden gehörsmäßig auf ähnliche Streicherfülle justiert (der Unterschied betrug 10 dB, vielleicht aber auch wegen eines Pegelfehlers in den Spuren), um die beiden Mischungen der unterschiedlichen Säle gegenüberstellen zu können.

11.1. Mischung Schumann

Im Konzert mit Philippe Herreweghe wurden zwei Stücke von Schumann gespielt, die Overtüre aus Manfred op. 115, und die Sinfonie Nr. 2 C-Dur, op. 61. Ich entschied mich davon die Manfred-Overtüre zu nehmen, da dort genügend Unterschiede in der Satzstruktur zu hören sind, um den Klang gut zu beurteilen. Vor allem interessierten mich die Tuttipassagen, die meist umso undurchsichtiger werden, je mehr Klang aus den hinteren Reihen des Orchesters kommt. Das dort sitzende Blech und Schlagzeug spielt natürlich stark in die Streicher und Holzbläser-Stützen, was die Addition dieser sekundären Signale zum eigentlich gewollten Paar Haupt-/Stützmikrofone verursacht.

Beim Anlegen der Mischung wollte ich die Vergleichbarkeit erhalten, weshalb ich versuchte mit wenigen Stützen und ohne künstlichen Hall auszukommen (s.o.). Ich entschied mich, die Streicher mit den outriggern A-B und den Stützen S1 - S4, das Holz mit dem Holzhauptmikrofon und den Stützen H1 und H2, das Blech und die Pauken zu verwenden (genaue Aufstellung im Anhang). Die eingestellte Mischung ist dank des räumlichen Klangs der Hauptmikrofone realistisch und lässt wenige Wünsche offen. Das Weglassen der hinteren Holz-Stützen ist dank des Holz-Hauptmikrofons zu verschmerzen, und die Hörner sind auch ohne Stütze stark genug.

Der erste Mischungsvergleich wurde mit den ursprünglich gemessenen ms-Werten gemacht. Nach den Untersuchungen zum Bezugspunkt der drei Hauptmikrofone erstellte ich eine neue Mischung mit samplegenauen Maximalwerten (siehe Anhang), die auch auf der CD2 zu finden ist.

11.2. Mischung Beethoven

Das Violinkonzert in dieser Produktion hatte einige kleine Änderungen zur Folge. Neben der Solostütze für die Violine wollte Herreweghe Barockpauken verwenden. Diese waren etwas weiter rechts und vor den Blechbläsern aufgebaut, eine für die Kadenz interessante Anordnung, denn Zehetmair spielte die von Schneiderhahn adaptierte Kadenz zur Klavierfassung des Konzerts. In dieser tritt der Solist in einen Dialog mit den Pauken, was gerade bei der Violine einen schönen Kontrast ergibt.

Die Mischung ist ähnlich wie beim Schumann angelegt, nur dass es kein Blech gibt, und natürlich der Solist und die anderen Pauken gestützt werden müssen. Die Pegel für den Ausschnitt wurden geringfügig angepasst (genaue Verhältnisse im Anhang), und bei den kurzen Beispielen zur Kadenz (CD1 Tracks 43 - 48) wurden die Streicherstützen und das A-B weggelassen, da nur Solist und Pauke spielt. Wer mag, kann also gerne die Auswirkungen der Streicherstützen bei der Kadenz in den Misch-Beispielen Track 49 - 54 hören, in denen auch die Kadenz vorkommt.

11.3. Mischung Egmont und Mahler-Lieder

Diese Produktion drängte sich quasi für Versuche auf, einmal wegen der beiden Gesangssolisten links und rechts vom Dirigenten, dann auch wegen des Rezitators, der mit einem Headset ausgestattet in größerer Entfernung zum Hauptmikrofon agierte. Aber auch wegen der unterschiedlichen Besetzung und klanglichen Vielfalt der einzelnen Werke (Programm im Anhang).

In erster Linie habe ich die Mischungen für die kleineren Beispiele in den Untersuchungen genutzt (siehe Kapitel 10), da ich bei den Stützmikrofonen durchweg die Laufzeiten zu allen drei Hauptmikrofonen und auch teilweise das Übersprechen ausgemessen habe. In diesen Ausschnitten sind die wenigen Stützmikrofone alle auf -6dB eingestellt, dies schien mir wegen der Vergleichbarkeit eindeutiger und war klanglich auch völlig akzeptabel. Ausnahmen bilden nur die Gesangssolisten, die etwas mehr Präsenz benötigten (Sopran: -3dB, Bariton: -4dB).

Zum Experimentieren herangezogen habe ich auch die Stücke von Rihm, in denen zusätzlich eine Harfe mitspielt. Da diese jedoch keine markante Rolle spielt und deshalb die Auswirkungen einer Laufzeitkompensation wenig hörbar waren, habe ich die Stücke nicht weiter ausgewertet.

12. Exemplarische Auswertung

Die Frage der Auswertung der Versuche hat mich sehr beschäftigt. Ich wälzte die Alternative eine Zeit lang hin und her - ein Hörtest (akribisch wissenschaftlich)?, Feedback über ein Internet-Fragebogen einholen?, persönliche Befragung ausgewählter Tonmeister oder anderer Probanden?, Vorführung und anschließende Diskussion? Da die Fragestellung keineswegs eindeutig war, und ich außerdem noch im Fluß der Erkenntnisgewinnung steckte, entschied ich mich für eine exemplarische Vorführung, Diskussion und Auswertung innerhalb vier verschiedener Gruppen von Experten und angehenden Fachleuten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Anregungen können durchaus hilfreich sein, die Problematik weiter zu vertiefen, sie geben aber keine eindeutige Antwort auf die Frage, ob die Laufzeitkompensation für jeden erkennbar ein Gewinn ist.

12.1. Beispiele

Für die exemplarische Auswertung wählte ich Beispiele der einzelnen Verzögerungsstufen anhand des Klatschens, Ausschnitte aus dem Konzert „Utopie“ vom Staatsorchester Stuttgart und dem Herreweghe Projekt. Die Auswahl beschränkt sich auf einige charakteristische Merkmale, eine vollständige Vorführung hätte die Konzentration überstrapaziert und den Rahmen gesprengt. Es bleibt mein Wunsch, die Erkenntnisse in einem späteren ausführlichen Hörtest abzusichern, vorerst muss es aber bei den Einschätzungen der Experten bleiben.

| | | | |
|----|---|---|--|
| 1 | Strauss „Mannesbagen“ | Weller/Payer | ohne delay |
| 2 | dito | " | mit delay (Stimme = 58 Smp, Pno = 229 Smp) |
| 3 | Lortzing Widschütz: Intro- duktion Nr.4 "Nicht geplaudert" | SWR Winds | ohne delay |
| 4 | dito | " | Bass-delay (auf Phasengleichheit optimiert = 296 Sample) |
| 5 | Pauken-Signal (Knack) | | nur Hauptmikrofon |
| 6 | dito | | Holz- und Paukenstütze ohne delay |
| 7 | dito | | Holz und Pauke jeweils richtig verzögert |
| 8 | dito | | alles Holz auf Pauken-Signal verzögert |
| 9 | Beethoven: Siegesinfonie | Staatsorchester Stuttgart | ohne delay |
| 10 | dito | | alles Holz auf Pauken-Signal verzögert |
| 11 | Beethoven: „Freudvoll und Leidvoll“ | Sopransolo, Staats- orchester Stuttgart | mit exakter Kompensation |
| 12 | dito | " | zusätzlich +10ms |
| 13 | dito | " | zusätzlich +20ms |
| 14 | Mahler: „Lied des Verfolgten im Turm“ | Bariton & Sopran, Staatsorchester Stuttgart | nur Hauptmikrofon |
| 15 | dito | " | Sopr Delay = 265 Sample + Holz auf Pk.-Signal |
| 16 | dito | " | Sopr Delay = 273 Sample + Holz auf Pk.-Signal |
| 17 | dito | " | Sopr Delay = 339 Sample + Holz auf Pk.-Signal |

| | | | |
|----|------------------------------|--|--|
| 18 | dito | " | Sopr Delay = 339 Sample + Holz auf Pk.-Signal, Stütze aber nach rechts gepanned |
| 19 | Beethoven Vl.-Konzert Kadenz | Violine und Pauke Sinfoniorch. des SWR, Herreweghe, Zehetmeier | Mitschnitt Stuttgart mit exakter Kompensation Hauptmikro, Raum und Solo bzw. Pk-Stütze |
| 20 | dito | " | ohne Kompensation |
| 21 | Schumann Manfred-Ouvertüre | Sinfoniorch. des SWR, Herreweghe | Mitschnitt Freiburg mit exakter Kompensation Alle Stützen, Raummikrofone, kein Hall |
| 22 | dito | " | ohne Kompensation |
| 23 | Schumann Manfred-Ouvertüre | " | Mitschnitt Stuttgart mit exakter Kompensation Alle Stützen, Raummikrofone, kein Hall |
| 24 | dito | " | ohne Kompensation |

12.2. Feedback Studenten Bild & Ton

Das erste Feedback bekam ich am 20.11.2017 an der HdM (Hochschule der Medien) Stuttgart im Rahmen eines Masterseminars von den zehn daran teilnehmenden Studenten. Ich stellte in einem kurzen Vortrag die Arbeit und einige Beispiele aus den Voruntersuchungen vor. Dann wurden die Studenten aufgefordert, Mischungen des Liedes "Freudvoll und Leidvoll" und der Siegesinfonie mit und ohne Delay herzustellen. Die Track-Liste und die Werte der Laufzeiten wurden als Arbeitsgrundlage mitgegeben, die Mischung erfolgte dann in zwei Gruppen in unterschiedlichen Studios. Es wurden ausdrücklich auch Experimente mit veränderten Verzögerungswerten angeregt, jedoch entschieden sich beide Gruppen für eine exakte Kompensation.

Die Auswirkung der Laufzeitkompensation wurde durchweg als positiv bewertet, und die Mischungen als klarer und durchhörbarer charakterisiert. In einem anschließenden Blind-Hörtest mit beiden Gruppen konnten die Unterschiede eindeutig herausgehört werden, also auch, wenn es nicht die eigene Mischung war. Die Laufzeitkompensation wurde immer gleich erkannt, abgehört wurde dabei auf den gewohnten Regielautsprechern des Studios.

12.3. Feedback Studenten Musikübertragung

Am 20.11. war dann in Detmold die Gelegenheit, im Rahmen der Präsentation dieser Forschungsarbeit im Rahmen eines Kolloquiums Feedback einzuholen. Ich hatte dort neben den kurzen Impuls- und Klangbeispielen auch die Mischungen der Herreweghe-Produktion dabei, diese allerdings noch mit ms-(Un-)Genauigkeit kompensiert. Die Hörbarkeit in den Voruntersuchungen wurde klar bestätigt und insgesamt positiv aufgenommen, die Unterschiede der Mischungen kamen dagegen nicht ganz so eindeutig zum Vorschein. Dies veranlasste mich, im weiteren Verlauf der Arbeit hier auch genauer zu sein und die Werte exakt nachzumessen (siehe Tabelle im Anhang).

Leider kam in den beiden studentischen Vorführungen keine wirkliche Diskussion zustande, vielleicht liegt das an der fehlenden Erfahrung der Zuhörer, vielleicht aber auch an dem Lehrende - Studenten Verhältnis in Detmold. Ich entschied mich daher, die nächsten Feedback-Vorführungen vor Kollegen zu machen, die schon lange im Geschäft sind und über ausreichend eigener (Misch-) Erfahrung verfügen.

