3D-Aufnahmen in 5.1.2 für die Lautsprecherwiedergabe realer Geräuschlandschaften

Beat W. Hohmann

Sonnsyterain 26, CH-6048 Horw, E-Mail:beat.hohmann@bluewin.ch

Einleitung

Im Rahmen der Arbeitsgruppe Klangraumgestaltung des Cercle Bruit (Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute) ging es darum, die Geräuschlandschaften öffentlicher Plätze und Parks in der Schweiz zu "transportieren" und so einen **direkten Vergleich ihrer Klangqualität** zu ermöglichen.

Zielsetzung und Randbedingungen

Ziel ist die realistische Wiedergabe der Geräuschlandschaften
- ausserhalb von Laboratorien, z. B. in geeigneten Räumen von Lärmschutzfachstellen
- zum Vergleich und zur qualitativen Beurteilung von Klangräumen im Freien
- aber auch als Demonstration für akustische Laien und/oder Architekten, Planer oder Politiker

Dabei sollen
- Kopfbewegungen oder kurze Gespräche zulässig sein
- die Kosten des Aufnahmesystems unter CHF 5000 liegen
- für die Wiedergabe preisgünstige Geräte aus der Consumer-Elektronik (Budget < CHF 4000) eingesetzt werden.

Ziel war also die möglichst originalgetreue Wiedergabe mit begrenzten Kosten und mit Priorität auf jenen Parametern, die als Kriterien für die Beurteilung der Klangqualität dienen.

Kriterien für die Klangraumbeurteilung und Anforderungen an die Aufnahme/Wiedergabe

Tabelle 1 stellt die Kriterien für die Beurteilung der Klangqualität [1] den daraus resultierenden Anforderungen an die Aufnahme und Wiedergabe (A/W) gegenüber.

Tabelle 1: Kriterien und Anforderungen

Kriterium Klangqualität	Anforderungen an A/W
Ruhe (relative) tiefer Grundpegel	**kalibrierbar**, tiefes Mikrofon-Grundgeräusch
Sprachverständlichkeit bei ungezwungener Sprache	**pegelrichtige Lautsprecherwiedergabe**
Vorherrschende Geräusche natürlich (+) vs. technisch	**gleichwertige Erfassung seitlich + nach oben (3D)**
Geräusch-/Klangvielfalt der natürlichen (+) Geräusche	**Klangtreue, "flacher" Frequenzgang**
Klangraumvielfalt vor Ort Klangraum nach Wahl	**portables Aufnahmesystem** im Rucksack
Ortung von Geräuschquellen z.B. keine Spiegelreflexion	**≈ korrekte Abbildung** im 3D-Raum, v.a. horizontal
"Raumakustik" des Ortes Nachhall, kein Flatterecho	**Originalakustik darf nicht maskiert werden**
Identifizierbarkeit (optional) Soundmarks, Klangmix	(unkritisch)

Um die Besucher vor Ort weder zu stören noch in ihrem Verhalten zu beeinflussen, war zudem ein unauffälliges Aufnahmesystem gefragt.

Evaluation der 3D-Wiedergabeanordnung

Für die 3D-Wiedergabe im Heimbereich sind zwei Lautsprecher-Anordnungen gebräuchlich, nämlich Auro-3D und Dolby Atmos, letzteres mit 2 oder 4 Deckenlautsprechern:

Abbildung 1: Lautsprecher-Anordnungen für die 3D-Wiedergabe: Auro-3D bzw. Dolby Atmos (-2) / Telarc

