

Pixonenbasierte Restaurierung digitalisierter Fotoplatten des Sonneberger Plattenarchivs

Dipl.-Ing. Rico Nestler
Technische Universität Ilmenau
FG Grafische Datenverarbeitung
Postfach 100565
D-98694 Ilmenau
E-Mail: rico.nestler@tu-ilmenau.de

Das Sonneberger Plattenarchiv...

- umfasst über 250000 fotografische Platten des nördlichen Sternhimmels aus den vergangenen 75 Jahren.
- war und ist damit eine wichtige Informationsquelle für die wissenschaftliche Arbeit an der Sternwarte Sonneberg und darüber hinaus.
- wird seit 1996 digitalisiert und elektronisch archiviert, um die aufgezeichnete astronomische Information zu bewahren.

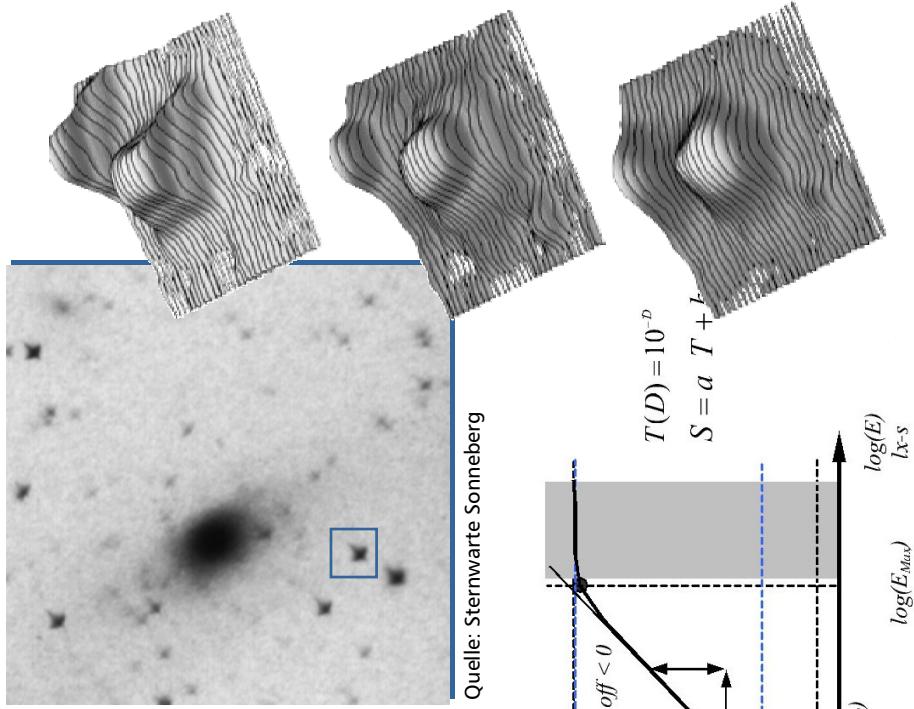
- ist in Bezug auf die primäre Bildentstehung sehr **heterogen**, da im Verlauf der Zeit eine Vielzahl optischer Instrumente und Fotomaterialien unter verschiedenen Bedingungen zum Einsatz gekommen sind.



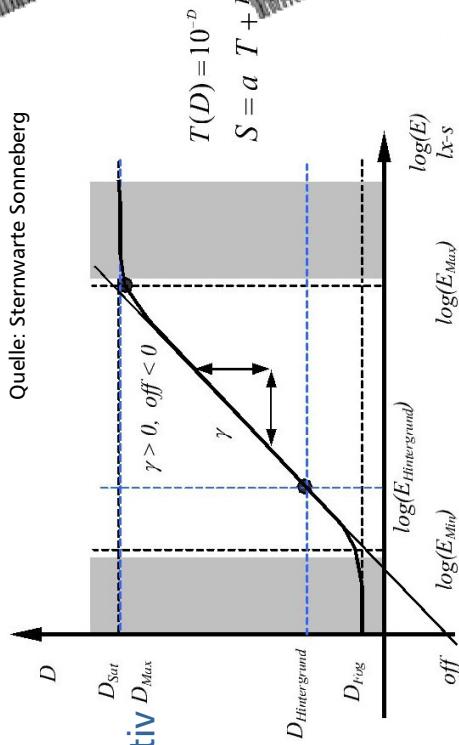
Damit ist das gescannte Bildmaterial für die weitestgehend automatische Analyse und für die Weitergabe nur bedingt geeignet.