12.4. Feedback Tonmeister

Am 26.2.2018 fand im SWR Stuttgart eine Präsentation meiner Arbeit mit anschließender Vorführung der Beispiele vor 6 Tonmeisterkollegen statt. Alle sind auch mit der Produktion des SWR Sinfonieorchesters befasst und haben große Erfahrung mit ästhetischer Klangregie. Gehört wurde

über die gewohnten Studio-Lautsprecher Genelec 1038b, den im SWR üblichen Stax-Kopfhörer zog nur ein Kollege zurate.

Das Ergebnis überraschte mich, denn der überwiegende Tenor war: Die exakte Kompensation klingt tot, langweilig, ohne Verzögerung und bei den überkompensierten Beispielen im Solo-Gesang dagegen „geht der Raum auf“ (dieser Kommentar kam von einem Kollegen, der im Konzerthaus Freiburg dessen deutliche Rückwürfe gewohnt ist). Fast immer wurde die nicht-kompensierte Version bevorzugt, bei den unterschiedlichen Laufzeiten der Sänger die maximale oder unverzögerte Fassung.

Vielleicht ist dies auf Gewohnheit zurückzuführen, denn fast alle Kollegen haben ihre Karriere noch ohne selbstverständliche Möglichkeiten zur Delay-Einstellung angefangen, oft zu Analogzeiten. Ich denke aber, dass, wie in jeder Kritik, auch hier ein Fünkchen Wahrheit drin steckt. Bei einer exakten Kompensation gibt es signifikant weniger Impulsverdoppelungen in der Mischung, die wahrgenommene Räumlichkeit reduziert sich merkbar. Hier wäre es folglich Aufgabe der Mischung, anderweitig für genügend Reflexionen und Rauminformation zu sorgen.

12.5. Feedback Toningenieure

Am 5.3.2018 fand eine weitere Vorführung im SWR im gleichen Studio statt, diesmal mit neun Toningenieuren, die auch alle viel Erfahrung mit Orchestermischung haben. Wieder stellte ich die Arbeit kurz vor und spielte dann die Beispiele über die Studiolausprecher ab. Einige Kollegen setzten auch den Kopfhörer (Stax SR-L700 Pro) auf, dabei lief allerdings die Lautsprecherwiedergabe ungemindert weiter, was ein gewisses Übersprechen bedingt.

Interessant war, dass von dieser Berufsgruppe ganz andere Prioritäten gesetzt wurden, und die Diskussion in eine andere Richtung lenkte. Der Nutzen einer Laufzeitkompensation wurde hier nicht bestritten, einige Kollegen ließen sogar durchblicken, dass sie dies auch gegen die Meinung ihrer Tonmeisterkollegen stillschweigend durchsetzten. Scheinbar lässt sich mit den Verzögerungen die Mischung einfacher handhaben, die Pegelverhältnisse und Räumlichkeit eindeutiger einstellen.

Allerdings gab es eine gewisse Skepsis, was die Einordnung der Solisten im Panorama anging. Mit Laufzeitkompensation und darüber hinausgehenden Verzögerungswerten geht die Kontrolle der Position auf das Hauptmikrofon über, die Stütze kann nicht mehr korrigierend die Richtung verschieben (dies hat auch der Vorversuch 10.7 ergeben, Beispiele dazu CD1 Track 25 - 28).

12.6. Auswirkungen

Man muss bei den gezeigten Ergebnissen berücksichtigen, dass die Mischungsverhältnisse wegen der Vergleichbarkeit zwischen den Beispielen mit und ohne Laufzeitkompensation nicht verändert wurden, also nur der Parameter Verzögerung hinzugefügt wurde. Die unterschiedlichen Direkt-/Nähe-Eindrücke und die veränderte Räumlichkeit würden in einer realen Situation natürlich angepasst werden. Wahrscheinlich würden auch noch andere Parameter intuitiv verändert werden, um der gewünschten Klangvorstellung näher zu kommen.

Als Ergebnis der untersuchten Beispiele kann man verschiedene Auswirkungen einer Laufzeitkompensation feststellen. Eine Klassifizierung dieser Auswirkungen über die Verzögerungszeit ergibt folgendes Bild, Gegensteuern kann man bei den Effekten:

- ca. 3 - 8 ms (z.B. Solo): Klangverfärbung (Kammfilter), Ortungsstabilität
- ca. 18 ms (z.B. Holz): Verschleierung der Einschwingvorgänge
- ca. 30 ms (z.B. Pk): Impulsdoppelungen / Echos
- ca. 60 ms (Sprecher mit Headset): veränderte räumliche Wahrnehmung / Echos

Aus dieser Übersicht wird klar, dass je nach eigener Präferenz und der Aufnahmesituation die Hörbarkeit (und Notwendigkeit) der Laufzeitkompensation unterschiedlich beurteilt wird. Und wie so oft, spiegeln die gutgemeinten Kommentare der Kollegen die Praxis mit dem Filter der eigenen Wahrnehmung wieder:

„spot microphones worked best on the woodwind section, the harp, the bass section, soloists and percussion.“²⁷

13. Schlussfolgerung

Das Thema Laufzeitkompensation der Stützmikrofone zeigt sich heute, fast 35 Jahre nach den ersten Versuchen von Günther Theile, in einem anderen Licht. Wir können durch die verbesserten technischen Möglichkeiten viel genauere Verzögerungswerte einstellen und diese auch auf Knopfdruck im laufenden Programm verändern. So werden geringere Unterschiede hörbar und die Auswirkungen können gezielter untersucht werden. Dies führte zu einer differenzierteren Betrachtungsweise, in der den einzelnen Situationen unterschiedliche Schwerpunkte zugeordnet werden konnten.

Eine exakte Grundlage in Form von gesondert vermessenen Laufzeiten scheint notwendig zu sein. Selbst automatisch wirkende Plugins brauchen diese, um halbwegs verlässliche Analysen zu machen. Die weitverbreitete Praxis einer "Pi mal Daumen"-Abschätzung ist nicht mehr zeitgemäß - zu ungenaue Verzögerungswerte schaden vielleicht nicht, erreichen aber bei Weitem nicht die gewünschte Wirkung. Dies haben die Versuche an James Dillons "The Gates" gezeigt, bei dem keine gemessenen Signale zur Verfügung standen.

Bei der exakten Kompensation gibt es signifikant weniger Impulsverdoppelungen in der Mischung, die wahrgenommene Räumlichkeit reduziert sich zugunsten der Klarheit. Hier wäre es Aufgabe der Mischung, anderweitig für genügend Reflexionen und Rauminformation zu sorgen. Vielleicht könnte eine zukünftige Untersuchung diesen Zusammenhang weiter aufschlüsseln.

Im Rückblick zeigt sich also: Eine primäre, in allen Situationen gleiche Wirkung der Laufzeitkorrektur gibt es nicht (mehr), vielmehr müssen wir sie als vielseitiges Werkzeug begreifen, das mal besser, mal weniger geeignet ist, die Transparenz der Mischung zu erhöhen.

27 „Time-Delay Compensation of Distributed Multiple Microphones in Recording: An Experimental Evaluation“, Theresa Ann Leonard; AES Convention:95 (October 1993) Paper Number:3710

A Anhang

A.1 Audio-Beispiele CD1

Die Beispiele liegen als CD-Audio und auch als Sequoia VIP (Mehrspur-Vergleich) vor.

1. Weller/Payer – Schönberg „Mannesbängen“ ohne delay
2. dito mit delay (Stimme = 58 Smp, Pno = 229 Smp)
3. Lortzing Widschütz: Introduction Nr.4 - "Nicht geplaudert" mit delay
4. dito ohne Bass-delay (auf Phasengleichheit optimiert = 296 Smp)
5. Kammfilter (Rauschen jeweils um 1ms versetzt, kurzer Halt bei 3, 6, 12 ms)
6. Pk-Signal nur Haupt
7. Pk-Signal ohne delay
8. Pk-Signal Holz richtig
9. Pk-Signal Holz auf Pk
10. Beethoven Egmont: Siegessinfonie nur Haupt
11. Siegessinfonie ohne delay
12. Siegessinfonie Holz richtig
13. Siegessinfonie Holz auf Pk
14. Mahler: "Lied der Verfolgten im Turm" / Bariton – nur Haupt
15. Mahler Bariton – delay 214 Smp + Holz auf Pk verzögert
16. Mahler Bariton – delay 230 Smp + Holz auf Pk
17. Mahler Bariton – delay 316 Smp + Holz auf Pk
18. Mahler Bariton – nur Haupt (Stereo)
19. Mahler Bariton – Haupt (St) + Bar delay 214 Smp + Holz auf Pk
20. Mahler Bariton – Haupt (St) + Bar delay 230 Smp + Holz auf Pk
21. Mahler Bariton – Haupt (St) + Bar delay 316 Smp + Holz auf Pk
22. Beethoven Egmont: "Freudvoll und Leidvoll" / Sopran – nur Haupt
23. Beethoven Sopran – delay 265 Smp + Holz
24. Beethoven Sopran – delay 273 Smp + Holz
25. Beethoven Sopran – delay 339 Smp + Holz
26. Beethoven Sopran – ohne delay
27. Beethoven Sopran – delay 339 Smp, Stütze rechts gepanned
28. Beethoven Sopran – ohne delay, Stütze aber rechts gepanned
29. Sprecher – nur Haupt
30. Sprecher – ohne delay
31. Sprecher – delay 100 ms
32. Sprecher – delay 74 ms
33. Sprecher – delay 64 ms
34. Sprecher – delay 54 ms
35. Sprecher – delay 32 ms
36. Mahler: "Lied der Verfolgten im Turm" / Sopran – nur Haupt
37. Mahler, Lieder der Verfolgten – mit Solo delay
38. Mahler, Lieder der Verfolgten – mit Solo delay + 10 ms

39. Mahler, Lieder der Verfolgten – mit Solo delay + 20 ms
40. Mahler, Lieder der Verfolgten – Mix tutti ohne delay
41. Mahler, Lieder der Verfolgten – Mix tutti mit delay
42. Mahler, Lieder der Verfolgten – Original Stereo-Mix
43. Beethoven Kadenz Freiburg – nur Haupt
44. Beethoven Kadenz Freiburg – Solo und Pauke ohne delay
45. Beethoven Kadenz Freiburg – Solo und Pauke mit delay
46. Beethoven Kadenz Stuttgart – nur Haupt
47. Beethoven Kadenz Stuttgart – Solo und Pauke ohne delay
48. Beethoven Kadenz Stuttgart – Solo und Pauke mit delay
49. Beethoven Violinkonzert, 1.Satz (gekürzt) Freiburg – nur Haupt
50. Beethoven Violinkonzert, Freiburg – ohne delay
51. Beethoven Violinkonzert, Freiburg – mit delay
52. Beethoven Violinkonzert, Stuttgart – nur Haupt
53. Beethoven Violinkonzert, Stuttgart – ohne delay
54. Beethoven Violinkonzert, Stuttgart – mit delay

A.2 Audio-Beispiele CD2

Auf dieser CD sind zwei Beispiele jeweils als Haupt-Mikrofon, Mischung ohne Delay und Mischung mit den ausgemessenen Delay-Werten zu hören. Die Beispiele liegen auch als Sequoia VIP (Mehrspur-Mischung) auf DVD-ROM vor.