Abbildung 1 zeigt, dass sich die Lautsprecheranordnung von Auro-3D vor allem für die Musikwiedergabe eignet, wo Schallquellen in der Ebene und erhöht (z.B. Chor hinten über dem Orchester) auftreten, aber kaum über dem Kopf. Bei Geräuschlandschaften hingegen ertönen Quellen in der Ebene (z.B. Verkehr) und Quellen von oben (Vögel auf Bäumen, Blätterrauschen), so dass sich prinzipiell die Lautsprecher-Anordnung nach Dolby Atmos anbietet. Weil es nicht so wichtig ist, wo genau die Vögel erscheinen, genügen zwei Deckenlautsprecher oder seitliche Hochlautsprecher, wie dies erstmals 2001 von Telarc für Musik auf DVD-Audio/SACD [2] empfohlen wurde (Abbildung 2), allerdings mit einem Mono-Signal (LFE-Kanal) für die beiden Hochlautsprecher:

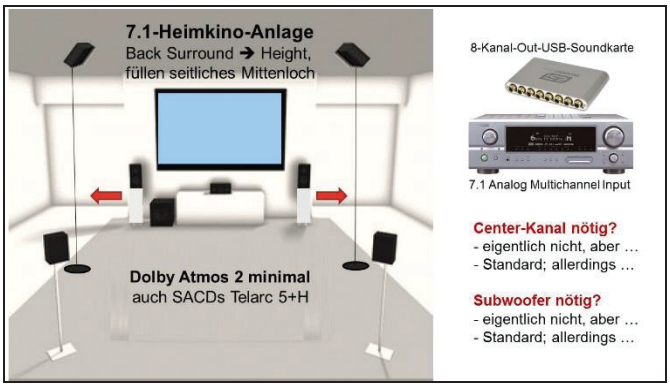

Abbildung 2: Lautsprecheranordnung Dolby Atmos minimal (2 Deckenlautsprecher) / Telarc und mögliche Umsetzung

Mit Vorteil ist die Frontbasis zu verbreitern, damit zusammen mit dem Centerkanal eine möglichst gleichmässige Abbildung über 360° entsteht. Zu realisieren ist dies kostengünstig mit einer älteren 7.1-Heimkinoanlage (noch mit analogem 7.1-Eingang), wenn man die beiden Back-Surround-Lautsprecher als Hochlautsprecher einsetzt. Seitlich montierte Hochlautsprecher füllen nach Michael Bishop [2] auch die Lücke zwischen Front und Surround, denn auf der Seite funktionieren Phantomschallquellen nicht gut. Es ist aber bei einem solchen 7.1-System darauf zu achten, dass der Center-Lautsprecher klanglich mit den übrigen Lautsprechern kompatibel ist. Center sind nämlich oft dialog-optimiert und "quäckiger" ausgelegt als die übrigen Kanäle.
Besser noch könnte der Center vorn entfallen und stattdessen als Back Surround (mono, hinten Mitte) dienen, weil bei normgemässer 5.1-Aufstellung der Winkel zwischen den Frontlautsprechern 60° beträgt, zwischen den Surround-Lautsprechern (nach hinten) aber 120°. Diese Lücke ist im frontorientierten Heimkino akzeptabel, beeinträchtigt aber die realitätsgetreue Wiedergabe von Geräuschlandschaften.

Anforderungen an den Wiedergaberaum

Damit die (Freifeld-)Akustik des Aufnahmeortes nicht verfälscht wird, darf der Wiedergaberaum keinen Nachhall beifügen, vor allem im Mittel-/Hochtonbereich. Bei tiefen Frequenzen ist dies weniger kritisch, da diese in Geräuschlandschaften meist vom entfernten Verkehr stammen. Eine weite Lautsprecher-Aufstellung vergrössert die Abhörzone.

Abbildung 3: Wiedergaberaum mit Hörplätzen (markiert). Die Rear-Lautsprecher sind hier nicht im Bild.

Evaluation der 3D-Mikrofon-Anordnung

Für einen möglichst natürlichen Klang soll die Mikrofon-Anordnung idealerweise 1:1 mit der gewählten Lautsprecheranordnung übereinstimmen (keine Richtungsumrechnung).
Das Aufnahmesystem soll kompakt und rucksacktauglich (Mikrofon-Array maximal 30x30x30 cm), rasch aufzubauen, unauffällig und fernbedienbar sein, damit das Verhalten der Besucher nicht beeinflusst wird.