Deterministische Einflüsse des optischen und scannenden Systems

- **geometrische Abbildungs- und Asymmetriefehler der Kameraoptik (Astigmatismus, Koma)**
- Verkippung der Plattennormalen gegenüber der optischer Achse
- **Unschärfe** durch begrenzte Öffnung des optischen Instrumentes sowie Relativbewegung zwischen Instrument und Objekt, atmosphärische Einflüsse, Unschärfe durch Unebenheit der Bildebene
- örtliche Auflösung (Filmkönnung) und Nichtlinearität des fotografischen Mediums
- Pixelapertur der Scanners
- **Vignettierung von Kamera- und Scannerobjektiv**

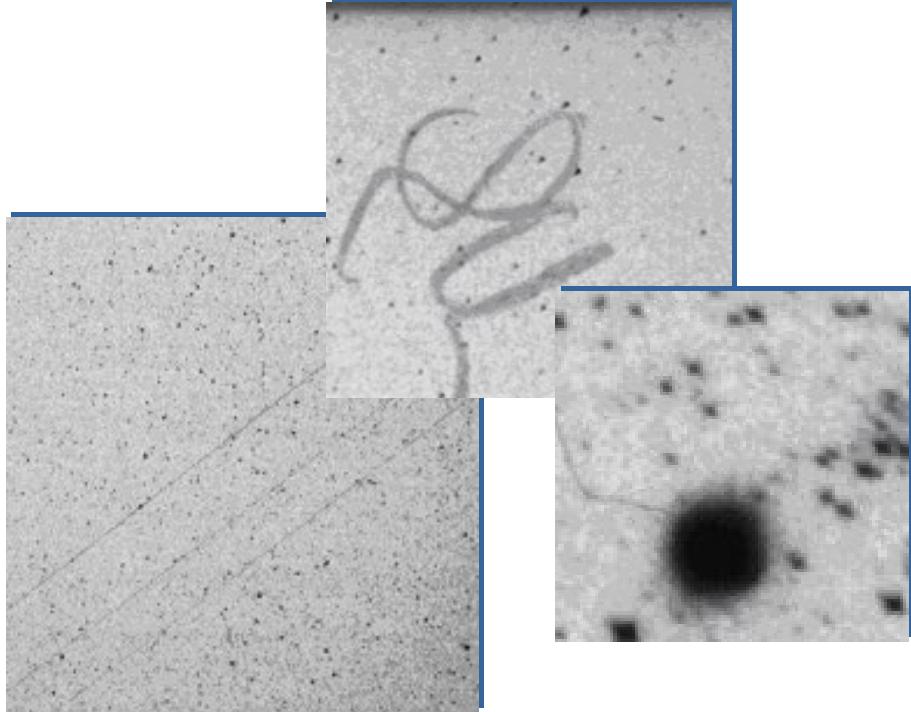


Quelle: Sternwarte Sonneberg



Stochastische Einflüsse

- **signalabhängig** - Poissonrauschen (Verteilung der auftreffenden Lichtquanten bei der fotografischer Bildentstehung, CCD-Ladungsträgergeneration) usw.
- **signalunabhängig, stationär** - zufällige bestrahlungsunabhängige Silberabscheidungen, Schwanungen der Filmkörnung, therm. Rauschen des signalverarbeitenden Systems, Quantisierungsrauschen usw.
- außerdem: nicht beschreibbare, auch deterministische Prozesse, die zu Dichteschwankungen des entwickelten Fotomediums führen (Diffusion, Alterungsprozesse, Empfindlichkeitsschwankungen)