1. Schumann: Manfred Ouvertüre Freiburg – nur Haupt
2. Schumann Manfred Freiburg – ohne delay
3. Schumann Manfred Freiburg – mit delay
4. Schumann Manfred Stuttgart – nur Haupt
5. Schumann Manfred Stuttgart – ohne delay
6. Schumann Manfred Stuttgart – mit delay
7. Schumann Manfred Freiburg – nur Holz-Stütze (Raumvergleich)
8. Schumann Manfred Stuttgart – nur Holz-Stütze
9. Schumann Manfred Freiburg – nur AB-Stütze (Raumvergleich)
10. Schumann Manfred Stuttgart – nur AB-Stütze

A.3 Mischungen CD2

Beethoven (beide Räume identisch gemischt, delay-Werte für Frbg/Stgt):

Haupt L/R 0dB, Center -6dB, Raum 0dB (nur Stgt), Solo -2,5dB (302/266 Sample), A+B* -4dB/+6dB (552+576/351+439 Sample), S1 -4.9dB (449/437 Sample), S2 -3.7dB (492/571 Sample), S3 -3.5dB (531/573 Sample), S4 -4.2dB (520/501 Sample), Bass -6.5dB (1059/1109 Sample), HH -6dB (807/890 Sample), H1 -7.5dB (878/948 Sample), H2 -7.5dB (841/900 Sample), pk li -9.5dB (1111/1148 Sample), pk re -7.5 dB (1118/1176 Sample)

(Kadenzbeispiele = ohne Streicherstützen und A-B)

Schumann (beide Räume identisch gemischt, delay-Werte Frbg/Stgt):

Haupt L/R 0dB, Center -6dB, Raum 0dB (nur Stgt), A+B* -4dB/+6dB (552+576/351+439 Sample), S1 -5.8dB (449/437 Sample), S2 -9.1dB (492/571 Sample), S3 -3.5dB (531/573 Sample), S4 -4.8dB (520/501 Sample), Bass -6.5dB (1059/1109 Sample), HH -6dB (807/890 Sample), H1 -7.5dB (878/948

Sample), H2 -7.5dB (841/900 Sample), b1 -9.4dB (1345/1309 Sample), b2 -12.3dB (1441/1363 Sample), Pk li -7.5dB (1390/1411 Sample), Pk re -7.5 dB (1306/1360 Sample)

* - der unterschiedlichen Spurpegel wurde gehörsmäßig ausgeglichen.

A.4 Loudness-Werte zu den CDs

CD 1 (Beispiele):

zu 1:

Loudness: 1.6 LU (-21.4 LUFS)
Max. Momentary: 10.2 LU (-12.8 LUFS)
Max. Short-Term: 7.5 LU (-15.5 LUFS)
LRA: 20.1 LU
Max. True Peak: -3.2 dBTP
L: -3.2 dBTP
R: -5.2 dBTP

zu 2:

Loudness: 2.4 LU (-20.6 LUFS)
Max. Momentary: 11.3 LU (-11.7 LUFS)
Max. Short-Term: 8.7 LU (-14.3 LUFS)
LRA: 23.1 LU
Max. True Peak: -2.6 dBTP
L: -2.6 dBTP
R: -3.6 dBTP

zu 3:

Loudness: 0.1 LU (-22.9 LUFS)
Max. Momentary: 12.1 LU (-10.9 LUFS)
Max. Short-Term: 8.9 LU (-14.1 LUFS)
LRA: 17.2 LU
Max. True Peak: -1.9 dBTP
L: -3.6 dBTP
R: -1.9 dBTP

zu 4:

Loudness: 0.1 LU (-22.9 LUFS)
Max. Momentary: 12.2 LU (-10.8 LUFS)
Max. Short-Term: 8.8 LU (-14.2 LUFS)
LRA: 17.8 LU
Max. True Peak: -2.1 dBTP
L: -3.3 dBTP
R: -2.1 dBTP

zu 6:

Loudness: -10.7 LU (-33.7 LUFS)
Max. Momentary: -4.0 LU (-27.0 LUFS)
Max. Short-Term: -12.5 LU (-35.5 LUFS)
LRA: 13.8 LU
Max. True Peak: -0.0 dBTP
L: -3.4 dBTP
R: -0.0 dBTP

zu 7:

Loudness: -9.4 LU (-32.4 LUFS)
Max. Momentary: -5.4 LU (-28.4 LUFS)
Max. Short-Term: -14.0 LU (-37.0 LUFS)
LRA: 2.5 LU

Max. True Peak: -3.1 dBTP

L: -6.3 dBTP

R: -3.1 dBTP

zu 8:

Loudness: -9.6 LU (-32.6 LUFS)
Max. Momentary: -5.6 LU (-28.6 LUFS)
Max. Short-Term: -14.1 LU (-37.1 LUFS)
LRA: 2.5 LU
Max. True Peak: -3.4 dBTP
L: -4.4 dBTP
R: -3.4 dBTP

zu 9:

Loudness: -8.9 LU (-31.9 LUFS)
Max. Momentary: -4.5 LU (-27.5 LUFS)
Max. Short-Term: -13.1 LU (-36.1 LUFS)
LRA: 3.6 LU
Max. True Peak: -0.7 dBTP
L: -2.1 dBTP
R: -0.7 dBTP

zu 10:

Loudness: 3.9 LU (-19.1 LUFS)
Max. Momentary: 7.9 LU (-15.1 LUFS)
Max. Short-Term: 6.0 LU (-17.0 LUFS)
LRA: 8.6 LU
Max. True Peak: -5.5 dBTP
L: -5.5 dBTP
R: -6.0 dBTP

zu 11:

Loudness: 5.0 LU (-18.0 LUFS)
Max. Momentary: 10.0 LU (-13.0 LUFS)
Max. Short-Term: 7.6 LU (-15.4 LUFS)
LRA: 9.6 LU
Max. True Peak: -4.7 dBTP
L: -4.7 dBTP
R: -4.8 dBTP

zu 12:

Loudness: 5.3 LU (-17.7 LUFS)
Max. Momentary: 11.1 LU (-11.9 LUFS)
Max. Short-Term: 8.6 LU (-14.4 LUFS)
LRA: 10.2 LU
Max. True Peak: -2.8 dBTP
L: -4.4 dBTP
R: -2.8 dBTP

zu 13:

Loudness: 5.8 LU (-17.2 LUFS)

Max. Momentary: 12.6 LU (-10.4 LUFS)
Max. Short-Term: 9.7 LU (-13.3 LUFS)
LRA: 11.8 LU
Max. True Peak: -2.7 dBTP
L: -3.7 dBTP
R: -2.7 dBTP

... Track 14 bis 42 nicht relevant

zu 43:
Loudness: -8.8 LU (-31.8 LUFS)
Max. Momentary: 3.8 LU (-19.2 LUFS)
Max. Short-Term: -1.2 LU (-24.2 LUFS)
LRA: 8.8 LU
Max. True Peak: -8.4 dBTP
L: -12.6 dBTP
R: -8.4 dBTP

zu 44:
Loudness: -7.4 LU (-30.4 LUFS)
Max. Momentary: 5.3 LU (-17.7 LUFS)
Max. Short-Term: 0.2 LU (-22.8 LUFS)
LRA: 8.6 LU
Max. True Peak: -6.6 dBTP
L: -6.6 dBTP
R: -6.7 dBTP

zu 45:
Loudness: -7.0 LU (-30.0 LUFS)
Max. Momentary: 5.4 LU (-17.6 LUFS)
Max. Short-Term: 0.6 LU (-22.4 LUFS)
LRA: 9.5 LU
Max. True Peak: -6.3 dBTP
L: -8.9 dBTP
R: -6.3 dBTP

zu 46:
Loudness: -13.7 LU (-36.7 LUFS)
Max. Momentary: -2.4 LU (-25.4 LUFS)
Max. Short-Term: -6.8 LU (-29.8 LUFS)
LRA: 9.7 LU
Max. True Peak: -15.5 dBTP
L: -16.3 dBTP
R: -15.5 dBTP

zu 47:
Loudness: -10.5 LU (-33.5 LUFS)
Max. Momentary: 1.7 LU (-21.3 LUFS)
Max. Short-Term: -2.7 LU (-25.7 LUFS)
LRA: 11.4 LU
Max. True Peak: -7.4 dBTP
L: -10.0 dBTP
R: -7.4 dBTP

zu 48:
Loudness: -9.0 LU (-32.0 LUFS)
Max. Momentary: 5.3 LU (-17.7 LUFS)
Max. Short-Term: 0.1 LU (-22.9 LUFS)

LRA: 13.1 LU
Max. True Peak: -4.3 dBTP
L: -4.3 dBTP
R: -6.2 dBTP

zu 49:
Loudness: -2.9 LU (-25.9 LUFS)
Max. Momentary: 8.5 LU (-14.5 LUFS)
Max. Short-Term: 6.1 LU (-16.9 LUFS)
LRA: 19.2 LU
Max. True Peak: -5.9 dBTP
L: -7.0 dBTP
R: -5.9 dBTP

zu 50:
Loudness: 0.6 LU (-22.4 LUFS)
Max. Momentary: 10.8 LU (-12.2 LUFS)
Max. Short-Term: 9.4 LU (-13.6 LUFS)
LRA: 19.4 LU
Max. True Peak: -3.1 dBTP
L: -3.1 dBTP
R: -3.8 dBTP

zu 51:
Loudness: 0.8 LU (-22.2 LUFS)
Max. Momentary: 12.0 LU (-11.0 LUFS)
Max. Short-Term: 9.6 LU (-13.4 LUFS)
LRA: 20.0 LU
Max. True Peak: -2.7 dBTP
L: -2.7 dBTP
R: -3.2 dBTP

zu 52:
Loudness: -7.3 LU (-30.3 LUFS)
Max. Momentary: 5.3 LU (-17.7 LUFS)
Max. Short-Term: 2.6 LU (-20.4 LUFS)
LRA: 18.7 LU
Max. True Peak: -8.6 dBTP
L: -9.5 dBTP
R: -8.6 dBTP

zu 53:
Loudness: -1.0 LU (-24.0 LUFS)
Max. Momentary: 11.4 LU (-11.6 LUFS)
Max. Short-Term: 8.3 LU (-14.7 LUFS)
LRA: 19.9 LU
Max. True Peak: -4.0 dBTP
L: -4.2 dBTP
R: -4.0 dBTP

zu 54:
Loudness: -0.1 LU (-23.1 LUFS)
Max. Momentary: 12.3 LU (-10.7 LUFS)
Max. Short-Term: 10.0 LU (-13.0 LUFS)
LRA: 20.5 LU
Max. True Peak: -2.7 dBTP
L: -2.7 dBTP
R: -3.5 dBTP

CD 2 (Schumann):

zu 1:

Loudness: -0.6 LU (-23.6 LUFS)
Max. Momentary: 10.0 LU (-13.0 LUFS)
Max. Short-Term: 7.5 LU (-15.5 LUFS)
LRA: 17.6 LU
Max. True Peak: -3.1 dBTP
L: -3.1 dBTP
R: -3.8 dBTP

zu 2:

Loudness: 2.1 LU (-20.9 LUFS)
Max. Momentary: 12.6 LU (-10.4 LUFS)
Max. Short-Term: 10.0 LU (-13.0 LUFS)
LRA: 17.6 LU
Max. True Peak: -0.2 dBTP
L: -0.2 dBTP
R: -0.8 dBTP

zu 3:

