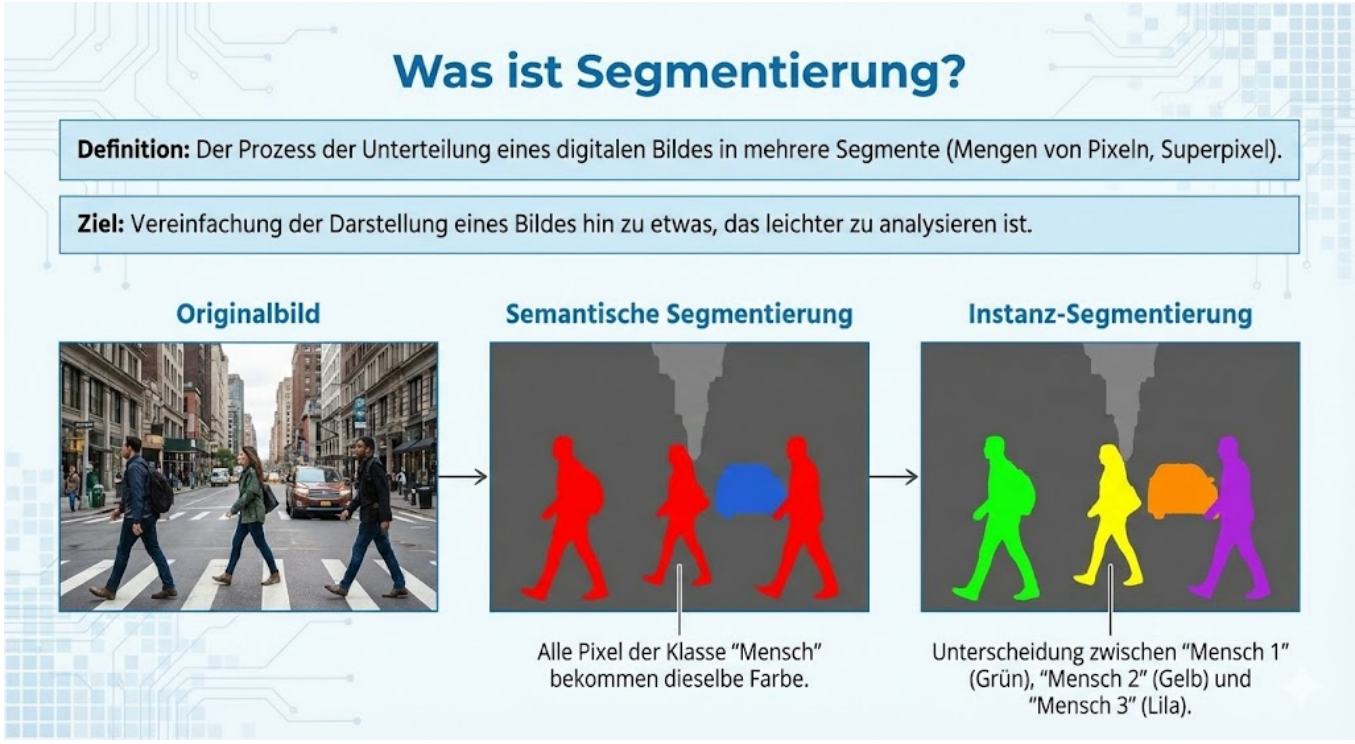
Computer Vision

Kanten, Schwellen & Regionen - Segmentierung & Kantendetektion

Alexandra Posekany

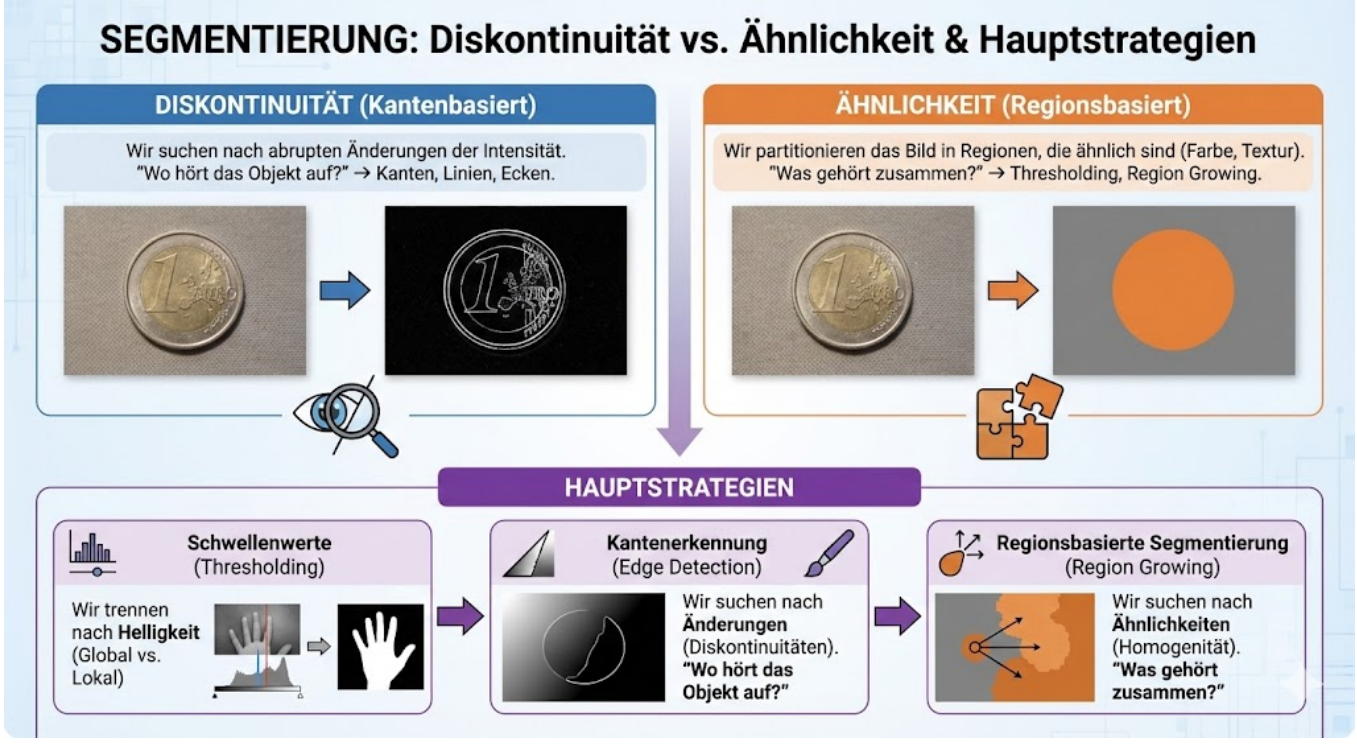
December 2025

Einführung Segmentierung: Vom Pixel zum Objekt



Arten der Segmentierung

Bildsegmentierung ist die **Identifikation** und **Isolation** eines Bildes in unterschiedliche Teilbereiche (Regionen). Diese entsprechen **strukturellen Einheiten** (Segmente).

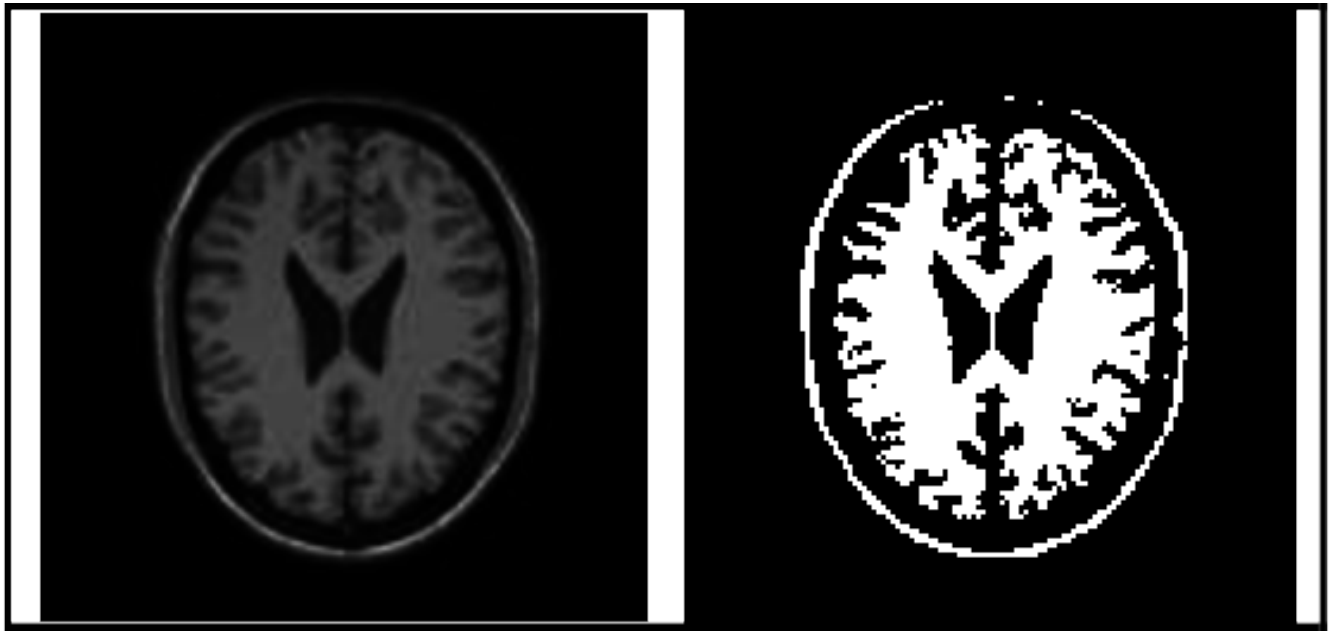


Pixelbasierte Segmentierung - Thresholding

Input: Graustufenbild

Output: Binäres Bild (Schwarz-Weiß-Bild)

