

## **Inhaltsverzeichnis:**

<b>Einleitung</b>	1
<b>Teil I: THEORIE UND SIMULATION</b>	3
<b>Kapitel 1: Das inverse Problem</b>	5
1.1 Allgemeine Problemstellung	5
1.2 Methoden zur Lösung inverser Probleme	8
1.2.1 Deterministische Methoden	10
1.2.2 Statistische Methoden	12
1.2.3 Abschließende Bemerkungen	13
1.3 Mittlungseffekt von Hydrophonen und derzeitige Korrekturmethoden	14
1.3.1 Mittlungseffekt eines Hydrophons endlicher Fläche	14
1.3.2 Höchstzulässige Hydrophongröße	16
1.3.3 Korrektur des Mittlungseffekts von Hydrophonen	19
1.3.3.1 Methode für das Fernfeld eines ebenen Kolbenstrahlers	20
1.3.3.2 Methode der quadratischen Approximation	20
1.3.3.3 Methode des Modells des ebenen Kolbenstrahlers nach Beißner	20
1.3.3.4 Methode für das Modell des fokussierten Schallfeldes	21
1.3.3.5 Empirische Methode von Smith	21
1.3.3.6 Methode des nichtlinearen Modells von Zeqiri et al.	21
1.3.4 Inversion des Mittlungseffekts als Alternative	21
<b>Kapitel 2: Simulation harmonischer Schallfelder</b>	23
2.1 Schallfeld eines ebenen Kolbenstrahlers	23
2.1.1 Kolbenstrahler im freien Raum: das Kirchhoff'sche Integral	25
2.1.2 Kolbenstrahler in schallharter Wand: das Rayleigh'sche Integral	26
2.1.3 Kolbenstrahler in schallweicher Wand: das Rayleigh-Sommerfeld-Integral	26
2.1.4 Verallgemeinerte Impulsantwort des Ausbreitungsmediums	27
2.1.5 Schalldruck eines harmonischen Schallfeldes	31
2.1.6 Numerische Simulation	32
2.1.7 Winkelspektrum des Schallfeldes	34
2.2 Schallfeld eines runden fokussierenden Wandlers	37
2.2.1 Fokussierung von Schallfeldern	37
2.2.2 Schallfeld eines sphärisch gekrümmten Wandlers	38
<b>Kapitel 3: Übertragungseigenschaften des Messsystems</b>	41
3.1 Übertragungseigenschaften der Empfangskette	41
3.2 Übertragungseigenschaften des Hydrophons	42
3.2.1 Das Hydrophon als raum-zeitliches lineares, verschiebungsinvariantes System	42
3.2.2 Zeitliche Übertragungseigenschaften	43
3.2.3 Räumliche Übertragungseigenschaften	44

3.2.3.1 Beschreibung im Raumbereich: Räumliche Impulsantwort	44
3.2.3.2 Beschreibung im Raumfrequenzbereich: Räumliche Übertragungsfunktion	46
3.2.3.3 Beschreibung mit der Richtcharakteristik	49
a) Richtcharakteristik bei unterschiedlichen Randbedingungen	49
b) Einfluss der Lamb-Wellen auf die Richtcharakteristik	53
3.3 Rauschen der Empfangskette	60
<b>Kapitel 4: Simulation zum Mittelungseffekt von Hydrophonen</b>	63
4.1 Das lineare, verschiebungsinvariante Erfassungsmodell	63
4.2 Berechnungsmethoden	64
4.2.1 Antwortmatrixmethode	64
4.2.1.1 Eindimensionales Modell	64
4.2.1.2 Zweidimensionales Modell	65
4.2.2 Winkelspektrummethode	68
4.2.2.1 Eindimensionales Modell	68
4.2.2.2 Zweidimensionales Modell	68
4.3 Numerische Simulation	68
4.3.1 Mittelungseffekt eines eindimensionalen Hydrophones	68
4.3.2 Mittelungseffekt eines zweidimensionalen Hydrophones	70
4.3.2.1 Rechteckige Apertur	70
4.3.2.2 Kreisförmige Apertur	72
<b>Kapitel 5: Rekonstruktion räumlich gemittelter Schallfelder</b>	75
5.1 Lineares, verschiebungsinvariantes Modell für die Rekonstruktion des Schallfeldes	75
5.2 Inverse Filterung	76
5.2.1 Antwortmatrixmethode	76
5.2.2 Winkelspektrummethode	76
5.2.3 Numerische Simulation	77
5.2.4 Pseudo-inverse Filterung	80
5.3 Wiener-Filter	81
5.4 Leistungsspektrum-Ausgleichsfilter	86
5.5 Maximum-a-posteriori-Rekonstruktion	87
5.6 Qualitativer Vergleich der Rekonstruktionsfilter	87
<b>Kapitel 6: Kritische Systemparameter und Unsicherheit</b>	89
6.1 Einfluss des Sampleintervalls	89
6.2 Einfluss des Signal-Rausch-Verhältnisses	90
6.3 Einfluss der Ortsfrequenz-Bandbreite des Schallfeldes	92
6.4 Unsicherheitsbudget	94
6.5 Zeitaufwand	101
<b>Kapitel 7: Zusammenfassende Bewertung</b>	103

---

<b>Teil II: EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN</b>	105
<b>Kapitel 1: Herstellung von PVDF-Membran-Hydrophonen</b>	107
1.1 Das PVDF-Material	107
1.2 Merkmale von PVDF-Membran-Hydrophonen	108
1.3 Konstruktion der PVDF-Membran-Hydrophone	110
1.4 Polarisierung der PVDF-Membran-Hydrophone	112
<b>Kapitel 2: Charakterisierung der hergestellten Hydrophone</b>	113
2.1 Empfangsempfindlichkeit	113
2.2 Räumliche Übertragungseigenschaften	114
2.2.1 Laser-interferometrische Abtastung	114
2.2.2 Akustische Abtastung	117
2.2.3 Richtcharakteristik	119
2.2.4 Bewertung der einzelnen Messverfahren	122
<b>Kapitel 3: Experimenteller Aufbau für die Erfassung des Schallfeldes</b>	125
3.1 Sendesystem	125
3.2 Positioniersystem	125
3.3 Wassertank	126
3.4 Hydrophonverstärker	126
3.5 Vektoranalysator	127
<b>Kapitel 4: Rekonstruktion gemessener, räumlich gemittelter Schallfelder mit verschiedenen Impulsantworten</b>	129
4.1 Eindimensionales Hydrophon	129
4.2 Rechteckiges Hydrophon	132
4.3 Kreisförmiges Hydrophon	136
4.4 Abschließende Bemerkungen	136
<b>Kapitel 5: Experimenteller Vergleich der Rekonstruktionsverfahren</b>	141
5.1 Einfluss der Abtastschrittweite	142
5.2 Winkeleinstellung des Hydrophons	142
5.3 Einfluss der Ortsfrequenz-Bandbreite des Schallfeldes	142
5.4 Fortpflanzung der Unsicherheiten	145
<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	151
<b>Anhänge</b>	A1
<b>Literaturverzeichnis</b>	L1