

Simulcast-Control: Vorschlag für ein nützliches Werkzeug bei Produktionsmischpulten im Hörfunk *(Simulcast-Control: a proposal for a helpful tool integrated in consols for sound broadcasting)*

Andreas Gernemann-Paulsen

Universität zu Köln, Systematische Musikwissenschaft

Kurzfassung

Der Mehrkanalton über DVB-S hat sich im Radio spätestens seit Inbetriebnahme des neuen ARD-Transponders auf ASTRA etabliert [1], [2], [3]. Üblicherweise werden (Musik-)Live-Veranstaltungen hierbei parallel in Zweikanalstereo und 5.1-Mehrkanalton gesendet [1], [2]. Dieser Simulcastbetrieb stellt auch das Team im Produktionsbereich vor neue Herausforderungen, will man nicht mit einem einfachen automatischen Summen-Downmix arbeiten. Hier bieten gängige Mischpulte oft nur unzureichende Hilfen. Es soll daher an dieser Stelle aufgezeigt werden, welche grundlegenden Probleme bei der simultanen Erstellung zwei Mischungen häufig auftreten. Gleichzeitig wird der kanalbezogene Simulcast-Control als integrierte Ergänzung in gängigen Mischpultkonzepten vorgestellt. Dieser ermöglicht mit nur zwei Bedienelementen diesen Problemen schnell und effektiv zu begegnen.

1. Einleitung

Die Übertragung von Live-Konzerten in 5.1-Mehrkanalton („Surround“) ist heute eine häufig anzutreffende Arbeitsweise bei einigen Rundfunkanstalten. Für Senderegien und Kontribution sind hierzu bereits innovative Ansätze für den Simulcastbetrieb im Einsatz [2]. Im reinen Produktionsbereich der Rundfunkanstalten greift man jedoch auf allgemein herstellerseitig angebotene surroundfähige Infrastruktur zurück, die jedoch nur bedingt die Belange eines Simulcastbetriebs berücksichtigt. Neben Livesendungen spielen auch reine Produktion in Mehrkanalton eine entscheidende Rolle, dabei wird ebenfalls oft in Zweikanalstereo und 5.1. parallel gearbeitet. Aus Zeit- und letztendlich auch finanziellen Gründen besteht im reinen Produktionsbetrieb ohne Livesendung selten die Möglichkeit, von einer zuvor realisierten Mehrspuraufnahme völlig separate Mischungen für beide Formate zu erstellen. Bei Liveübertragungen ergibt sich zwangsläufig der Parallelbetrieb für je eine 5.1- und eine Stereomischung, die i.d.R. von nur einem Produktionsteam in Echtzeit realisiert werden müssen.

Erste Überlegungen, wie effektiv selbst mit nicht explizit surroundfähiger Ausrüstung die einzelnen Mischungen durch geschickte Gruppenbildung von Mikrophonsignalen rasch erstellt werden können, wurden bereits vorgestellt [4]. Als minimale Forderung wurde dabei die Aufzeichnung von zwei dreikanaligen Gruppen für Front, eine zweikanalige Gruppe für hinten und zwei weitere zweikanalige für Stereo vorgeschlagen. Dies können dann für die endgültigen Mischungen durch entsprechend unterschiedliche Pegelanpassungen zusammengefügt werden.

Dennoch können sich durch die Gruppenbildung auch Einschränkungen ergeben, insbesondere wenn Signale innerhalb einer Gruppe für Stereo und Surround mit unterschiedlichen Verhältnissen und - zwangsläufig - Lokalisationen erscheinen sollen. Darauf wird später noch eingegangen. Prinzipiell wäre daher einem surroundfähigen Mischpult den Vorzug zu geben, welches speziell für den Simulcastbetrieb schnelle Eingriffsmöglichkeiten für jedes Eingangssignal erlaubt, und zwar sowohl für die Stereo-, als auch für die 5.1-Mischung. Moderne Surroundmischpulte bieten je nach Ausstattung befriedigenden bis guten Komfort für das Arbeiten in Surround oder in Stereo, allerdings kaum für den Simulcastbetrieb. Dies soll im folgenden näher erläutert werden.

2. Grundlagen

Bevor nun auf die besonderen Anforderungen für ein simulcastfähiges Mischpult eingegangen wird, zunächst ein paar grundlegende Überlegungen zu gängigen Mischpultausstattungen. Prinzipiell wird dabei von digitalen Produktionsmischpulten ausgegangen. Die im Rundfunk übliche digitale Plattform ist allerdings kein Muß, so daß die Ausführungen zumindest für analoge Pulte gleichermaßen gelten. Üblicherweise stellen Surround-Mischpulte Buskanäle zur Verfügung, die bereits im Surroundformat angelegt sind bzw. so konfiguriert werden können. D.h. es gibt üblicherweise sechs Sammelschienen für links (*L*), rechts (*R*), Mitte (Center, *C*), linkshinten (*Ls*), rechtshinten (*Rs*), LFE. Diese werden über die Pegelregler (Fader) im Kanal und über einen Surroundpanoramaregler angesteuert. Letzteres besteht üblicherweise aus einem Bedienhebel ähnlich einem Joystick, mit dem das Signal mit unterschiedlichem Pegel auf die jeweilige Sammelschiene verteilt werden kann.

