

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangspunkt der Arbeit . . . . .	3
1.2	Gliederung der Arbeit . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1	Digitale Bilddatenrestauration im Kontext inverser Probleme . . . . .	11
2.2	Mathematische Beschreibung des Bildrestaurationsproblems . . . . .	15
2.3	Analyse diskreter, schlecht gestellter Entfaltungsprobleme . . . . .	20
2.3.1	Problemcharakterisierung und -analyse durch Singulärwertzerlegung .	22
2.3.2	Alternative orthogonale Zerlegungen - die Spektralwertzerlegung . . .	30
2.3.3	Ill-posed-Charakter mehrstufiger Datenentstehungsmodelle . . . . .	34
2.3.4	Zusammenfassung . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Charakterisierung von Datenentstehungsprozessen</b>	<b>41</b>
3.1	Deterministische Modellierung von Datenentstehungsprozessen . . . . .	44
3.1.1	Beschreibung der Unschärfewirkung im Datenentstehungsprozess . . .	44
3.1.2	Die Rolle nichtlinearer, deterministischer Einflüsse im Datenentstehungsprozess . . . . .	58
3.1.3	Schlussfolgerungen für das Anwendungsszenario „Himmelsüberwachung“	60
3.2	Statistische Modellierung von Datenentstehungsprozessen . . . . .	64
3.2.1	Allgemeine statistische Beschreibung stochastischer Messunsicherheiten	66
3.2.2	Der Gauß-Prozess . . . . .	67
3.2.3	Der Poisson-Prozess . . . . .	68
3.2.4	Statistische Eigenschaften von Zufallsfeldern . . . . .	70
3.2.5	Die Rolle statistischer Modelle zur Bewertung von Lösungskonfigurationen . . . . .	73
3.2.6	Messunsicherheiten im Kontext inverser Probleme . . . . .	75
3.2.7	Schlussfolgerungen für das Anwendungsszenario „Himmelsüberwachung“	78

<b>4</b>	<b>Problemregularisierung &amp; Lösungsaufbaumodelle</b>	<b>85</b>
4.1	Regularisierungsansatz nach Tikhonov-Miller . . . . .	87
4.2	Systematischer Überblick zu Lösungsaufbaumodellen . . . . .	89
4.2.1	Deterministische Lösungsaufbaumodelle für astronomische Szeneninhalte . . . . .	95
4.2.2	Statistische Lösungsaufbaumodelle für astronomische Szeneninhalte . . . . .	99
4.3	Lösungsaufbaumodelle für das Anwendungsszenario „Himmelsüberwachung“ . . . . .	108
<b>5</b>	<b>Überblick zu Bildrestaurationsverfahren</b>	<b>113</b>
5.1	Direkte Ansätze zur regularisierten Problemlösung . . . . .	114
5.2	Indirekte Ansätze zur regularisierten Problemlösung . . . . .	119
5.3	Probabilistische Problembeschreibungen - Bayesscher Ansatz . . . . .	126
<b>6</b>	<b>Regularisierung durch freiheitsgradbeschränkte Lösungsaufbaumodelle</b>	<b>137</b>
6.1	Freiheitsgradbeschränkung als Regularisierungsprinzip . . . . .	137
6.2	Das Pixonen-Prinzip im Kontext Bayesscher Schätzverfahren - Occam's Razor . . . . .	144
6.3	Der generalisierte Maximum-Entropie-Prior - das uniforme Pixonen-Modell . . . . .	148
6.4	Das Prinzip des Lösungsaufbaus mit einem Fuzzy-Pixonen-Modell . . . . .	150
6.5	Die Pixonenmethode . . . . .	153
6.6	Freiheitsgradbeschränkte, vollständig parametrische Lösungsbeschreibungen . . . . .	161
6.6.1	Bayessche Ableitung der Signal-Modell-Paarungen des parametrischen Fuzzy-Pixonen-Modells . . . . .	162
6.6.2	Optimierungsfunktionale zur Bestimmung problemoptimaler, parametrischer Lösungskonfigurationen . . . . .	169
6.6.3	Das mehrstufige, zyklische Lösungsverfahren . . . . .	172
6.6.4	Erweitertes Fuzzy-Pixonen-Modell mit parametrischer Signalentkopplung . . . . .	190
6.6.5	Freiheitsgrad-regularisierte Entfaltung mit multivariaten pixonenbasierten Lösungsaufbaumodellen . . . . .	197
6.6.6	Realisierung einer kontinuierlichen Pixonenbasis aus approximierten Aufbauelementen . . . . .	210
6.6.7	Analyse der Verfahrenskomplexität . . . . .	222
<b>7</b>	<b>Restauration digitalisierter Fotoplatten des Sonneberger Archivs</b>	<b>233</b>
7.1	Einleitung . . . . .	233
7.2	Charakterisierung der Datengrundlage . . . . .	237
7.3	Das mehrstufige Datenentstehungsmodell der Sonneberger Plattendaten . . . . .	249
7.3.1	Deterministische Beschreibung der Datenentstehung . . . . .	253

7.3.2	Statistische Beschreibung der Datenentstehung . . . . .	265
7.3.3	Zusammenfassung . . . . .	273
7.4	Ergebnisse . . . . .	276
7.4.1	Restauration im Plattenrandbereich mit stark unsymmetrischem Punkt- bild . . . . .	277
7.4.2	Zentraler Plattenausschnitt mit variierender Sterndichte . . . . .	283
7.4.3	Fotometrische Bewertung des Restaurationsschrittes . . . . .	286
7.4.4	Freiheitsgradregularisiertes Denoising . . . . .	290
7.5	Anmerkungen zu Verfahrenslaufzeiten . . . . .	294
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>297</b>
<b>A</b>	<b>Gradienten der Optimierungsfunktionale</b>	<b>303</b>
A.1	$\Delta$ -Gradienten des parametrischen Fuzzy-Pixonen-Modells . . . . .	306
A.2	$O^S$ -Gradienten des parametrischen Fuzzy-Pixonen-Modells . . . . .	310
<b>B</b>	<b>Aufbauelemente parametrischer Fuzzy-Pixonen-Basen</b>	<b>313</b>
B.1	Elemente der gaußförmigen Fuzzy-Pixonen-Basis . . . . .	314
B.1.1	Univariate, rotationssymmetrische Aufbauelemente . . . . .	314
B.1.2	Multivariate, anisotrope Aufbauelemente . . . . .	318
B.2	Elemente der parabolischen Fuzzy-Pixonen-Basis . . . . .	321
B.2.1	Univariate, rotationssymmetrische Aufbauelemente . . . . .	321