

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Algorithmenverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	xv
1 Einleitung und Motivation	1
2 Grundlagen der Ultraschallbildgebung	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 Aufnahmegeometrien	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