Loudness: 2.2 LU (-20.8 LUFS)
Max. Momentary: 12.9 LU (-10.1 LUFS)
Max. Short-Term: 10.3 LU (-12.7 LUFS)
LRA: 17.6 LU
Max. True Peak: 0.3 dBTP
L: 0.3 dBTP
R: -1.6 dBTP

zu 4:

Loudness: -3.6 LU (-26.6 LUFS)
Max. Momentary: 6.5 LU (-16.5 LUFS)
Max. Short-Term: 4.4 LU (-18.6 LUFS)
LRA: 17.7 LU
Max. True Peak: -6.8 dBTP
L: -6.8 dBTP
R: -6.9 dBTP

zu 5:

Loudness: 1.6 LU (-21.4 LUFS)
Max. Momentary: 12.6 LU (-10.4 LUFS)
Max. Short-Term: 10.2 LU (-12.8 LUFS)
LRA: 18.0 LU
Max. True Peak: 0.2 dBTP
L: 0.2 dBTP
R: -0.7 dBTP

zu 6:

Loudness: 1.6 LU (-21.4 LUFS)
Max. Momentary: 12.3 LU (-10.7 LUFS)
Max. Short-Term: 9.8 LU (-13.2 LUFS)
LRA: 17.8 LU
Max. True Peak: -1.3 dBTP
L: -1.3 dBTP
R: -1.7 dBTP

zu 7:

Loudness: -6.1 LU (-29.1 LUFS)
Max. Momentary: 0.8 LU (-22.2 LUFS)
Max. Short-Term: -1.0 LU (-24.0 LUFS)
LRA: 16.6 LU
Max. True Peak: -12.4 dBTP
L: -13.0 dBTP
R: -12.4 dBTP

zu 8:

Loudness: -6.5 LU (-29.5 LUFS)
Max. Momentary: 1.6 LU (-21.4 LUFS)
Max. Short-Term: -0.5 LU (-23.5 LUFS)
LRA: 16.3 LU
Max. True Peak: -11.9 dBTP
L: -11.9 dBTP
R: -13.5 dBTP

zu 9:

Loudness: -5.9 LU (-28.9 LUFS)
Max. Momentary: 3.9 LU (-19.1 LUFS)
Max. Short-Term: 0.6 LU (-22.4 LUFS)
LRA: 15.3 LU
Max. True Peak: -8.3 dBTP
L: -8.3 dBTP
R: -11.4 dBTP

zu 10:

Loudness: -2.0 LU (-25.0 LUFS)
Max. Momentary: 9.9 LU (-13.1 LUFS)
Max. Short-Term: 3.7 LU (-19.3 LUFS)
LRA: 13.5 LU
Max. True Peak: -3.6 dBTP
L: -3.6 dBTP
R: -4.9 dBTP

A.5 Aufnahme SO 2017 43K / Herreweghe

Die Produktionszeiten waren:

MO 29.05.17 09:30-13:40

DI 30.05.17 09:30-14:15

MI 31.05.17 11:00-14:00

und 11:00-14:00

DO 01.06.17 18:00-18:45

Beethovensaal

DO und FR 19:00-19:30

Probe m. Te. Stuttgart Liederhalle Beethovensaal

" " " "

GP Freiburg Konzerthaus

Konzert 1 Freiburg Konzerthaus

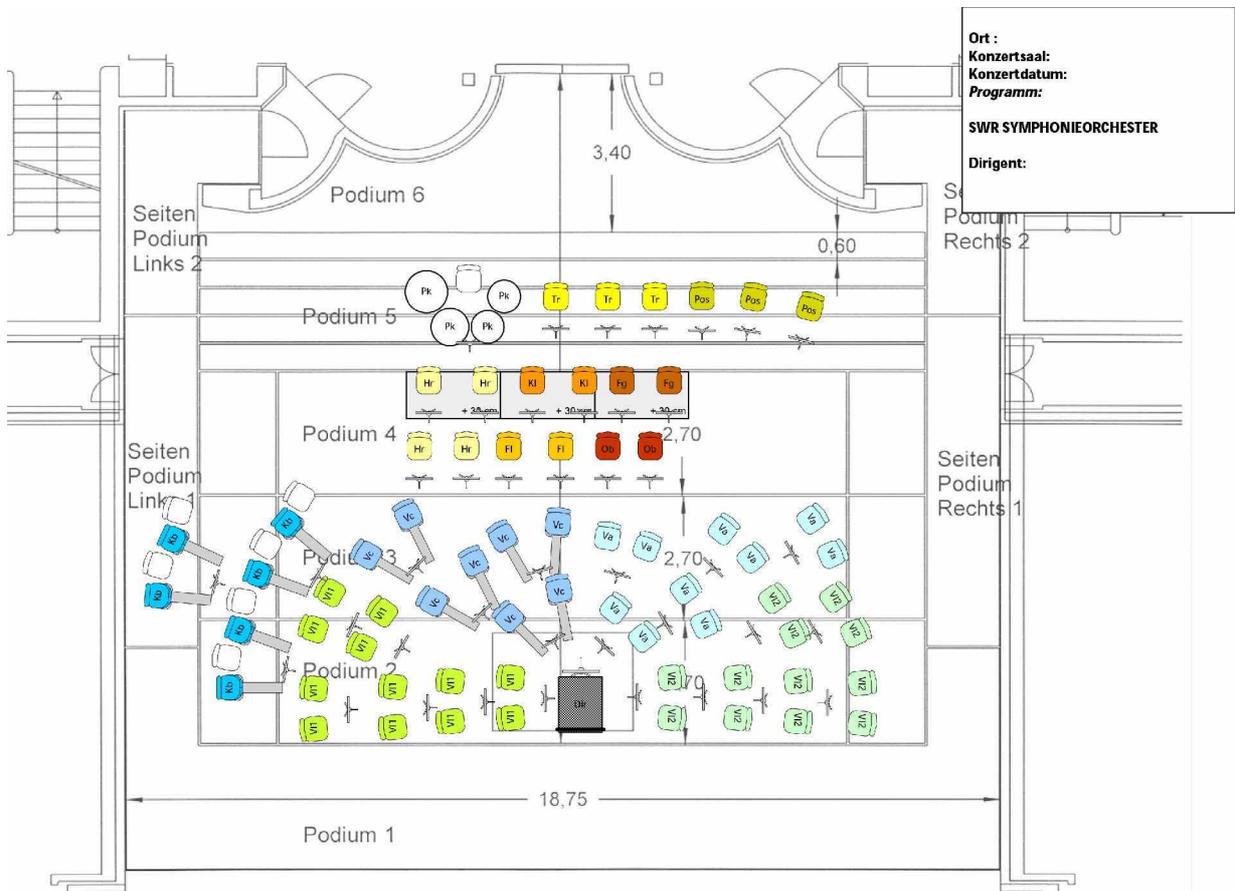
Anspielprobe Stuttgart Liederhalle

Konzert 2&3 " "

**Liederhalle
Stuttgart
Beethovensaal**



Aufbaupläne Stuttgart und Konzerthaus Freiburg:



Der Spurplan (Reihenfolge in der DAW):

| Spur | Name | | |
|------|------------|----|-----------------------|
| 01 | L (Haupt) | 15 | Bass |
| 02 | R | 16 | HHL (Holz-Haupt) |
| 03 | C | 17 | HHR |
| 04 | LS (Raum) | 18 | Horn |
| 05 | RS | 19 | H1 (Flöte) |
| 06 | LSS | 20 | H2 (Oboe) |
| 07 | RSS | 21 | H3 (Klar) |
| 08 | Solo | 22 | H4 (Fagott) |
| 09 | A | 23 | b1 (Trp) |
| 10 | B | 24 | b2 (Pos) |
| 11 | S1 (VI 1) | 25 | PKL (Schumann) |
| 12 | S2 (Cello) | 26 | PKR |
| 13 | S3 (Vla) | 27 | PKL Vorne (Beethoven) |
| 14 | S4 (VI 2) | 28 | PKR Vorne |

A.6 Tabelle der Delay-Zeiten Herreweghe Freiburg und Stuttgart

Die Stützmikrofone wurden mit der üblichen Methode - Impuls, ausgelöst durch Zuklappen einer Mikrofonschachtel - gemessen. Vor Ort geschah dies zum Center-Mikrofon mit ms-Genauigkeit. Für die Beispielmischungen habe ich die Sample-Werte zum entferntesten Hauptmikrofonsignal nachgemessen. Die Holzbläser-Signale wurden auch auf das Pauken-Klatschen gemessen.

| TC | Instrument | Delay vor Ort | Sample max. | AutoAlign | MautoAlign | InPhase |
|----------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|------------|----------|
| | Freiburg | | | | | |
| 00:44:23 | Solo | 4ms | 302 | 4.4 ms | 4.4 ms | 4.44 ms |
| 01:01:46 | 1.VI (S1) | 6ms | 449 | 7.25 ms | 6.9 ms | 6.63 ms |
| 01:08:54 | A (1.VI hinten) | 8ms | 552 | 8.94 ms | 8.9 ms | 8.72 ms |
| 01:18:29 | Bass | 18ms | 1059 | 19.58 ms | 19.5 ms | 19.52 ms |
| 01:21:31 | Cello (S2) | 8ms | 492 | 8.17 ms | 8.1 ms | 8.12 ms |
| 01:37:20 | Vla (S3) | 9ms | 531 | 9.12 ms | 9.3 ms | 8.64 ms |
| 01:48:07 | 2.VI (S4) | 8ms | 520 | 8.42 ms | 8.4 ms | 8.32 ms |
| 01:48:17 | B (2.VI hinten) | 8ms | 576 | 9.58 ms | 9.9 ms | 9.68 ms |
| 01:57:44 | Holz 1 (Fl) | 17ms | 905 | 16.92 ms | 16.8 ms | 16.82 ms |
| 02:10:31 | Holz 2 (Ob) | 17ms | 946 | 17.52 ms | 17.4 ms | 17.44 ms |
| 02:11:56 | Holz 3 (Klar) | 21ms | 1084 | 20.54 ms | 20.5 ms | 20.49 ms |
| 02:29:05 | Holz 4 (Fg) | 22ms | 1080 | 21.29 ms | 22.1 ms | 22.12 ms |
| 02:30:34 | Pos (b2) | 28ms | 1441 | 5.46 ms | 27.5 ms | 27.48 ms |
| 02:36:23 | Trp (b1) | 26ms | 1345 | 21.27 ms | 26.0 ms | 25.52 ms |
| 02:46:27 | PKR (Schum.) | 27ms | 1306 | 20.56 ms | 25.7 ms | 25.04 ms |
| 02:52:07 | PKL | 27ms | 1390 | 18.40 ms | 26.7 ms | 26.76 ms |
| 02:58:15 | pkr (Beeth.) | 21ms | 1118 | 20.83 ms | 21.0 ms | 21.00 ms |
| 03:11:11 | pkl | 21ms | 1111 | 20.54 ms | 20.5 ms | 20.52 ms |
| 03:24:15 | Horn | 18ms | 941 | 17.13 ms | 17.1 ms | 17.12 ms |

