

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	1
1.1	Zielsetzung und Projekthistorie	1
1.2	Aufbau der vorliegenden Arbeit	8
2	Thematische Einleitung	9
2.1	Der Weg zur Europäischen Währungsunion	9
2.1.1	Die Europäische Integration	9
2.1.2	Die Entstehung des „Euro“	10
2.2	Münzprüfer	14
2.2.1	Stand der Technik bei Standardmünzprüfern	14
2.2.2	Stand der Technik für optische Münzprüfer	16
2.2.3	Die Prägebildererkennungsmethode dieser Arbeit	19
3	Bildverarbeitungsgrundlagen	21
3.1	Überblick und Begriffsdefinitionen	21
3.2	Komponenten einer Bildverarbeitungsanwendung	23
3.3	Statistische Mustererkennung	26
3.4	Merkmale: Auswahl und Generierung	27
3.4.1	Erforderliche Anzahl an Merkmalen	27
3.4.2	Invariante Merkmale	30
3.5	Segmentierung	31
3.5.1	Schwellwertoperationen	32
3.5.2	Kantenbasierte Verfahren	32
3.5.3	Ellipsenfit	35
3.5.4	Regionenbasierte Verfahren	39
3.6	Image-Matching	40
3.6.1	Template-Matching	41

3.6.2	Template-Matching mit rotierten Bildern	43
3.6.3	Phasenkorrelation	44
3.7	Morphologische Operatoren	45
3.7.1	Erosion und Dilatation	46
3.7.2	Morphologische Öffnung und Schließung (Opening und Closing)	47
3.8	Zusammenfassung	49
4	Theoretische Grundlagen der SSGM	51
4.1	Radiometrische Grundgrößen	52
4.1.1	Raumwinkel	52
4.1.2	Radiometrische Grundgrößen	53
4.1.3	Zusammenhänge zwischen einigen radiometrischen Grundgrößen	56
4.1.4	Lambert-Strahler	57
4.2	Oberflächenreflexion von Strahlung	58
4.3	Photometrisches Stereo	60
4.4	Beleuchtungsmodelle	62
4.5	Gradientenselektion und Herleitung der SSGM	63
5	Hardware-Realisierungen der SSGM	71
5.1	Sequentielle SSGM	71
5.2	Synchrone 3-Farb-SSGM	73
5.2.1	Die Verwendung einer Dreifarbbeleuchtung	73
5.2.2	Homogenisierung der Beleuchtung im Aufnahmebereich	77
5.2.3	Automatische Steuerung der Bildaufnahme	80
5.2.4	Der Ablauf der Bildaufnahme mit der 3-Farb-SSGM	86
5.2.5	Belichtungszeit	90
5.2.6	Kritische Anmerkungen	91
6	Bildverarbeitung der SSGM und 3-Farb-SSGM	93
6.1	Bilddatenverarbeitung der SSGM	93
6.1.1	Berechnung des Maximum- und Differenzenbildes	94
6.1.2	Segmentierung der Münze und Generierung eines normierten Bildes	94
6.1.3	Segmentierung des Prägebildes vom Bildhintergrund	96

6.1.4	Verifikation der 3D-Prägung	97
6.1.5	Berechnung des Unwarp-Bildes	98
6.1.6	Template-Matching	100
6.1.7	Klassifikation	103
6.2	Bilddatenverarbeitung der 3-Farb-SSGM	107
6.2.1	Gewinnung der Sektorbilder in der 3-Farb-SSGM	107
6.2.2	Maximum- und Scaled-Bild	108
6.2.3	Unwarp-Bild	110
6.2.4	Verwendete Merkmale	111
6.2.5	Template-Matching	115
6.2.6	Verifikation des 3D-Prägebildes im 3-Farb-SSGM	115
6.2.7	Klassifikation	119
7	Erweiterung der 3-Farb-SSGM	125
7.1	Grenzen der Durchmesserbestimmung	125
7.2	Optimierung der Hardware	129
7.2.1	Verbesserung der Bildschärfe in den drei Sektorbildern	129
7.2.2	Realisierung gleicher Grauwerte in Sektorbildern	130
7.3	Optimierung einzelner Softwaremodule	133
7.3.1	Modifikation der Entscheidungsfindung	134
7.3.2	Verbesserung der Präprozessierung für optimale Segmentierung der Münzen	135
7.3.3	Implementierung eines Ellipsenfits für Münzen	138
7.3.4	Unterdrückung von Welligkeit in Unwarp-Bildern	147
7.3.5	Klassifikationsvariationen zur Reduzierung der FRR	152
7.3.6	Optimierung des Template-Matching-Moduls	155
7.3.7	Neue Methode zur Verifikation des 3D-Prägebildes	164
8	Gesamtklassifikation der 3-Farb-SSGM	175
8.1	Ergebnisse	176
8.2	Kritische Bewertung	179
9	Zusammenfassung und Ausblick	183

A Ergänzungen	187
A.1 Technische Merkmale der Euro-Münzen	187
A.2 Datenflußschema der „CoinRec“-Software	188
A.3 2-Euro-Münzen im LED-Dreifarbbring	189
A.4 Übersicht: Grauwertmerkmale für 2-Euro-Münzen	190
A.5 Akzeptanzintervalle im 3-Farb-SSGM	192
A.5.1 Akzeptanzintervalle für 2-Euro-Münzen	192
A.5.2 Akzeptanzintervalle für 1-Euro-Münzen	194
A.5.3 Akzeptanzintervalle für 50-Cent-Münzen	195
A.5.4 Mindestmatchwerte für alle Euro-Münzen	197
A.6 Alle im 3-Farb-SSGM verwendeten Templates	198
A.7 In den SSGM-Aufbauten verwendete Bauteile	201
A.8 Abkürzungen	203
A.9 Eigene Publikationen und vom Autor betreute Arbeiten	205
Literaturverzeichnis	207
Abbildungsverzeichnis	217
Tabellenverzeichnis	221
Index	223