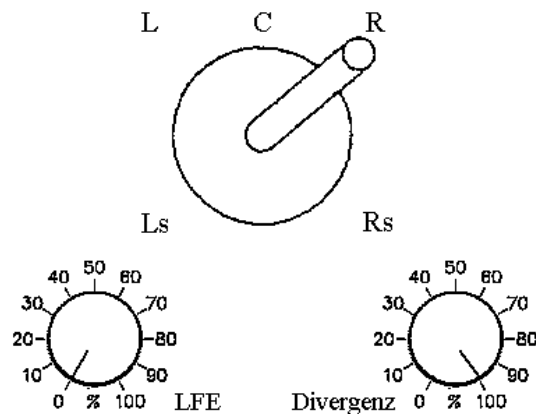


Abbildung 1: typischer Surround-Panoramaregler

Die Position des Joysticks repräsentiert dabei angenähert die Lokalisationsorte vorne, hinten, links, rechts, Mitte. Nicht selten lassen sich hier unterschiedliche Pegelkurven einstellen. Eindeutig sind allerdings nur die Eckpositionen bzw. die Mittenposition zuzuordnen.

Üblicherweise gibt es noch Einstellmöglichkeiten, das Signal in Teilen oder ausschließlich auf den LFE zu schalten. Ein weiterer Regler dient der Divergenzeinstellung, mit der ein Mittensignal zwischen den zwei extremen „Phantommitte“ (ausschließliches Panning zw. L und R) und Mitte (Panning zwischen L , C , R) variiert werden kann. In seltenen Fällen kann die Divergenz sogar auf die hinten Kanäle erweitert werden. Prinzipiell läßt sich der Joystick auch in zwei herkömmliche Drehregler für links/rechts und vorne/hinten aufteilen. Damit ergibt sich dann eine Bedieneinheit wie in Abbildung 2 gezeigt.

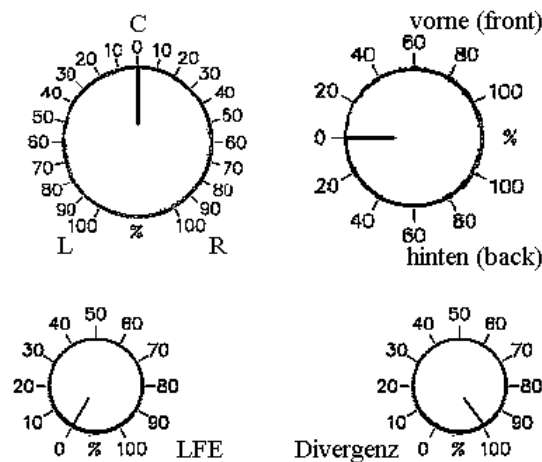


Abbildung 2: Surround-Panoramaregler mit Drehgebern

Meistens wird die Möglichkeit geboten, auf zwei weiteren zuschaltbaren Buskanälen die Signale L_0 und R_0 für Zweikanalstereo in Abhängigkeit der Faderstellung Pegel auszukoppeln (z.B. Summe 7,8, Gruppe 1,2). Dabei wird vom Panoramaregler nur die Bewegung in der Horizontalen berücksichtigt, gleichzeitig werden die möglichen Anteile aus dem Center und den hinteren Lautsprechern mit einem festen oder global eingestellten Multiplikator ebenfalls auf diese beiden Buskanäle geschaltet. Dies entspricht einem automatischen Downmix, wie er von der ITU [5] bzw. CCIR [6] als Kompatibilitätsmatrix empfohlen wird. Für eine stereophone Abmischung lautet die Rechenvorschrift für die Signalspannungen:

$$L_0 = L + 0,7 \cdot M + 0,7 \cdot L_S \quad (1)$$

$$R_0 = R + 0,7 \cdot M + 0,7 \cdot R_S \quad (2)$$

bzw., bei weniger strenger Auslegung der Empfehlung für allgemeine Multiplikatoren:

$$L_0 = L + k_1 \cdot C + k_2 \cdot L_s \quad (3)$$

$$R_0 = R + k_1 \cdot C + k_2 \cdot R_s \quad (4)$$

Möglichkeiten, bei einzelnen ausgewählten Signalen hier einzugreifen, besteht i.d.R. bei gängigen Mischpultkonzepten nur darin, den Stereobus zu oder abzuschalten. Es gibt also nur die Wahl, das betreffende Signal in Zweikanalstereo zu verwenden oder nicht zuzuschalten.

3. automatischer Downmix

Probleme im Zusammenhang mit dem automatischen Downmix wurden schon an anderer Stelle umfassend diskutiert [7], [8], [9], [10]. Im folgenden Kapitel wird daher nur ansatzweise darauf eingegangen, um Raum für konkrete Fallbeispielkategorien zu geben.

3.1. psychoakustische Phänomene

Häufig angegebene Probleme sind Pegelunterschiede sowie – stellenweise damit einhergehend - Lokalisationsverschiebungen zwischen der Surroundfassung und dem Stereodownmix [7], [8], [9]. Dies soll beispielhaft für eine reine Pegeldifferenzaufnahme („Intensitäts“-Stereophonie /- Surround) ohne Divergenz näher erläutert werden.

