Interdisziplinäre Ideen in der Bildverarbeitung

Joachim Weickert
Fakultät für Mathematik und Informatik
Universität des Saarlandes

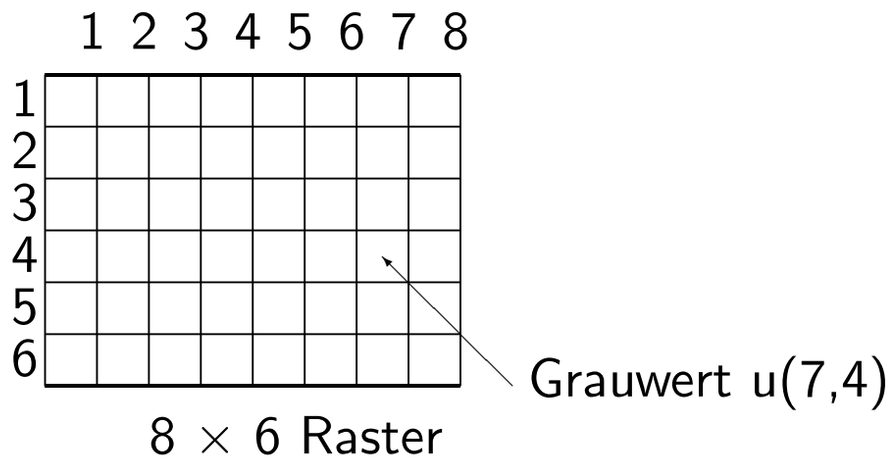
Vortrag im Internet:

www.mia.uni-saarland.de/weickert/ringinf.pdf

Überblick

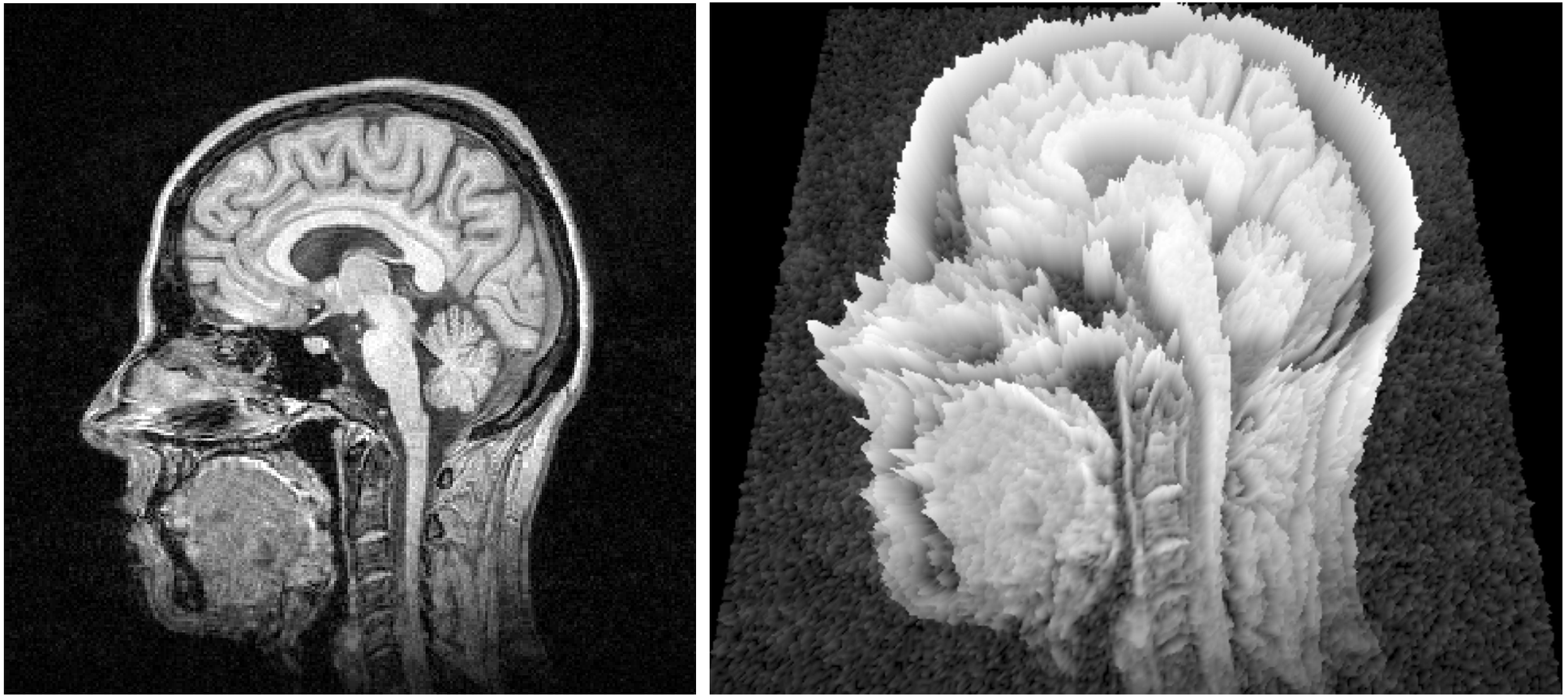
1. Grundlagen: digitales Bild, Bildverarbeitung
2. Ein physikalischer Glättungsvorgang: Diffusion
3. Diffusion in der digitalen Bildverarbeitung
   - Homogene Diffusionsfilter
   - Kantenerhaltende Diffusionsfilter
   - Linienerhaltende Diffusionsfilter
4. Diffusion im Computer-Vision-Bereich
   - Bewegungsanalyse in Bildfolgen
   - Stereorekonstruktion
5. Zusammenfassung
6. Unsere Forschungsthemen

Was ist ein digitales Bild ?



- Pixelraster aus Zeilen und Spalten
- jedem Pixel dieses Rasters ist ein Grauwert zugeordnet
- Auge kann nur rund 40 Grautöne unterscheiden
- digitale Grauwertbilder verwenden oft $2^8 = 256$ Graustufen
- Graustufen werden mit ganzen Zahlen von 0 (ganz schwarz) bis 255 (ganz weiß) kodiert (8–Bit Grauwertskala). Es genügt daher ein Byte zum Abspeichern eines Grauwerts.
- Farbwerte werden durch 3 Bytes kodiert (rot, grün, blau).

Bilder als Grauwertgebirge



(a) Links: Grauwertbild mit 256×256 Pixeln. (b) Rechts: Darstellung als Grauwertgebirge

- Bilder sind für uns Grauwertgebirge
- je heller, desto höher
- kann man als Funktion $f(x, y)$ über einem rechteckigen Bildbereich auffassen

Bildverarbeitungsproblem: Rauschen

- Aufgabe der Bildverarbeitung ist es, aus einem schlecht interpretierbaren Digitalbild ein neues Bild zu gewinnen, das vom Menschen oder einem Computer besser interpretiert werden kann.
- zu unterscheiden von Bildbearbeitung: Künstlerisch–spielerischer Umgang mit Mal- und Effektprogrammen wie Adobe Photoshop
- Typisches Bildverarbeitungsproblem: Entrauschen
- Rauschen äußert sich in Grauwertschwankungen.
- Wie kann man solches Rauschen mit dem Computer entfernen ?
- Hierzu betrachten wir einen physikalischen Glättungsprozess

Ein physikalischer Glättungsvorgang

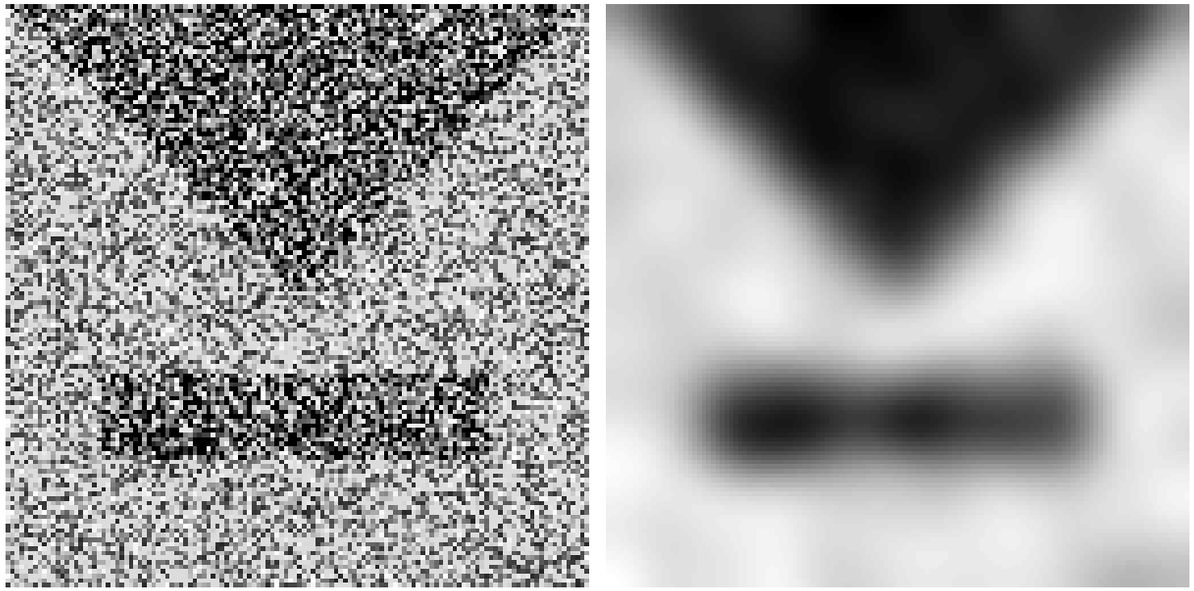
- Es gibt in der Natur Transportvorgänge, die eine ausgleichende, glättende Wirkung haben.
  Beispiel: Diffusion gleicht Konzentrationsunterschiede aus.

- Diffusion gehorcht einer mathematischen Gleichung, die Beziehungen zwischen zeitlichen und räumlichen Ableitungen der Konzentrationsverteilung $u(x,t)$ vorschreibt. In 1D:
  $$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k\,\frac{\partial u}{\partial x}\right)$$
  Die Diffusivität k gibt die Geschwindigkeit des Ausgleichsvorgangs an.
  Aus der Konzentrationsverteilung $u(x,t)$ zur Zeit $t=0$ kann man die Verteilung zu späteren Zeiten berechnen.

- Die Diffusionsgleichung ist so kompliziert, dass sie normalerweise auf dem Computer angenähert werden muss.
  Typische Algorithmen simulieren die Diffusion durch eine Abfolge von kleinen Zeitschritten.
  In jedem Schritt werden die Konzentrationen an den Punkten eines regelmässigen Gitters aus den Konzentrationen des vorherigen Zeitschrittes berechnet.
  Hierzu muss man z. B. ein sehr großes Gleichungssystem lösen (so viele Unbekannte wie Gitterpunkte).

