

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Algorithmenverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	xv
1 Einleitung und Motivation	1
2 Grundlagen der Ultraschallbildung	5
2.1 Ultraschallphysik	5
2.2 B-Mode-Verfahren	8
2.3 Historie der quantitativen Ultraschall-Rekonstruktionsverfahren	10
3 Lineare Rekonstruktionsverfahren	15
3.1 Mathematisch-physikalische Modellbildung	15
3.1.1 2D/3D Aufnahmegeometrie im Reflexions- und Transmissionsmodus	16
3.1.2 2D/3D Ultraschallwellenausbreitung im Frequenzbereich	17
3.1.3 Lippmann-Schwinger-Integralgleichung	18
3.1.4 Born-Approximation	19
3.2 2D/3D Fourier-Diffraction Theoreme	19
3.2.1 2D/3D Anregungen mit monofrequenten ebenen Wellen	20
3.2.2 2D/3D Anregungen mit monofrequenten Zylinder- bzw. Kugelwellen	22
3.2.3 Anmerkungen	24
3.3 2D/3D Ortsfrequenzspektren	25

3.3.1	2D/3D Messdatenaufnahmen	25
3.3.2	2D Anregungen mit ebenen Wellen	26
3.3.3	3D Anregungen mit ebenen Wellen	31
3.3.4	2D Anregungen mit Zylinderwellen	34
3.3.5	3D Anregungen mit Kugelwellen	39
3.4	Lineare analytische DFI-Verfahren	42
3.4.1	2D/3D Anregungen mit monofrequenten ebenen Wellen	42
3.4.2	2D/3D Anregungen mit monofrequenten Zylinder- bzw. Kugelwellen .	43
3.4.3	Anmerkungen	45
3.4.4	2D/3D Anregungen mit breitbandigen Wellen	45
3.4.5	Reellwertige Rekonstruktionen	46
3.4.6	Ortsfrequenzspektren bei experimentellen Anwendungen	46
3.4.7	Interpolation im Ortsfrequenzspektrum	49
3.4.8	Vor- und Nachteile der DFI-Verfahren	50
3.5	Lineare analytische FBP-Verfahren	51
3.5.1	2D/3D Anregungen mit breitbandigen ebenen Wellen	51
3.5.2	2D/3D Anregungen mit breitbandigen Zylinder- bzw. Kugelwellen .	54
3.5.3	Anmerkungen	56
3.5.4	Reellwertige Rekonstruktionen	57
3.5.5	Filterfunktionen	58
3.5.6	Vor- und Nachteile der FBP-Verfahren	59
4	Nichtlineare Rekonstruktionsverfahren	61
4.1	Mathematisch-physikalische Modellbildung	61
4.1.1	2D/3D Aufnahmegeometrie im Reflexionsmodus	61
4.1.2	2D/3D Ultraschallwellenausbreitung im Zeitbereich	63
4.2	Nichtlineares inverses Problem der quantitativen Ultraschallbildgebung	65
4.2.1	2D/3D Anregungen mit breitbandigen ebenen Wellen	65
4.2.2	2D/3D Anregungen mit breitbandigen Zylinder- bzw. Kugelwellen .	65
4.2.3	Gut und schlecht gestellte Probleme	66
4.3	Iterative Lösungsverfahren	67
4.3.1	Gauß-Newton-Verfahren	67
4.3.2	Kaczmarz-Verfahren	68
4.4	Relaxiertes Kaczmarz-Verfahren	69
4.4.1	Anwendungsgebiete	69
4.4.2	Grundidee	70
4.4.3	Lineare inhomogene Systeme	70
4.4.4	Nichtlineare inhomogene Systeme	72
4.4.5	Konvergenz	74
4.5	Adjungierte Operatoren	75
4.5.1	2D/3D Anregungen mit breitbandigen ebenen Wellen	75

4.5.2	2D/3D Anregungen mit breitbandigen Zylinder- bzw. Kugelwellen	79
4.6	Lösung der End-Randwertprobleme	80
4.6.1	Zeitumkehr und Zeitverschiebung	80
4.6.2	Time Reversal	80
4.7	Nichtlineare iterative Verfahren	80
4.7.1	Pseudocode	81
4.7.2	Alternative Aufnahmegerometrien	81
4.7.3	Vor- und Nachteile der Verfahren	81
5	Numerische Implementierung	85
5.1	Numerische Grundlagen und Parameter	85
5.1.1	Brustphantom	85
5.1.2	Lineares Ultraschallwandler-Array	87
5.1.3	Anregungspuls	88
5.1.4	Pulsparameter	89
5.2	Finite-Differenzen-Implementierung	91
5.2.1	Finite-Differenzen-Diskretisierung	91
5.2.2	Explizites Finite-Differenzen-Verfahren	93
5.2.3	Residuum	95
5.2.4	Update der Materialparameter	96
5.3	Programmierung und Hardware	97
6	Numerische Rekonstruktionen	99
6.1	Akquisition synthetischer Messdatensätze	99
6.2	Nichtlineare Rekonstruktionen	108
6.2.1	Rekonstruktionsexperimente	108
6.2.2	Analyse der Rekonstruktionen	114
6.2.3	Axiale und laterale Ortsauflösung der Materialparameterprofile	123
6.2.4	Superresolution	125
6.2.5	Rechenzeiten	128
6.2.6	Zusammenfassende Ergebnisse	129
6.3	Nichtlineare Rekonstruktionen mit verrauschten Messdaten	130
6.3.1	Akquisition synthetischer Messdatensätze mit Rauschen	130
6.3.2	Rekonstruktionsexperimente	134
6.3.3	Analyse der Rekonstruktionen	134
6.3.4	Zusammenfassende Ergebnisse	148
6.4	Nichtlineare Rekonstruktionen mit modifizierten Relaxationsparametern	148
6.4.1	Amplitudenbasierte und intensitätsbasierte Relaxationsparameter	149
6.4.2	Amplitudenbasierte und intensitätsbasierte Relaxationsparameter für Punktstreuer mit Materialparameterschwankungen	153
6.4.3	Rekonstruktionsexperimente	155

6.4.4	Analyse der Rekonstruktionen	155
6.4.5	Zusammenfassende Ergebnisse	159
6.5	Lineare Rekonstruktionen	159
6.5.1	Rekonstruktionsexperimente	160
6.5.2	Analyse der Rekonstruktionen	165
6.5.3	Rechenzeiten	171
6.5.4	Zusammenfassende Ergebnisse	173
6.6	Ortsauflösung der nichtlinearen und linearen Rekonstruktionsverfahren	173
6.6.1	Drahtphantom	174
6.6.2	Akquisition synthetischer Messdatensätze	174
6.6.3	Rekonstruktionsexperimente	174
6.6.4	Berechnung der axialen und lateralen Ortsauflösung	175
6.6.5	Analyse der axialen und lateralen Ortsauflösung	180
6.6.6	Zusammenfassende Ergebnisse	180
7	Zusammenfassung und Ausblick	183
A	Mathematische Hilfsmittel	187
A.1	2D und 3D Greensche Funktionen der Helmholtz-Gleichung	187
A.2	Jacobi-Determinanten der verallgemeinerten Abbildungen	192
A.3	Amplitudenspektrum des Anregungspulses	196
A.4	Finite-Differenzen-Approximationen	197
A.5	Mur-Randbedingungen	199
Literaturverzeichnis		201