| | | | | | | |
|----------|------------------------------------|------------------|---------|-----------------|----------------|----------|
| | Freiburg auf Pk-Signal | | | | | |
| | HH (li/re) Pk li | | 807/788 | | | |
| | HH (li/re) Pk re | | 818/805 | | | |
| | H1 (Pk li/re) | | 878/882 | | | |
| | H2 (Pk li/re) | | 811/841 | | | |
| | Stuttgart | | | | | |
| 03:50:37 | V11(S1) | 5ms | 429 | 6.40 ms | 6.4 ms | |
| 04:06:34 | V11 hinten (S1/A) | 7ms | 294/351 | 7.23 / 8.31 ms | 7.2 / 8.1 ms | |
| 04:11:08 | Vc (S2) | 3ms | 442 | 6.79 ms | 6.8 ms | |
| 04:13:29 | V1a (S3) | 9ms | 558 | 9.37 ms | 9.4 ms | |
| 04:22:55 | V12 (S4) | 6ms | 450 | 7.19 ms | 7.0 ms | |
| 04:40:55 | V12 hinten (S4/B) | 5ms | 474/439 | 7.79 / 6.73 ms | 7.8 / 6.7 ms | |
| 04:49:33 | Fl (Holz 1) | 18ms | 977 | 18.10 ms | 18.1 ms | |
| 04:58:34 | Ob (Holz 2) | 19ms | 1008 | 18.65 ms | 18.6 ms | |
| 05:04:02 | Klar (Holz 3) | 22ms | 1142 | 20.85 ms | 21.6 ms | |
| 05:20:37 | Fg (Holz 4) | 22ms | 1169 | 21.10 ms | 22.0 ms | |
| 05:18:26 | pkr | 22ms | 1176 | 20.88 ms | 21.7 ms | |
| 05:31:44 | pkl | 20ms | 1148 | 20.48 ms | 20.9 ms | |
| 05:39:29 | Pk R | 27ms | 1360 | 20.46 ms | 26.3 ms | |
| 05:32:54 | Pk l | 27ms | 1411 | 21.33 ms | 27.2 ms | |
| 05:51:53 | Trp | 25ms | 1309 | 20.17 ms | 25.0 ms | |
| 05:55:54 | Pos | 26ms | 1363 | 6.96 ms | 25.9 ms | |
| 06:08:07 | Hrn | 18ms | 1020 | 18.54 ms | 21.1 ms | 18.71 ms |
| 06:15:08 | Bass | 20ms | 1109 | 20.04 ms | 21.8 ms | 20:52 ms |
| | Stuttgart auf Pk-Signal | | | | | |
| | HH (li/re) Pk li | | 890/873 | | | |
| | HH (li/re) Pk re | | 911/903 | | | |
| | H1 (Pk li/re) | | 948/952 | | | |
| | H2 (Pk li/re) | | 844/900 | | | |
| | Stuttgart | 2.Messung | | | | |
| 06:12:44 | V11 (S1) | 6ms | 437 | 6.77 ms | 6.8 ms | 6.84 ms |
| 06:31:34 | Vc (S2) | 11ms | 571 | 9.96 ms | 10.0 ms | 9.96 ms |
| 06:41:16 | V1a (S3) | 9ms | 573 | 9.52 ms | 9.5 ms | 9.56 ms |
| 06:45:21 | V12 (S4) | 7ms | 501 | 7.94 ms | 7.9 ms | 7.92 ms |
| 06:56:03 | Fl (H1) | 21ms | 1103 | 21.02 ms | 21.0 ms | 21.04 ms |
| 06:57:02 | Ob (H2) | 20ms | 1095 | 20.23 ms | 20.2 ms | 20.48 ms |
| 07:06:34 | Solo | 3ms | 266 | 3.46 ms | 3.5 ms | 3.46 ms |

Die zweite Messung in Stuttgart wurde notwendig, da an den Konzerttagen die Mikrofone neu aufgebaut werden mussten. Aus der Differenz ergibt sich, dass die Positionen der Hauptmikrofone und der Stützen etwas anders waren, in der Mischung wurden deshalb letztere Werte verwendet. Leider ließen sich aus Zeitgründen nicht alle Positionen überprüfen.

A.7 Aufnahme SO/09/17 - UTOPIE! EGMONT-ECHOS

Die Produktionszeiten waren:

| | | | |
|---------------|----------------|--------------|-------------------------------------|
| Fr 7. Juli 17 | 10:00-13:00 | HP | Stuttgart Liederhalle Beethovensaal |
| Sa 8. Juli 17 | 10:00-13:00 | GP | " " |
| So 9. Juli 17 | 11:00-12:30 | Konzert 1 | " " |
| Mo 10. Juli | 17 18:00-19:00 | Anspielprobe | " " |
| Mo 10. Juli | 17 19:30-21:00 | Konzert 2 | " " |

A.8 Ablaufplan UTOPIE! EGMONT-ECHOS

Ouvertüre

nach Takt 1: Darwisch S. 5 („wir nähren die Hoffnung“)

Fortsetzung Musik

↓

1. Klärchen-Lied: Die Trommel gerühret!

Darwisch S. 113 („auf die Hoffnung wartend, auf den Geliebten wartend“)

Zwischenakt II

↓ letzter Akkord ist erster Akkord von:

Mahler: Der Tambourg'sell (c-Moll)

Darwisch S. 43 („das Leben lieben, so wie es ist“)

2. Klärchen-Lied: Freudvoll und leidvoll

↓

Zwischenakt III

ab Takt 96 melodramatisch: Darwisch S. 65

nach letztem Takt: Darwisch S. 103 („als wiche diese Belagerung zwanzig Meter zurück“)

Mahler: Revelge (c-Moll)

↓

Zwischenakt IV

nach Takt 19: Darwisch S. 57 („damit mein Schrei mich wecke aus meiner gefangenen Phantasie!“)

dann weiter ab Takt 20

↓

Mahler: Lied des Verfolgten im Turm (c-Moll)

↓

Musik zu Klärchens Tod

↓

Rihm: Ernster Gesang mit Lied

↓

Melodram

ab T. 21 melodramatisch: Darwisch S. 169 („Friede... die Tauben zweier Fremder“)

Stop Takt 35: Darwisch „Denk an den Andern“, Teil 1

Fortsetzung Musik

ab Takt 39 melodramatisch: „Denk an den Andern“, Teil 2

ab Takt 61 melodramatisch: „Denk an den Andern“, Teil 3

ab Takt 75 melodramatisch: „Denk an den Andern“, Teil 4

zu Takt 84 (Trommelwirbel) melodramatisch: Darwisch S. 167 („Friede meinem Gespenst!“)

ab T. 88 melodramatisch: „Denk an den Andern“, Teil 5

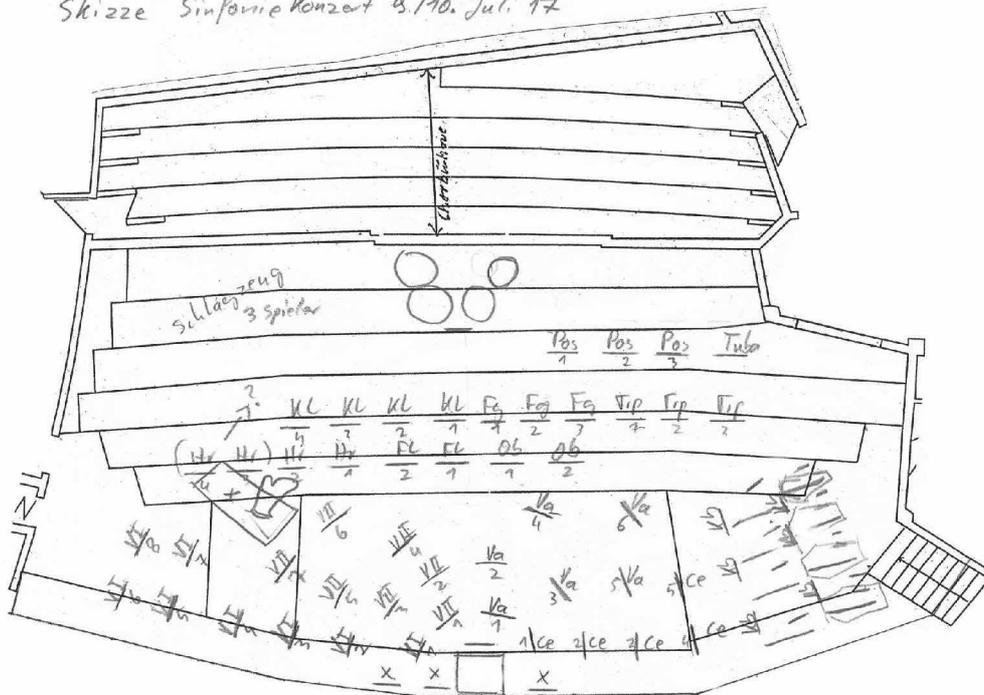
Siegessinfonie

A.9 Aufbau und Spurenplan Staatsorchester Stuttgart:

Liederhalle mit Vorbau

1:100

Skizze Sinfoniekonzert 9./10. Juli '17



Der Spurplan (Reihenfolge in der DAW):

| Spur | Name | | |
|------|----------|----|----------|
| 01 | Haupt li | 08 | BassR |
| 02 | Haupt re | 09 | 1VioliHi |
| 03 | Haupt mi | 10 | 1VioliVo |
| 04 | FernMic | 11 | 2VioliHi |
| 05 | HolzL | 12 | 2VioliVo |
| 06 | HolzR | 13 | VlaVo |
| 07 | BassL | 14 | VlaHi |
| | | 15 | VcVo |
| | | 16 | VcHi |

| | | | |
|----|----------------|----|--------|
| 17 | Flöte | 28 | Trp |
| 18 | Oboe | 29 | Pos |
| 19 | Klar1 | 30 | Tuba |
| 20 | Klar2 | 31 | PkeLi |
| 21 | Fagott1 | 32 | PkeRe |
| 22 | Fagott2 | 33 | Harfe |
| 23 | ZitatorHeadSet | 34 | Perc1 |
| 24 | Solo1 | 35 | Perc2 |
| 25 | Solo2 | 36 | Perc3 |
| 26 | Spare | 37 | RaumLi |
| 27 | Horn | 38 | RaumRe |

A.10 Tabelle der Delay-Zeiten Staatsorchester Stuttgart

Bei dieser Produktion wurden alle drei Hauptmikrofone ausgemessen. Zusätzlich habe ich noch das Übersprechen zu benachbarten Stützen in Laufzeit und Pegel erfasst, um abzuschätzen, wo es Beeinflussungen geben könnte.