Diffusion in der Bildverarbeitung

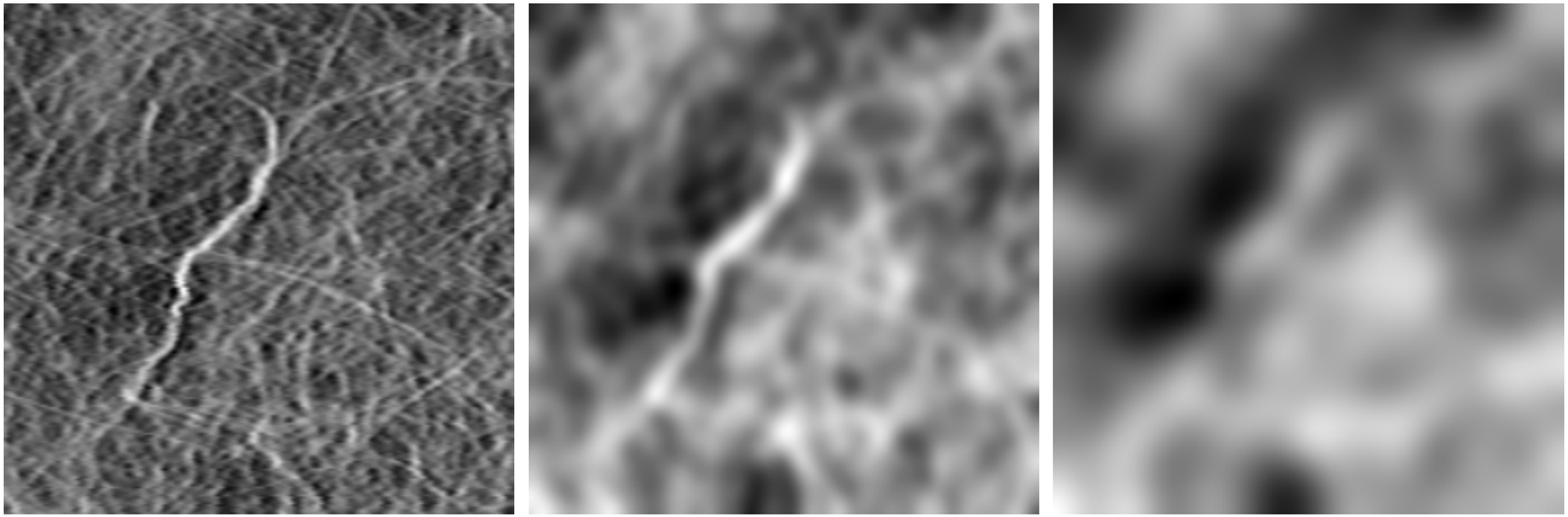
- Diffusion kann auch zum Glätten von Grauwertbildern verwendet werden.
- Hierzu fasst man den Grauwert als Konzentration auf.
- Der diffusive Konzentrationsausgleich wird zur Grauwertdiffusion, die Rauschen entfernt.
- Dieser Glättungsprozess kann noch durch die Wahl einer geeigneten Diffusivität beeinflusst werden.



(a) Links: Verrauschtes Testbild mit 128×128 Pixel. Es wurden 70 % aller Pixel durch Zufallswerte ersetzt. (b) Rechts: Diffusionsfilterung zur Zeit $t = 18$.

Anwendungsbeispiel für Diffusionsfilter

- Zur computergestützten Qualitätskontrolle in der Spinnvliesproduktion möchte man die Wolkigkeit des Materials visualisieren.
- Dies ist durch die Anwendung diffusionsartiger Algorithmen in Echtzeit möglich.



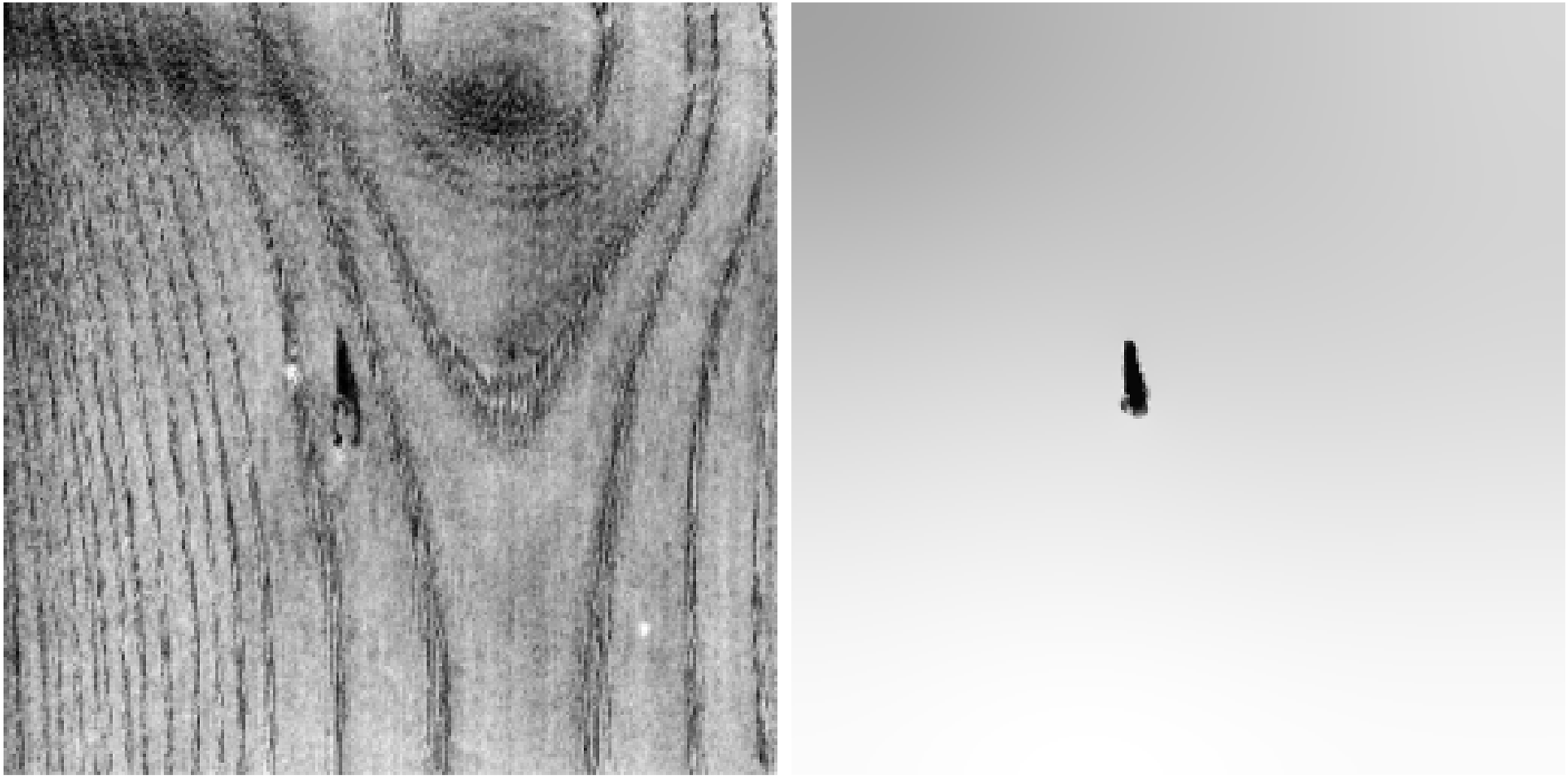
Diffusionsfilterung zur Darstellung der Wolkigkeit von Spinnvlies. Von links nach rechts: $t = 0$, $t = 16$, $t = 64$. Die Bildgröße beträgt 256×256 Pixel.

Kantenerhaltende Diffusion

- Die bisherigen Diffusionsfilter verwendeten konstante Diffusivität
- zerstören auch wichtige Strukturen wie z.B. Bildkanten
- Verwendet man eine Diffusivität, die die Diffusion an den Kanten (d.h. an hohen Grauwertsprüngen) hemmt, so erhält man einen nichtlinearen Diffusionsfilter, der Kanten berücksichtigt.

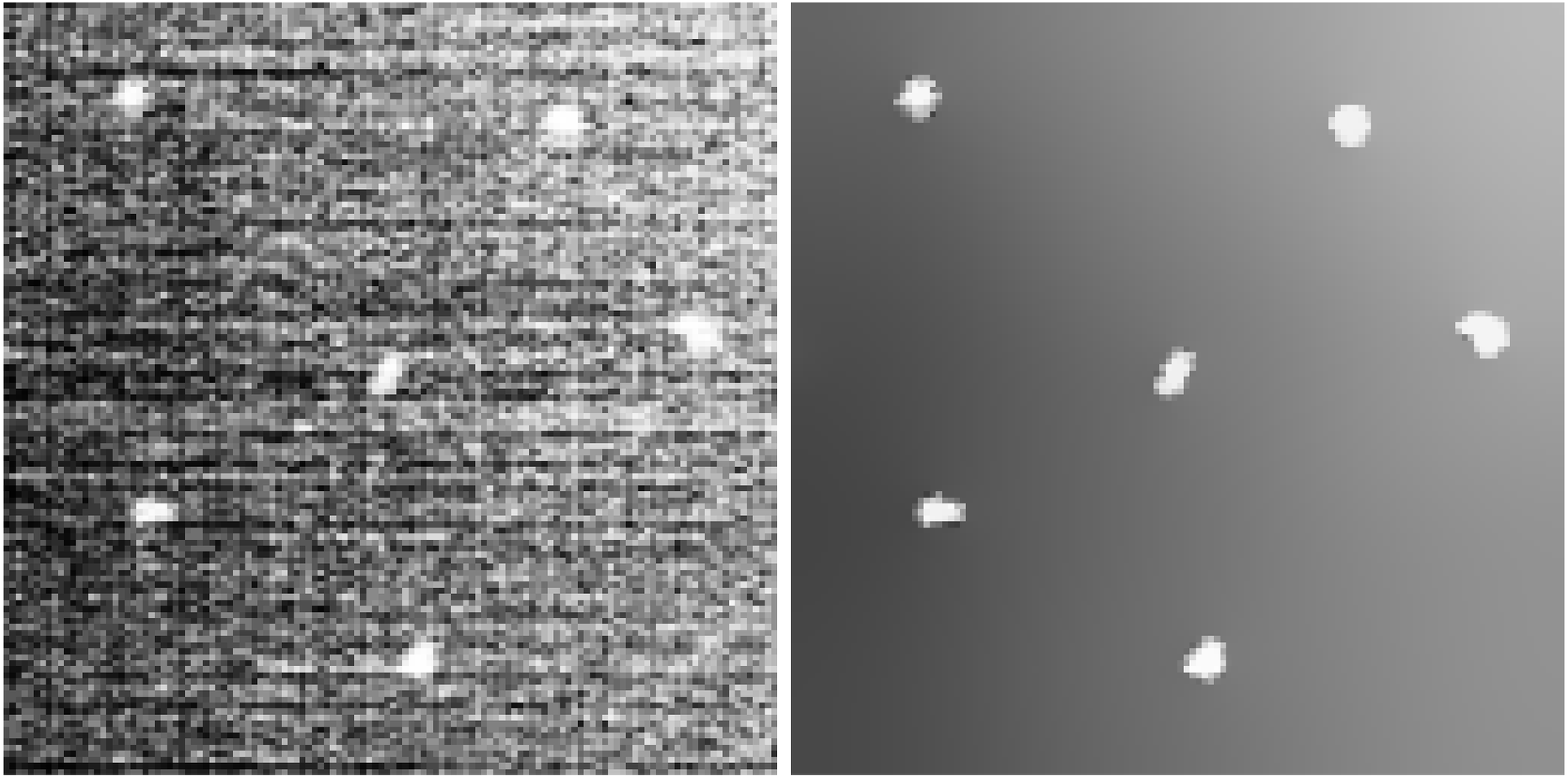
(a) Links: "Ansicht von Venedig" von Canaletto, National Gallery of Art, Washington, um 1740, 510×353 Pixel. (b) Rechts: Kantenerhaltende Diffusionsfilterung.

