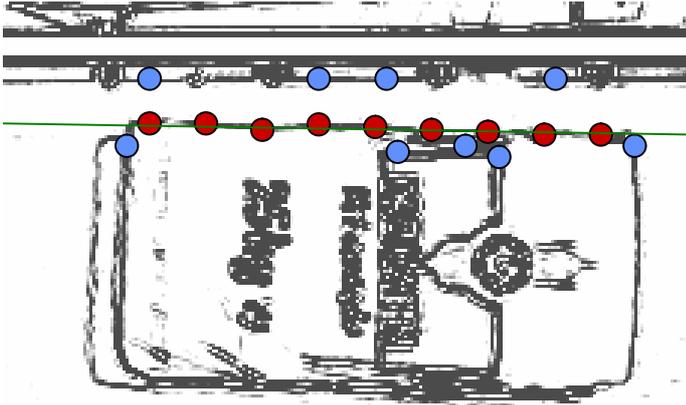


Das Detektionsproblem bei der Kurvenapproximation

- Die Umrisse (Konturen) von Objekten möchte man für die Bildauswertung durch parametrische Kurven (z.B. Geraden- und Kreisstücke) modellieren.
- Eine Kontur manifestiert sich durch die systematische Anordnung von Kantenpunkten im Bild.
- Mit einer Menge von Kantenpunkten, die einen Konturabschnitt bilden, kann ein parametrisches Kurvenmodell approximiert werden (*curve fitting*).



Wir kann die Unterscheidung zwischen "roten" und "blauen" Punkten automatisiert werden?

- ← Das Bild zeigt das Ergebnis einer Kantenfilterung (Kantenpixel dunkel).
- ← Einige Kantenpixel sind exemplarisch markiert (rote und blaue Punkte).
- ← Der Erfolg der Kurvenapproximation (hier der Geradenapproximation) hängt entscheidend von der richtigen Auswahl (Detektion) der zugehörigen Kantenpunkte ab.

Die Hough-Transformation zur Liniendetektion (1)

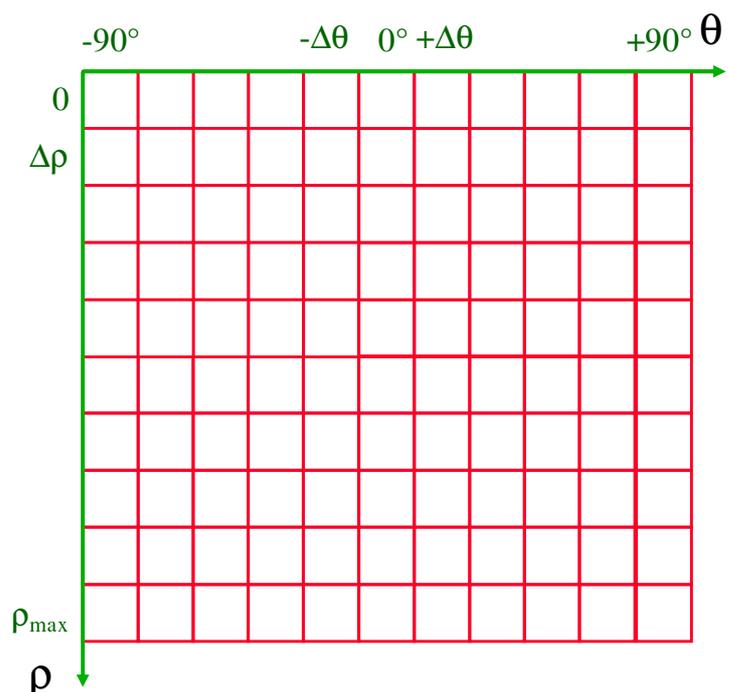
- Die Hough-Transformation wurde ursprünglich 1962 für die Detektion gerader Kantenzüge erfunden*.
- Die Hough-Transformation ist ein Algorithmus, der für eine Menge von Kantepunkten, wie sie von einem Kantendetektor gefunden werden, alle Linien (Geraden) findet, auf denen diese Punkte liegen.
- Das Verfahren wurde vielfach weiterentwickelt und verbessert. Varianten des Verfahrens werden auch zur Kreis- oder Ellipsendetektion eingesetzt.
- Die Hough-Transformation ist eine Technik zur Parameterschätzung, die auf einem Voting-Mechanismus (Abstimmungsmechanismus) beruht. Die Bedeutung dieser Technik geht weit über die Anwendung zur Liniendetektion hinaus.

* P.V.C. Hough: Method and means for recognising complex patterns,
US Patent 3069654, 1962.

Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.5 ©Konen, Zielke

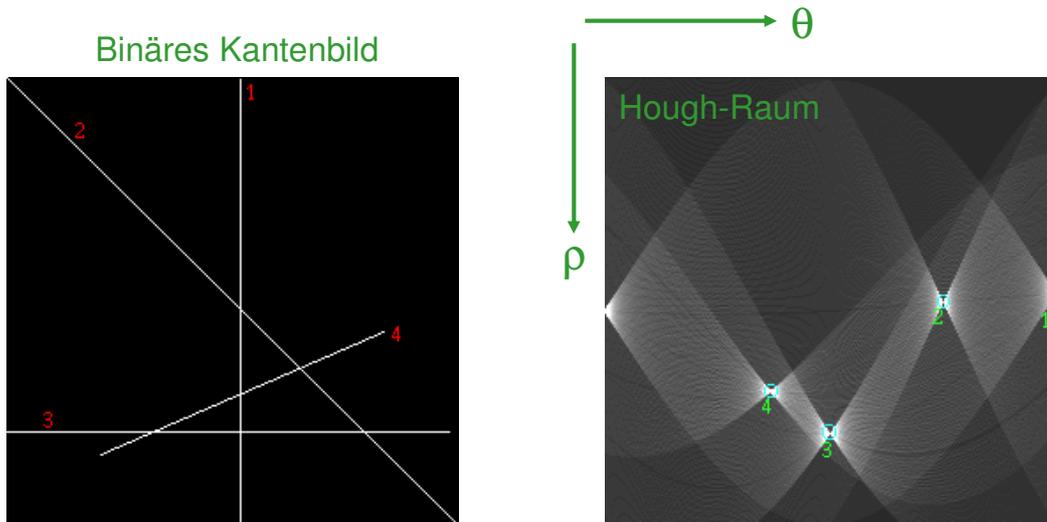
Die Hough-Transformation zur Liniendetektion (2) Hough-Raum (Hough Space)

- Als Hough-Raum bezeichnet man den diskretisierten Parameterraum innerhalb der Bereiche, in denen die Parameter gültige Werte annehmen können.
- Bei der Implementierung des Verfahrens wird der Hough-Raum als 2-dimensionales (ggf. mehrdimensionales) Array (Datenfeld) realisiert.
- In diesem Hough-Array werden Votes (Stimmen) für die jeweiligen Parameterkombinationen akkumuliert



Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.6 ©Konen, Zielke

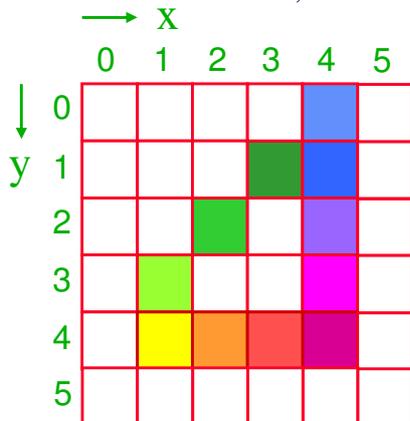
Die Hough-Transformation zur Liniendetektion (3) Situation bei perfekten Linien



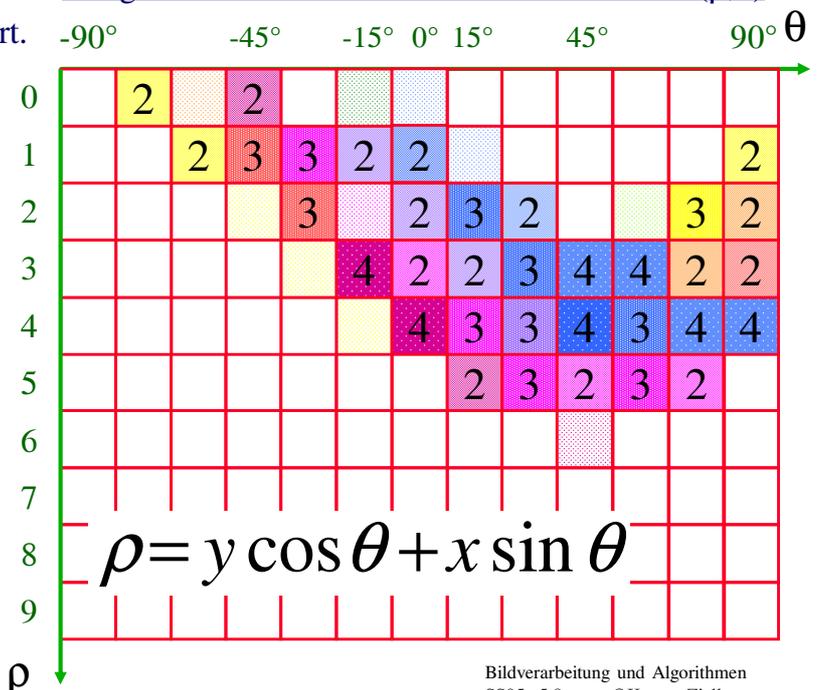
Für jedes Pixel auf einer potentiellen Linie, werden alle möglichen Linien (ρ, θ) , die durch diesen Punkt verlaufen, im Hough-Raum (Hough-Akkumulator) eingetragen.

