

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	4
1.1 Anwendungen für eine Geschwindigkeitsmessung über Grund.....	4
1.2 Stand der Technik.....	5
1.2.1 Doppler-Geschwindigkeitsmessung im Überblick.....	5
1.2.2 Geschwindigkeitsmessung über Grund nach dem Dopplerprinzip	6
1.2.2.1 Doppler-Sensoren.....	6
1.2.2.2 Auswertung der Dopplersignale.....	7
1.3 Ziel der Arbeit	7
1.3.1 Genauigkeitssteigerung	8
1.3.2 Meßverfahren und Schätzverfahren.....	8
1.4 Einführung in die Problematik der statistischen Spektralanalyse.....	9
2 Modellbildung des Doppler-Sensors	11
2.1 Funktionsmodell	11
2.1.1 Funktionsprinzip.....	11
2.1.2 Funktionsmodell im Ortsbereich	13
2.1.2.1 Herleitung der Antennen-Impulsfunktion im Ortsbereich	13
2.1.2.2 Der Doppler-Sensor als Ortsfrequenzfilter	21
2.1.2.3 Messung der zweidimensionalen Antennen-Impulsfunktion.....	24
2.1.2.4 Rückstreuquerschnitte bei unterschiedlich rauhen Untergründen.....	26
2.1.3 Erweiterung auf komplexe Signale.....	28
2.2 Fehlermodell.....	30
2.2.1 Statistischer Fehler	32
2.2.2 Beschleunigungsfehler.....	34
2.2.3 Untergrundfehler	36
2.2.4 Sonstige Fehler	37
2.3 Zusammenfassung von Kapitel 2.....	38
3 Analyse bekannter Frequenz-Meßverfahren	40
3.1 Nullstellenzählen	40
3.2 Tracking-Verfahren	44
3.2.1 Phase-Locked-Loop (PLL).....	44
3.2.2 Spezielle Frequenz-Regelschleifen.....	47
3.3 Phase der Autokorrelationsfunktion	48
3.4 Maximum der Fast-Fourier-Transformation.....	51
3.5 Zusammenfassung von Kapitel 3.....	52

4 Schätzverfahren zur Auswertung stationärer Dopplersignale.....	54
4.1 Parameterschätzverfahren	54
4.1.1 Autoregressive (AR) - Schätzung	55
4.1.1.1 Blockweise Algorithmen zur Berechnung der AR-Parameter.....	56
4.1.1.2 Sequentielle Algorithmen zur Berechnung der AR-Parameter.....	59
4.1.1.3 Geeignete Wahl der Modellordnung	62
4.1.1.4 Berechnung der Fahrzeuggeschwindigkeit aus einem AR-Modell.....	64
4.1.2 Autoregressive-Moving-Average (ARMA) - Schätzung	67
4.1.2.1 Vergleich zwischen AR-Schätzung und ARMA-Schätzung	67
4.1.2.2 Sequentielles Notch-Filter	69
4.2 Neuartiges Schätzverfahren mit optimaler Regelung der Abtastperiode (CSGN).....	71
4.2.1 Grundidee.....	72
4.2.2 Entwurf zur optimalen Regelung der Abtastperiode.....	73
4.2.2.1 Herleitung der Optimierungslösung	73
4.2.2.2 Differentiation einer Abtastfolge.....	77
4.2.2.3 Initialisierung des CSGN-Algorithmus	78
4.2.2.4 Besonderheiten eines Systems mit adaptiver Abtastperiode	78
4.2.3 Filterentwürfe.....	79
4.2.3.1 Notch-Filter	80
4.2.3.2 Invertierte Antennen-Impulsfunktion	82
4.2.3.3 Notch-Filter mit Frequenzüberhöhung	82
4.3 Schätzverfahren im Frequenzbereich	84
4.3.1 Mittelung von Teilspektren (AFFT)	85
4.3.2 Korrelation mit Referenzspektren (CD).....	85
4.3.3 Regression der FFT-Stützwerte (RFFT)	85
4.4 Zusammenfassung von Kapitel 4	86
5 Erweiterung der Schätzverfahren auf instationäre Dopplersignale.....	89
5.1 Adaptive Abtastperiode.....	89
5.1.1 Adaptive Abtastperiode für blockweise Schätzverfahren	90
5.1.2 Vorfilter zur Erzeugung mittelwertfreier Dopplersignale.....	91
5.2 Prädiktionsfilter zur Kompensation des Beschleunigungsfehlers.....	93
5.2.1 Kalman-Filter zur Schätzung der Beschleunigung.....	93
5.2.2 Gauß-Filter zur Schätzung der Beschleunigung	94
5.3 Zusätzlicher Einsatz eines Beschleunigungssensors.....	95
5.3.1 Vergleich und Einteilung von handelsüblichen Beschleunigungssensoren.....	96
5.3.2 Trennung der Komponenten von Erd- und Fahrzeugbeschleunigung	97

5.3.3 Gesamtsystem bestehend aus Doppler-Sensor und Beschleunigungssensor	100
5.4 Zusammenfassung von Kapitel 5.....	102
6 Realisierung und Messungen.....	104
6.1 Universelles Rechner-System zur Implementierung der Schätzverfahren.....	104
6.1.1 Beschreibung des entwickelten Rechner-Systems.....	104
6.1.2 Implementierung des Marple-Algorithmus	105
6.1.3 Implementierung des CSGN-Algorithmus	108
6.1.4 Implementierung eines übergeordneten Kalman-Filters mit zusätzlicher Auswertung eines Beschleunigungssensors	110
6.2 Realisierung des CSGN-Algorithmus als Low-Cost-Lösung.....	110
6.3 Messungen in Zusammenarbeit mit der Bundesbahn-Versuchsanstalt München	111
6.3.1 Beschreibung des Meßaufbaus und der Meßstrecke	111
6.3.2 Einfluß des Untergrundes auf die Dopplersignale.....	113
6.3.3 Meßergebnisse und Vergleich der Auswerteverfahren.....	114
6.4 Zusammenfassung von Kapitel 6.....	116
7 Ausblick.....	117
7.1 Zuverlässigkeit und Sicherheit	117
7.2 Wirtschaftlichkeit	119
7.3 Zukünftige Entwicklungspotentiale.....	120
Formelzeichen und Abkürzungen.....	121
Literatur	126
Sachregister.....	135