Für eine 3D-Aufnahme bieten sich im Prinzip dieselben Varianten an wie für eine Stereoaufnahme: Von der weiträumigen Aufstellung von Kugel-Mikrofonen (Laufzeit, AB) über auswärts gerichtete Nieren-Mikrofonpaare im Ohrabstand (ORTF) bis zur Einpunkt-Anordnung von Richtmikrofonen (XY, Ambisonic FOA/2OA [4]) (Abbildung 4):

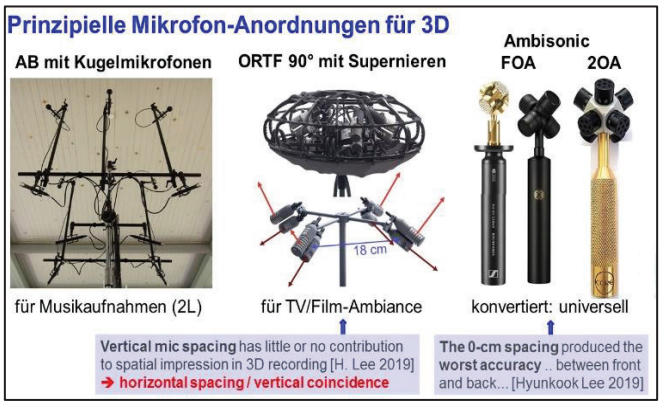

Abbildung 4: Mikrofon-Arrays für 3D-Aufnahmen

Die gewählte Anordnung (Abbildung 5) folgt dem Prinzip "horizontal spacing, vertical coincidence" nach Hyunkook Lee [3]. Aufgrund der guten Erfahrungen mit ORTF-Stereo-Aufnahmen wurde als seitlicher Abstand der Mikrofonpaare der Ohrabstand übernommen. Eigentlich besteht der Array aus drei ORTF-Paaren, aber mit 90° statt 110° eingeschlossenem Winkel: nach vorn, nach hinten und nach oben. Dazu kommt ein Supernierenmikrofon für den Centerkanal (bzw. Back Surround). Ein separater Tieftonkanal (LFE) erscheint zwar als redundant, doch dient das hierfür eingesetzte Omni-Mikrofon gleichzeitig der Kalibrierung des Wiedergabepegels und liefert das Referenzspektrum:

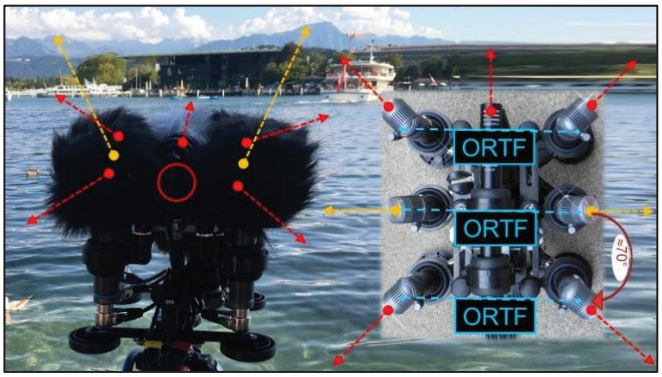

Abbildung 5: Mikrofon-Anordnung für die Wiedergabe über die Lautsprecheranordnung nach Dolby Atmos minimal

Weil Richtmikrofone auf Wind und Erschütterungen empfindlicher reagieren als Omni-Mikrofone, werden alle Frequenzen unter 80 Hz dem LFE-Kanal und bei der Wiedergabe dem Subwoofer überlassen, was gleichzeitig kompaktere Lautsprecher bei der Wiedergabe erlaubt.