Schwellenwert-Methoden erstellen binäre Bilder und klassifizieren Pixel basierend darauf, ob ihre Intensität über oder unter einem bestimmten Grenzwert liegt. Histogramme, die die Häufigkeit bestimmter Pixelwerte in einem Bild darstellen, werden häufig zum Definieren von Schwellenwerten verwendet.



Pixelbasierte Segmentierung - Thresholding

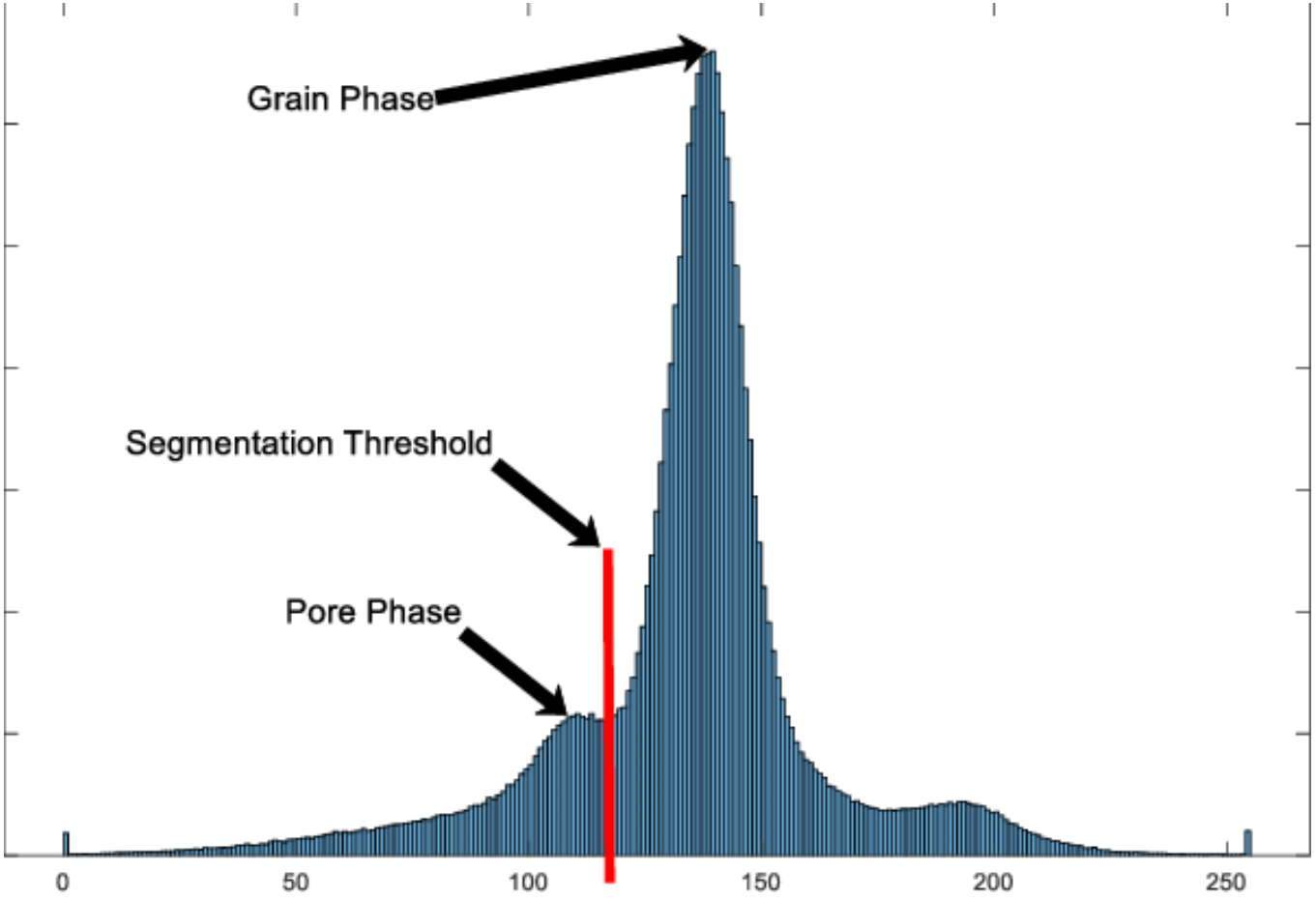
Filterung anhand der Helligkeit, indem ein Schwellwert (Threshold) überschritten oder unterschritten wird

Formel: $g(x,y) = \begin{cases} 255 & \text{wenn } f(x,y) > T \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Anwendung: Trennung von Vordergrund (Objekt) und Hintergrund, wenn der Kontrast hoch ist.

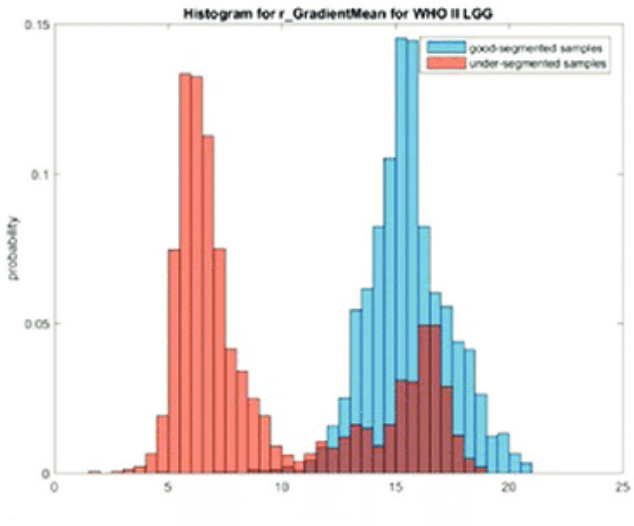
Thresholding mithilfe des Histogramms

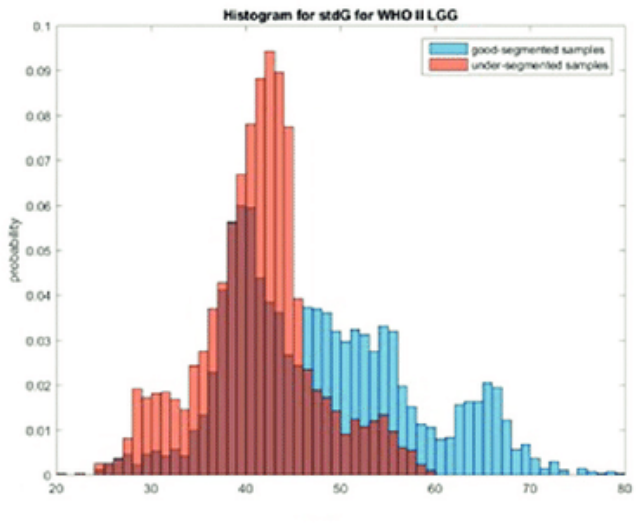
Histogramme können beispielsweise die Werte von Hintergrundpixeln ableiten und so zur Isolierung von Objektpixeln beitragen.



Wann ist Thresholding sinnvoll?

- wenn die zu unterscheidenden Strukturen hinreichend weit von einander entfernt sind (Effektgröße)
- wenn das Hintergrundrauschen nicht zu stark ist (Variation, Noise)





Thresholding 2.0 – Wenn Global versagt

Das Problem: Globales Thresholding (z.B. > 127) versagt bei ungleichmäßiger Beleuchtung (Schatten auf einem Blatt Papier).

Adaptive Thresholding

Der Schwellenwert wird für jeden Pixel individuell berechnet, basierend auf seinen Nachbarn (z.B. Mittelwert der 11x11 Umgebung).