Hierzu betrachte man eine 5.1-Phantomschallquelle 25% links, die erzeugt werden kann durch eine Pegeldifferenz von 8 dB zwischen Mitten- und Linkssignal [11]. Durch die Kompatibilitätsmatrix ergibt sich nun eine Pegeldifferenz von ca. 4 dB zwischen L_0 und R_0 (vgl. Formel (1) und 2)), wiedergegeben über zwei Lautsprecher im Stereodreieck. Es zeigt sich also bei einem Vergleich mit üblichen psychoakustischen Werten zur Lokalisation eine leichte Lokalisationsverschiebung nach außen. Schwerwiegender sind die Auswirkungen der Kompatibilitätsmatrix, wenn mit reinen Laufzeitdifferenzen zwischen den Signalen der drei Frontkanäle gearbeitet wird, da dann Trading entstehen kann. Die Abbildung wird so bei Zweikanalstereo enger [8] und unschärfer. Wenn man von einer Surround-Mischung ausgeht, wäre es also wünschenswert, hier bezüglich Pegel und Panorama ein Korrektiv vornehmen zu können.

Ähnlich verhält es sich mit den Anteilen von Direktschall aus den Surroundkanälen, die einfach „nach vorne geklappt“ werden, mit den Pegeldifferenzwerten, die ggf. zwischen L_s und R_s eingestellt sind. Für eine Abbildung auf der Frontbasis sind diese mit einer Abbildung auf der L_s - R_s -Lautsprecherbasis allerdings nur eingeschränkt kompatibel [19], [22], [27], so daß sich auch hier Abbildungsartefakte ergeben können.

3.2. gestalterische Probleme

Um auf die gestalterischen Probleme beim automatischen Downmix einzugehen, soll an dieser Stelle ansatzweise eine Kategorisierung von Surroundaufnahmen erfolgen¹, die

¹ dies wurde in Teilbereichen auch schon an anderer Stelle versucht, vgl. [28]

sicherlich nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Für eine generelle Betrachtung ist dies dennoch hilfreich. Folgende kategorische Aspekte spielen bei der Gestaltung von Surroundaufnahmen häufig eine Rolle, wobei diese auch gemeinsam auftreten können:

1. Raumsignale und Umgebungsgeräusche („Atmos“) über Surround- & Frontlautsprecher, liegende Klangflächen
2. diffuse Toneffekte von hinten (z.B. Fernensembles)
3. deutliche Surroundsounds ähnlich der Filmtoneffekte: sich schnell bewegende Klänge (z.B. Rotationen), „Überflug“, diagonale Bewegungen
4. Mehrkanalkompositionen, die Raum im allgemeinen bzw. die Mehrkanaligkeit als serielles Element nutzen (elektroakustische Musik)
5. Ensembles mit Solisten im Mittenkanal (ausschließlich oder divergent)
6. Rundum-Ensembles

Für weitere Erläuterungen sollen stellvertretend die Kategorien 1 und 5 und 6 in Betracht gezogen werden.

3.2.1. Rundum-Ensembles

Hierzu ein Beispiel aus dem Hörspiel: in einer Surroundfassung ruft ein Sprecher, der hinten links abgebildet ist, einem anderen sich vorne links befindenden etwas zu. Im Stereodownmix stehen nun plötzlich beide unmittelbar ineinander. Ganz deutlich wird es in einem weiteren Beispiel aus der Musikproduktion [13], bei dem fünf nahezu gleichberechtigte Vokalistinnen auf die fünf Lautsprecher (Ersatzschallquelle) verteilt sind. Der automatische

