



Michael Hoßfeld (Autor)

# **Klassifikationssystem für Prägebildaufnahmen von Münzen**

Michael Hoßfeld

## **Klassifikationssystem für Prägebildaufnahmen von Münzen**



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2100>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung und Projekthistorie . . . . .	1
1.2	Aufbau der vorliegenden Arbeit . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Thematische Einleitung</b>	<b>9</b>
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
<b>3</b>	<b>Bildverarbeitungsgrundlagen</b>	<b>21</b>
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
<b>4</b>	<b>Theoretische Grundlagen der SSGM</b>	<b>51</b>
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
<b>5</b>	<b>Hardware-Realisierungen der SSGM</b>	<b>71</b>
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
<b>6</b>	<b>Bildverarbeitung der SSGM und 3-Farb-SSGM</b>	<b>93</b>
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
<b>7</b>	<b>Erweiterung der 3-Farb-SSGM</b>	<b>125</b>
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
<b>8</b>	<b>Gesamtklassifikation der 3-Farb-SSGM</b>	<b>175</b>
8.1	Ergebnisse . . . . .	176
8.2	Kritische Bewertung . . . . .	179
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>183</b>

<b>A Ergänzungen</b>	<b>187</b>
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
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>207</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>217</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>221</b>
<b>Index</b>	<b>223</b>