| Mikro | Pegel | Haupt L | Haupt R | Haupt C |
|----------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Sopran | | 265 | 339 | 273 |
| Bariton | | 316 | 214 | 230 |
| VL.1 vorne | 0 dB | 387 | 515 | 413 |
| (zu VL.1 h) | -11.1 | 143 | 271 | 168 |
| (zu VL.2 v) | -5.1 | 298 | 336 | 234 |
| (zu Vla v) | -11.1 | 59 | 188 | 85 |
| (zu Solo 1) | -6 | 224 | 352 | 250 |
| VL.1 hinten | 0 dB | 654 | 847 | 723 |
| (zu VL.1 v) | -7.1 | 357 | 550 | 426 |
| (zu VL.2 v) | -17.3 | 134 | 326 | 203 |
| (zu Vla v) | -20.8 | -39 | 154 | 31 |
| (zu Solo 1) | -16.1 | 155 | 347 | 224 |
| VL.2 v | | 461 | 490 | 424 |
| VL.2 h | | 733 | 825 | 730 |
| Viola v | | 548 | 498 | 473 |
| Viola h | | 730 | 680 | 655 |
| Cello v | | 615 | 473 | 513 |
| Cello h | | 891 | 686 | 771 |
| Bass v (R) | | 1136 | 933 | 1014 |
| Bass h (L) | | 1324 | 1109 | 1200 |
| Holz-Haupt (links/rechts) | | | | |
| HH (Pk L) | -7.9 / -10.7 dB | 993 / 982 | 989 / 978 | 936 / 925 |
| HH (Pk R) | -17.1 / -18.1 | 973 / 978 | 948 / 953 | 906 / 911 |
| HH (Oboe) | -11.5 / -0.2 | 866 / 900 | 845 / 879 | 801 / 835 |
| HH (Flöte) | -4.6 / -12 | 796 / 761 | 826 / 791 | 757 / 722 |

| | | | | |
|---------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| HH (Horn) | -9.3 / -17.3 | 685 / 624 | 790 / 729 | 689 / 628 |
| HH (Klar2) | -5.8 / -13.6 | 890 / 834 | 945 / 889 | 863 / 807 |
| HH (Klar1) | -9.5 / -11.3 | 967 / 965 | 960 / 958 | 910 / 908 |
| HH (Fg) | -7.4 / -11.8 | 887 / 918 | 848 / 879 | 814 / 845 |
| HH (K-Fg) | -19.8 / -16.4 | 819 / 862 | 752 / 795 | 734 / 777 |
| Oboe | | 990 | 969 | 925 |
| (Pk Signal) | -9.9 / -13.5 | 991 / 1002 | 987 / 978 | 935 / 936 |
| Flöte | | 959 | 989 | 920 |
| (Pk Signal) | -11.1 / -16.5 | 961 / 927 | 957 / 903 | 905 / 861 |
| Horn | | 985 | 1089 | 984 |
| (Pk Signal) | -17.2 / -17.5 | 805 / 730 | 801 / 706 | 749 / 664 |
| Klarinette 2 | | 1057 | 1115 | 1032 |
| (Pk Signal) | -10.1 / -16.3 | 1062 / 996 | 1058 / 970 | 1006 / 930 |
| Klarinette 1 (Bass-Klar.) | | 1060 | 1053 | 1003 |
| (Pk Signal) | -6.0 / -16.2 | 1136 / 1110 | 1132 / 1086 | 1080 / 1044 |
| Fagott | | 1173 | 1133 | 1100 |
| (Pk Signal) | -13 / -15.1 | 1082 / 1130 | 1078 / 1105 | 1026 / 1064 |
| Kontra-Fagott | | 1205 | 1137 | 1120 |
| (Pk Signal) | -20 / -20.9 | 1003 / 1083 | 999 / 1059 | 947 / 1017 |
| Trp | | 1194 | 1092 | 1096 |
| Pos | | 1329 | 1229 | 1231 |
| Tuba | | 1528 | 1404 | 1420 |
| Pke L | | 1413 | 1409 | 1356 |
| Pke R | | 1442 | 1418 | 1376 |
| Kl Trommel | | 1364 | 1389 | 1323 |
| TamTam | | 1398 | 1446 | 1368 |
| Gr Trommel | | 1422 | 1510 | 1415 |
| Harfe | | 1232 | 1373 | 1259 |
| Fern | | 1569 | 1712 | 1597 |
| Fern näher | | 1591 | 1730 | 1616 |

Erläuterungen:

Fett = max. Werte im Hauptmikrofon, dient zur Einstellung der Verzögerung (siehe Text)

blau = Werte durch Differenz errechnet

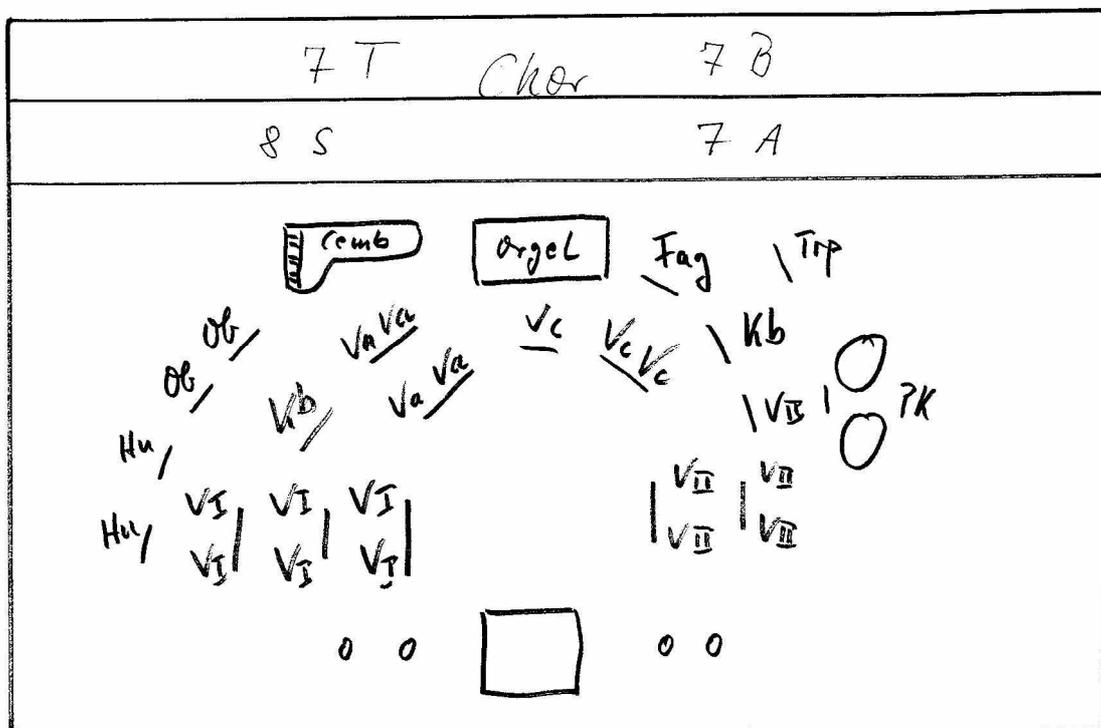
grau unterlegt = direkte Zuordnung der Stützmikrofone zu einem Instrument

A.11 Aufbau und Spurliste Rademann CD Produktion



Aufnahme Reformationskantaten - Gaechinger Cantorey / Rademann (Foto Holger Schneider)

Produktion + Konzerte 04.-06./08.+09.10.2016



Aufbauplan Liederhalle

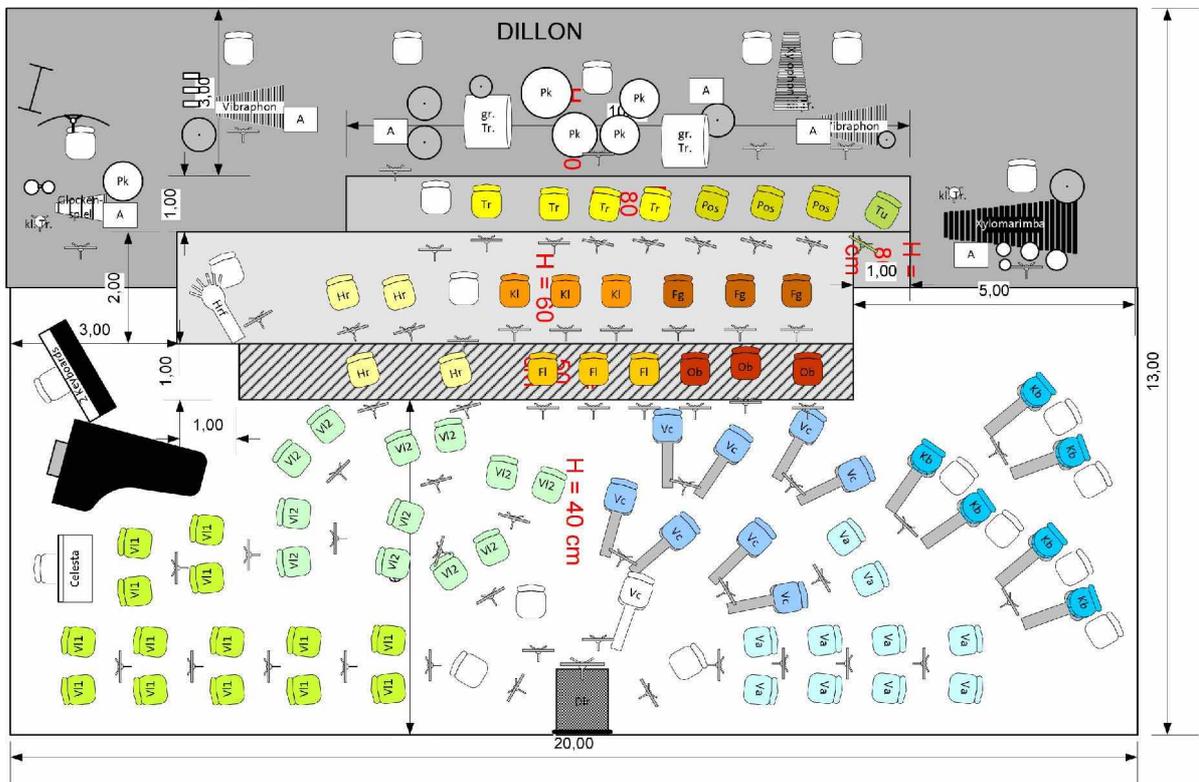
Spurenplan (Reihenfolge in der DAW):

| | | | |
|-------------|-------------|----|--------|
| Spur | Name | 18 | Oboe |
| 01 | Haupt li | 19 | Fagott |
| 02 | Haupt mi | 20 | Tromp |
| 03 | Haupt re | 21 | Chor1 |
| 07 | ChoSoIn | 22 | Chor2 |
| 08 | ChoAltIn | 23 | Chor3 |
| 09 | 1Vio | 24 | Chor4 |
| 10 | 2Vio | 25 | CembLi |
| 11 | Bratsch | 26 | CembRe |
| 12 | Cello | 27 | Sol1 |
| 13 | KoBaLi | 28 | Sol2 |
| 14 | KoBaRe | 29 | Sol3 |
| 15 | Orgel | 30 | Sol4 |
| 16 | Orgel2 | 32 | PaukLi |
| 17 | Horn | 33 | PaukRe |

A.12 Pläne und Spurliste Produktion Dillon - THE GATES

Die Produktionszeiten waren:

| | | | |
|----------------|-------------|--------------|-------------------------------------|
| Fr 7. Juli 17 | 10:00-13:00 | HP | Stuttgart Liederhalle Beethovensaal |
| Sa 8. Juli 17 | 10:00-13:00 | GP | " " |
| So 9. Juli 17 | 11:00-12:30 | Konzert 1 | " " |
| Mo 10. Juli 17 | 18:00-19:00 | Anspielprobe | " " |
| Mo 10. Juli 17 | 19:30-21:00 | Konzert 2 | " " |