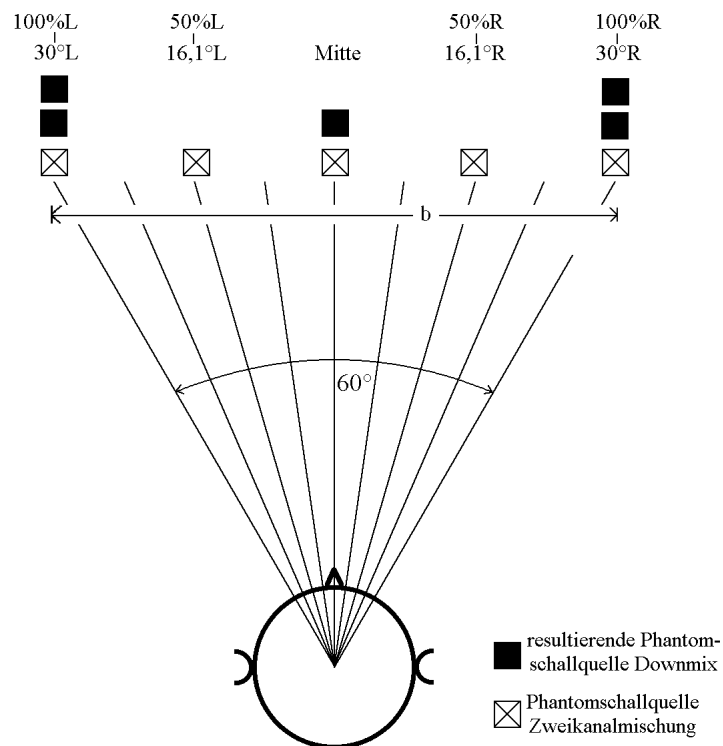


Abbildung 3: unterschiedliche Verteilung von Phantomschallquellen

Downmix verteilt die Sänger nun wie folgt: zwei 100% links (ohne unterschiedliche Tiefenstaffelung), zwei 100% rechts, ein Sänger in der Mitte (0% links rechts, vgl. Abbildung 3). Bei einer Mischung für Zweikanalstereo würde man eine derartige Aufteilung wohl niemals vornehmen, sondern die Sänger gleichmäßig über die Lautsprecherbasis b verteilen. Ggf. würde man durch unterschiedliche Hallanteile auch eine zusätzliche Tiefenstaffelung der Sänger vornehmen, die man sich für die Surroundmischung so nicht unbedingt wünscht. Eine seitliche Auffächerung zwischen vorne und hinten geht in jedem Fall verloren und müßte durch eine neue Panoramaverteilung auf der stereophonen Lautsprecherbasis und ggf. durch unterschiedliche Tiefenstaffelung durch spezifische Hallanteile neu gestaltet werden.

Ausgehend von einer Surroundmischung wäre also Panoramastellung und Hallanteil oder Hallart für die Zweikanalstereofassung zu verändern.

3.2.2. *Centersolisten*

Solisten werden bei Surroundmischungen gerne in den Centerkanal gelegt, oft sogar ausschließlich ohne Divergenzanteile in L und R (Ersatzschallquelle „Mitte“)². Im automatischen Downmix erscheint der subjektiv erforderliche Pegel nicht korrekt, häufig ist der Solist zu leise. Dies mag daran liegen, daß die auditive Summenbildung zu einer anderen Wahrnehmung führt als die der Phantomschallquelle, die durch die elektrische Addition im Downmix erzeugt wird [8]. Gleichzeitig mag es eine Rolle spielen, daß eine Ersatzschallquelle schärfer lokalisiert [11], [20] wird als eine Phantomschallquelle, die dann möglicherweise einen höheren Pegel für eine ausreichende Lokalisationsschärfe benötigt. Es ist aber auch der umgekehrte Fall auszuschließen, bei dem Solisten im Downmix zu laut erscheinen. Nimmt man also hier die Surroundmischung als Ausgangslage, wäre also der Pegelanteil für die Zweikanalstereomischung leicht anders einzustellen. Da gängige Mischpultkonzepte hierfür keine direkte Möglichkeit bieten, führt dies in der Praxis dazu, daß dasselbe Mikrophonsignal eines Solisten auf verschiedene Eingangskanäle eines Mischpultes verteilt wird. Damit ist dann die Möglichkeit gegeben, dieses jeweils auf die unterschiedlichen Summen- oder Gruppenbusse für Surround und Zweikanalstereo schalten zu können, einschließlich unterschiedlicher Effektbusse mit verändertem Pegel und Panorama. Der Nachteil dieser Vorgehensweise liegt auf der Hand: es werden zusätzliche Ressourcen des Mischpultes für ein und dasselbe Signal verbraucht.

3.2.3. *Raumsignale und Umgebungsgeräusche*

Häufig erscheint bei Übertragung von Raumschall der Nachhall bei der stereophonen Downmixfassung stark übertrieben, was mit der 3 dB Dämpfung der Surroundsignale bei der Addition durch die Matrix zwar gemildert wird, jedoch streng genommen je nach Aufnahme eine individuelle Anpassung erfordert. Der Raumschall für Surround ist häufig anders gestaltet als für Zweikanalstereo [23], [29], [30], [31], da bei ersteren der Raumschall aus

² Ähnlich verhält es sich mit „Haupt“-Mikrophananordnungen [24], [25], [26], [20], die spezifische Centersignale erzeugen.