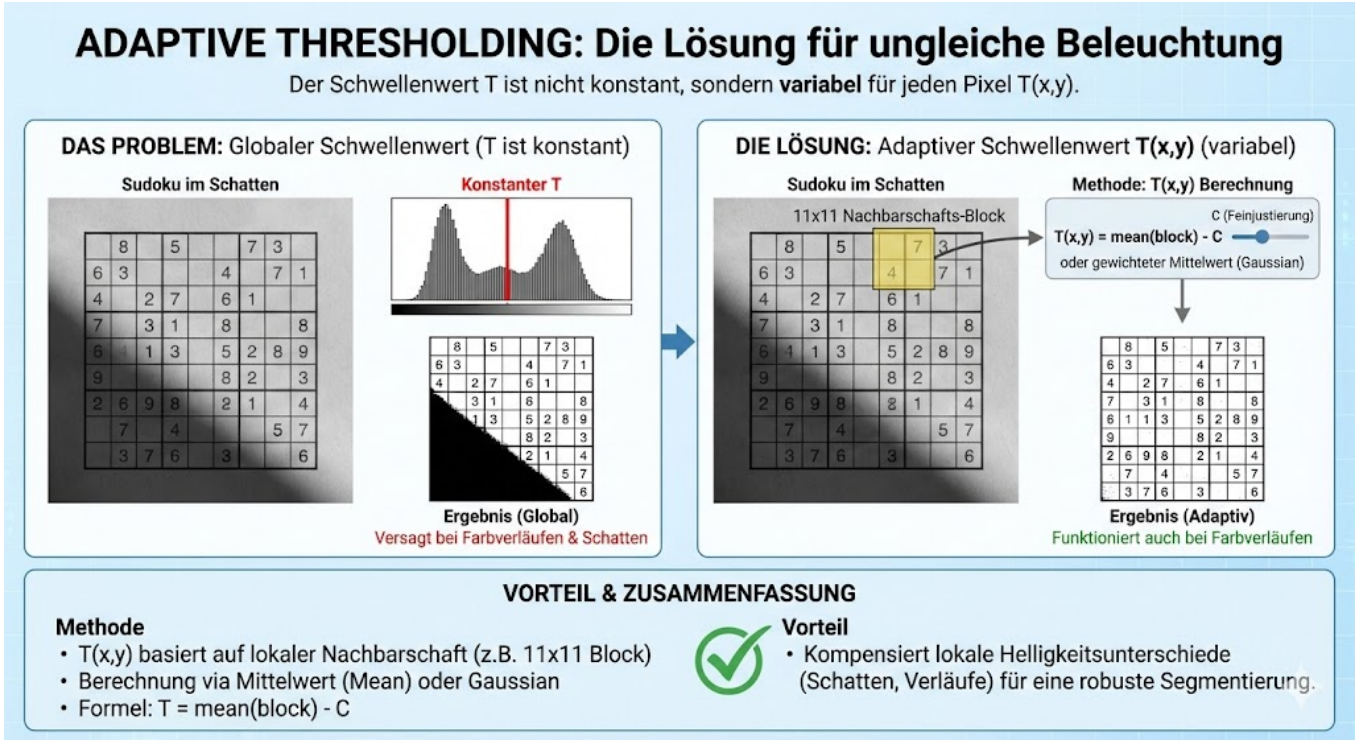
Effekt: Funktioniert wie eine lokale Kontrastverstärkung.

Otsu's Methode

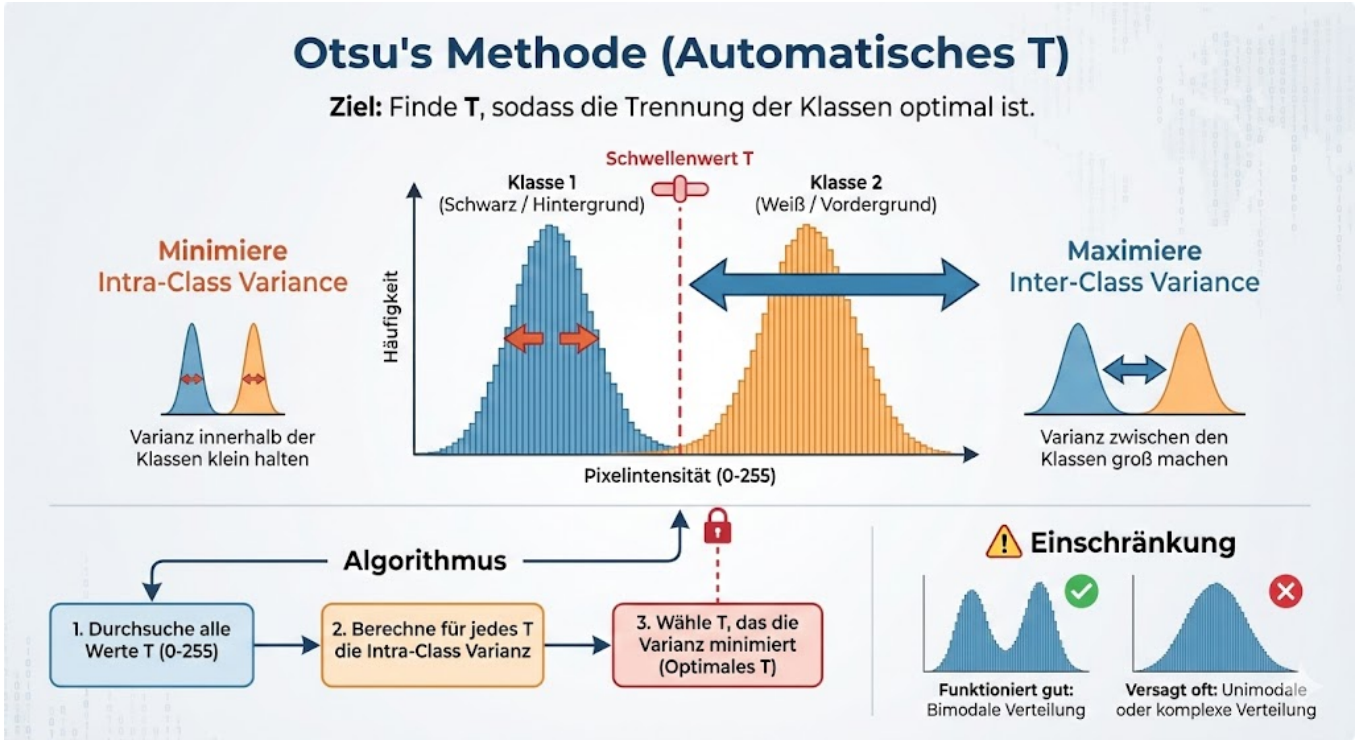
Automatische Suche nach dem perfekten globalen Schwellenwert.

Prinzip: Suche im Histogramm das "Tal" zwischen zwei "Bergen" (Vordergrund/Hintergrund). Minimiert die Varianz innerhalb der Klassen.