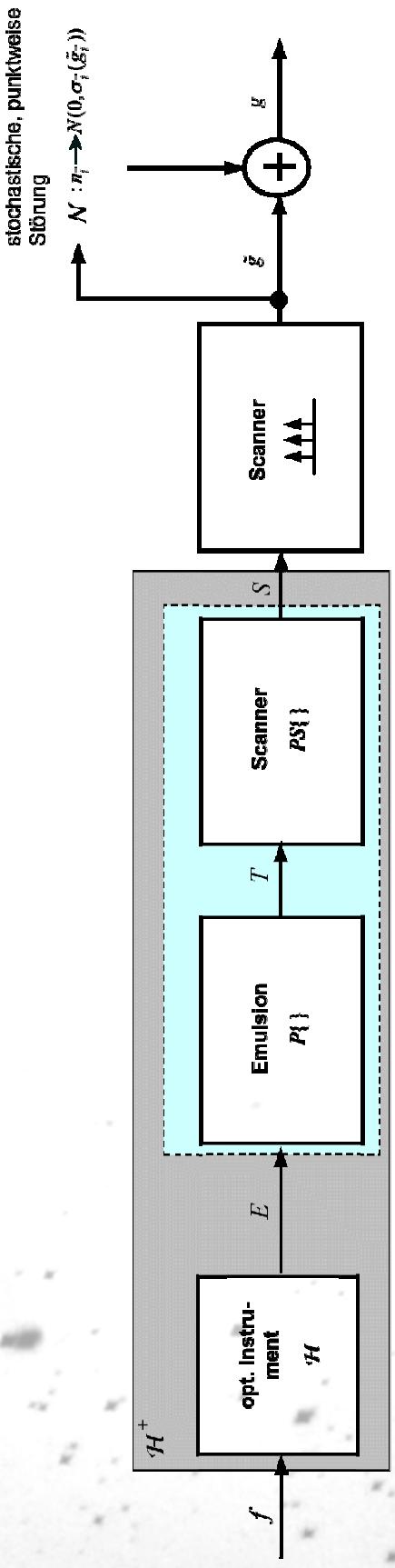


Sonstige (nicht restaurierbare) Einflüsse

- Kratzer, schnell bewegte nicht stellare Objekte, Sättigung der Fotoemulsion, Newtonsche Ringe, Emulsionserosion, Gebrauchsspuren, interne Reflexionen usw.

Quelle: Sternwarte Sonneberg

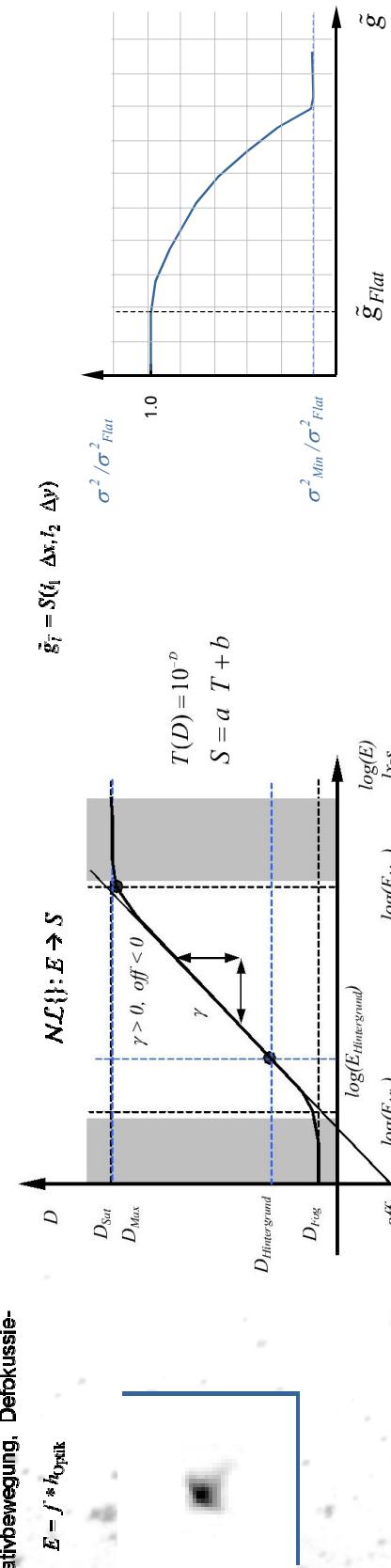
Das Bildentstehungsmodell



Beschreibung der örtlichen Verzerrung durch das optische Instrument, Atmosphäre, Relativbewegung, Detektionsu.a.m.
 $E = f * h_{\text{Optik}}$