Aufbauplan Bahrsporthalle Donaueschingen

Spurenplan (Reihenfolge in der DAW) mit benutzen Verzögerungswerten:

| | | | |
|-----------------------|---------|----------------------|-------|
| Spur 1 [HauptL] | | Spur 26 [SoloVioli2] | |
| Spur 2 [HauptM] | | Spur 27 [SoloViola] | |
| Spur 3 [HauptR] | | Spur 28 [SoloCello] | |
| Spur 4 [Harfe] | 16 ms | Spur 29 [Horn] | 24 ms |
| Spur 5 [KlavierL] | 16 ms | Spur 30 [Trp] | 23 ms |
| Spur 6 [KlavierR] | 17 ms | Spur 31 [Pos] | 25 ms |
| Spur 7 [BassL] | 21 ms | Spur 32 [Tuba] | 27 ms |
| Spur 8 [BassR] | 21 ms | Spur 33 [Perc1] | 27 ms |
| Spur 9 [1VioH] | 13,5 ms | Spur 34 [Perc2] | 27 ms |
| Spur 10 [1VioV] | 6 ms | Spur 35 [Perc3] | 27 ms |
| Spur 11 [2VioV] | 8 ms | Spur 36 [Perc4] | 28 ms |
| Spur 12 [2VioH] | 11 ms | Spur 37 [Perc5] | 28 ms |
| Spur 13 [CelloH] | 11 ms | Spur 38 [Perc6] | 27 ms |
| Spur 14 [CelloV] | 8 ms | Spur 39 [Perc7] | 32 ms |
| Spur 15 [ViolaV] | 7,1 ms | Spur 40 [LFE] | 27 ms |
| Spur 16 [ViolaH] | 11 ms | Spur 41 [AkkoL] | 17 ms |
| Spur 17 [Celesta] | 23 ms | Spur 42 [AkkoR] | 17 ms |
| Spur 18 [KtrFagott] | 21 ms | Spur 43 [Stimme] | 9 ms |
| Spur 19 [Flöte] | 18 ms | Spur 44 [E-Git] | 9 ms |
| Spur 20 [Oboe] | 18 ms | Spur 45 [RaumVL] | |
| Spur 21 [Klarinette] | 19 ms | Spur 46 [RaumVR] | |
| Spur 22 [Fagott] | 20 ms | Spur 47 [RaumHL] | |
| Spur 23 [BKlarinette] | 19 ms | Spur 48 [RaumHR] | |
| Spur 24 [EnglHorn] | 18 ms | Spur 49 [SummeExpL] | |
| Spur 25 [SoloVioli1] | | Spur 50 [SummeExpR] | |

A.13 Time-/Phase-Align Plugins

Die folgende Liste der Plugins stellt einen Überblick über die wenigen verfügbaren Plugins dar, sie umfasst nicht plattformsspezifische eigene Lösungen, wie sie ProTools, Cubase etc. anbieten. Zusätzlich gibt es eine Vielzahl von Prefix, Mastering o.ä. Universal-plugins, die dann auch eine (manuelle) Zeitkorrektur anbieten, nicht aber für diesen Zweck optimiert wurden.

| | Hersteller | Auto | Phase | Delay | Pol. | Bemerkung |
|------------------------|---|------|-------|----------------|------|---|
| AutoAlign | SoundRadix | ja | ja | ca. 21 ms | ja | Phase und Delay grafisch dargestellt, noise floor Regler |
| | https://www.soundradix.com/products/auto-align/ | | | | | |
| MautoAlign | Melda Productions | ja | ja | 1000 ms | ja | noise floor und Tief-/Hochpass Regler, max. Delay und Erkennungsfenster einstellbar, spektrale Phasenkompensation |
| | https://www.meldaproduction.com/MAutoAlign | | | | | |
| InPhase / InPhase Live | Waves | nein | nein | ±20 ms / +20ms | ja | zwei Filter pro Kanal, 20 ms Latenz, Live hat keine Latenz |
| | https://www.waves.com/plugins/inphase | | | | | |
| PHA 979 | Voxengo | nein | ja | ±10 ms | ja | Multiband-Korrelationsmeter, |

| | | | | | | |
|----------------------|---|------|------|--------------|------|--|
| | | | | | | 48 ms Latenz |
| | http://www.voxengo.com/product/pha979/ | | | | | |
| Precision Time Align | Eventide | nein | nein | ±10 ms | ja | keine weiteren Einstellungen |
| | https://www.eventideaudio.com/products/plugins/time-align/precision-time-align | | | | | |
| Track Align pro | Advanced Audiowaves | ja | nein | ±10.6 ms | nein | keine man. Einstellungen |
| | http://www.advanced-audiowaves.com/tap/ | | | | | |
| Little Labs IBP | Universal Audio | nein | ja | +4 ms | ja | Delay und Phase regelbar, nur mit UAD-DSP card nutzbar |
| | https://www.uaudio.de/uad-plugins/special-processing/little-labs-ibp.html | | | | | |
| Auto Time Adjuster | Mellowmuse | ping | nein | 20000 Sample | nein | Ping Analyse möglich, nur mit Protools nutzbar |
| | http://www.mellowmuse.com/ATA.html | | | | | |
| Track Align Pro | Advanced AudioWaves | ja | nein | ±10.6 ms | nein | kontinuierliche Kammfiltererkennung, keine Einstellmöglichkeit |
| | http://www.advanced-audiowaves.com/tap/index.html | | | | | |

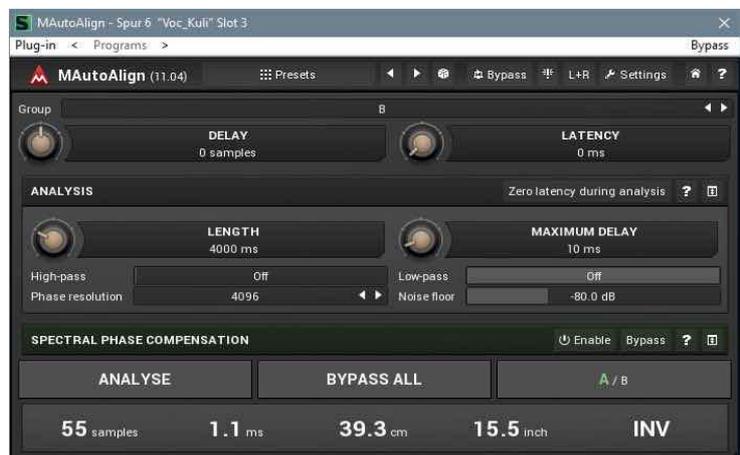
A.14 Screenshots zu den verwendeten Plugins

SoundRadix - AutoAlign (zwei verschiedene Darstellungsformen: phase und delays)

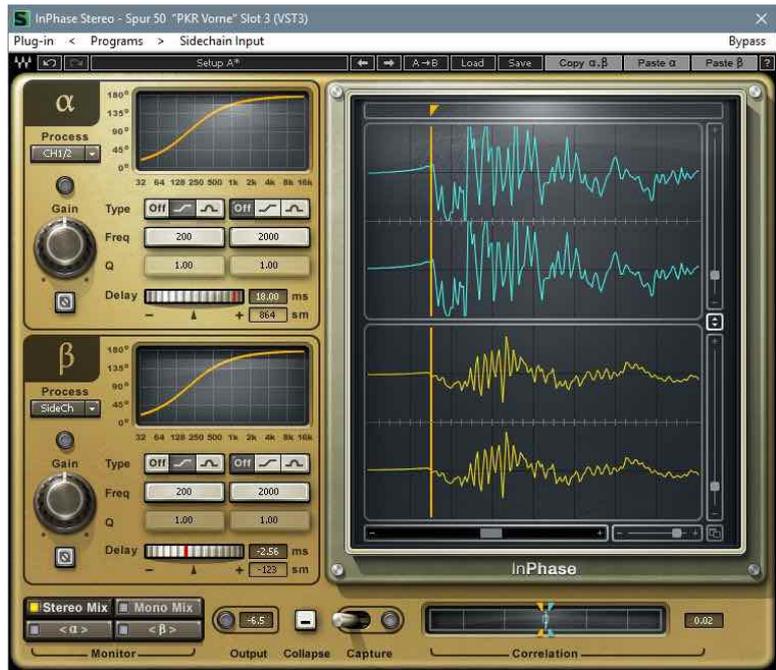


Melda Productions - MautoAlign

(gleiches Beispiel wie oben!)



Waves - InPhase



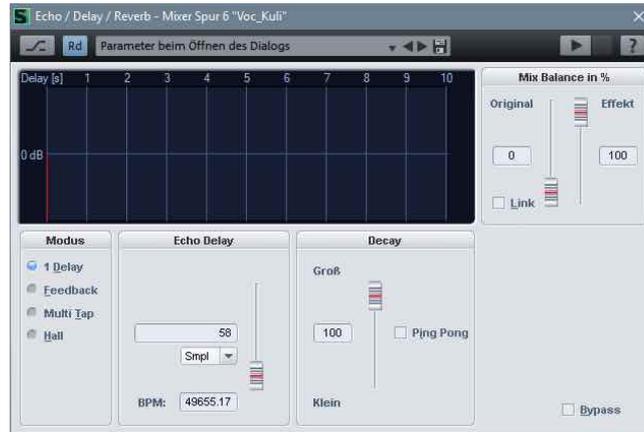
Voxengo - PHA-979



Die anderen Plugins wurden nicht getestet, da sie ähnlich arbeiten wie Voxengo, nur mit unterschiedlichen Bedienelementen - bei allen lässt sich eine Verzögerungszeit und eine Phasenverschiebung einstellen. Der Vorteil vom PHA-979 ist der frequenzdifferenzierte Korrelationsgrad-Messer, der es erlaubt, nur die relevanten Frequenzbereiche zu berücksichtigen.

Im Sequoia-Mischpult wurden die Werte über das hauseigene Plugin "Echo/Delay/Reverb" realisiert, die Einstellungen sind im folgenden Screenshot erkennbar:

Sequoia Echo/Delay/Reverb



A.15 Umrechnungstabelle

Als Faustregel für die Umrechnung ms / Entfernung gilt 1 m \Leftrightarrow 3 ms / 1 ms \Leftrightarrow 0,33 m. Einige genauer gerechnete Werte sind:

| Zeit | Sample (bei 48kHz) | Entfernung (bei 344 m/s) | Frequenz | Kammfilterfrequenzen (f/2, 3f/2 etc.) |
|-------|-----------------------|-----------------------------|----------|---------------------------------------|
| 1 ms | 48 | 0,34 m | 1.000 Hz | 500 / 1500 / 2500 / 3500 ... Hz |
| 3 ms | 144 | 1,03 m | 333 Hz | 167 / 501 / 835 / 1170 ... Hz |
| 5 ms | 240 | 1,72 m | 200 Hz | 100 / 300 / 500 / 700 ... Hz |
| 10 ms | 480 | 3,43 m | 100 Hz | 50 / 150 / 250 / 350 ... Hz |
| 15 ms | 720 | 5,15 m | 67 Hz | 33 / 99 / 165 / 231 ... Hz |
| 20 ms | 960 | 6,86 m | 50 Hz | 25 / 75 / 125 / 175 ... Hz |
| 25 ms | 1200 | 8,58 m | 40 Hz | 20 / 60 / 100 / 140 ... Hz |
| 30 ms | 1440 | 10,30 m | 33 Hz | 16,7 / 50 / 83 / 117 ... Hz |