Adaptives Thresholding

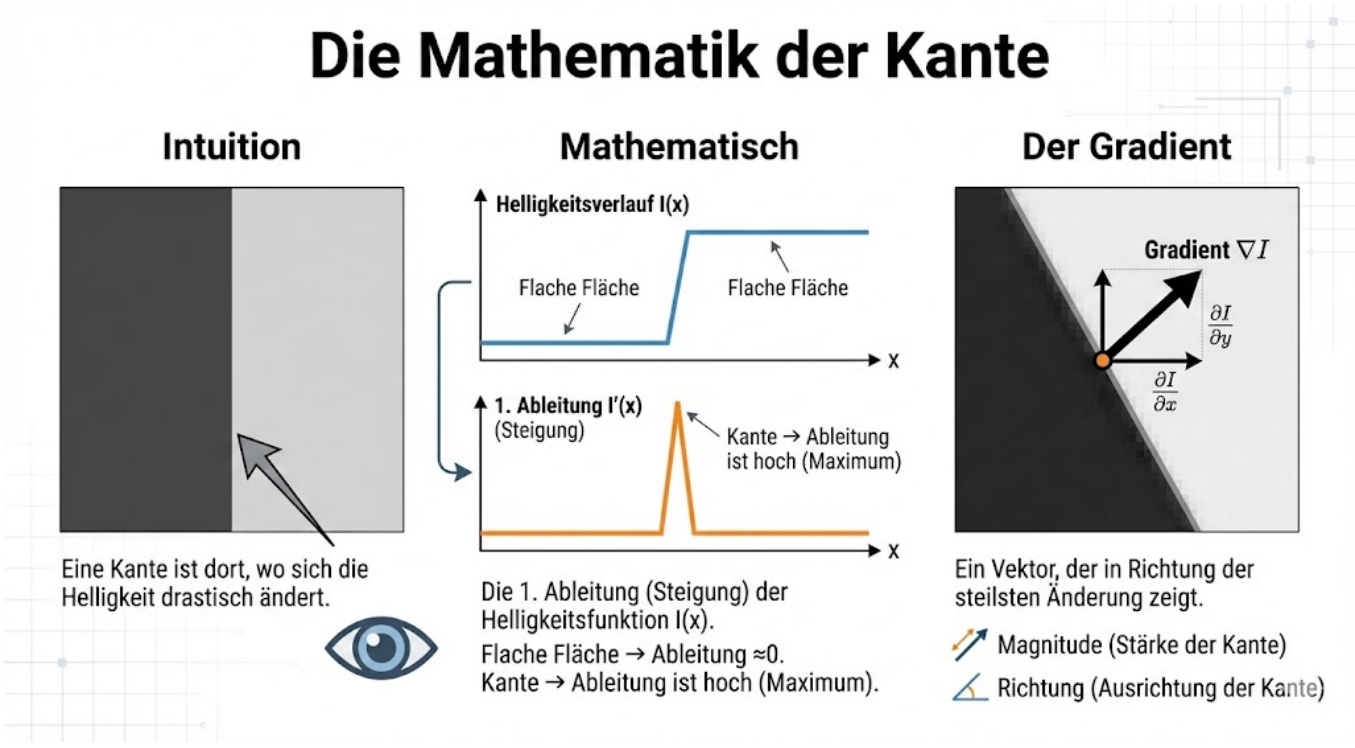


Otsu's Methode



Kantendetektion

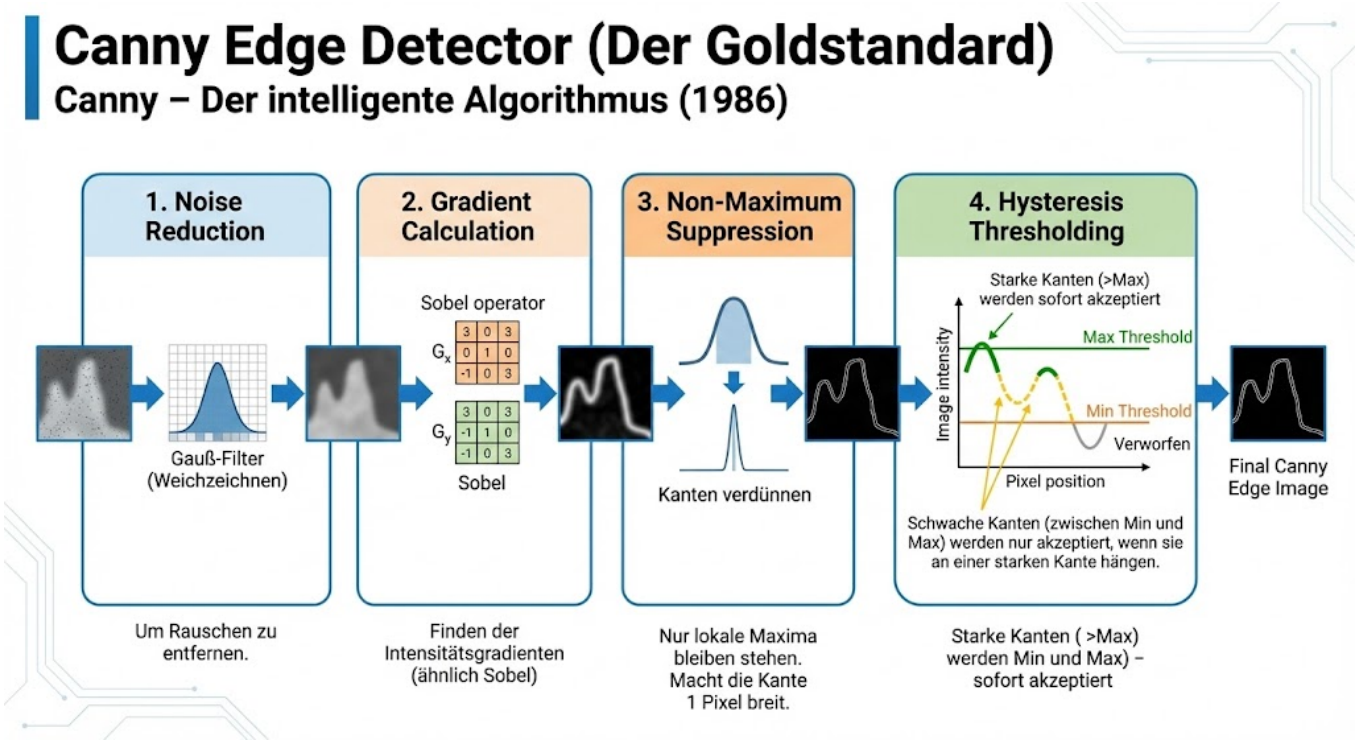
Die kantenbasierte Segmentierung ist ein fundamentales Verfahren in der Bildverarbeitung, das darauf abzielt, Objekte in einem Bild zu isolieren, indem ihre Grenzen (Kanten) identifiziert werden. Kantenerkennungsmethoden identifizieren die Grenzen von Objekten oder Klassen durch die Erkennung von Helligkeits- oder Kontrastunterbrechungen.



Ablauf des Canny-Algorithmus

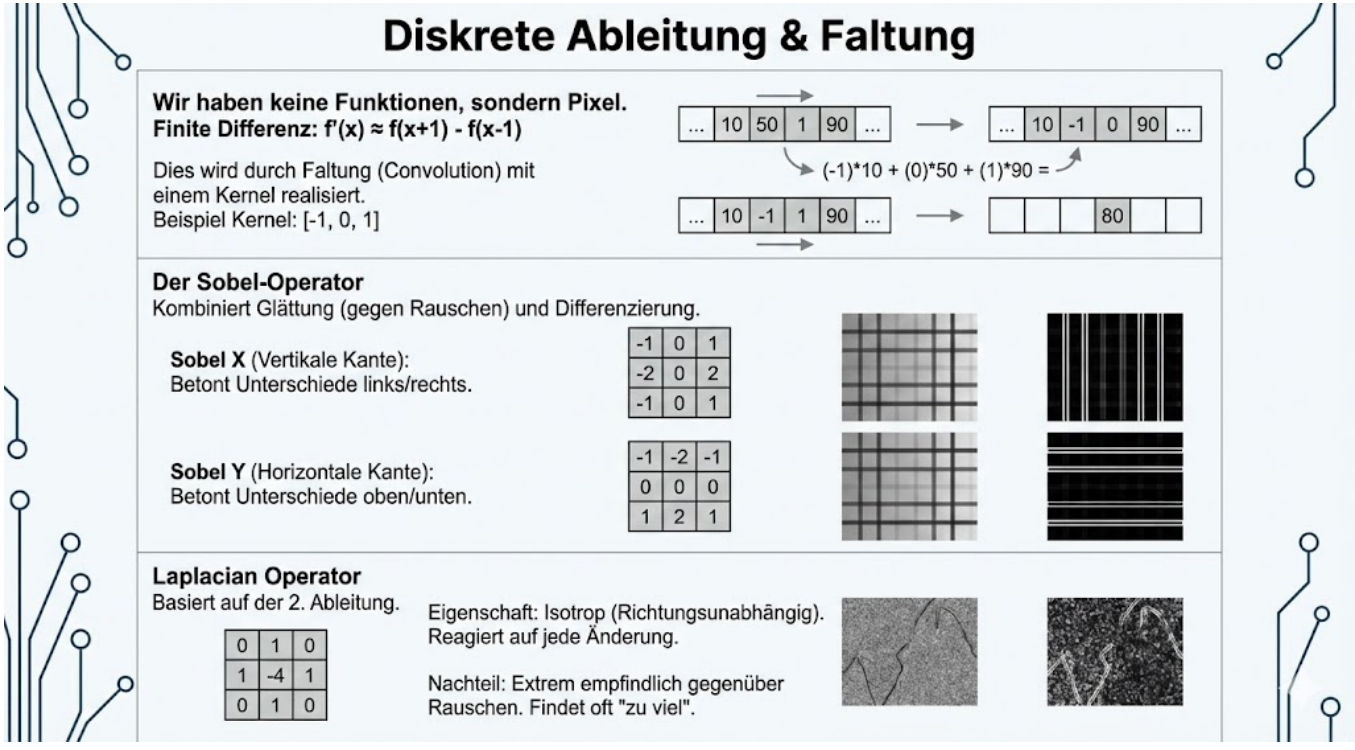
1. **Bildglättung** (Rauschunterdrückung, Noise Reduction): Gauß-Filter (Weichzeichnen), um Rauschen zu entfernen.
2. Berechnung der **Gradienten** (Kantenfilterung, Gradient Calculation): Finden der Intensitätsgradienten (ähnlich Sobel).
3. **Non-Maximum Suppression** (Kantenverdünnung): Nur lokale Maxima bleiben stehen. Macht die Kante 1 Pixel breit.
4. **Schwellenwertverfahren** (Hysterese, Hysteresis Thresholding): Zwei Schwellenwerte (Min/Max).
   - Starke Kanten (>Max) werden sofort akzeptiert.
   - Schwache Kanten (zwischen Min und Max) werden nur akzeptiert, wenn sie an einer starken Kante hängen.
5. **Kantenverbindung** (Edge Linking)

