

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis und Abkürzungen

1 Einleitung	1
1.1 Thema und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Konzeption der Dissertation	2
2 Anwendungsorientierte Theorie zur Ultraschall-Füllstandsmessung	5
2.1 Meßprinzip	5
2.2 Ultraschallwandler im Einsatz zur Füllstandsmessung	6
2.3 Ultraschallwandler	8
2.3.1 Prinzipverhalten eines piezoelektrischen Körpers	8
2.3.2 Elektrisch-mechanische Analogien und Ersatzschaltbilder von Ultraschallwandlern	10
2.3.3 Anpassung eines Piezowandlers an den elektrischen Sender	18
2.3.4 Piezoelektrischer Wandler bei Impulsanregung	22
2.3.5 Richtcharakteristik	34
2.3.6 Blockdistanz	35
2.4 Einflüsse des Mediums oberhalb des Füllgutes im Behälter	36
2.4.1 Schallgeschwindigkeit	36
2.4.2 Schallabsorption	39
2.4.3 Reflexionsbedingungen	42
2.5 Reflexionsmodelle	43
2.5.1 Zylinderbehälter	46
2.5.2 Kugelbehälter	54
2.6 Methode zur Meßwerterfassung	62
2.6.1 Abtasten eines Analogsignals	63
2.6.2 Verwendete Methode zur Aufnahme von Echosignalen	64
3 Neues Verfahren zur Füllstandsechoerkennung	67
3.1 Impulsdetektion	68
3.2 Schwellwertbildung	69
3.3 Bildung einer Schwellwertkurve mit arithmetischem Mittelwert und Fuzzy-Logik-Operatoren	71
3.3.1 Begriffe und Elemente der Operatoren in der Fuzzy-Sets-Theorie (unscharfe Menge)	73
3.3.2 Bildung einer Schwellwertkurve mit Hilfe eines Fuzzy-Min- Operators (die minimierte Mittelwertkurve : erstes neues Verfahren)	75

3.3.3	Bildung einer monoton fallenden Schwellwertkurve mit Hilfe von Fuzzy-Max-Min-Operatoren (die maximierte monoton fallende Mittelwertkurve : zweites neues Verfahren)	77
3.4	Darstellungsmodelle von Echoimpulsen	80
3.5	Methode zur Erkennung von Füllstandsechos	81
4	Realisierung des Meßsystems (Aufbau des Meßsystems)	84
4.1	Funktionsprinzip des realisierten Meßsystems	84
4.2	Behälterkonstruktion und Anordnung des Ultraschallwandlers	85
4.3	Prinzip der Signalsendung und des Signalempfangs	87
4.4	Meßsignalempfänger	91
4.4.1	Meßsignalverstärkung	92
4.4.2	Hüllkurvendetektor	93
4.5	Systemsteuerung zur Meßwerterfassung	95
4.5.1	Systemübersicht	95
4.5.2	Eigenschaften des Mikrocontrollers SAB 80C517/80C517A	96
4.5.3	Schnittstelle zwischen PC und MC	99
4.6	Programm zur Meßwerterfassung	99
4.7	Programm zur Meßwertverarbeitung	103
4.8	Verwendete Ultraschallwandler	115
4.9	Verwendeter Temperatursensor	118
5	Praktische Versuchsergebnisse und Echoanalyse und -erkennung	119
5.1	Meßaufbau	119
5.2	Meßprogramm zur Unterstützung der Experimente	120
5.3	Variationen der Meßwertaufnahme	124
5.3.1	Leerer Behälter	124
5.3.2	Variation der Sendeimpulsdauer	125
5.3.3	Variation der Ultraschallwandlerposition	126
5.4	Bildung einer Schwellwertkurve aus ihrem eigenen Echoprofil unter Verwendung von Fuzzy-Logik-Operatoren	127
5.4.1	Schrittweise Bildung einer minimierten Mittelwertkurve unter Verwendung eines Fuzzy-Min-Operators	127
5.4.2	Schrittweise Bildung einer maximierten monoton fallenden Mittelwertkurve unter Verwendung von Fuzzy-Max-Min-Operatoren	131
5.5	Echoprofil in unterschiedlichen Versuchen	135
5.5.1	Behälter mit Wasser	135
5.5.2	Behälter mit mit Schaum bedecktem Wasser	140
5.6	Zeitmessung unter Verwendung des Impulsdetektors	141

6 Maßnahmen zur Minimierung der Meßunsicherheit	144
6.1 Prinzip des Mittelwertverfahrens	144
6.2 Praktischer Einsatz des Mittelwertverfahrens für die Verarbeitung der Meßergebnisse des Impulsdetektors	146
7 Praktische Meßergebnisse	148
7.1 Variation der Distanz zwischen Sensor und Füllgut	148
7.2 Horizontale Variation der Sensorposition	150
7.3 Vergleich zwischen dem größten Echo (dem Maximum) und dem ersten großen Echo (dessen Nebenmaximum)	152
7.4 Vergleich zwischen den Auswertungsverfahren	157
7.5 Zusammenfassung	160
8 Betrachtungen zur Impulslaufzeitmessung	161
8.1 Problematik der Impulslaufzeitmessung bei der Füllstandsmessung	161
8.1.1 Impulslaufzeitmessung nach dem Ein-Pegel-Verfahren	162
8.1.2 Impulslaufzeitmessung nach dem Schwerpunktverfahren	163
8.2 Zusammenfassung	168
9 Zusammenfassung	169
Literaturverzeichnis	171