mehreren Richtungen auf den Hörer treffen kann. So finden sich in den rückwärtigen Kanälen oft starke reflexionsdiskrete Ambienzschnale von zusätzlichen Raummikrophonen oder durch künstlichen Nachhall erzeugt, die man in einer zweikanaligen Stereomischung so nie einsetzen würde. Versucht man einen Kompromiß für den Downmix und reduziert den Raumschall in den rückwärtigen Kanälen, so geht die überzeugende Raumdarstellung bei Surroundfassung verloren [14], [15], [16], [20]. Problematisch ist die Situation, wenn überwiegend Atmos, wie z.B. Publikumsgeräusche oder andere Umgebungslaute durch die Surroundsignale dargestellt werden. In der stereophonen Fassung wirken sie oft störend zu laut oder einfach nur lästig, da nun Schall ausschließlich aus frontaler Richtung kommt. Eventuell können sogar wichtige Anteile der ursprünglichen Frontsignale, die bei der 5.1-Abmischung gut zu hören waren, verdeckt werden [17]. Möglicherweise spielt in diesem Zusammenhang auch der *Cocktail-Party-Effekt* [18] eine entscheidende Rolle. Diese Eigenschaft des Gehörs ist unterschiedlich für gleichzeitig frontal und rückwärtig oder ausschließlich frontal einfallenden Schall und wirkt sich daher auf die Darstellung sowohl von Atmos, als auch von Raumschall aus. So ergeben sich oft völlig unterschiedliche Gestaltungsmaßnahmen diesbezüglich bei Surround und Zweikanalstereo [21]. Abhilfe kann nur eine starke Dämpfung dieser Signale bzw. ein Verzicht auf dieselben bei der stereophonen Fassung schaffen, was wiederum individuell entschieden werden müßte. Wie schon angesprochen wird nicht selten in Zweikanalstereo eine andere Tiefenstaffelung erstellt als in Surround. So ist durch rückwärtige Hallanteile die frontale Abbildung deutlich weniger tiefengestaffelt und es ergibt sich eine angenehme, gut durchhörbare Präsenz. Tatsächlich werden in der Praxis für 5.1-Surround und Zweikanalstereo unterschiedliche Raummikrophone und separate Hallgeräte mit unterschiedlichen Hallalgorithmen oder Faltungssignalen verwendet. Letzteres kann leicht mit unterschiedlichen Ausspielwegen erfolgen, die gängige Mischpultkonzepte meist in ausreichender Anzahl zur Verfügung stellen. Die unterschiedlichen Raummikrophonsignale werden im Kanalzug einfach auf die unterschiedlichen Busse geschaltet. Dennoch ist es hier manchmal angebracht, von diesen unterschiedliche Pegelanteile in Stereo und Surround nutzen zu können, was ähnliche Maßnahmen am Mischpult erfordert, wie die schon in Kap. 3.2.2 beschriebenen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß beim automatischen Downmix in Mischpulten für jedes Eingangssignal ein Korrektiv bezüglich Pegelanteil und Panorama-Einstellung wünschenswert wäre³. Diese Möglichkeit bieten gängige Mischpultkonzepte nur eingeschränkt oder über Umwege, weswegen an dieser Stelle eine Ergänzung in Form des *Simulcast-Control* vorgeschlagen werden soll.

³ Dies gilt selbst dann, wenn andere Downmixkonzepte als die ITU-Kompatibilitätsmatrix eingesetzt werden, die einige der in Kap. 3 beschriebenen Phänomene mildern können [8], [9], [10].

4. Simulcast-Control

Grundsätzlich wäre folgendes Szenario für die Arbeitsweise in einer Simulcast-Situation denkbar:

1. Aufbau Mikrophone, ggf. erfordert Surround zusätzliche Positionen
2. Klangeinstellung Surround pro Eingangskanal:
 - Pegelverhältnis
 - Klanggestaltung
 - Panorama
 - Effekte
 - ...
3. Davon ausgehend Einstellung Stereo pro Kanal:
 - Pegel-Übernahme, ggf. Verhältniskorrekturen
 - Klanggestaltungen werden übernommen
 - Panorama-Übernahme (horizontal), ggf. Korrekturen
 - Effekte: Kanalbezogen (Insert, Kanaleffekte) werden übernommen, Ausspielwege (Hall) unterschiedlich
 -

Denn trotz der in Kap. 3. angesprochenen Kompatibilitätsprobleme sind viele Surround-einstellungen in der Zweikanalstereofassung übernehmbar. Die angesprochenen Korrekturen innerhalb der Stereomischung ließen sich bei entsprechenden Möglichkeiten schnell von der Surroundfassung ausgehend durchführen. Wie schon angedeutet, läßt sich die unterschiedliche Gestaltung von Effekten (Hall) durch unterschiedliche Ausspielwege, die übliche Mischpultkonzepte in ausreichender Anzahl zur Verfügung stellen, leicht realisieren. Die beiden Parameter hingegen, die für eine Beeinflussung des automatischen Downmixes wünschenswert wären, sind der Pegel einer Eingangsquelle im Bus und seine Position auf der Lautsprecherbasis. Ersterer entspricht einer Einstellung der Werte k_1 und k_2 aus Formel (3) und (4). Die Bandbreite der Einstellung sollte von einer maximalen Dämpfung ($-\infty$) z.B. für die in Kap. 3.2.3 angesprochenen Surround-Raumsignale gehen bis hin zu einer Anhebung von mehreren Dezibel für das Solistenbeispiel in Kap. 3.2.2. Viele Panoramaeinstellungen im Frontbereich einer Surroundmischung können gerade bei großen Ensembles ebenfalls weitestgehend übernommen werden, insbesondere dann, wenn Divergenzeinstellungen maximal sind. Lediglich bei bestimmten Signalen müßten die im Kap. 3 angesprochenen Änderungen vorgenommen werden. Wäre dies möglich, wäre ein sehr schnelles und effizientes Arbeiten in beiden Mischungen möglich.

Es wäre denkbar ein Pegel- und Panorama-Korrektiv bei einem surroundfähigen Mischpult über einen Postfader-Ausspielweg zu realisieren. Hier müßten also alle Signale, die in einer Zweikanalstereosumme erscheinen sollen, zunächst über einen Ausspielweg ausgekoppelt werden. Mit dem kanalbezogenen Auxregler wäre dann eine relative Pegelveränderung möglich. Der Nachteil wäre einerseits, daß damit zusätzliche Ressourcen verbraucht würden, die anderswo eventuell benötigt werden. Andererseits wäre eine Panoramakorrektur bei gängigen Mischpultkonzepten damit nicht möglich, oder die Panoramaeinstellung würde nicht übernommen und müßte damit für jeden Eingangskanal zweimal eingestellt werden.