Canny-Algorithmus

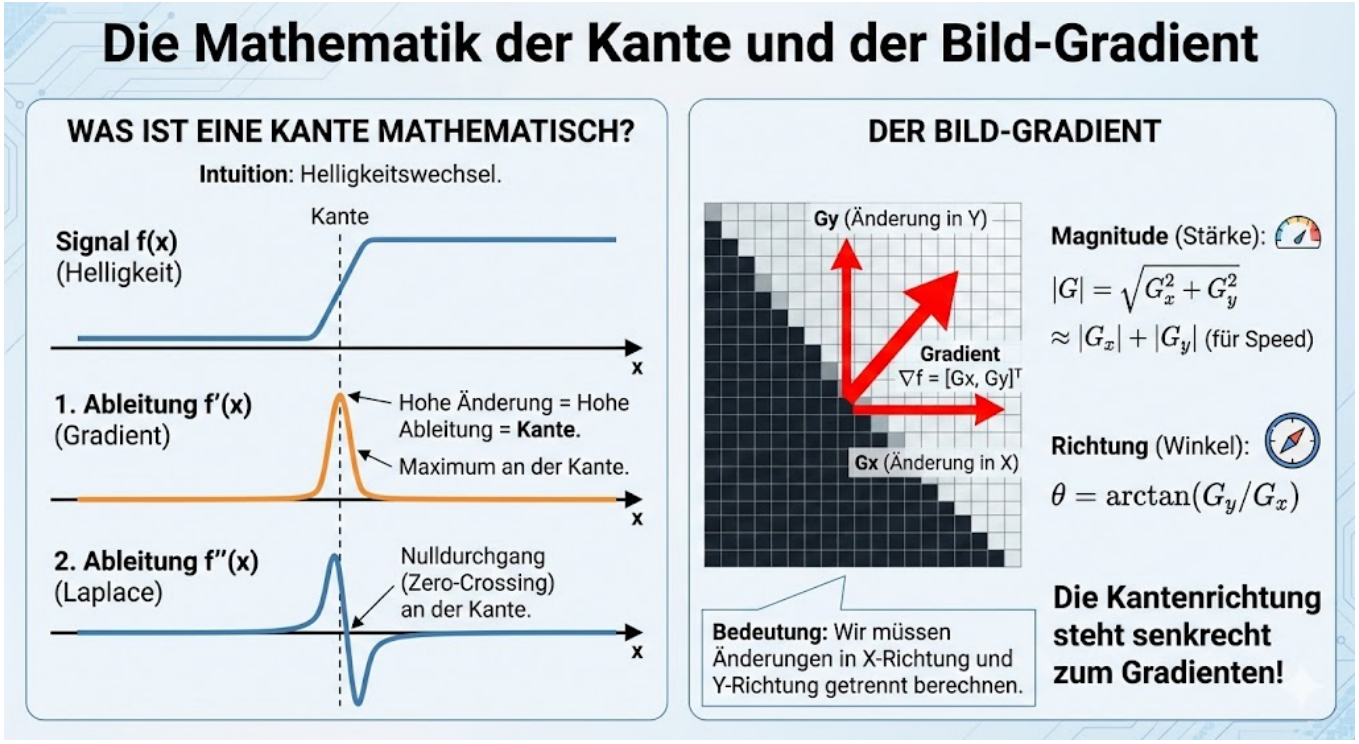


Kantenbasierte Segmentierung

2. Schritt: **Kantenfindung** (Sobel filter, Laplacian, Canny filter)



Gradienten


Die Mathematik der Kante und der Bild-Gradient
WAS IST EINE KANTE MATHEMATISCH?
Intuition: Helligkeitswechsel.
Kante
Signal f(x)
(Helligkeit)
x
1. Ableitung f'(x)
(Gradient)
Hohe Änderung = Hohe Ableitung = Kante.
Maximum an der Kante.
x
2. Ableitung f''(x)
(Laplace)
Nulldurchgang (Zero-Crossing) an der Kante.
x
DER BILD-GRADIENT
Gy (Änderung in Y)
Gradient
∇f = [Gx, Gy]T
Gx (Änderung in X)
Bedeutung: Wir müssen Änderungen in X-Richtung und Y-Richtung getrennt berechnen.
Magnitude (Stärke):
$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$
$\approx |G_x| + |G_y|$ (für Speed)
Richtung (Winkel):
$\theta = \arctan(G_y/G_x)$
Die Kantenrichtung steht senkrecht zum Gradienten!

Kantenbasierte Segmentierung

3. Schritt: **Non-Maximum Suppression** (Kantenverdünnung)

   Das Ergebnis aus Schritt 2 liefert oft breite, verschwommene Kanten. Wir wollen aber dünne, präzise Linien.

   Der Algorithmus wandert entlang der Gradientenrichtung. Wenn ein Pixel nicht das lokale Maximum (der stärkste Wert) in seiner Nachbarschaft ist, wird es auf Null gesetzt (unterdrückt). Das Resultat sind “dünne” Kanten (1 Pixel breit).

Kantenbasierte Segmentierung

4. Schritt: **Schwellenwertverfahren (Hysterese)**

Entscheidung: Was ist eine “echte” Kante und was ist nur eine leichte Helligkeitsschwankung?

Man definiert zwei Schwellenwerte (Thresholds): T_{high} und T_{low}.

- Werte über Thigh sind sichere Kanten.
- Werte unter Tlow werden verworfen.
- Werte dazwischen sind “schwache Kanten”. Sie werden nur dann akzeptiert, wenn sie direkt mit einer “sicheren Kante” verbunden sind.