Punktoperator zur Beschreibung des gesamten wertmäßigen Verzerrungseinflusses

Abitastung mit idealer Scannerapertur



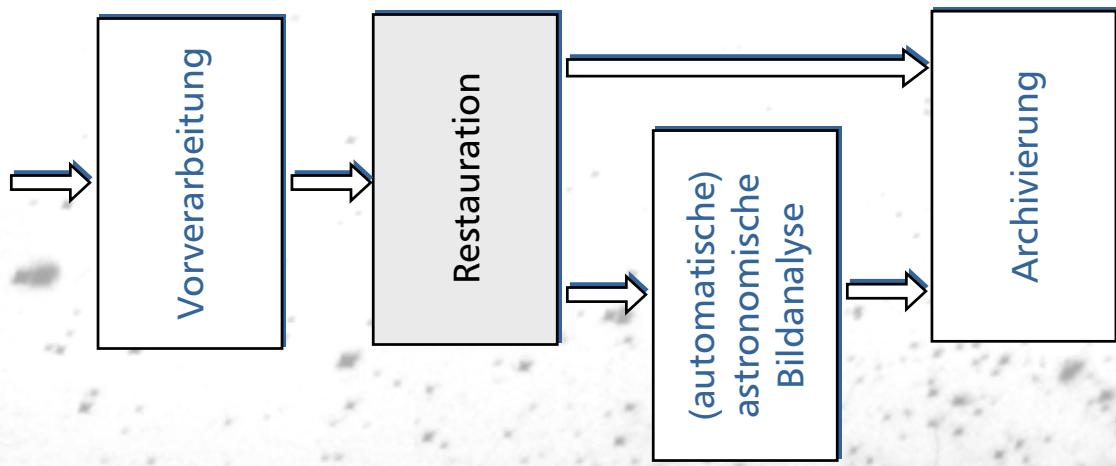
$$g_i = \mathcal{H}^+ \{f\}_{\bar{i}} \oplus n_{\bar{i}} = \mathcal{NL} \left\{ f * h_{\text{Optik}} \right\}_{\bar{i}} \oplus n_{\bar{i}}$$

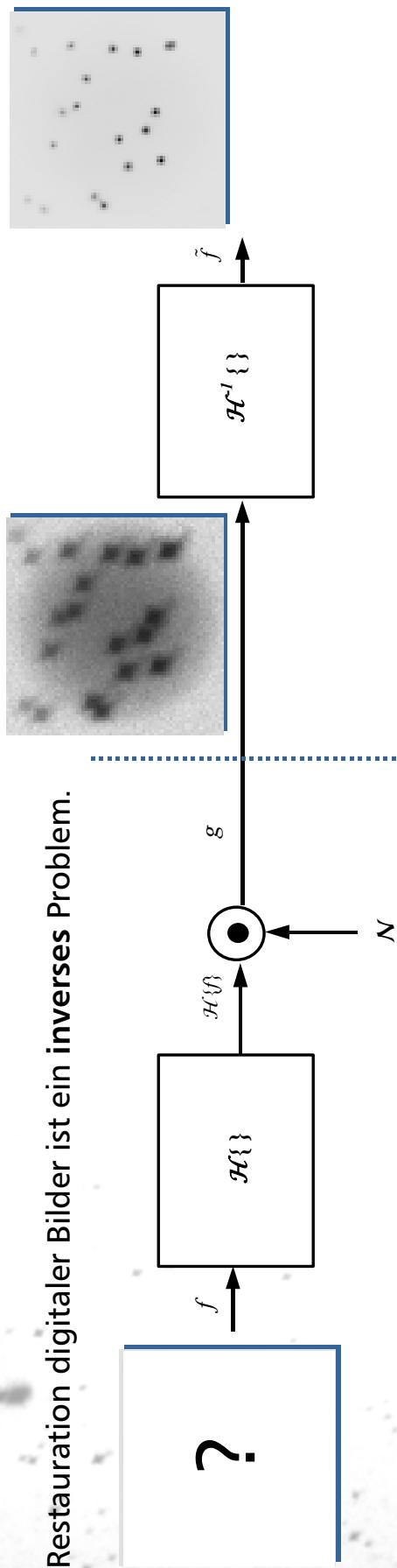
$$\mathcal{N} : n_i \rightarrow N(0, \sigma_i(\tilde{g}_i))$$

Zielstellungen des Restaurierungsschrittes

Zielstellungen des Restaurierungsschrittes

- Verringerung des unsymmetrischen, ortsvarianten Unschärfe-einflusses
 - Verbesserung der **Objektdefinition** in den restaurierten Bilddaten für die anschließende (automatische) Klassifikation und Analyse
 - Herabsetzung der Detektionschwelle für signalschwacher Objekte gegenüber dem „strukturlosen“ Hintergrund
- sowie
- Lösungsbeschreibung, die durch Einbeziehung der nichtlinearen Filmcharakteristik fotometrische Aussagen ermöglicht





Die Restaurierung digitaler Bilder ist ein **inverses Problem**.