Auswirkungen von Bewegungen der Musiker:

| Entfernung (bei 344 m/s) | Sample (bei 48kHz) | Zeit (ms) | Frequenz (Hz) | Kammfilterfrequenzen (f/2, 3f/2 etc.) |
|-----------------------------|-----------------------|-----------|------------------|---------------------------------------|
| 2 cm | 3 | 0,06 ms | 17200 | 8600 Hz |
| 3 cm | 4 | 0,09 ms | 11467 | 5733 / 17200 Hz |
| 5 cm | 7 | 0,15 ms | 6880 | 3440 / 10320 / 17200 Hz |
| 10 cm | 14 | 0,29 ms | 3440 | 1720 / 5160 / 8600 / 12040 Hz |
| 25 cm | 35 | 0,73 ms | 1376 | 688 / 2064 / 3440 / 4816 ... Hz |
| 50 cm | 70 | 1,45 ms | 688 | 344 / 1032 / 1720 / 2408 ... Hz |

A.16 Aufnahmekritik / Kriterien zur Beurteilung

klangliche Kriterien:

1. Besetzung und Genre (u.a. auch Orchesteraufstellung)
2. Raumeindruck
 - a.) Größeeindruck
 - b.) Nachhall (Länge und Klangfarbe des Ausklangs)
 - c.) Reflexionen, Echos
 - d.) Näheindruck gesamt und im Einzelnen (direkt/diffus Verhältnis)
3. Klangfarbe
 - a.) spektrales Gleichgewicht (Tiefen, Höhen, Formanten)
 - b.) Verfärbung (auch einzelner Instrumente), Resonanzen
 - c.) Konsonanten / Vokale
4. Lokalisation
 - a.) Abbildungsbreite
 - b.) horizontale Lokalisation (Abbildung und Verteilung der Phantomschallquellen, Ortungsschärfe, Stabilität)
 - c.) Tiefenstaffelung (Abstand zum Hörer und zueinander, Stabilität)
5. Differenzierbarkeit
 - a.) räumliche Durchhörbarkeit (klar oder verwaschen, Trennschärfe)
 - b.) Registerdurchhörbarkeit (Überlagerung gleicher Frequenzanteile)
 - c.) Zeit-Durchhörbarkeit (Tonfolgen, horizontale Strukturen)
6. Dynamik und Lautheit
 - a.) Lautheitseindruck
 - b.) Dynamik (sind die dynamischen Unterschiede realistisch?)
7. Balance / Klangphilosophie
 - a.) Instrumentalbalance (Balance der Instrumentengruppen entsprechend ihrer Funktion in der Partitur, Nähe und Lautstärke zueinander)
 - b.) Klangphilosophie (z.B. intim/extrovertiert, Solist im Vordergrund etc.)

technische Kriterien:

8. Störfreiheit (techn. und akustische Störgeräusche, Rauschen etc.)
9. Verzerrungen (nichtlineare Verzerrungen, Modulationsverzerrungen, Artefakte aus Datenreduktion, techn. Frequenzangeinschränkungen)
10. Mastering (Ein- und Ausblende, Satzübergänge, Pegel- und Klangangleichung)

A.17 Literatur

Auswahl einiger AES Paper: (* = sind auch vom VdT in deutsch veröffentlicht)

- [1] „Room-Related Balancing Technique: A Method for Optimizing Recording Quality“, Martin Wöhr, Günther Theile, Hans-Jürgen Goeres, Alexander Persterer; IRT*
JAES Volume 39 Issue 9 pp. 623-631; September 1991
- [2] „On the Naturalness of Two-Channel Stereo Sound“, Günther Theile, IRT*
JAES Volume 39 Issue 10 pp. 761-767; October 1991
- [3] „Stereophonic Recording Techniques: Old Challenges, New Approaches“, AES Staff
JAES Volume 54 Issue 3 pp. 225-229; March 2006
- [4] „Time-Delay Compensation of Distributed Multiple Microphones in Recording: An Experimental Evaluation“, Theresa Ann Leonard, University of Iowa, Iowa City, IA
AES Convention:95 (October 1993) Paper Number:3710
- [5] „Recording Immersive 5.1/6.1/7.1 Surround Sound, Compatible Stereo, and Future 3D (with Height)“, Robert (Robin) Miller III, FilmmakerTechnology
AES Conference:28th International Conference: The Future of Audio Technology - Surround and Beyond (June 2006), Paper Number:1-3
- [6] „Sharpening the Image in 5.1 Surround Recording“, Benedict Slotte, Nokia Corp.
AES Convention:118 (May 2005) Paper Number:6509
- [7] „Natural 5.1 Music Recording Based on Psychoacoustic Principles“, Günther Theile, IRT
AES Conference:19th International Conference: Surround Sound - Techniques, Technology, and Perception (June 2001), Paper Number:1904
- [8] „Surround Recording of Music: Problems and Solutions“, Jörg Wuttke, SCHOEPS
AES Convention:119 (October 2005) Paper Number:6556
- [9] „The Preservation of Timbre: Microphones, Loudspeakers, Sound Sources and Acoustical Spaces“, Sean E. Olive, National Research Council, Ottawa
AES Conference:8th International Conference: The Sound of Audio (May 1990), Paper Number:8-018
- [10] „Investigations of the Effect of Surround Microphone Setup on Room Perception“, Thomas Goerne, Marie-Josefin Meindl, Ulrich Vette, Detmold, Wien
AES Conference:28th International Conference: The Future of Audio Technology--Surround and Beyond (June 2006), Paper Number:8-3
- [11] „Network Time Delay and Ensemble Accuracy: Effects of Latency, Asymmetry“, Chris Chafe, Michael Gurevich, Stanford University
AES Convention:117 (October 2004) Paper Number:6208
- [12] „Pitch, Timbre, Source Separation, and the Myths of Loudspeaker Imaging“, David Griesinger, David Griesinger Acoustics, Cambridge
AES Convention:132 (April 2012) Paper Number:8610
- [13] „Audibility Thresholds of Spatial Variations in a Single Acoustic Reflection“, Toru Kamekawa, Atsushi Marui, Toshihiko Date, Aiko Kawanaka, Masaaki Enatsu, Tokyo University of the Arts
AES Convention:132 (April 2012) Paper Number:8600
- [14] “Listener Perceptual Threshold for Image Shift Caused by Channel Delays in Stereo Audio”, Elisabeth McMullin, Samsung Research America, Valencia, CA USA
AES Convention:141 (September 2016), Paper Number:9663
- [15] “On the Audibility of Comb Filter Distortions”, Stefan Brunner, Hans-Joachim Maempel, Stefan Weinzierl, TU Berlin
AES Convention:122 (May 2007) Paper Number:7047
- [16] “The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech”, Helmut Haas
Journal Of The Audio Engineering Society, Volume 20 Number 2, March 1972, P. 146

- [17] "Standard Stereo Recording Techniques in Non-Standard Situations", Albert G. Swanson, Location Recording, Seattle
AES Convention:92 (March 1992) Paper Number:3313
- [18] "Recording a Symphony Orchestra in a Rehearsal Room", Ernst-Joachim Völker, Institut für Akustik und Bauphysik, Oberursel
AES Convention:84 (March 1988) Paper Number:2628
- [19] "Surround Sound Mixing Using Rotation, Stereo Width, and Distance Pan Pots", Itai M. Neoran, ks WAVES Ltd., Tel-Aviv
AES Convention:109 (September 2000) Paper Number:5242
- [20] "Level and Time Panning of Phantom Images for Musical Sources", Hyunkook Lee, Francis Rumsey, University of Huddersfield, UK
JAES Volume 61 Issue 12 pp. 978-988; December 2013
- [21] "The Delay Plane, Objective Analysis of Subjective Properties-Part 2", Richard C. Heyser, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA
JAES Volume 21 Issue 10 pp. 786-791; December 1973
- [22] "Elicitation of the Differences between Real and Reproduced Audio", Jon Francombe, Tim Brookes, Russell Mason, University of Surrey, UK
AES Convention:138 (May 2015) Paper Number:9307
- [23] "Multichannel Sound Reproduction Quality Improves with Angular Separation of Direct and Reflected Sounds", Piotr Kleczkowski, Aleksandra Krol, Pawel Malecki, AGH University of Science and Technology, Krakow
JAES Volume 63 Issue 6 pp. 427-442; June 2015
- [24] "Recording and Reproduction over Two Loudspeakers as Heard Live. Part 1: Hearing, Loudspeakers, and Rooms", Siegfried Linkwitz, DonBarringer, Linkwitz Lab, Corte Madera, CA, AES Convention:126 (May 2009) Paper Number:7670
- [25] "Acoustic Properties and Perceptive Implications of Stereophonic Phenomena", Jérôme Daniel, Jean-Bernard Rault, Jean-Dominique Polack, France Telecom, CNET, Rennes
AES Conference:16th International Conference: Spatial Sound Reproduction (March 1999)
Paper Number:16-008
- [26] „Applied Delay on Support Microphones in Multi Microphone Recording Technique“, Michael Kaaber Harrit, Danmarks Radio, Copenhagen, Denmark
AES Convention 1996 May 11-14 Copenhagen, Paper Number: 4159 (D-2)
- [27] "Digital Time Coherent Recording Technique", T. Anazawa and Y. Takahashi,
AES Paper 4909, Preprint2, 493(H-2) (October 1987),1-8
Auswahl aus den Berichten der Tonmeistertagung:
- [28] „Virtuelle Simulation sinfonischer Musik“, Ralf Gscheidle, HdM Stuttgart
23. TMT 2004 g02, S. 331 (VDT, CD-Rom: Ben Bernfeld)
- [29] „Direktschall von Musikinstrumenten - der Zwang zu Nahaufnahmen“, Ernst-Joachim Völker, Institut für Bauakustik Oberursel
23. TMT 2004 o05, S. 731 (VDT, CD-Rom: Ben Bernfeld)
- [30] „Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität“, Martin Wöhr, Günther Theile, Hans-Jürgen Goeres, Alexander Persterer; IRT
Bericht zur TMT 1988(20) S. 302, ISBN 3-598-20356-X, K.G. Saur Verlag
- [31] „Wie natürlich kann das stereofone Klangbild in Zukunft sein?“, Günther Theile, IRT
Bericht zur TMT 1988(20) S. 302, ISBN 3-598-20356-X, K.G. Saur Verlag
- [32] „Hauptmikrofon und Stützmikrofone - neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren“, Günther Theile, IRT
Tagungsbericht zur TMT 1984(12) S. 170

- [33] „Raum und Räumlichkeit: ihre Bedeutung in der Aufzeichnung klassischer Musikwerke“, Dorothee Schabert, SWR Baden-Baden
Bericht zur TMT 2016, talkback
- [34] „Betrachtung bekannter Grundlagen und Theorien stereofoner Aufnahmetechnik“, Jörg Wuttke, Schoeps
Tagungsbericht zur TMT 1988(17) S. 264
- [35] „Möglichkeiten und Grenzen der 3/2-Stereo-Aufnahme“ - Günther Theile, IRT
Tagungsbericht zur TMT 1996(08)
- [36] „Gedanken zu Surround-Aufnahmen“, Jörg Wuttke - SCHOEPS GmbH
22. TMT 2002 k06 (VDT, CD-Rom: Ben Bernfeld)
- [37] „Tiefenstaffelung in Stereo und 3D“, L. Nipkow, Silent Work GmbH
28. TMT 2014 3d03, ISBN 978-3-9812830-5-1
- [38] „DECCA-Tree“ - gestern und heute, Andreas GERNEMANN [Universität zu Köln]
TMT ?