Daher wäre es für ein simulcastfähiges Mischpult wünschenswert, wenn dieses zwei zusätzliche Drehgeber in einem Eingangskanal - dem sogenannten *Simulcast-Control* - zur Verfügung stellen würde. Mit diesem könnten dann die Pegel- und Panoramaeinstellung der Surroundmischung für die Stereofassung korrigiert werden, in Abhängigkeit des global einstellbaren Downmixes. D.h., die beiden Drehgeber würden automatisch die Einstellung von Fader und horizontaler Position des Surroundpanpots übernehmen. Erst dann könnte

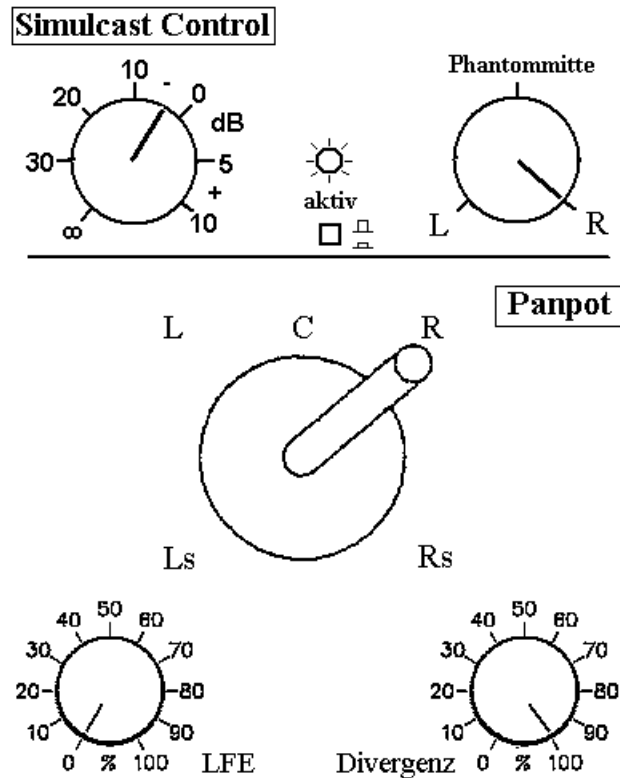


Abbildung 4: Simulcast-Control mit Absolutwerten und Surround-Panoramaregler

durch eine Betätigung des *Simulcast-Control* die Einstellung für die Zweikanalstereomischung verändert werden. Hier wäre außerdem eine zusätzliche optische Anzeige für den aktiven Zustand hilfreich. Abbildung 4 und 5 zeigen die Ergänzungen für die Surroundpanpots aus Abbildung 1 und 2 für einen *Simulcast-Control* mit absoluten Einstellmöglichkeiten. Absolut heißt, daß die Werte exakt im *Simulcast-Control* angezeigt werden, die mit Fader und Panpot in der Surroundfassung eingestellt sind und dann ggf. verändert werden. Denkbar wäre auch eine relative Korrekturanzeige z.B. in Prozent von diesen eingestellten Werten, zu sehen in Abbildung 6 und 7. Die Wahl der Ausführung ist letztendlich Geschmackssache, vermutlich ist die Variante mit den Absolutwerten intuitiver.

Der Aufwand zur Realisierung des *Simulcast-Control* ist für frei konfigurierbare Digitalmischpulte sicherlich gering. Mit zusätzlicher Software-Programmierung wäre dieser dann über vorhandene Kanaldrehgeber möglich. Selbst bei analogen, nicht automatisierbaren Mischpulten wäre mit etwas Hardware-Aufwand (bei entsprechend vielen Summenausgängen) eine Realisierung möglich, zumindest für die Variante mit den Relativwerten.

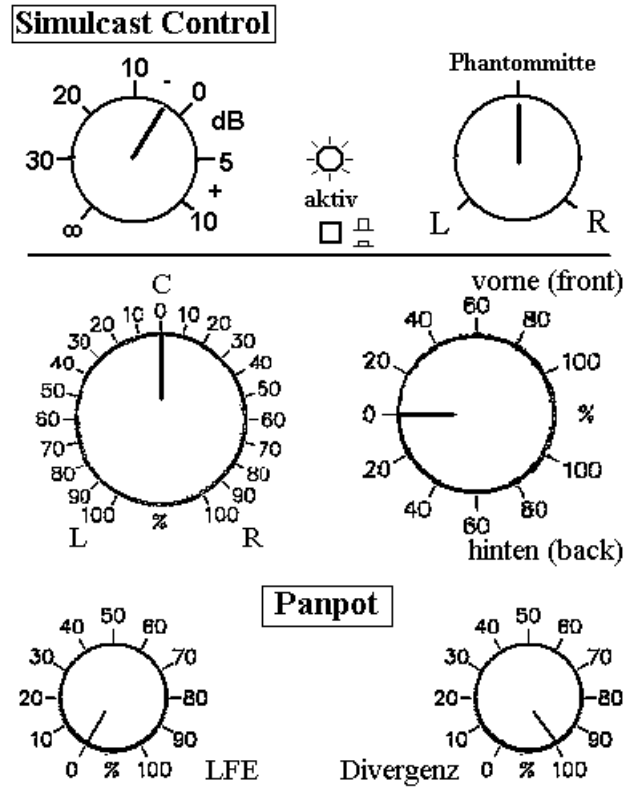


Abbildung 5: Simulcast-Control mit Absolutwerten und Surround-Panoramaregler mit Drehgebern