Die Lösungsmenge ist im Fall von g überabzählbar und die schlechte Konditionierung der Operation $H^{-1}\{\cdot\}$ kann zu Restaurationsartefakten in der Lösung führen.

Regularisierung bietet die Möglichkeit, aus der Lösungsmenge die Lösung zu favorisieren, die den Randbedingungen am ehesten entspricht.



Die **Pixonenmethode** ist ein leistungsfähiger **Regularisierungsansatz** für inverse Probleme durch ein sehr flexibles **Modell zur Lösungsbeschreibung (Bildmodell)**.

Dieses Bildmodell passt den **Freiheitsgrad der Lösungsbeschreibung** an die in den Messdaten enthaltene Information an, so dass die **einfachste** und zugleich **datenkonsistente** Lösung gefunden wird.

Die Grundvorstellung des Pixonenbildmodells k ist es, **wenig informative** (strukturarme, signalschwache) Bildregionen mit **wenig, informative** Bildregionen mit entsprechend **vielen Freiheitsgraden** zu beschreiben.

Im Rahmen eines **Bayes'schen Schätzansatzes** fügt sich dieses Bildmodell als Bestandteil des sogenannten **Bild-Modell-Paars** bzw. -**Priors** ein.

$$P(\tilde{f}, k | g) = \frac{P(g | \tilde{f}, k) \cdot P(\tilde{f}, k)}{P(g)}$$

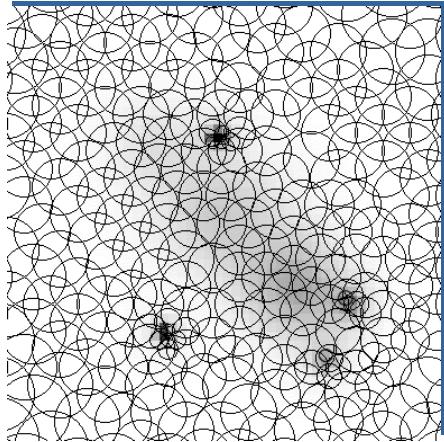
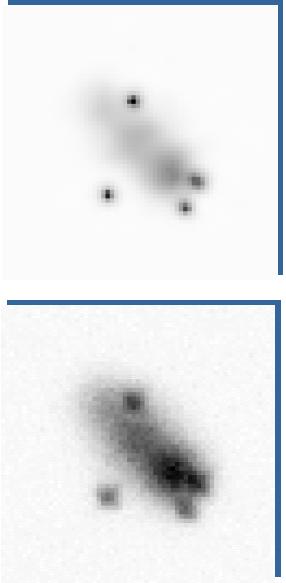
Das **Fuzzy-Pixonen-Modell** ist eine Realisierung, die das Pixonenprinzip im **Definitionsbereich der Daten** umsetzt. Durch sich überlappende Bildelemente (**Pixonen®**), deren Gestalt variabel ist, werden die Freiheitsgrade der Lösungsbeschreibung (DOF) herabgesetzt.



Die \tilde{f} Lösung setzt sich aus einem „**Pseudo“bild**, dass **lokal** mit einer zu gehörigen **Bildelementefunktion** gefaltet wird.

- Signalverteilung des Pseudobildes $f^p : \{f_i^p\}_{\vec{i}}$
- Verteilung der Parameter der Bildelementefunktion $k : \{\underline{\delta}_{\vec{i}}\}$

$$\tilde{f}_{\vec{i}} = (f^p * k(\underline{\delta}_{\vec{i}}))_{\vec{i}}$$



$$\begin{aligned} \left\{ f^p, k \right\}_{\bar{i}} &: \quad \max_{f^p, k} \left\{ P(f^p, k \mid g) \propto P(g \mid f^p, k) \cdot P(k) \right\} \\ &\qquad\qquad\qquad\text{Likelihood} \\ &\qquad\qquad\qquad\text{Pixon-Prior} \\ &\qquad\qquad\qquad\Downarrow \\ &\min_{f^p, k} \left\{ -\log(P(f^p, k \mid g)) = -L_\chi(g, \mathcal{H}\{f\}, \mathcal{N}, \dots) - L(f) - L(k, \dots) \right\} \end{aligned}$$