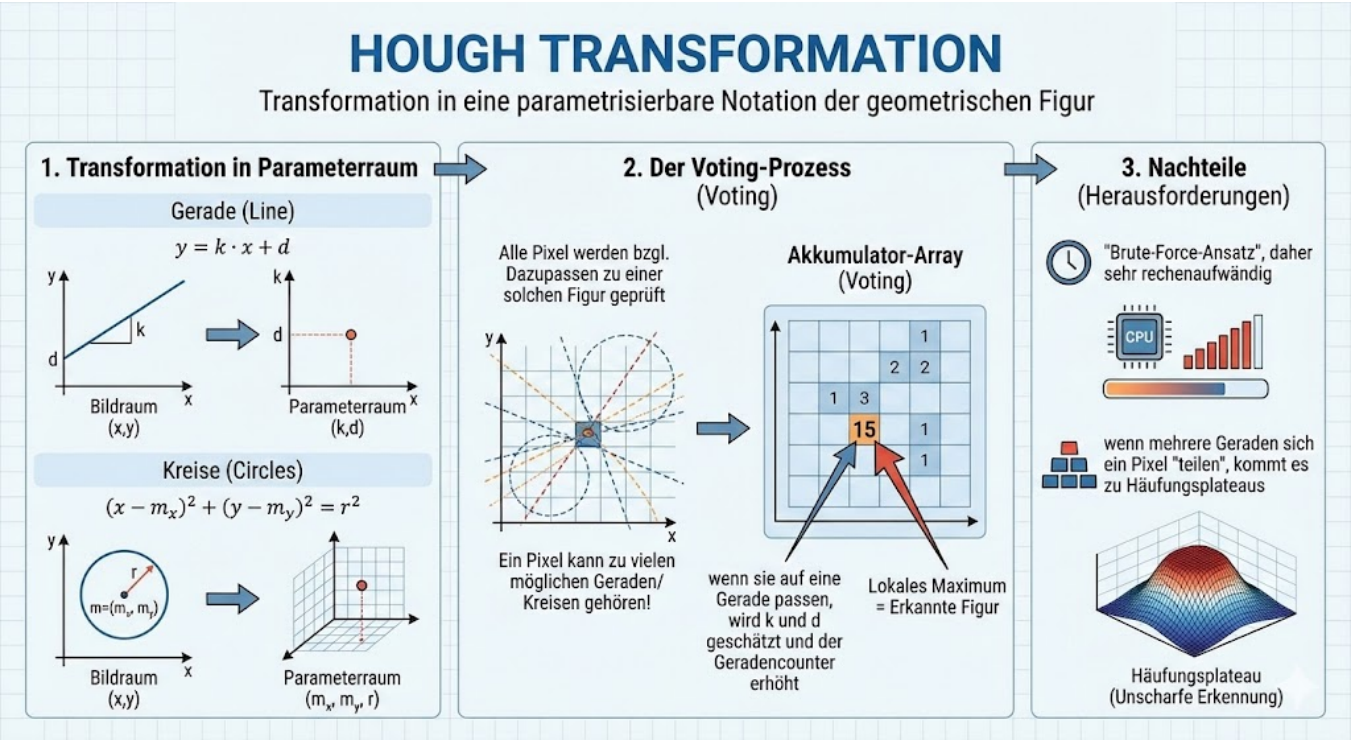
Kantenbasierte Segmentierung

5. Schritt: **Kantenverbindung** (Edge Linking)

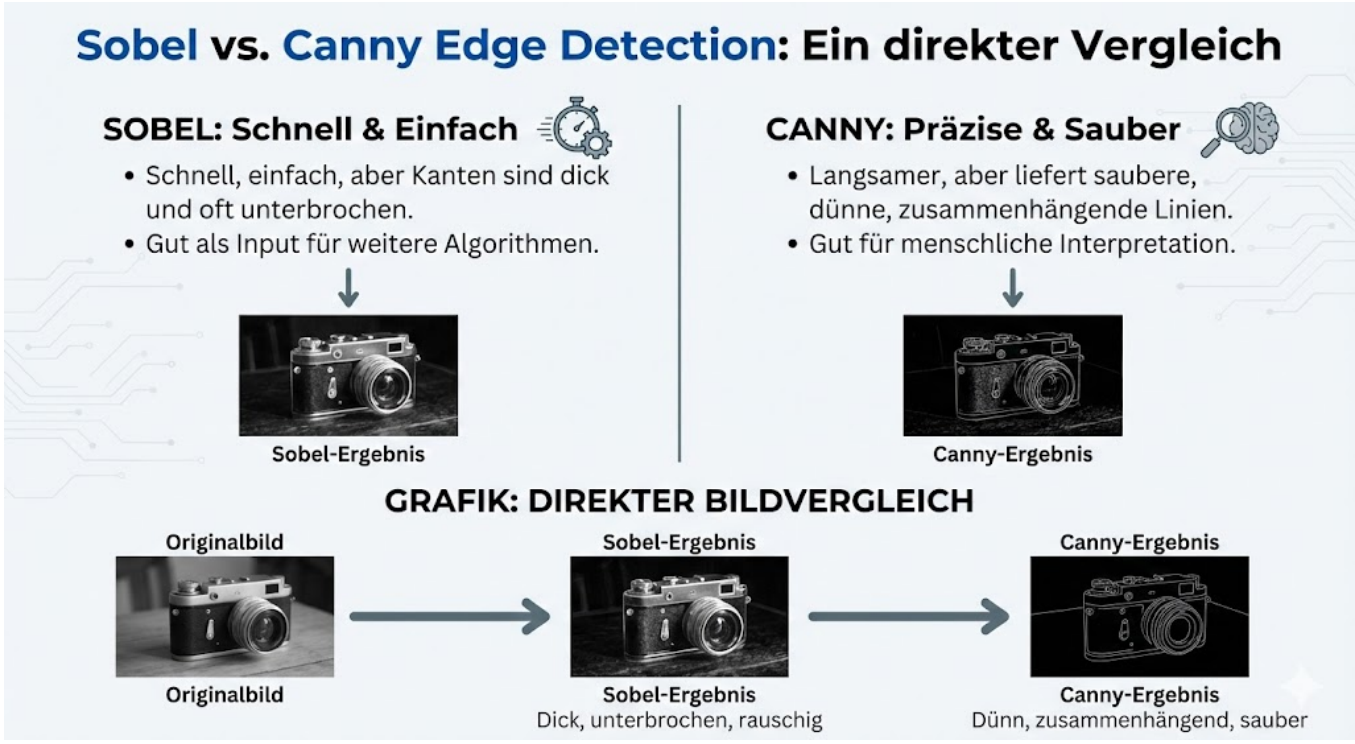
Nach der Filterung hat man oft noch Lücken in den Konturen. Um ein Objekt wirklich zu segmentieren (also vom Hintergrund zu trennen), muss die Kante geschlossen sein, also einzelne Kanten zu einer **Verkettung** (Kantenzug, Polygon) erweitern.

- Edge Relaxation ('erleichtert' die Kantenzugbedingung, indem die lokale Umgebung berücksichtigt wird)
- Graph searching (sucht Pixel, die 'Kandidaten' sind, um einzelne Kanten zu Pfaden zu verbinden, wobei Kosten minimiert werden)
- Hough transformation (robustes globales Verfahren zur Erkennung von Geraden, Kreisen oder beliebigen anderen parametrisierbaren geometrischen Figuren)

Hough Transformation

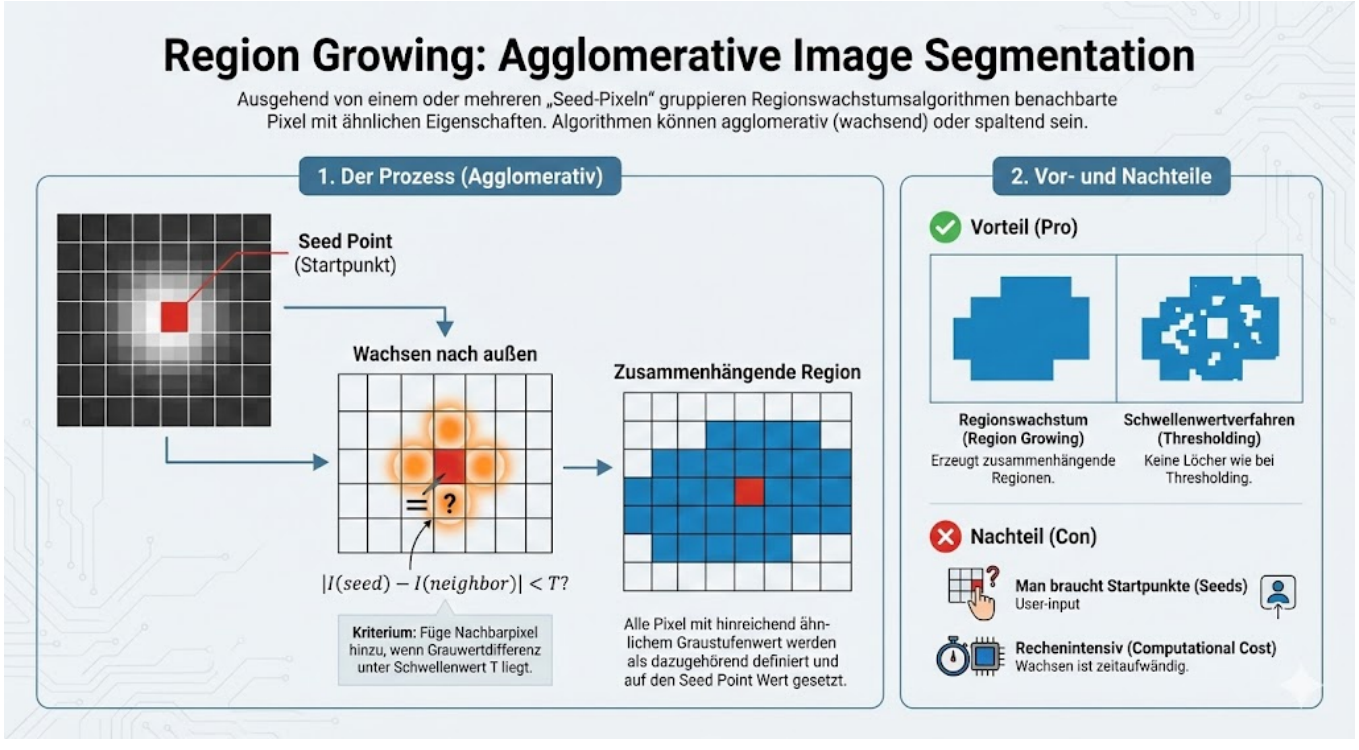


Vergleich Sobel vs. Canny



Region Growing

Ausgehend von einem **Seed Point** wird eine gesamte zusammenhängende Region als identifiziert, indem alle Pixel mit hinreichend ähnlichem Graustufenwert als dazugehörend definiert und auf den Seed Point Wert gesetzt werden.