Kantenerhaltende Diffusion: Anwendungsbeispiel



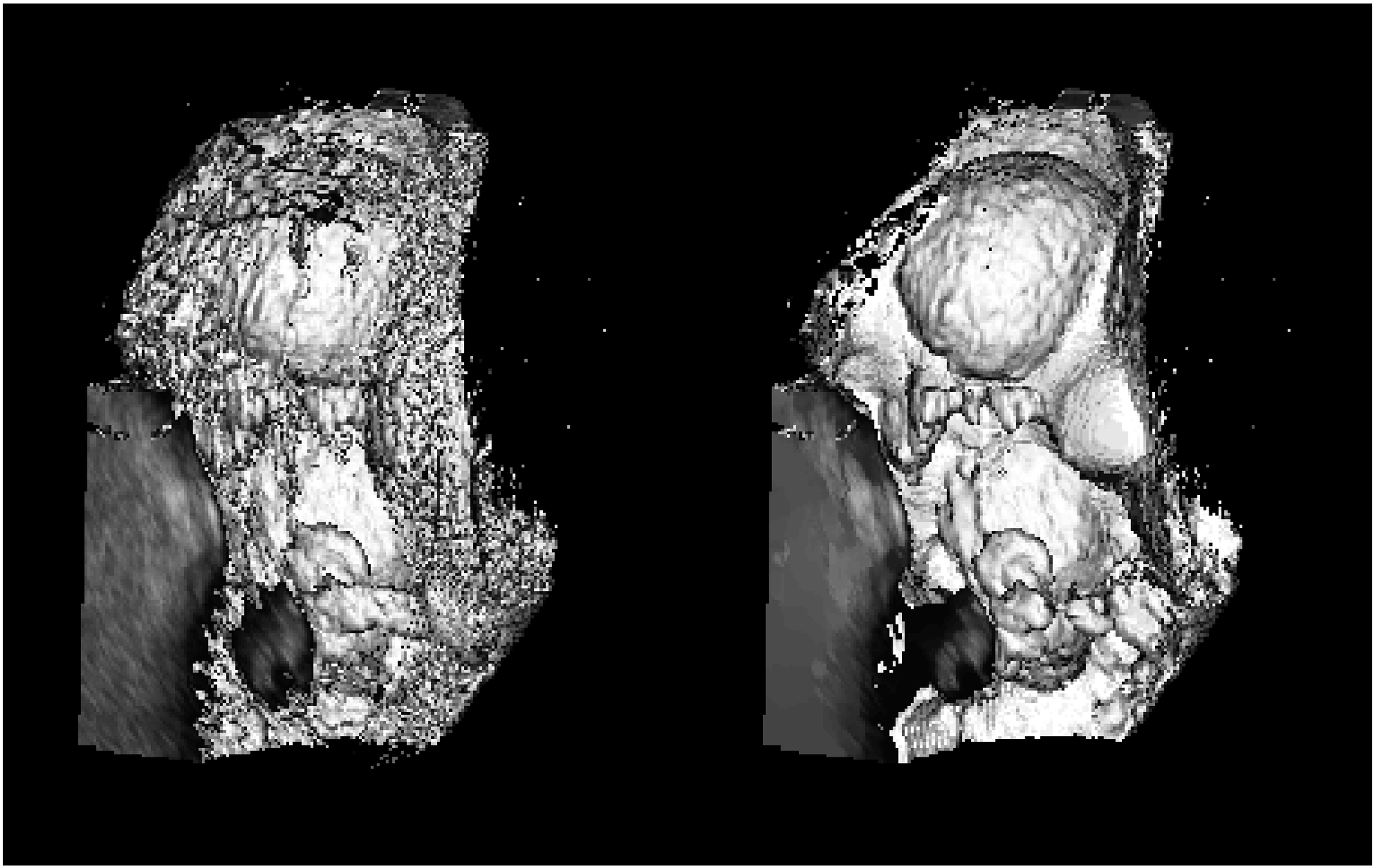
Defektdetektion bei Holzoberflächen. (a) Links: Holzoberfläche, 256×256 Pixel. (b) Rechts: Kantenerhaltende Diffusion macht den Defekt sichtbar.

Kantenerhaltende Diffusion: Anwendungsbeispiel



Diffusionsfilterung in der Mammographie. (a) LINKS: Ausschnitt eines Mammogramms (Röntgenaufnahme der weiblichen Brust), 128×128 Pixel. Die weißen Strukturen sind kleine Verkalkungen, die bei der Entstehung von Brustkrebs eine wichtige Rolle spielen. (b) RECHTS: Kantenerhaltende Diffusion macht die Verkalkungen besser sichtbar.

Kantenerhaltende Diffusion: Anwendungsbeispiel



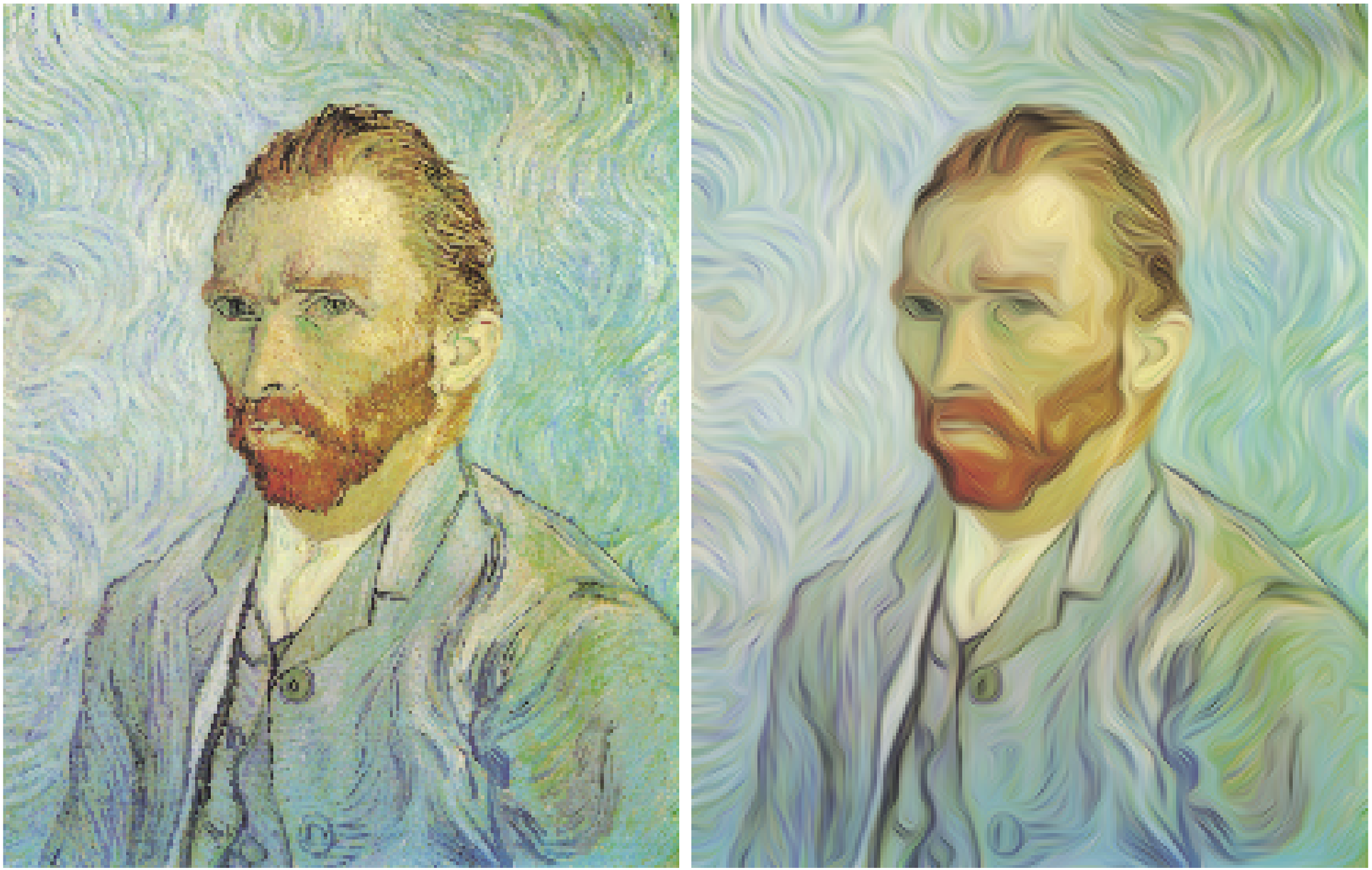
Dreidimensionale Ultraschallaufnahme eines 10 Wochen alten Fötuses. LINKS: Originalbild, $138 \times 208 \times 138$ Voxel. RECHTS: Kantenerhaltende Diffusionsfilterung.

Linienerhaltende Diffusion

- Man kann den Diffusionsprozess sogar so verfeinern, dass die Stärke der Diffusion auch noch von der Richtung abhängt.
- Damit kann man dann linienartige Strukturen herausarbeiten.