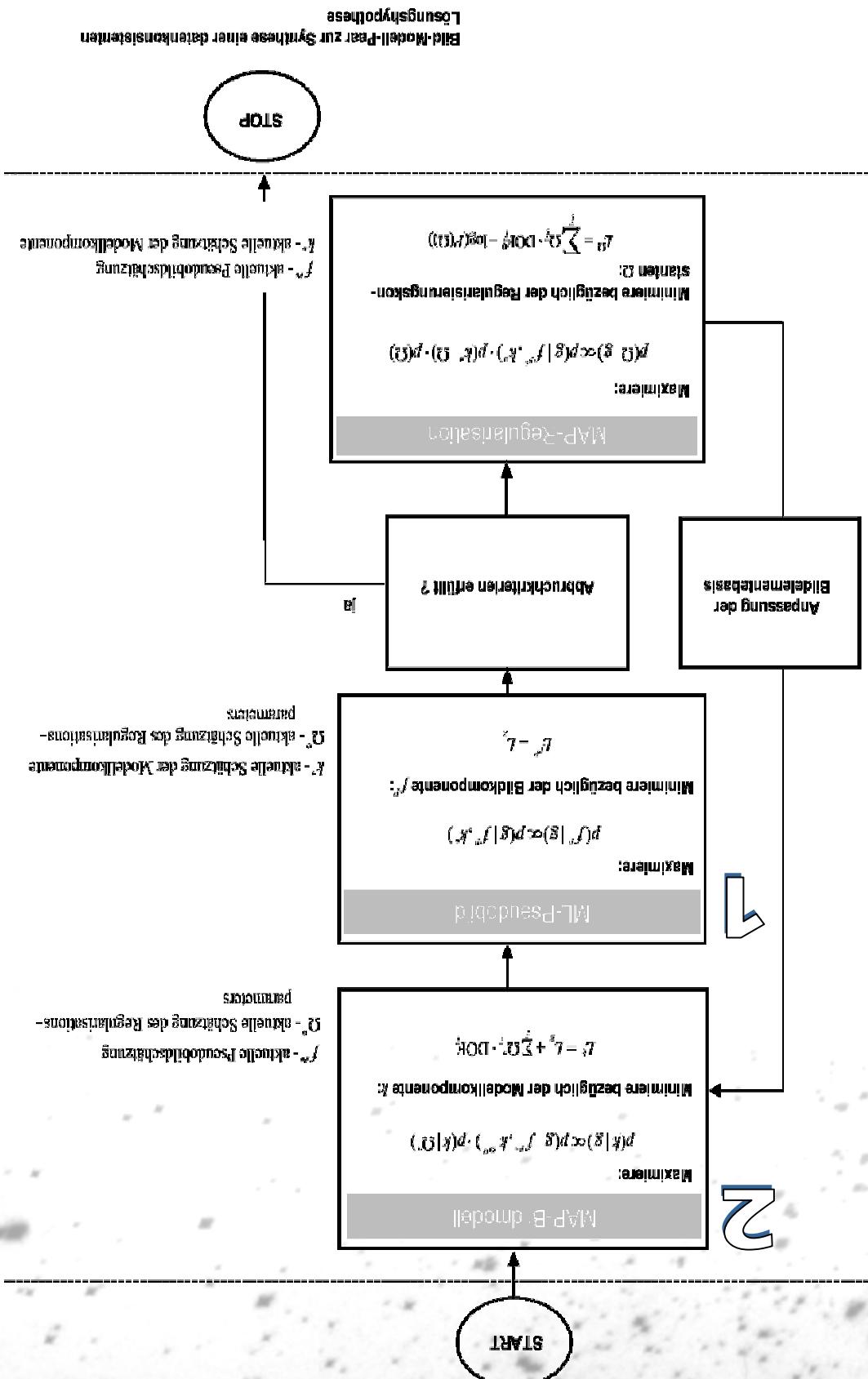
Schrittweises Annähern an das gesuchte globale Minimum durch **Partial Annealing**.
Grundlage sind die Randverteilungen der Komponenten der a-posteriori-Wahrscheinlichkeit im aktuellen Schritt.