Herausforderungen von Region Growing

- **Ähnlichkeitsbereich zu klein** nicht die gesamte gesuchte Region wird erkannt und markiert
- **Ähnlichkeitsbereich zu groß** Überlaufen des segmentierten Bereichs in Nachbarregionen, die eigenetlich abgetrennt werden sollen (Problem von Fehldiagnosen von Tumoren etc.)

similarity range too small

similarity range too large

Ablauf von Region Growing

Initialisierung

1. Wahl vom Startpunkt (Seed): Manuell oder automatisch wird die initiale Region gewählt.

Iterativer Prozess für jede bestehende Region:

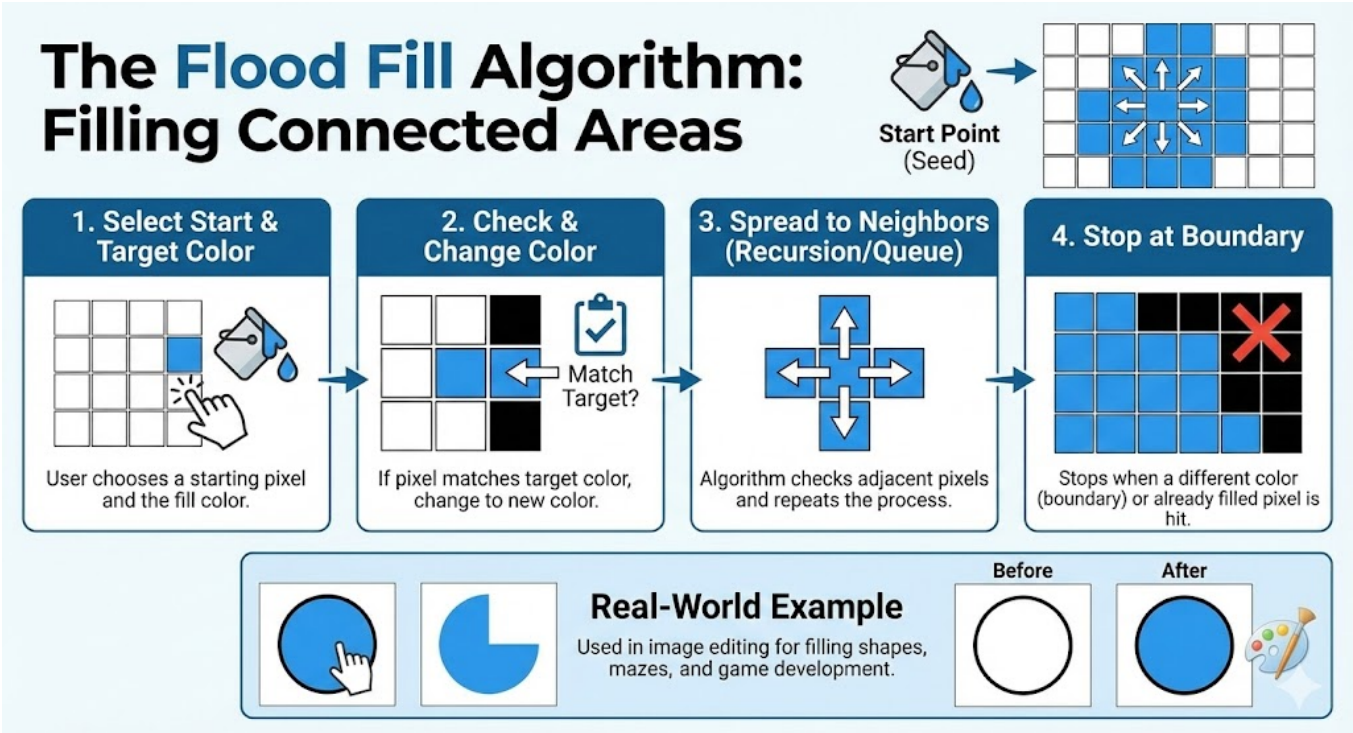
2. Untersuche benachbarte Pixel oder Pixelgruppen, etwa die 4 oder 8 Nachbarn.
3. Vergleiche die Eigenschaften (z.B. Grauwerte) der Nachbarn mit der Region.
4. Füge Nachbarn zur Region hinzu, wenn sie ein Homogenitätskriterium erfüllen (innerhalb des Graustufenintervalls liegen).
5. Aktualisiere die Eigenschaften der Region (z.B. Durchschnittswert, Indikatormatrix der inneren Punkte).

Wiederhole den Prozess, bis kein weiteres Wachstum mehr möglich ist (while Schleife)

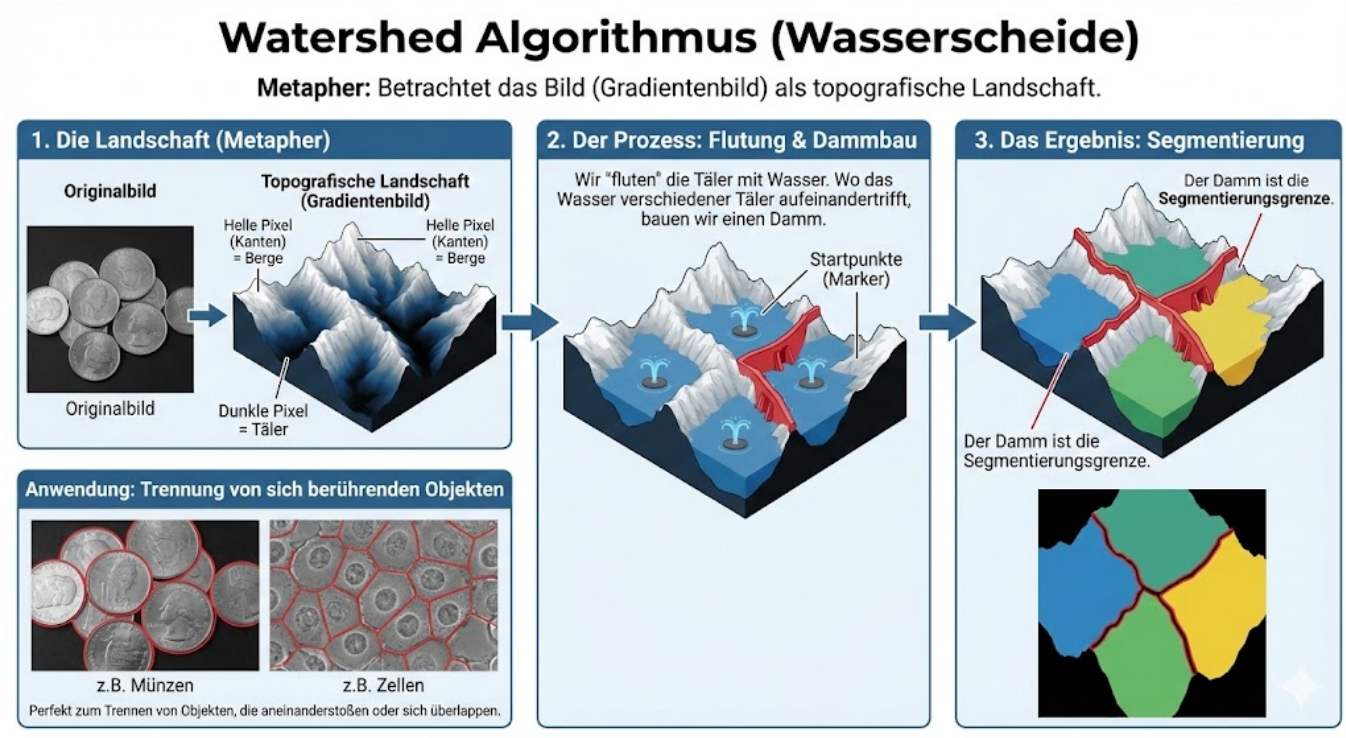
Abbruchkriterien

- Vorgegebene Anzahl an Iterationen: Ein einfaches Kriterium ist die Festlegung einer maximalen Anzahl von Durchläufen, z.B. 5 oder 10 Iterationen. Dies garantiert eine begrenzte Rechenzeit, kann aber zu suboptimalen Ergebnissen führen.
- Ausschluss aller Nachbarpixel: Der Algorithmus endet, wenn keine Nachbarpixel mehr die Kriterien für eine Aufnahme in die Region erfüllen

Flood Fill


The Flood Fill Algorithm:
Filling Connected Areas
Start Point
(Seed)
1. Select Start & Target Color
User chooses a starting pixel and the fill color.
2. Check & Change Color
Match Target?
If pixel matches target color, change to new color.
3. Spread to Neighbors (Recursion/Queue)
Algorithm checks adjacent pixels and repeats the process.
4. Stop at Boundary
Stops when a different color (boundary) or already filled pixel is hit.
Real-World Example
Used in image editing for filling shapes, mazes, and game development.
Before
After

