

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xvi
-----------------------	-----

Tabellenverzeichnis	xvii
---------------------	------

1	Einleitung	1
1.1	Kommunikationsverbesserung im Fahrzeug	1
1.2	Systemanforderungen	4
1.3	Aufgabenstellung	5
1.4	Gliederung der Arbeit	5
2	Stand der Technik	7
2.1	Historie der Fahrzeuginnenraumkommunikation	7
2.2	Signaleigenschaften der Sprachkommunikation im Fahrzeug	17
2.2.1	Hintergrundgeräusche	17
2.2.2	Sprachsignale	19
2.2.3	Psychoakustik und Sprachkommunikation im Fahrzeug	22
2.2.3.1	Binaurales Hören	22
2.2.3.2	Präzedenzeffekt	22
2.2.3.3	Lombardeffekt	23
2.2.3.4	Maskierung durch Hintergrundgeräusche	25
2.3	Systemeigenschaften	25
2.3.1	Kommunikation ohne ICC-System	27
2.3.1.1	Abstrahlcharakteristik des menschlichen Kopfes im Freifeld	28
2.3.1.2	Schallausbreitung im Fahrzeuginnenraum	29
2.3.2	Kommunikation mit ICC-System	30
2.3.2.1	Betrieb als geschlossene elektroakustische Schleife	30
2.3.2.2	Übertragung vom Sprecher zum Zuhörer	33

2.3.2.3	Übertragung vom Sprecher zum Sprecher	34
2.4	Zusammenfassung Stand der Technik	35
3	Laufzeitoptimierte Geräuschreduktion	37
3.1	Grundlagen der einkanalen Geräuschreduktion	39
3.1.1	Wiener-Filter im Zeitbereich	39
3.1.2	Wiener-Filter im Frequenzbereich	42
3.1.2.1	Geräuschreduktion im Teilbandbereich	43
3.1.2.2	Geräuschleistungsschätzung	44
3.1.2.3	Tonale Reststörungen	46
3.1.3	Laufzeitoptimierte Filterbankstrukturen	49
3.1.3.1	Overlap-Add-basierte Filterbank	49
3.1.3.2	Filterbanksummationsmethode	51
3.1.3.3	Filterbankentzerrer	53
3.2	Geräuschreduktion mit Overlap-Save-basierter FFT-Filterbank	54
3.2.1	Blockbasierte schnelle Faltung	55
3.2.2	Overlap-Save-basierte Signalverarbeitung	58
3.2.3	Näherung des Projektionsfilters	60
3.2.3.1	Entwurf des Projektionsfilters	61
3.2.3.2	Reduktion der Projektionsartefakte	63
3.2.4	Evaluierung der Geräuschreduktion mit der Overlap-Save-basierten Signalverarbeitung	63
3.3	Zusammenfassung Geräuschreduktion	67
4	Systemstabilisierung	69
4.1	Grundlagen der Systemstabilisierung	69
4.1.1	Rückkopplungskompensation	71
4.1.2	Frequenzverschiebung	73
4.1.3	Adaptives Kerbfilter	74
4.2	Entzerrung des Rückkopplungspfad es	75
4.2.1	Identifikation des Rückkopplungspfad es	77
4.2.1.1	Offline-Systemidentifikation	77
4.2.1.2	Online-Systemidentifikation	79
4.2.2	Entzerrung des Rückkopplungspfad es	79
4.2.2.1	Grundstruktur des Peak-Filters	81

4.2.2.2	Parametrierung einer Peak-Filterkaskade	83
4.2.3	Evaluierung der Rückkopplungsentzerrung	87
4.3	Modellbasierte Rückkopplungsunterdrückung	90
4.3.1	Schätzung des Rückkopplungsleistungsdichtespektrums	91
4.3.2	Schätzung der Modellparameter	95
4.3.2.1	Bestimmung der Ausbreitungszeit	96
4.3.2.2	Bestimmung der Abklingkonstante	97
4.3.2.3	Bestimmung des Kopplungsfaktors	99
4.3.2.4	Anwendung der Modellparameter	100
4.3.3	Evaluierung der Rückkopplungsunterdrückung	101
4.3.3.1	Schätzung des Rückkopplungspfades	101
4.3.3.2	Schätzung des Kurzzeitleistungsdichtespektrums	104
4.3.3.3	Unterdrückung der Rückkopplung	104
4.3.3.4	Verbesserung der maximalen Systemverstärkung	106
4.4	Zusammenfassung Systemstabilisierung	108
5	Evaluierung des Gesamtsystems	111
5.1	ICC-Echtzeitdemonstrator	113
5.1.1	ICC-Software	113
5.1.2	Demonstratorhardware	116
5.1.3	Fahrzeugakustik	118
5.1.4	Systemparametrierung	120
5.1.5	Messaufbau	120
5.2	Auswertung der Impulsantworten	122
5.2.1	Systemgewinn	123
5.2.2	Systemlaufzeit	125
5.2.3	Nachhallzeit	127
5.2.4	Fazit der Betrachtung der Impulsantworten	129
5.3	Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses	129
5.3.1	Beschreibung des Messverfahrens	131
5.3.2	Ergebnisse zur SNR-Verbesserung	134
5.3.3	Fazit SNR-Verbesserung	139
5.4	Verbesserung des Sprachübertragungsindex	139
5.4.1	Beschreibung des Messverfahrens	141
5.4.2	Ergebnisse der STI-Verbesserung	143

5.4.3	Fazit STI-Verbesserung	145
5.5	Verbesserung der Sprachqualität	146
5.5.1	Versuchsdurchführung zur Sprachqualität	148
5.5.2	Ergebnisse zur Sprachqualität	150
5.5.3	Fazit Sprachqualität	152
5.6	Verbesserung der Sprachverständlichkeit	153
5.6.1	Versuchsdurchführung zur Sprachverständlichkeit	154
5.6.2	Ergebnisse zur Sprachverständlichkeit	157
5.6.3	Fazit Sprachverständlichkeit	159
5.7	Zusammenfassung der Evaluierung	160
6	Zusammenfassung und Ausblick	161
6.1	Zusammenfassung der Arbeit	161
6.2	Ausblick	162
A	Abkürzungen und Notation	165
A.1	Abkürzungen und Akronyme	165
A.2	Formelzeichen	166
A.3	Konventionen und Operatoren	171
A.4	Matrixnotation	172
	Literaturverzeichnis	173