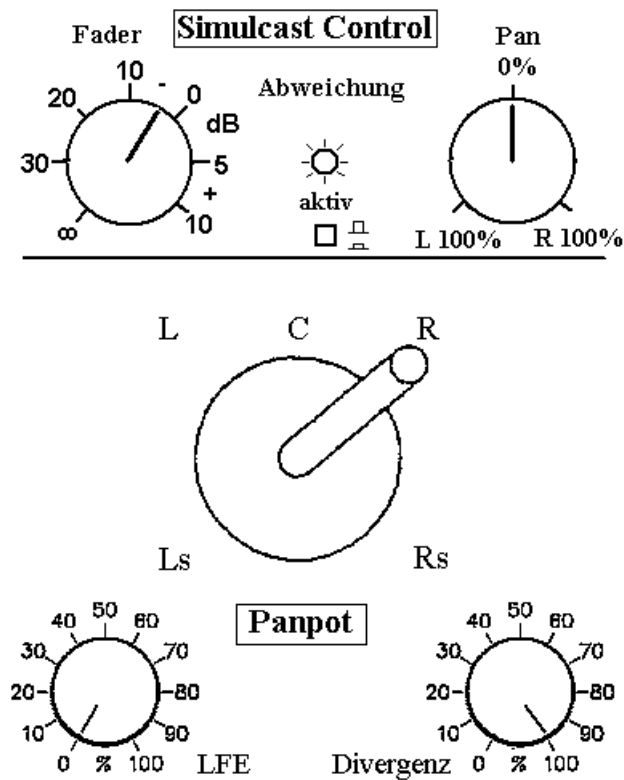


Abbildung 6: Simulcast-Control mit Relativwerten und Surround-Panoramaregler

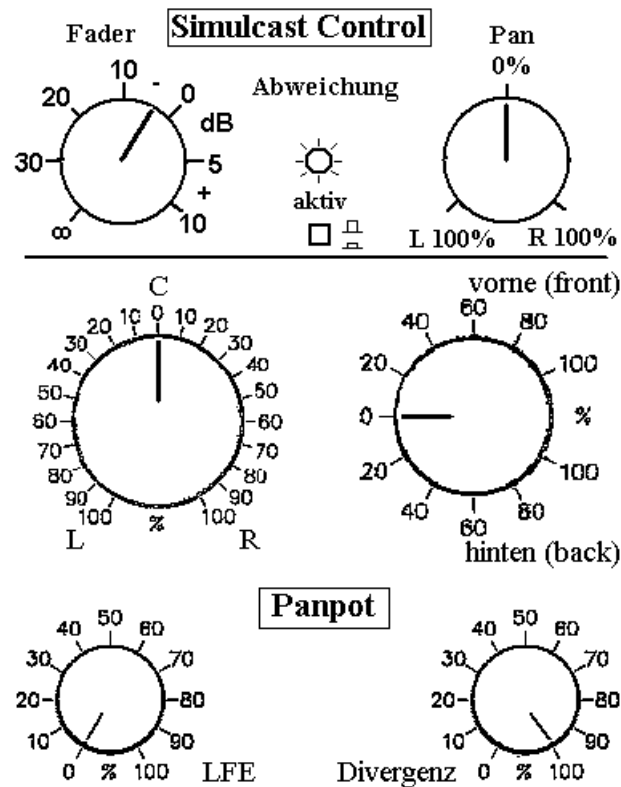


Abbildung 7: Simulcast-Control mit Relativwerten und Surround-Panoramaregler mit Drehgebern

5. Quellenverzeichnis

- [1] Marchlewitz, J.; Reykers, H.P.: „Mehrkanalton im Radio – Konsequenzen aus dem Testbetrieb und Konzepte für einen Simulcast-Radio-Betrieb.“ *Bericht 23. Tonmeistertagung, 2004, 669-679*
- [2] Reykers, H.P.: „Mehrkanalton im WDR Radio - Die optimierte Symbiose von Kontribution und Distribution am Beispiel des Programms WDR 3“ *Bericht 24. Tonmeistertagung, 2006, 109-119*
- [3] Biermann, H.; Maier, J.: „High End & Radio“ *Stereoplay Juni 2007, 124-133*
- [4] Sandner, M.; Vögele, M.: „Gibt es einen Weg zwischen live-Sendung und Mehrspur-Mischung? Surround-Produktion in der Rundfunk-Praxis“ *Bericht 24. Tonmeistertagung, 2006, 649-667*
- [5] ITU-R BS. 775-1: “Multichannel Stereophonic Sound System With and Without Accompanying Picture” (*Genf, 1992-1994*)
- [6] CCIR TG 10/1, Temp 1, Rev.1, Draft Recommendation: “Multi - Channel Stereophonic Sound System with and without accompanying Picture” *1991*
- [7] Gernemann, A.: „Mehrkanaltechniken und ihre Bedeutung für die Musikwiedergabe“ *Magisterarbeit Universität zu Köln 1999, 116-118 (unveröffentlicht)*
- [8] Wittek, H.: „Downmix - Zur Problematik des automatischen Downmix von 3/2 auf 2/0-Stereo“ http://www.hauptmikrofon.de/HW/Downmix_SRT_Nuernberg_0505.pdf *2005*