Wahl der Mikrofone

Für einen solchen Array sind hochwertige (im doppelten Sinn) Kleinmembran-Mikrofone CCM641 von Schoeps oder MKH 8050 von Sennheiser prädestiniert. Deren Gesamtkosten hätten aber das Budget klar überschritten. Stattdessen wurden nach Vorversuchen preisgünstige Kondensatormikrofone des Typs "Hummingbird" von Blue Microphones mit schwenkbarer Kapsel und sehr tiefem Grundgeräusch gewählt (Abbildung 6). Der tiefe Preis erlaubte den Kauf von Backup-Mikrofonen, um trotz geringerer Zuverlässigkeit eine hohe Funktionssicherheit des Arrays zu erreichen.

	Blue Hummingbird		Schoeps CCM641 Sennheiser MKH8050
	9 dB(A)	Eigengeräusch	13-14 dB(A)
	± 3 dB*	Frequenzgang	± 1 dB
	90° -6 dB	Richtwirkung	90° -8 dB
	8,5/10	"Ausbeute"	10/10
	ca. CHF 200	Preis 1 Mikrofon	ca. CHF 1'500
	Kapsel ± 90° schwenkbar	Bauform	ultrakompakt, ideal für Array

* Wegen Fellwindschutz ohnehin Entzerrung nötig ➔ kann mit kompensiert werden.

Abbildung 6: Vergleich von Mikrofonen für den 3D-Array

Die Delle im Frequenzgang des Hummingbird-Mikrofons kann zusammen mit der ohnehin erforderlichen Korrektur für den Fellwindschutz (Rode Deadkitten) kompensiert werden. Da diese Windschutzkorrektur eine Höhenanhebung bedeutet, ist ein geringes Eigengeräusch der Mikrofone umso wichtiger.

Kontrolle des Frequenzgangs "über alles"

Dank dem linearen Omni-Mikrofon des LFE-Kanals kann das Spektrum bei der Wiedergabe mit jenem während der Aufnahme verglichen werden. Abbildung 7 zeigt das Terzband-Differenzspektrum in einem Wiedergaberaum.

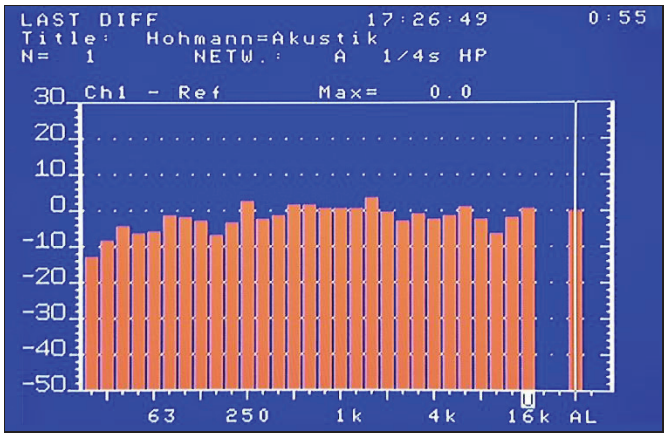

Abbildung 7: Differenzspektrum Wiedergabe - Aufnahme

Eine weitere Linearisierung (Anhebung tiefster Frequenzen) wäre möglich, wirkte aber beim Abhören unnatürlich.

Aufnahmen von Geräuschlandschaften

Der Recorder Zoom F8 (< CHF 1000) mit P48-Speisung an allen 8 Mikrofoneingängen kann mit dem 12-Volt-Powerpack unten im Stativ aufgehängt werden und verbessert so dessen Standfestigkeit. Der F8 ist via Bluetooth vom iPhone aus über eine Distanz bis ca. 25 m fernbedienbar (Abbildung 7).