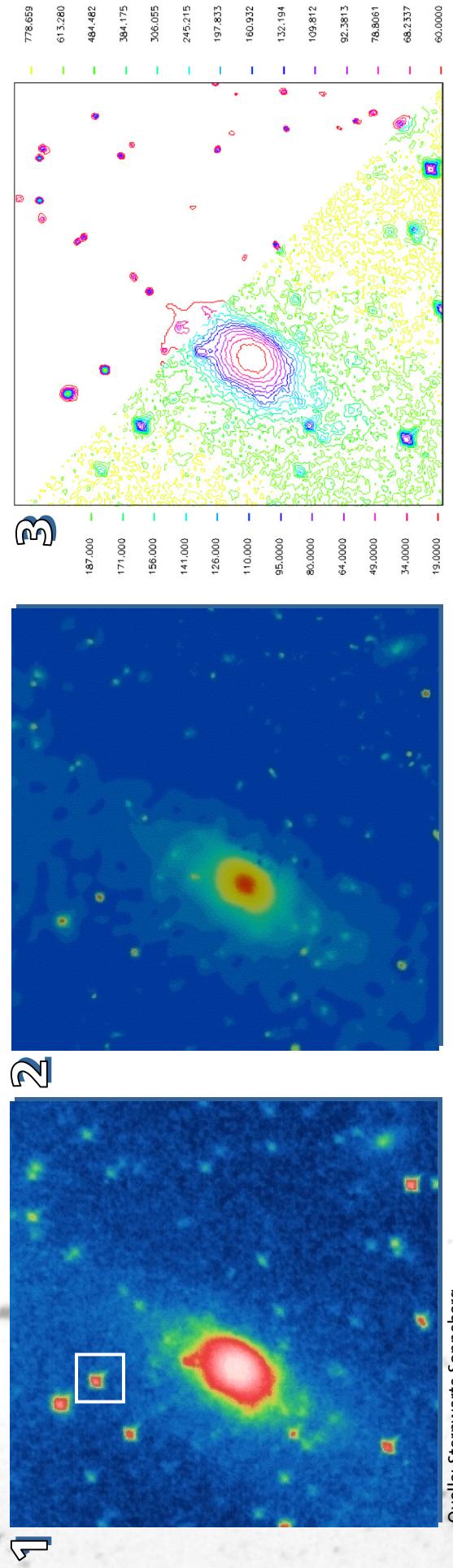
$$P(f^p, k=0 \mid g) \rightarrow P(f^p \mid g) \rightarrow -L_\chi$$

 Iterative Anpassung der Signalverteilung, so dass für das gegebene Bildmodell die datenkonsistenteste Schätzung ermittelt wird.

$$P(f^p = f^{p0}, \mathbf{k} | g) \rightarrow P(\mathbf{k} | g) \rightarrow -L_x + \sum_{\vec{i}} \Omega_{\vec{i}} \cdot \text{IDOF}(\underline{\delta}_{\vec{i}})_{\vec{i}}$$

2 Iterative Anpassung der lokalen **Bildelementegrößen** an den Strukturgehalt der Lösung über die Bewertung des Residuums (DOF) und des effektiven, pixelbezogenen Freiheitsgrades (DOF).