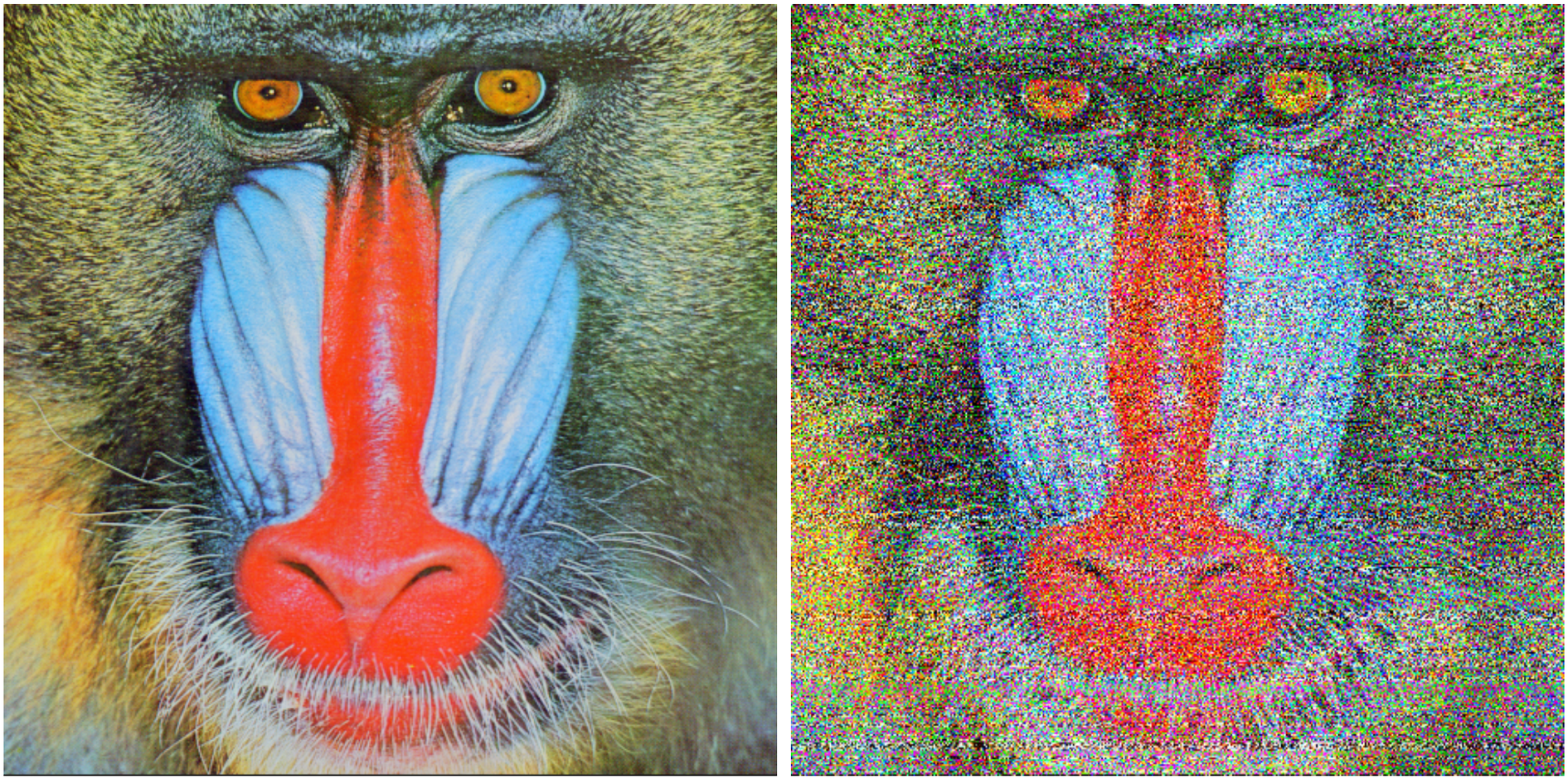
Aufbereitung eines Fingerabdrucks. (a) Links: Originalbild, 256×256 Pixel. (b) Rechts: Linienerhaltende Diffusionsfilterung.

Linienerhaltende Diffusion: Anwendungsbeispiel



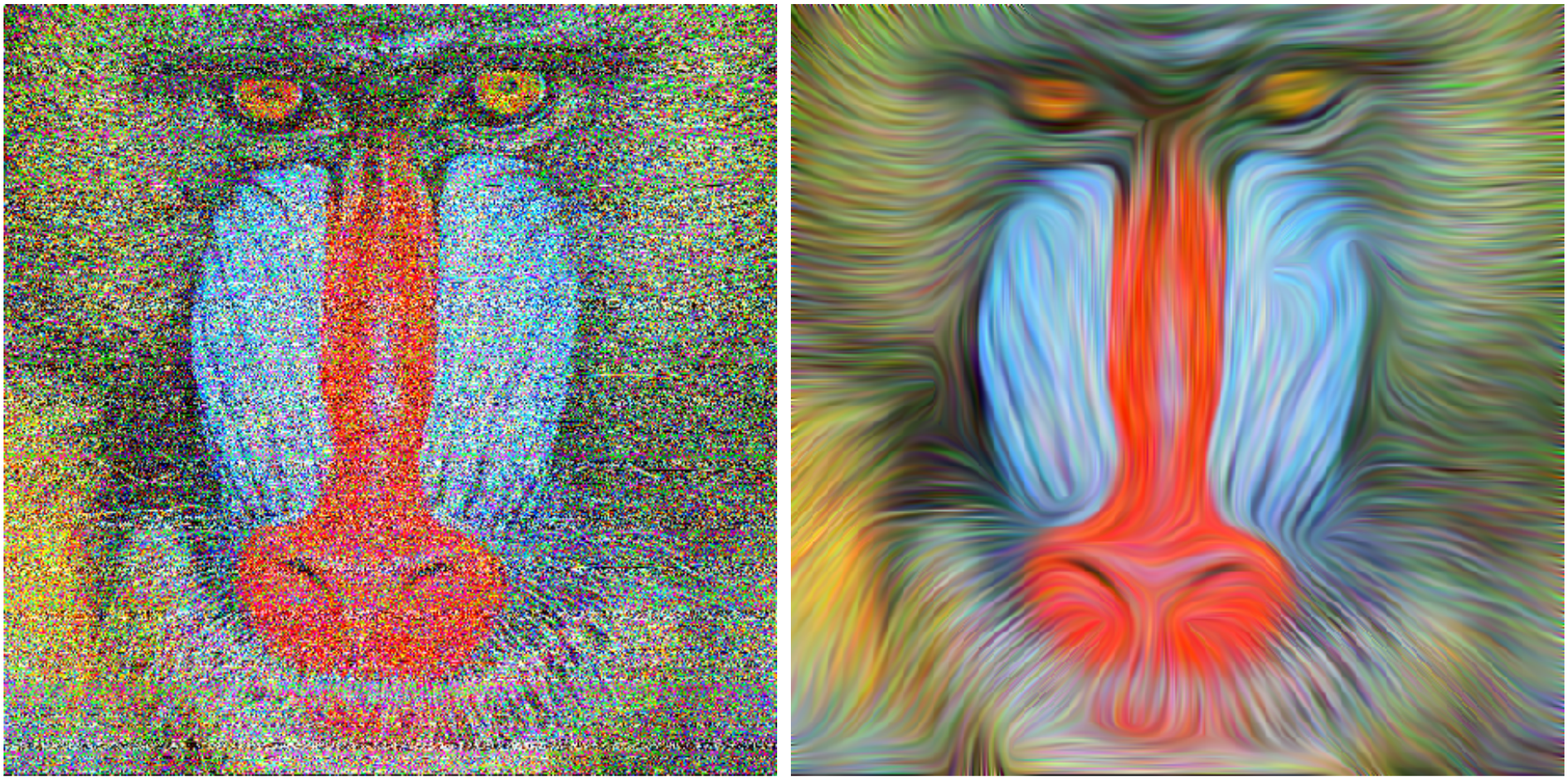
(a) Links: Selbstportrait (van Gogh, Saint-Rémy, 1889; Paris, Museé d'Orsay). 215×275 Pixel. (b) Rechts: Linienerhaltende Diffusion.

Linienerhaltende Diffusion: Anwendungsbeispiel



(a) Links: Pavian, 512×512 Pixel. (b) Rechts: Stark verrauscht.

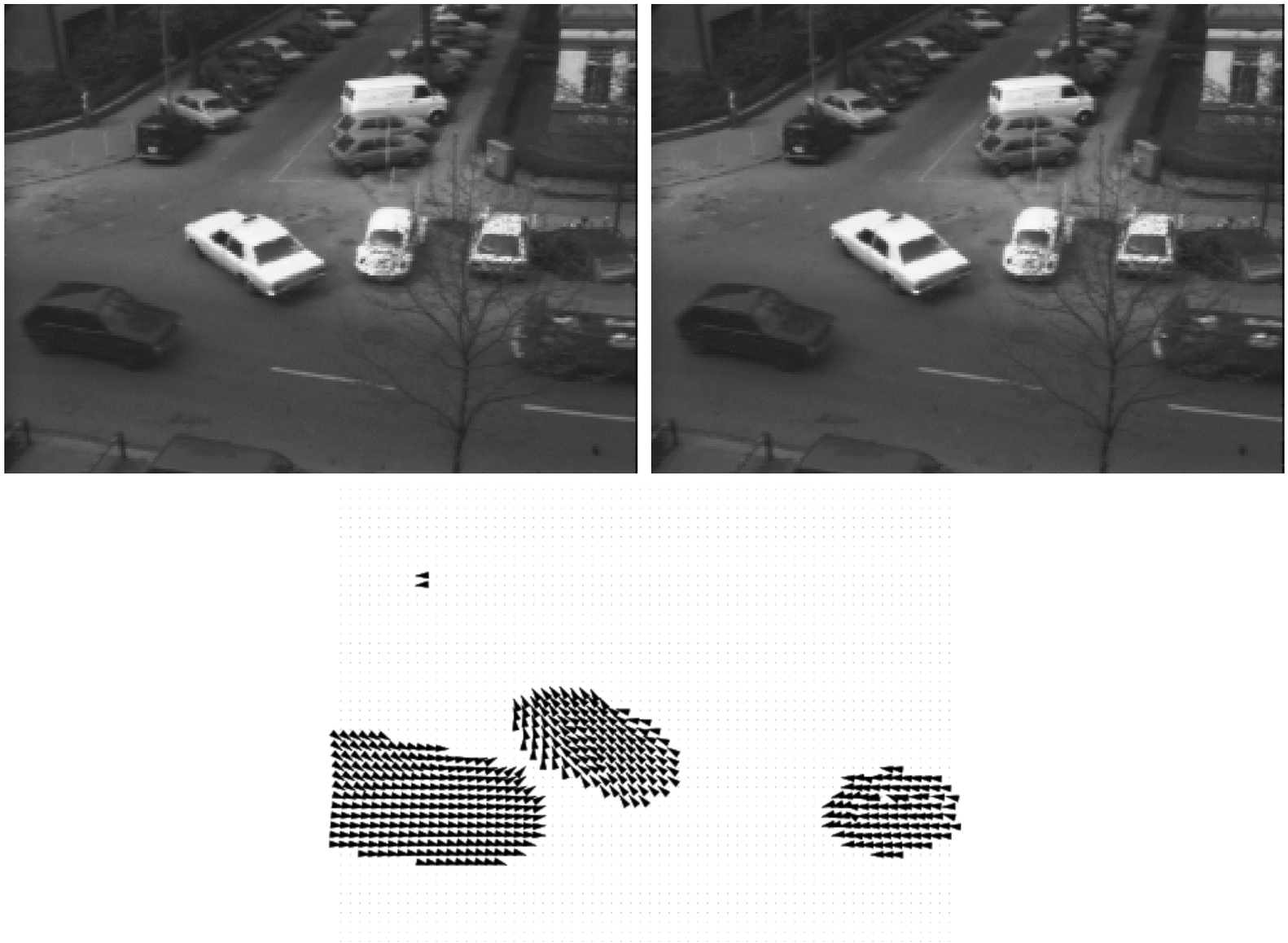
Linienerhaltende Diffusion: Anwendungsbeispiel



Linienerhaltende Diffusionsfilterung. (a) Links: Verrauschter Pavian, 512×512 Pixel. (c) Rechts: Linienerhaltende Diffusion.

