

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Notation	xii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Gliederung der Arbeit	2
2 Inverse Filter	5
2.1 Optimale Lautsprecheraufstellung	9
2.2 Modifizierungen beim Entwurf der inversen Filter	10
2.3 Regularisierung	11
2.3.1 Wahl des Regularisierungsparameters β	13
2.4 Berechnung der inversen Filter mit Hilfe der adjungierten Matrix	14
2.5 Beispiel und praktische Modifikationen	17
2.5.1 Ursprüngliche Situation - Situation ohne Filterung	19
2.5.2 Situation bei alleiniger Verwendung der Filter zur Kompensation des Übersprechens	22
2.5.3 Situation bei Verwendung der vollständigen, inversen Filter	22
2.5.4 Praktische Modifikationen beim Entwurf des inversen Filters $G(j\omega)$	27
2.6 Probleme und Ausblick	31
2.7 Zusammenfassung	34
3 Ambisonic 1. Ordnung	37
3.1 Ambisonic Codier/Decodier-Beispiel	41
3.1.1 Decodervariationen	50
3.2 Zusammenfassung	51
4 Ambisonic höherer Ordnung	53
4.1 Zerlegung des Klangfeldes	54

4.2	Codierung und Decodierung	62
4.2.1	Der Codierprozess von ebenen Wellen	62
4.2.2	Der Codierprozess von Kugelwellen	64
4.2.3	Der Decodierprozess	68
4.2.4	Lautsprecheraufstellung und Decodermatrix	70
4.2.5	Verallgemeinerung der Decodervariationen	72
4.2.6	Nahfeldeffekt bei der Decodierung	87
4.3	Zusammenfassung	92
5	HOA-Codierung natürlicher Klangfelder mit Hilfe von Mikrofonarrays	93
5.1	Allgemeine Fourier-Bessel-Reihe	93
5.2	Mikrofonarrays	95
5.2.1	Kugelförmige Mikrofonarrays	97
5.3	Untersuchung unterschiedlicher sphärischer Mikrofonarrays	100
5.3.1	Offene Kugel mit omnidiirektionalen Mikrofonen	101
5.3.2	Offene Kugel mit gerichteten Mikrofonen 1. Ordnung	101
5.3.3	Geschlossene Kugel mit omnidiirektionalen Mikrofonen	104
5.3.4	Geschlossene Kugel mit Kardioid-Mikrofonen 1. Ordnung	110
5.3.5	Zusammenfassung	115
5.4	Praktischer Entwurf eines geschlossenen, kugelförmigen Mikrofonarrays zur Messung von HOA-Komponenten	117
5.4.1	Codierung eines natürlichen Klangfeldes	119
5.4.2	Optimale Wahl des Regularisierungsparameters ϵ	123
5.5	Beschreibung des Optimierungsalgorithmus	127
5.5.1	Berechnung des <i>white noise gain</i> ($WNG_{\text{dB}}(\omega)$)	127
5.5.2	Berechnung des Array-Gewinns ($G_{dB}(\omega)$)	129
5.5.3	Optimierungsalgorithmus	130
5.5.4	Simulationsergebnisse bei Anwendung unterschiedlicher <i>equalizing</i> -Filter	133
5.6	Praxisrelevante Faktoren die beim Bau eines Kugelmikrofonarrays beachtet werden sollten	142
5.6.1	Positionierung der Mikrofone auf der Kugeloberfläche	142
5.6.2	Festlegung des Kugelradius	143
5.6.3	Möglichkeiten zur Erhöhung der räumlichen Abtastfrequenz	145

5.6.4	Empfindlichkeit bezüglich der Exemplarstreuungen der Sensoren	150
5.7	Zusammenfassung	153
6	Verifikation unterschiedlicher, sphärischer Mikrofonarrays in der Praxis	155
6.1	Vergleich eines geschlossenen, kugelförmigen Mikrofonarrays mit und ohne räumlichen Tiefpassfilter	156
6.1.1	Messergebnisse der geschlossenen, kugelförmigen Mikrofonarrays mit und ohne räumlichen Tiefpassfilter	157
6.2	Untersuchung eines offenen, kugelförmigen Mikrofonarrays geringer Größe	160
6.2.1	Beispielhafter Entwurf eines realisierbaren, robusten, offenen Kugelmikrofonarrays	162
6.3	Zusammenfassung	179
7	Zusammenfassung und Ausblick	181
7.1	Zusammenfassung	181
7.2	Ausblick	187
A	Anhang	195
A.1	Differentielle Mikrophone	195
A.1.1	Berechnung der Verzögerungszeiten T_i	197
A.1.2	Berechnung der Arrayparameter differentieller Mikrophone	198
A.1.3	Modelle nach Gerzon zur Vorhersage der subjektiv empfundenen Horizontallokalisierung	201
A.2	Matrizen	206
A.2.1	Berechnung der inversen Matrix mit Hilfe der adjungierten Matrix .	206
A.2.2	Hermitische Matrix	207
A.3	Besselfunktionen	209
A.3.1	Sphärische Besselfunktionen	211
A.4	Entwurf eines modalen <i>beamformer</i>	215
A.4.1	Praktische Anwendungen modaler <i>beamformer</i>	220
A.4.2	Rotation des modalen <i>beamformer</i>	223
A.5	Reguläre und quasi-reguläre Körper	231
A.5.1	Der Tetraeder	233
A.5.2	Der Hexaeder	237
A.5.3	Der Oktaeder	239

A.5.4	Der Dodekaeder	241
A.5.5	Der Ikosaeder	243
A.5.6	Der Buckyball	245
A.5.7	Der verwendete Ikosaederstumpf	247
Literaturverzeichnis		251