- [9] Deigmöller, J.: Subjective and objective investigations concerning the 2.0-downmix from 5.1-multichannel productions *Bericht 24. Tonmeistertagung, 2006, 668-667*
- [10] Klehs, B.; Krake, A.; Liebetrau, J.; Muckenschnabl, G.; Richter, F.; Sporer, T.; Weitzel, M.: „Perceptual evaluation of 5.1 downmix algorithms“, *119th AES International Convention, Paper 6543, New York 2005*
- [11] Gernemann, A.: „Mikrophonanordnungen für drei Frontkanäle - eine systematische Betrachtung“ *Bericht 20. Tonmeistertagung 1998, 518-542*
- [12] Gernemann, A.; Rösner, T.: „Die Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher“, *Bericht 20. Tonmeistertagung 1998, 828-846*
- [13] Westdeutscher Rundfunk: „Die Kunst des Klangs – Ausschnitte aus der Musik- und Wortproduktion des Westdeutschen Rundfunks in Stereo und 5.1-Surroundsound“, SACD (Köln 2007)
- [14] Bertram, K.; J. Blauert, J.; Diciol, O.; Rothe, E.; Feldgen, H.: „Podiumsgespräch über 4-Kanal-Aufnahmen bzw. Quadrophonie“, *Bericht 9. Tonmeistertagung 1972, 111-119*
- [15] Belger, E.: „Quadrophonie im Rundfunk?“, *Rundfunktechnische Mitteilungen 1974, 229-232*
- [16] Kuhl, W., Plantz, R.: „Die Kombination eines Verzögerungsgerätes mit einem Nachhallgerät zur Erzielung eines Raumeindruckes bei mehrkanaligen Schallübertragungen“, *Rundfunktechnische Mitteilungen, 1976, 39-34*
- [17] Roth, S.; Krämer, U.; Theile, G.: „HDTV-Mehrkanalton: Surround-Signale zur Darstellung der Konzertsaal-Atmosphäre“, *Bericht 16. Tonmeistertagung 1990, 190-207*
- [18] Blauert, J.: „Räumliches Hören“, Hirzel Verlag Stuttgart 1974, 206
- [19] Genuit, K.: „Ein Modell zur Beschreibung von Außenohrübertragungseigenschaften“, *Dissertation RWTH Aachen 1984, 21*
- [20] Theile, G.: „Natural 5.1 Music Recording Based on Psychoacoustic Principles“. Proceedings 19th AES International Conference, June 2001, 201-229
- [21] Hassler, M.; Gronarz, C.; Drillkens, R.: „Das 5-Kanal HDTV-Audioübertragungssystem 3/2 als Tonübertragungssystem für den Rundfunk“, *Bericht 17. Tonmeistertagung 1992, 338-347*
- [22] Gernemann, A.: „Meßtechnische Untersuchung der akustischen Vorgänge beim natürlichen Hören im Vergleich zu den Vorgängen bei der Laufzeit- und „Intensitäts“-Stereophonie“, *Verlag Shaker Aachen 1995, 22*
- [23] Gernemann, A.: „Surround-Sound Mikrophonierungen für Ensemblesmusik“, <http://www.uni-koeln.de/phil-fak/muwi/ag/tec/sse.pdf>, 2001, 10-11
- [24] Gernemann, A.: „Stereo+C: An All-Purpose Arrangement of Microphones Using Three Frontal Channels“, *110th Convention AES Convention, Paper 5367, 2001*
- [25] Gernemann, A.: „Decca-Tree - gestern und heute“ *Bericht 22. Tonmeistertagung 2002, K7 46/87*
- [26] Herrmann, U.; Henkels, V.; Braun, D.: „Vergleich 5 verschiedener Surround-Hauptmikrophonverfahren“, *Bericht 20. Tonmeistertagung, 1998, 508-517*
- [27] Cornelius Bradter, C.; Volker Schmidkonz, V.: „Schallquellenpositionierung im 3/2 Kontext. Was hört der Hörer?“, *Bericht 22. Tonmeistertagung, 2002, F1 29/72*

- [28] Krämer, U.: „Tongestaltungsmittel und deren Wirkung für diskrete 3/2 Stereophonie“
Bericht 22. Tonmeistertagung, 2002, F2 30/72
- [29] Griesinger D.: „The Theory and Practice of Perceptual Modeling – How to use Electronic Reverberation to Add Deth and Envelopment Without Reducing Clarity“
Bericht 21. Tonmeistertagung 2000, 766-795
- [30] Pfanzagl, E.: „Über die Wichtigkeit ausreichender Dekorrelation bei 5.1 Surround-Mikrofonsignalen zur Erzielung besserer Räumlichkeit“, *Bericht 22. Tonmeistertagung, 2002, F4 31/73*
- [31] Martin, G.: „The Significance of Interchannel Correlation, Phase and Amplitude Differences on Multichannel Microphone Techniques“, *113th AES Convention, Paper 5671, 2002*