Diffusion im Computer-Vision-Bereich

- Im Computer-Vision-Bereich will man aus 2D Daten Informationen über eine 3D Welt gewinnen
- Beispiele:
  - Bewegungsanalyse in Bildfolgen
  - Stereorekonstruktion
- mathematisch schlecht gestelltes Problem:
  i.A. keine Eindeutigkeit
- Eindeutigkeit möglich durch zusätzliche Glattheitsannahmen
- lassen sich durch Diffusionsprozesse realisieren

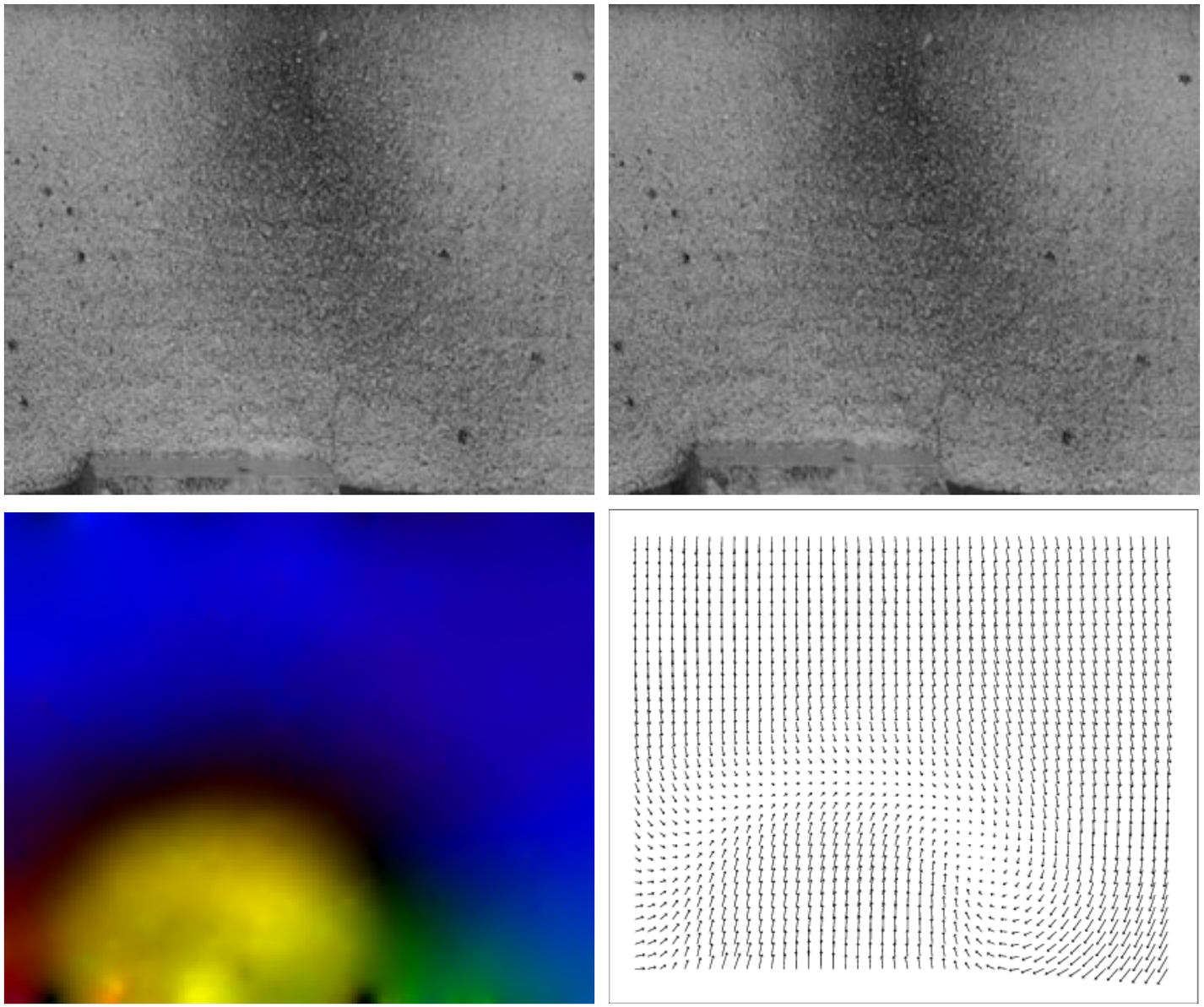


(a) Oben links: Bild 10 der Hamburger Taxisequenz. (b) Oben rechts: Bild 11. (c) Unten: Verschiebungsvektorfeld mit einem diffusionsbasierten Algorithmus.

Vergleich mit anderen Verfahren

Verfahren	mittl. Winkelfehler	Dichte
Lucas & Kanade T	4.98°	32.1 %
Singh (step 2)	6.18°	77.6 %
Horn & Schunck MT	6.62°	46.3 %
Uras et al. T	6.93°	54.2 %
Proesmans et al.	7.41°	100.0 %
Singh (step 1)	7.87°	81.2 %
Lucas & Kanande	8.93°	74.1 %
Horn & Schunck M	9.24°	74.1 %
Uras et al.	10.19°	77.6 %
Anandan T	10.58°	53.7 %
Lucas & Kanade MT	11.17°	27.7 %
Anandan	11.63°	77.6 %
Camus (3 images)	13.69°	100.0 %
Horn & Schunck T	14.67°	76.7 %
Camus (15 images)	14.73°	100.0 %
Weickert & Schnörr	4.85°	100.0 %

Resultate für eine synthetische Bildsequenz von Galvin et al. (1998). Ein gutes Verfahren sollte einen möglichst kleinen mittleren Winkelfehler und ein möglichst dichtes Verschiebungsvektorfeld aufweisen.

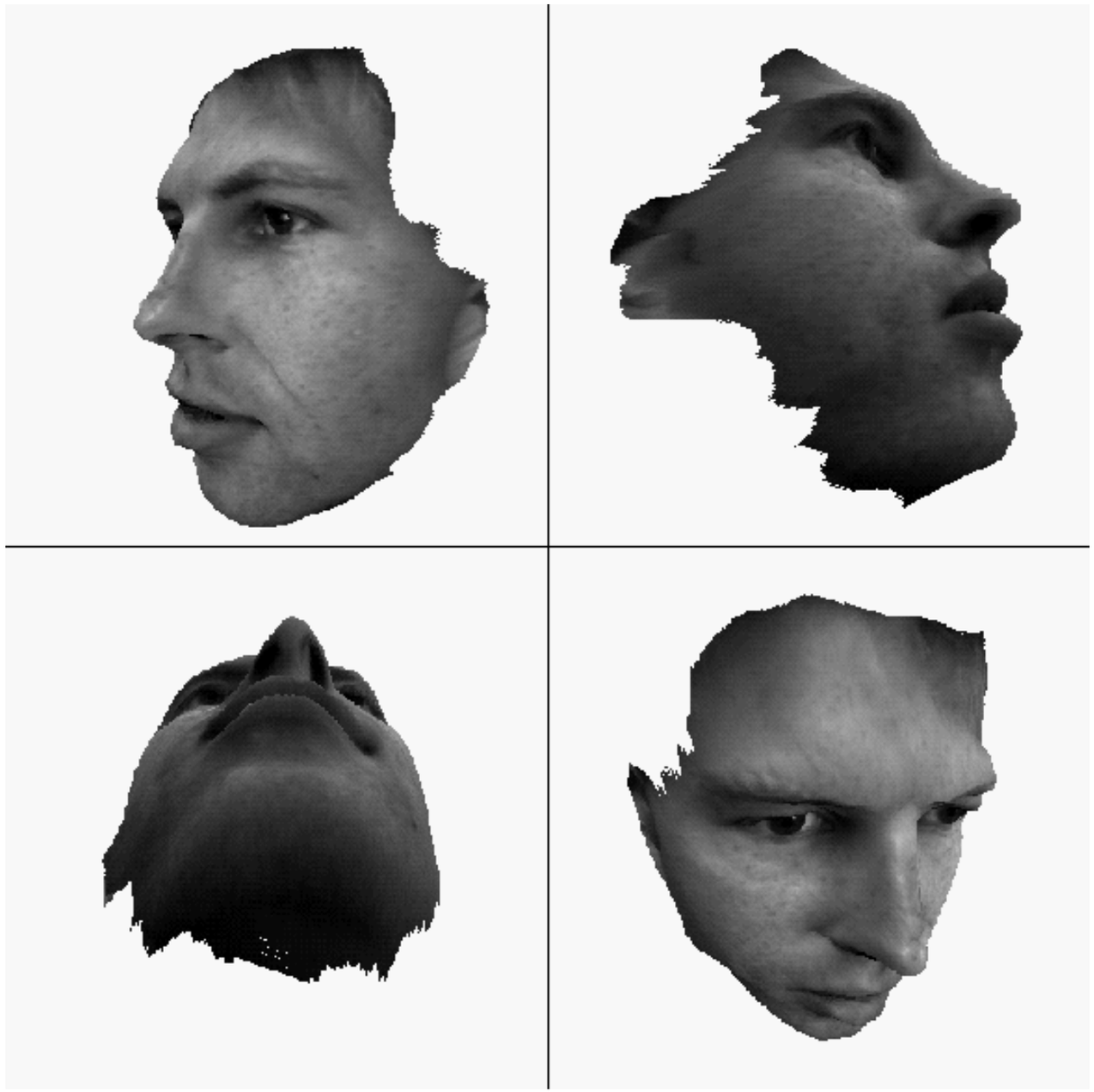


Deformationsanalyse von Kunststoffschaum mit einem diffusionsbasierten Algorithmus. (a) Oben links: Bild 1 einer Deformationssequenz, 273×224 Pixel. (b) Oben rechts: Bild 2. (c) Unten links: Farbkodiertes Verschiebungsvektorfeld. (d) Unten rechts: Vektorplot des Verschiebungsfeldes.

Diffusion in der Stereorekonstruktion

Stereobildpaar.