Watershed Algorithmus



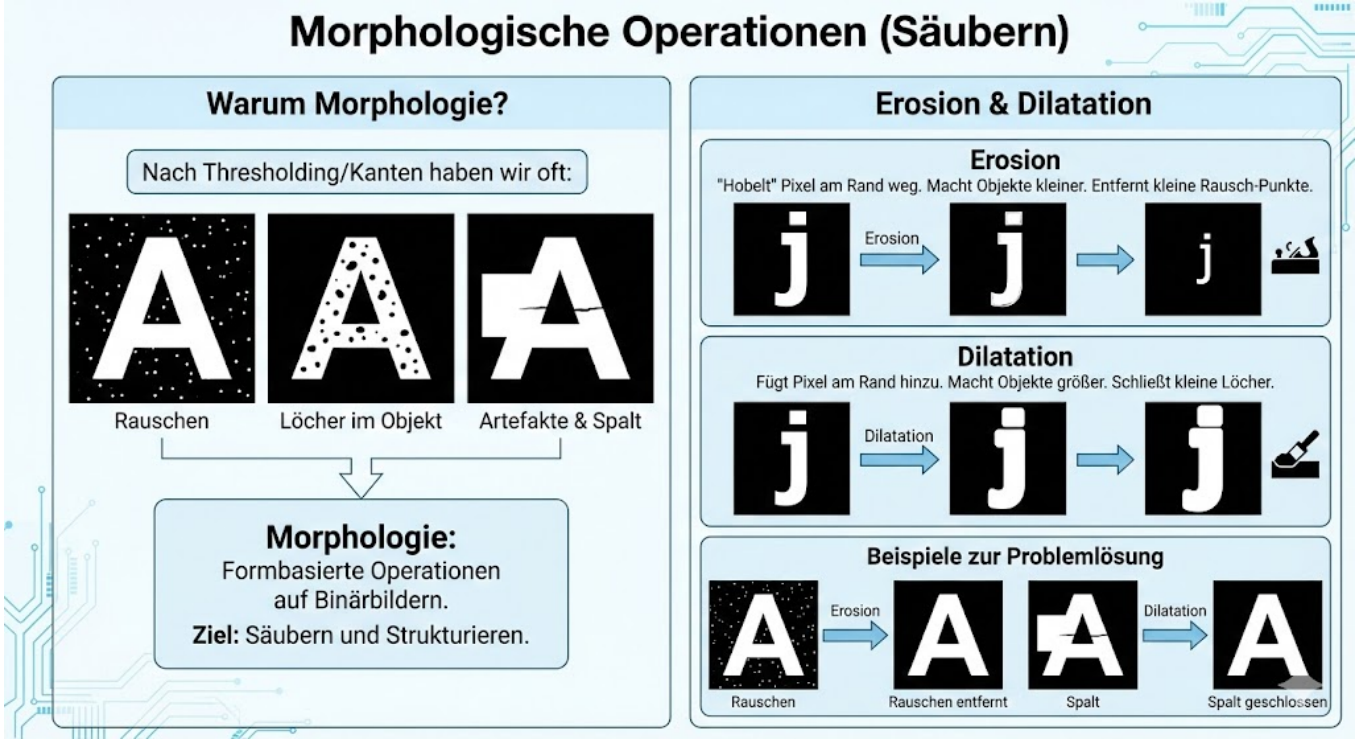
Nachbearbeitung nach der Segmentierung

Die Nachbearbeitung dient dazu, Fehler zu korrigieren, die Genauigkeit zu erhöhen und die Segmentierungsergebnisse für die weitere Analyse oder klinische Anwendung zu optimieren, um folgende Probleme zu beheben:

- **Unvollständige Segmentierung**: Viele Segmentierungsverfahren, etwa Schwellenwertverfahren, erzeugen keine vollständig zusammenhängenden Segmente, besonders bei stärkerem Rauschen.
- **Randungenauigkeiten**: Die Genauigkeit an den Rändern der segmentierten Objekte lässt oft zu wünschen übrig, besonders bei komplexen anatomischen Strukturen.
- **Eckige Kanten**: Einige Verfahren wie Erosion und Dilation erzeugen teilweise eckige Kanten, die eine Glättung erfordern.
- **Trennung überlappender Objekte**: Besonders bei der Zellsegmentierung kann die Trennung einzelner Zellen eine aufwändige Nachbearbeitung erfordern.

Morphologische Operationen

Morphologische Operationen sind eine Reihe von Algorithmen, die zur Analyse und Bearbeitung der Form und Struktur von Objekten in Bildern verwendet werden. Sie nutzen spezielle Strukturelemente, um Pixel in Bildern zu beeinflussen, für Anwendungen wie Objekterkennung, Rauschunterdrückung und Bildsegmentierung.



Grundoperationen der Morphologie

- Dilatation (Erweiterung): Fügt Pixel zu den Grenzen von Objekten hinzu. Diese Operation vergrößert die weißen Regionen eines binären Bildes.
- Erosion (Abtragung): Entfernt Pixel von den Grenzen von Objekten. Sie verkleinert die weißen Regionen, indem sie kleinere Strukturen entfernt.
- Öffnen: Eine Sequenzoperation, die zuerst eine Erosion gefolgt von einer Dilation ausführt. Diese Technik kann kleinere Objekte oder Störungen aus dem Bild entfernen.
- Schließen: Das Gegenteil von Öffnen, beginnend mit einer Dilation gefolgt von einer Erosion. Diese Methode füllt kleinere Löcher innerhalb von Objekten.

Dilation, Erosion

- **Dilatation** (Ausdehnung, Erweiterung)

Das aktive Pixel wird auf den **Maximumwert** der Umgebungspixel gesetz. Die **Region** wird dadurch **erweitert**

$$\begin{bmatrix} 11 & 45 & 23 \\ 108 & ? & 0 \\ \mathbf{210} & 71 & 98 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 11 & 45 & 23 \\ 108 & \mathbf{210} & 0 \\ \mathbf{210} & 71 & 98 \end{bmatrix}$$

- **Erosion** (Abtragung, Verkleinerung)

Das aktive Pixel wird auf den **Minimumwert** der Umgebungspixel gesetz. Die **Region** wird dadurch **verkleinert**

$$\begin{bmatrix} 11 & 45 & 23 \\ 108 & ? & \mathbf{0} \\ 210 & 71 & 98 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 11 & 45 & 23 \\ 108 & \mathbf{0} & 0 \\ \mathbf{210} & 71 & 98 \end{bmatrix}$$

Kombination der Methoden

- **Opening**, erst Erosion, dann Dilation

kleine Objekte und Hintergrundrauschen werden entfernt, große Objekte bleiben unbetroffen

- **Closing**, erst Dilation, dann Erosion

verbindet große Strukturen, indem ‘Löcher’ oder ‘Spalten’ geschlossen werden, die morphologisch nicht relevant sind

Opening - Strukturauftrennung

Original

0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	0	0	255	255	0	0	0	0
0	0	0	0	255	0	0	0	0	0
0	0	0	0	255	0	0	0	0	0
0	0	0	0	255	0	0	0	0	0
0	0	0	0	255	0	0	0	0	0
0	0	0	255	255	0	0	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0

Schritt 1

0	0	0	255	255	255	255	0	0	0
0	0	0	255	255	255	255	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	255	255	255	0	0	0	0
0	0	0	255	255	255	255	0	0	0
0	0	0	255	255	255	255	0	0	0

Schritt 2

0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0

Opening - Artefaktentfernung

Original

0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	0	0	255	255	255	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	0	0	0	0	255	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0

Schritt 1

0	0	0	255	255	255	255	0	0	0
0	0	0	255	255	255	255	0	0	0
0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	255	255	255	0	0	0	0
0	0	0	255	255	255	255	0	0	0
0	0	0	255	255	255	255	0	0	0

Schritt 2

0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	0	0	255	255	255	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	0	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0
0	0	255	255	255	255	255	255	0	0

Closing - Spaltenschließung

Original

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	255	255	0	0	0	0	255	255	255
255	255	255	255	0	255	255	255	255	255
255	255	255	255	0	255	255	255	255	255
255	255	255	255	0	255	255	255	255	255
255	255	255	255	0	255	255	255	255	255
255	255	255	255	0	255	255	255	255	255
255	255	255	0	0	0	255	255	255	255
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Schritt 1

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	255	255	255	0	0	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	0	255	255	255	255	255
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Schritt 2

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	255	255	0	0	0	0	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	0	0	0	255	255	255	255
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0