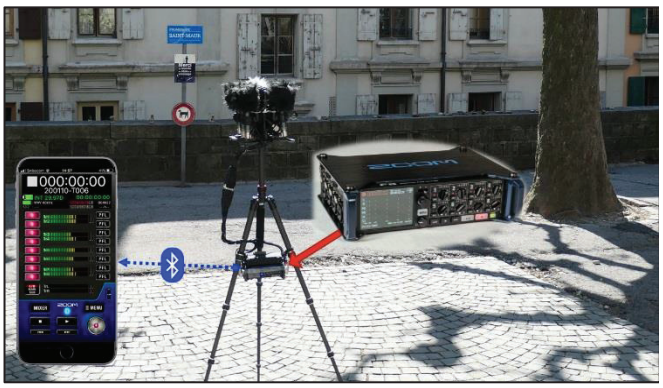

Abbildung 7: Aufnahme auf einem Platz in Lausanne

Das Powerpack (auch Starthilfe, 8000 mAh) gewährt 2 bis 3 Stunden Autonomie, doch ist die Regelungselektronik abzuschalten und der direkte 12-Volt-Ausgang (wie als Starthilfe) zu verwenden, damit keine Störungen an den Mikrofoneingängen auftreten.

Aufbereitung der Aufnahmen

Die Aufbereitung auf der Digital Audio Workstation (DAW) beinhaltet die erwähnte 8-kanalige Frequenzgangkorrektur. Für die Präsentation wurden die Originalaufnahmen für einen direkten Vergleich auf ca. 80 Sekunden pro Ort verdichtet, jeweils in der Abfolge "Grundgeräusch / Grundgeräusch + Sound Marks / Grundgeräusch + Störungen". Darüber hinaus erfolgte keine Bearbeitung.

Beurteilte Orte und Geräuschlandschaften

Die für die testweise Beurteilung der Klangqualität ("was man hört") herangezogenen Orte sind aus Tabelle 2 ersichtlich. Die Links führen auf mp3-Dateien, die einen ersten Höreindruck der Geräuschlandschaften vermitteln, aber nur in Stereo.

Tabelle 2: Beurteilte Orte (GP = Verkehrsgrundpegel, ø = Beurteilung in Schulnoten 1 – 6, wobei 4+ = genügend, Δ = Differenz von Maximal- zu Minimalbeurteilung)

Stadt	Platz oder Park	GP	ø	σ	Δ
Bern	Platanenhof	46	5.1	0.35	1.0
	Rosengarten	53	5.2	0.24	0.5
	Münsterterrasse	50	5.0	0.51	1.5
Basel	Elisabethenanlage	56	3.9	0.49	1.0
	Hof Museum der Kulturen	41	4.5	0.55	1.5
Lausanne	Promenade de St-Maur	47	4.3	0.33	0.8
	Promenade Derrière-Bourg	61	2.8	0.76	2.0
	Place de Milan: A (pelouse)	56	4.2	0.98	3.0
	Place de Milan: B crêt Mon.	44	4.5	0.68	2.0
Zürich	Zürihorn (am Zürichsee)	45	5.2	0.42	1.2
	Josefwiese	50	4.5	0.54	1.5
(Kal.)	Pegel-Geräusch 66 dB(A)	66			

Beurteilung der Klangqualität

Nach der Einpegelung der Wiedergabe erfolgte die Beurteilung der Klangqualität jedes Ortes in 2 Durchgängen: 1) für eine Übersicht und Erstbeurteilung, 2) für Verifizierung und allfällige Korrekturen.

Die 8 Expert(inn)en der Arbeitsgruppe Klangraumgestaltung waren sich einig, dass die vorgeführten 3D-Aufnahmen die Geräuschlandschaft der ihnen z.T. bekannten Orte genügend realistisch wiederzugeben vermögen, um eine Beurteilung der Klangqualität zu erlauben – eher besser als vor Ort, wo das Urteil von nicht-akustischen Eindrücken und von der allgemeinen Aufenthaltsqualität beeinflusst wird. Zusatzinformationen über die lokale Situation waren aber erforderlich. Konstante Störtöne fielen beim Abhören mehr auf als vor Ort. Die zeitliche Verdichtung der Aufnahmen kann allerdings die Beurteilung beim Abhören entscheidend prägen.

Die Beurteilung der Klangqualität erfolgte in den Kriterien von Tabelle 1 und als Gesamtnote auf einer Skala von 1 bis 6 (2 schwach, 3 ungenügend, 4 genügend, 5 gut, 6 sehr gut).