Diffusion in der Stereorekonstruktion II



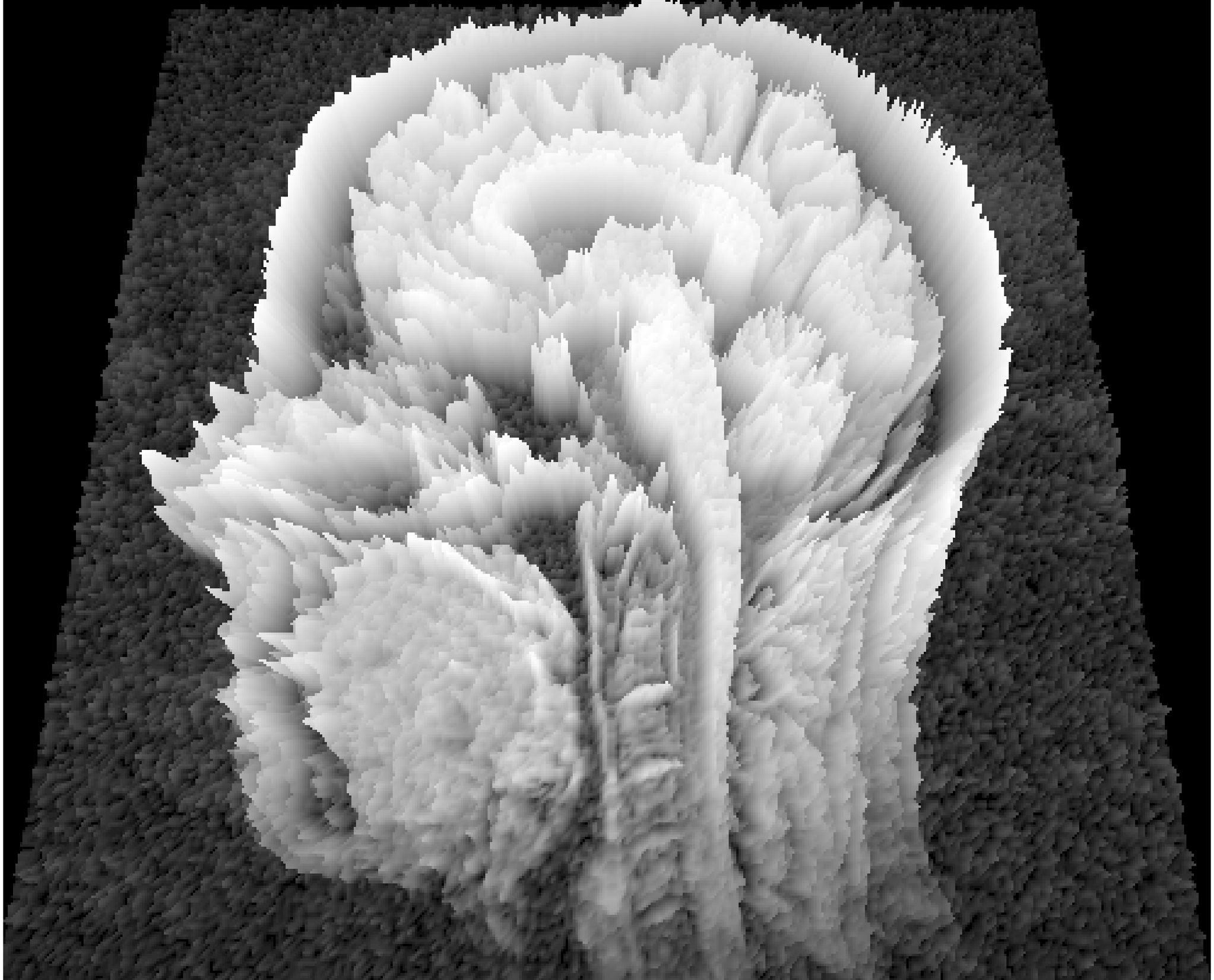
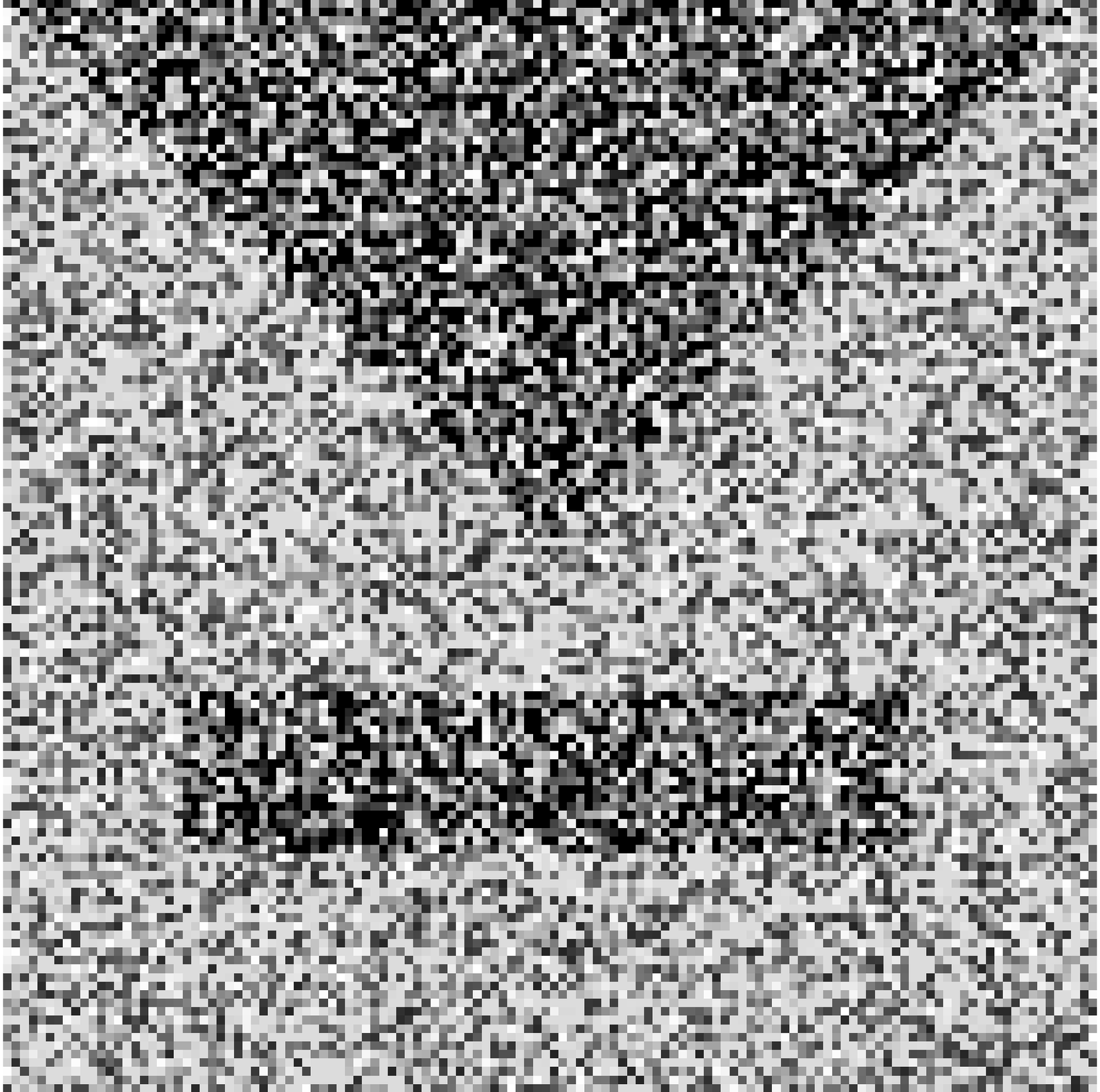
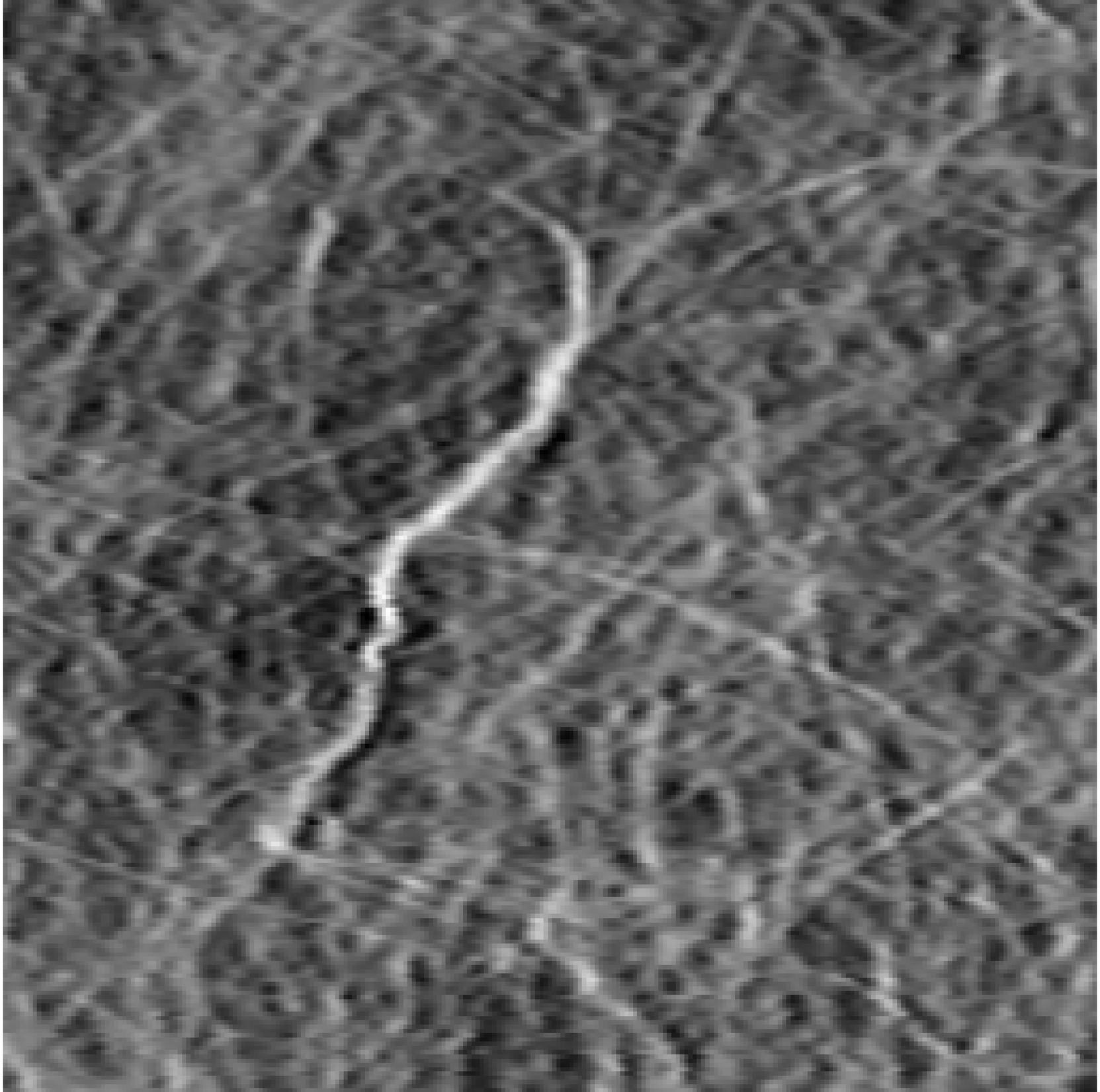
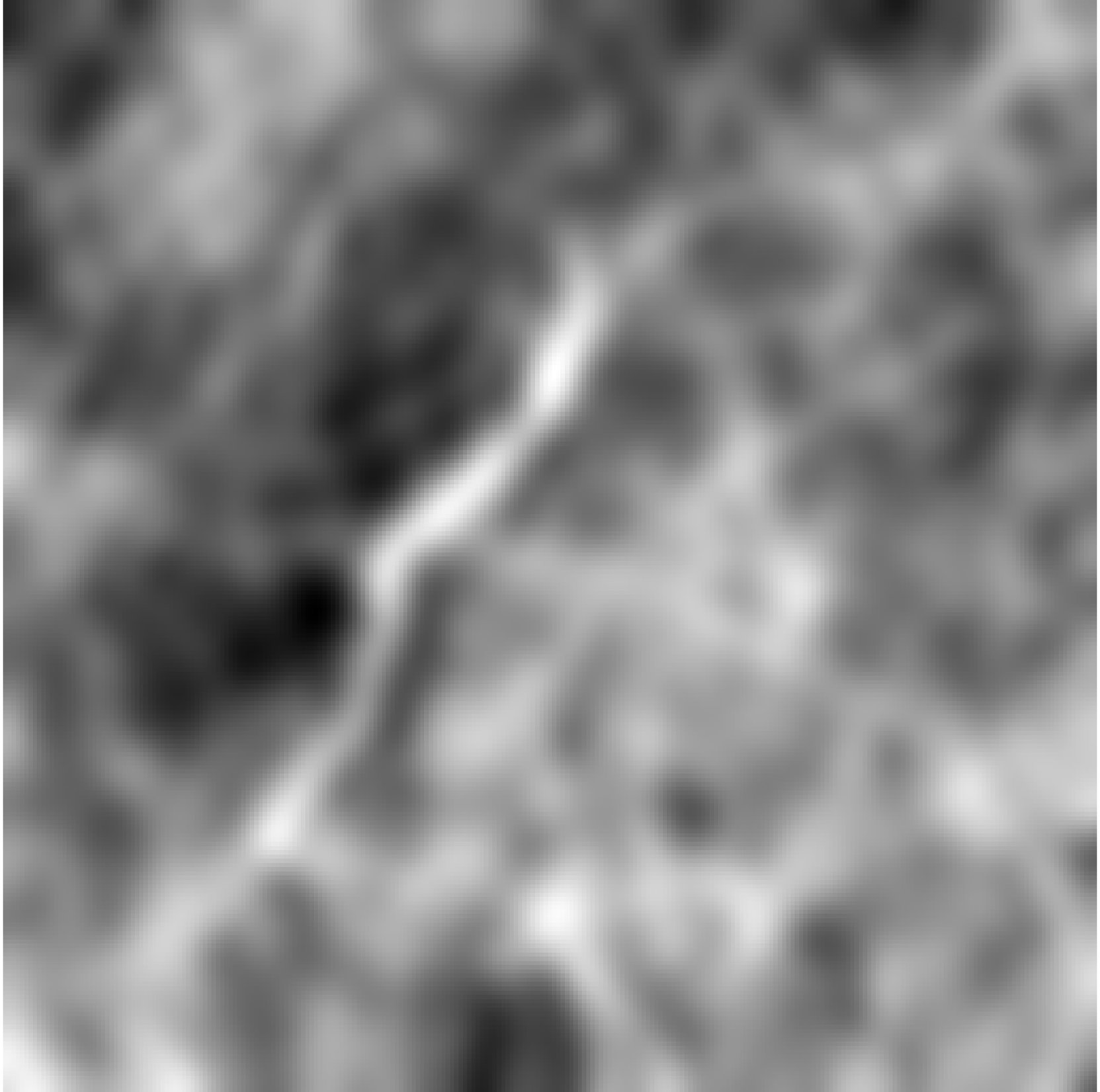
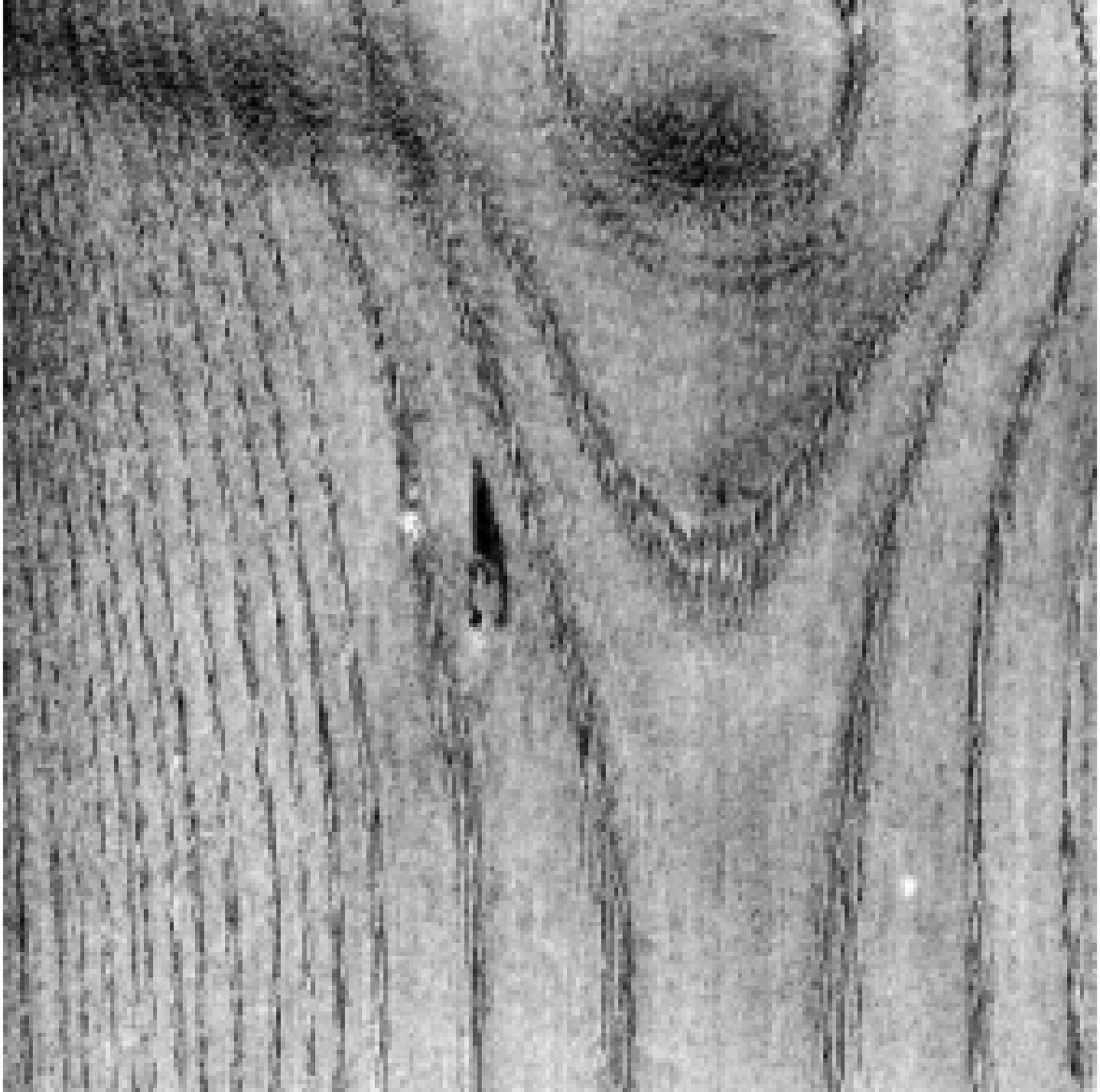
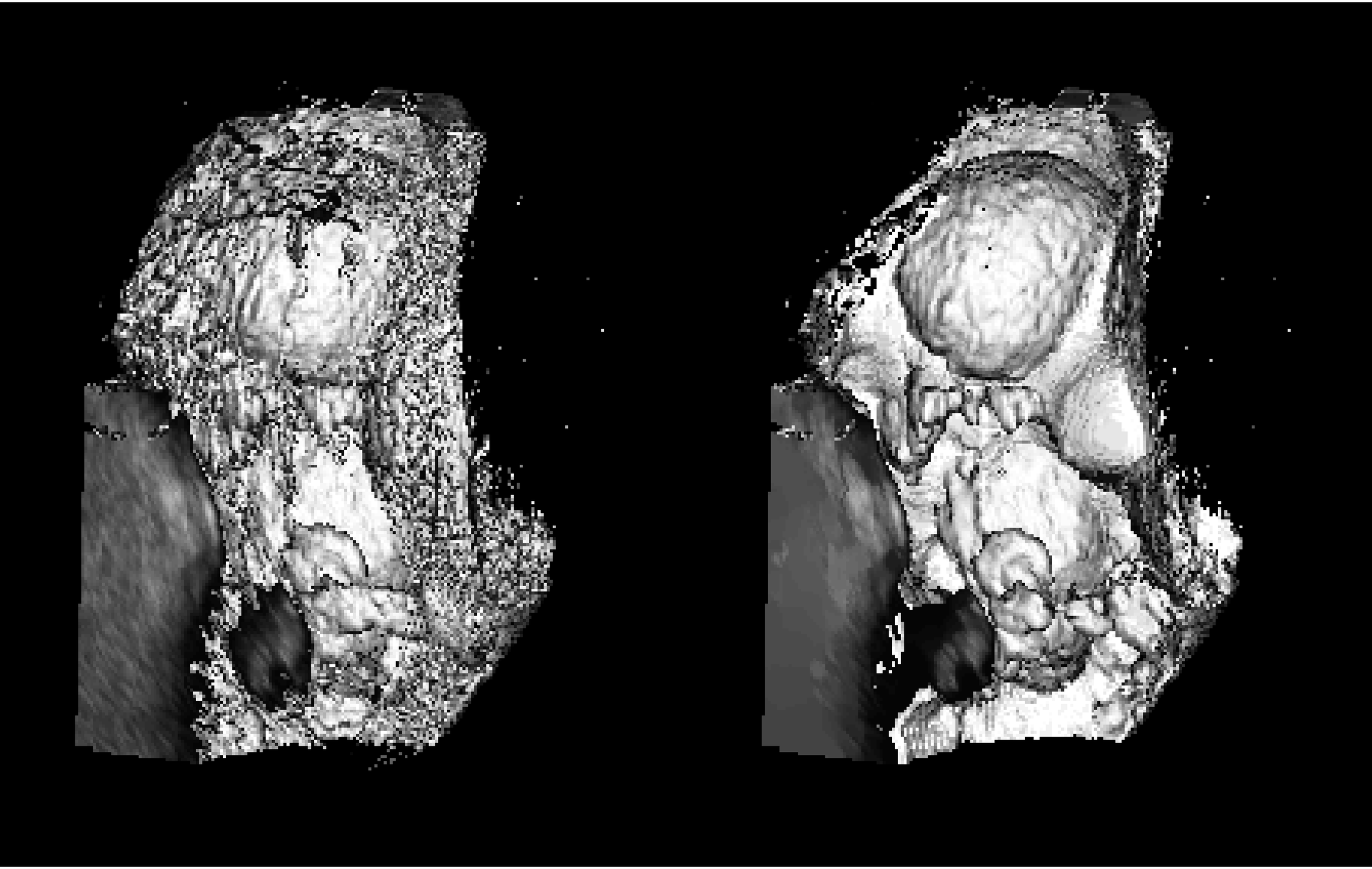
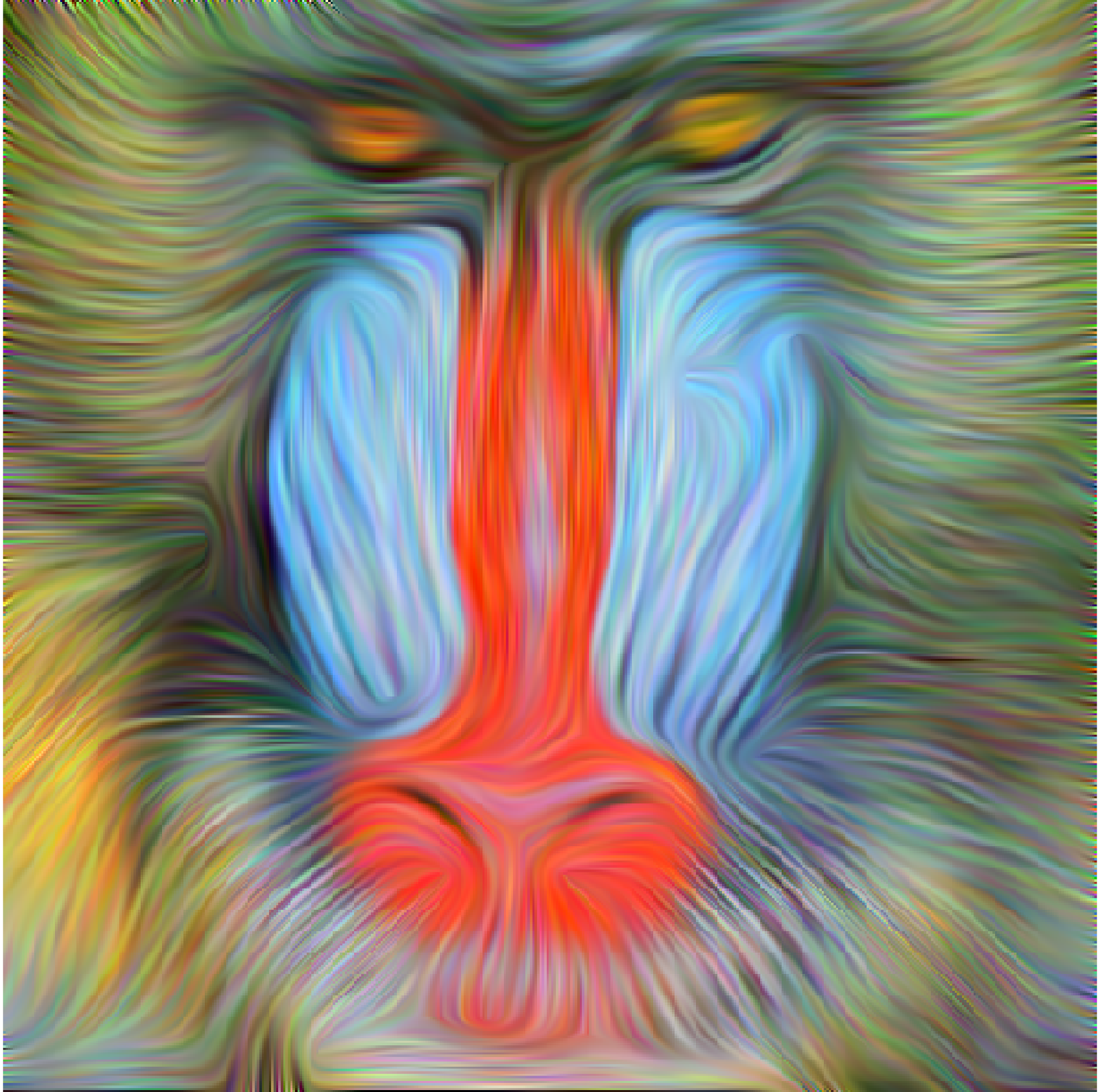
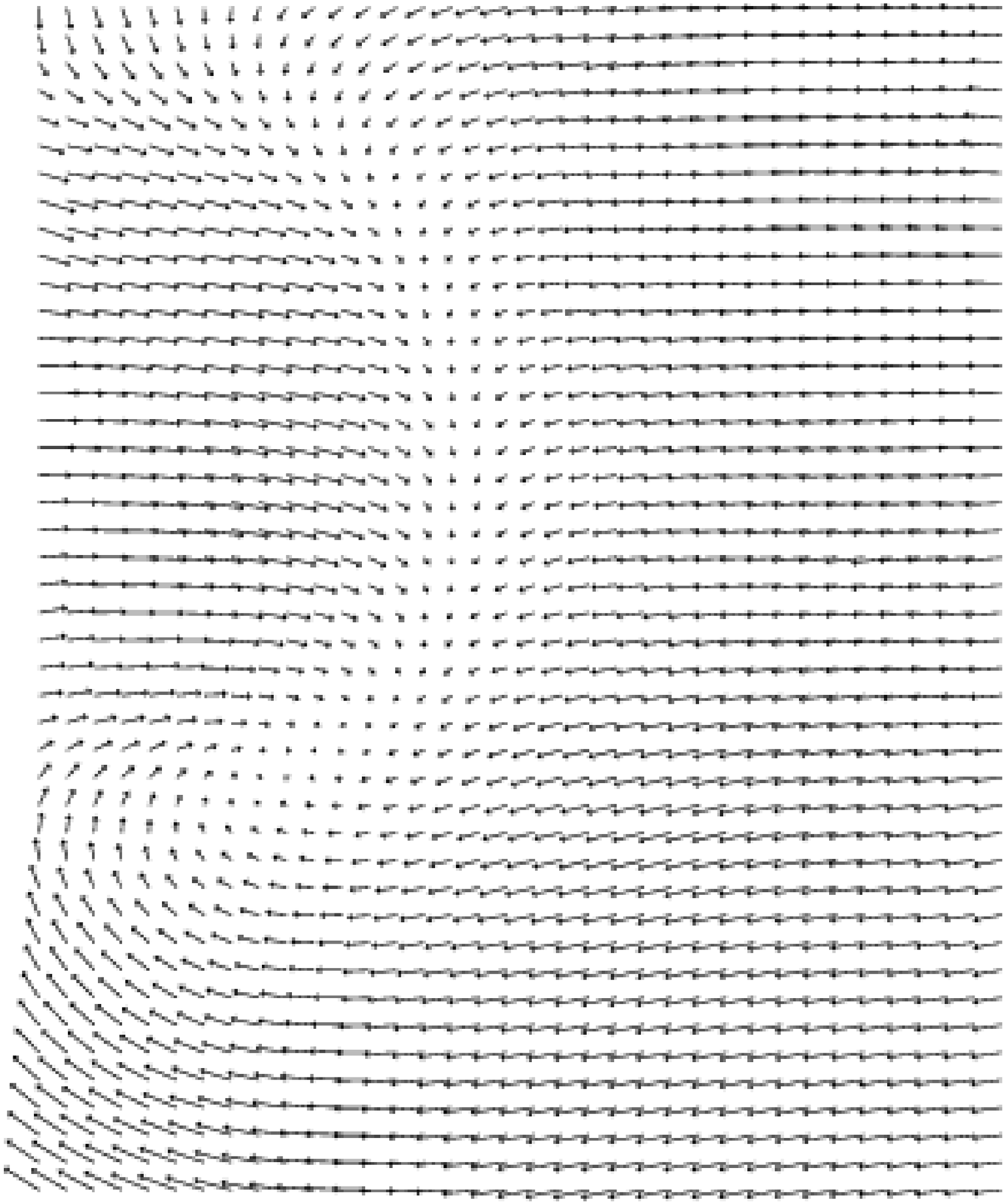
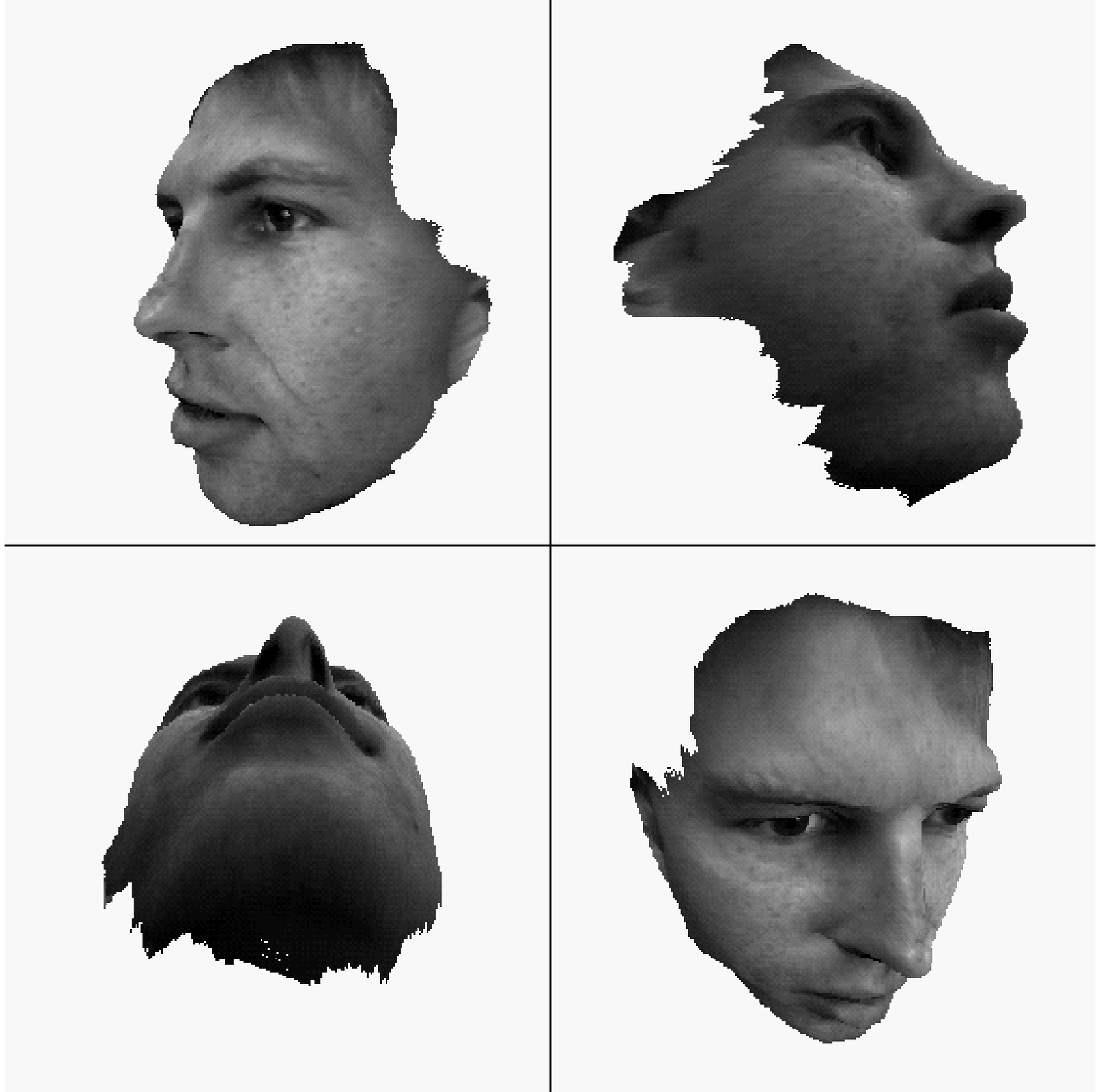
Vier Ansichten einer Stereorekonstruktion mit einem diffusionsbasierten Algorithmus.

Zusammenfassung

- Zahlreiche Bildverarbeitungsprobleme lassen sich mit Modellen beschreiben, die ursprünglich aus anderen Fachgebieten stammen.
- Beispiel in diesem Vortrag: Diffusion.
- Es gibt verschiedene Varianten von Diffusionsfiltern. Sie erlauben z.B. kanten- oder linienerhaltende Glättung von Bildern.
- Vielseitig anwendbar, z. B. in der medizinischen Bildverarbeitung oder der computergestützten Qualitätskontrolle.

Unsere Forschungsthemen

- Wie lassen sich Bildverarbeitungsprobleme modellieren?
- Sind die Modelle theoretisch fundiert?
- Gibt es hierzu stabile und zuverlässige Algorithmen?
- Sind diese Algorithmen schnell und lassen sie sich gut parallelisieren?
- Gibt es spannende Anwendungen (z.B. in der Medizin ...)?

Mehr Informationen: www.mia.uni-saarland.de

Vielen Dank für Ihr Interesse!