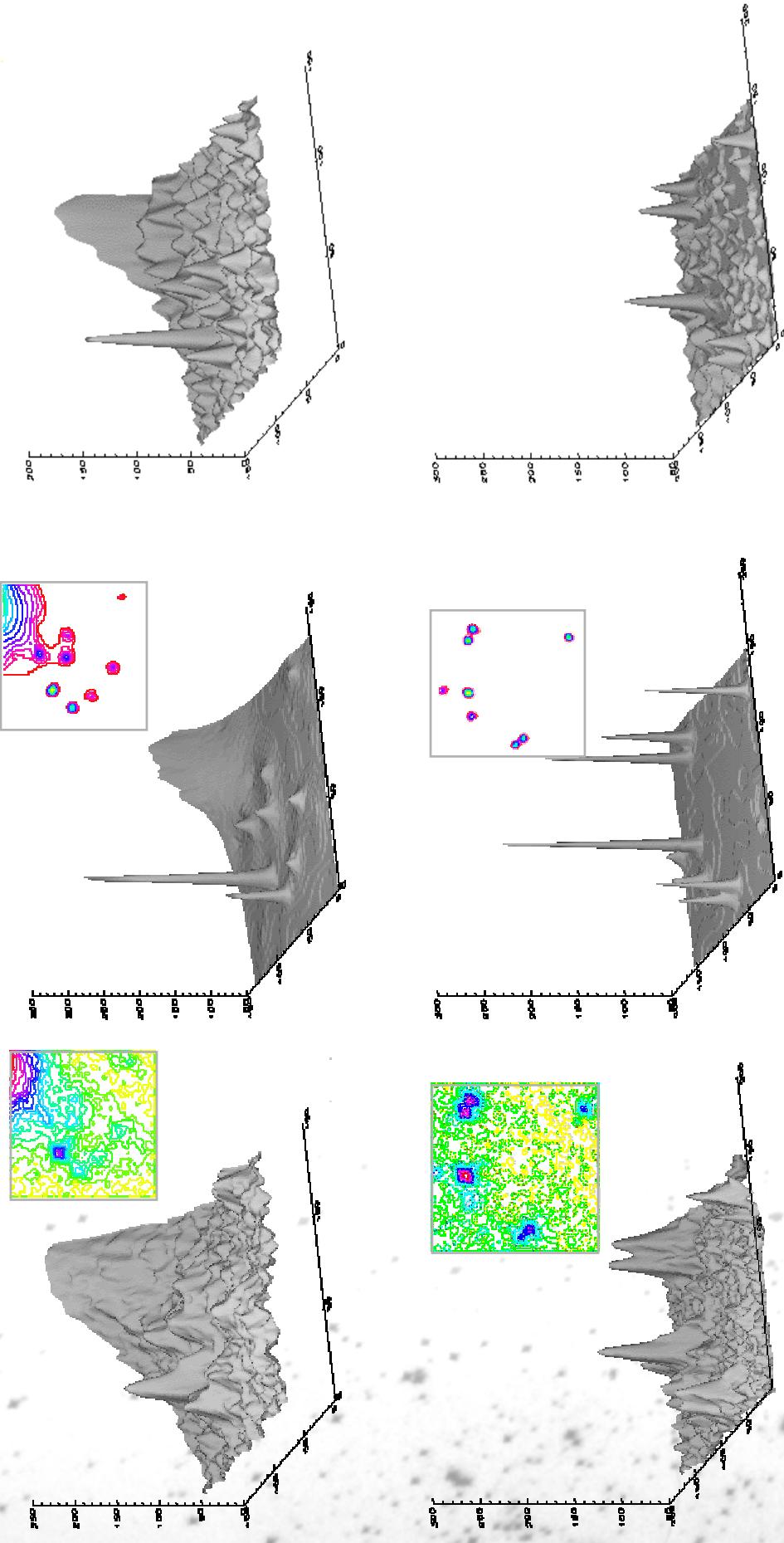
1 M31-Testregion (Plattenrandbereich) mit starkem Astigmatismus

2 Restaurationsergebnis in Falschfarbdarstellung

3 Originale und restaurierte Bildinhalte in Konturdarstellung
4 Darstellung der Parameterverteilung der lokalen Bildelemente

Beispielregion M31 - Details

ML-Verfahren



Für die Sonneberger Plattsammlung

Erhöhung des wissenschaftlichen Wertes durch Restaurierung

- genauere und völlig neue Ergebnisse für eine Vielzahl astrometrischer und fotometrischer Messaufgaben auf der Grundlage ausgewählter restaurierter Plattenregionen
- Einsatz kommerzieller Analysetools statt Eigenentwicklungen möglich

Bezogen auf den pixonenbasierten Restaurationsansatz

Anwendungsbereiche überall dort

- wo stark gestörtes, unvollständiges Bildmaterial vorliegt
- und
- die notwendige Verfahrenslaufrzeit in Hinblick auf das erzielbare hochqualitative Ergebnis toleriert werden kann

→ **Bildgebende Verfahren in der Medizin**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dieser Beitrag dokumentiert Ergebnisse des vom Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur (TMWFK) geförderten Projektes „Digitale Bildverarbeitung von astronomischen Himmelsüberwachungsaufnahmen des Sonneberger Archivs“.

Weitere Infos unter
<http://www.zbs-ilmenau.de/restoration.html>