Streuungen in den individuellen Beurteilungen waren vor allem der generellen Schwierigkeit anzulasten, die Klangqualität objektiv zu beurteilen. Dies gelang für typische Park-Geräuschlandschaften besser als für ambivalente Situationen, z. B. bei einer konstanten lauten und auf die Dauer auch aus der Ferne nervigen Fontäne, die aber erfolgreich den Verkehrslärm der intensiv befahrenen Strasse dahinter tarnte (Lausanne, Place de Milan, Situation A, Abbildung 8).

Abbildung 8: Lausanne, Place de Milan, Situation A

Die grosse Streuung der individuellen Beurteilungen für die Promenade Derrière-Bourg in Lausanne (Abbildung 9) ist wohl darin begründet, dass diese zentrale, sehr laute (Verkehrslärmpegel 61 dBA) Anlage von "schlecht" = Note 2 bis "genügend" = Note 4 beurteilt wurde. In diesem Bereich der Notenskala fehlte aber zuvor eine Referenzsituation.

Abbildung 9: Lausanne, Promenade de Derrière-Bourg

Gut fiel das Urteil über die Klangqualität des Rosengartens in Bern (Abbildung 10) jenseits der Aare über der Altstadt aus:

Abbildung 10: Bern, Rosengarten, Blick auf Aare und Stadt

Wem der Verkehrslärm stadtseitig mit 53 dBA zu laut ist, der findet weiter hinten eine Geräuschlandschaft mit mehr natürlichen Anteilen vor. Eine solche Geräuschlandschaft "nach Wahl" ist in der Klangqualität positiv anzurechnen.

Am besten wurde der grosse und beliebte Park Zürihorn am Zürichsee beurteilt. Zwar sind die Strassen weit entfernt und meist durch Häuserzeilen abgeschirmt (<45 dBA), und die Geräuschlandschaft wirkt dank vieler Wasservögel attraktiv, aber auf der ruhigen Wasserfläche pflanzt sich tieffrequenter Lärm z.B. von Schiffen ungehindert fort, Beim Abhören fielen störende Brummtöne auf, die einer noch besseren Beurteilung als im Durchschnitt 5,2 entgegen standen.

Abbildung 11: Zürich, Park Zürihorn, Blick über Zürichsee

Aufgrund dieser Erfahrungen sieht die Arbeitsgruppe vor, ein paar allgemein bekannte Orte mit ihrer Beurteilung als Bezugspunkte zur Verfügung zu stellen, um die einheitliche Beurteilung der Klangqualität durch Fachleute zu erleichtern.

Schlussfolgerungen

Die gewählte Aufnahme- und Wiedergabe bewährte sich und erfüllte den Zweck. Insbesondere erwies sich die Anordnung der Hochlautsprecher seitlich auf Stativen im mobilen Einsatz als einfacher als die Montage von Deckenlautsprechern. Die Phantomquellenbildung in der Mitte über dem Kopf funktioniert gut.
Zu prüfen ist, ob beim Winkel von 90° (ORTF wäre 110°) die Nieren-Mikrofone für weniger Überlappung und evtl. einen "trockeneren" (weniger halligen) Klang durch Supernieren-Mikrofone zu ersetzen wären. Auf die Beurteilung der Klangqualität dieser Orte hatte das aber keinen Einfluss.

Literatur

[1] Hohmann, B., Bucher, R.: Beurteilung der Klangqualität von Parks und Plätzen in Städten. Arbeitsdokument, Cercle Bruit, 2020 (noch unveröffentlicht)

[2] TELARC: Height Channel Setup. In: Booklet DVDA-70541, Tchaikovsky 1812 (+), 2001

[3] Lee, H.: Effect of Vertical Microphone Layer Spacing for a 3D Microphone Array. JAES Vol. 62-12, 2014

[4] Zotter, F., Frank, M.: Ambisonics - A Practical 3D Audio Theory for Recording, Studio Production, Sound Reinforcement and Virtual Reality. Springer, 2019