Die Hough-Transformation zur Liniendetektion (4) Illustration des Verfahrens (Variante mit Suche über alle möglichen Linien)

Binäres "Kantenbild" (weiße Pixel 0, farbige Pixel 1): Alle Pixel, die Teil einer Linie sein können, sind markiert.



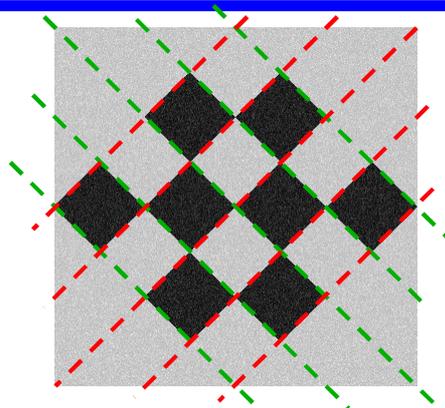
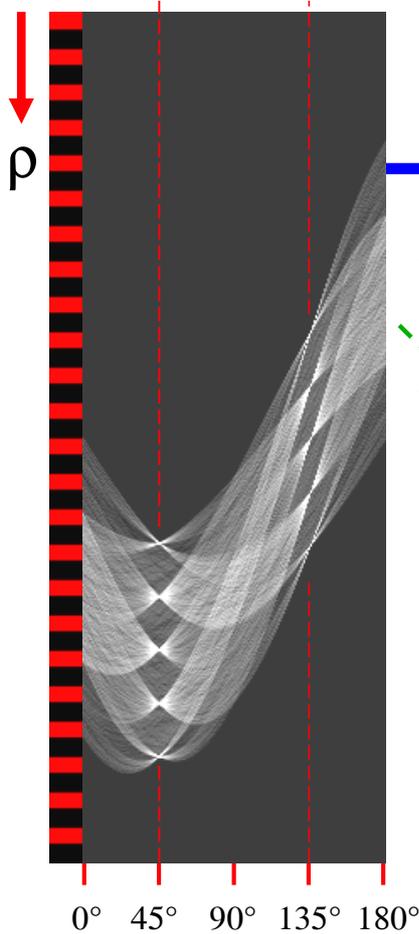
Hough-Akkumulator für die Linien-Parameter (ρ, θ)



Für alle markierten Pixel (Kantenpunkte) werden alle gültigen Paare (ρ, θ) errechnet und in den Hough-Akkumulator eingetragen.

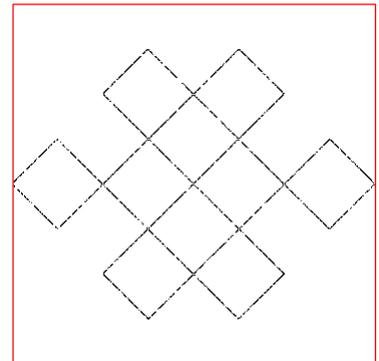
$$\rho = y \cos \theta + x \sin \theta$$

Beispiel: Detektion von Linien in einem verrauschten Schachbrettmuster



Das um 45° rotierte Schachbrettmuster enthält Linienabschnitte unter den Winkeln 45° und 135° (-45°). Im Hough-Raum entstehen jeweils 5 deutliche Maxima an diesen beiden Winkelpositionen.

Zur Vorbereitung der Hough-Transformation wird das Muster mit einem Sobel-Filter bearbeitet. Jeder dunkle Punkt (Kantenpixel) im "Sobel-Bild" liefert eine "Stimme" für alle jeweils möglichen Parameterpaare (ρ, θ) .



Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.9 ©Konen, Zielke

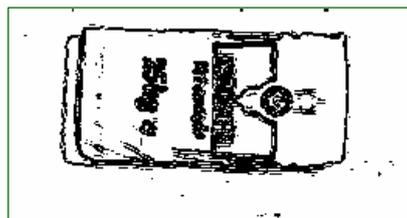
Umrisserkennung mit der Hough-Transformation bei einer rechteckigen Form (1)

Problembeschreibung:

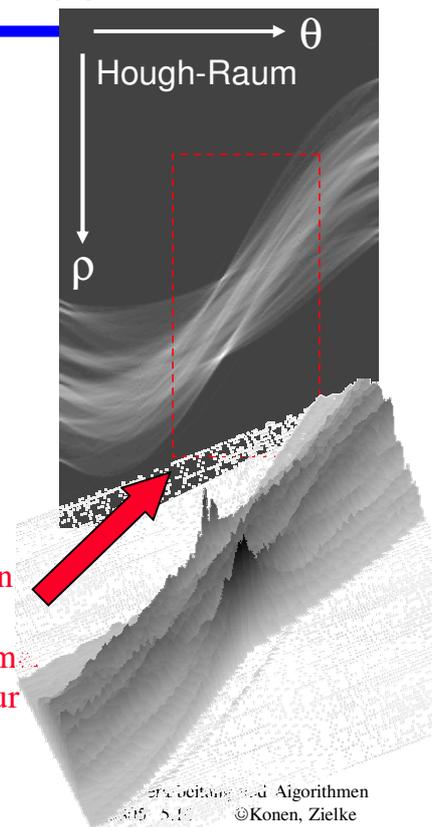
Der Sack auf dem Förderband lässt sich nicht allein über den Helligkeitsunterschied zwischen seiner Oberfläche und der Bandoberfläche eindeutig eingrenzen. Der Sackaufdruck kann außerdem variieren und unterschiedliche Muster zeigen.



Das binarisierte Sobelbild zeigt eine deutliche Häufung von Kantenpixeln entlang der Sackumrisse. Viele zusätzliche Kantenpixel entstehen durch das Muster des Sackaufdrucks.



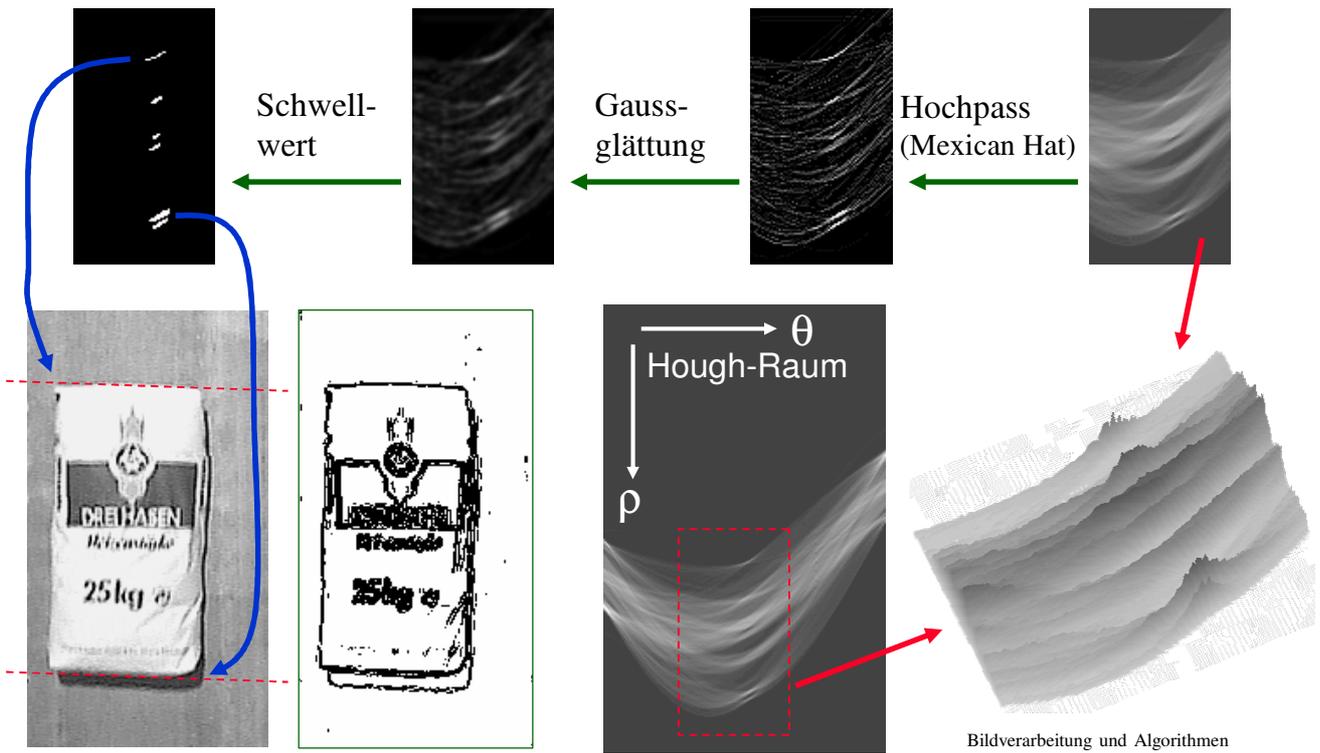
Lange linienförmige Häufungen von Kantenpixeln führen im Hough-Raum zu lokalen Maxima. Zur Detektion wird zunächst nur der Winkelbereich von ca. -45° bis $+45^\circ$ ausgewertet.



Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.10 ©Konen, Zielke

Umrisserkennung mit der Hough-Transformation bei einer rechteckigen Form (2)

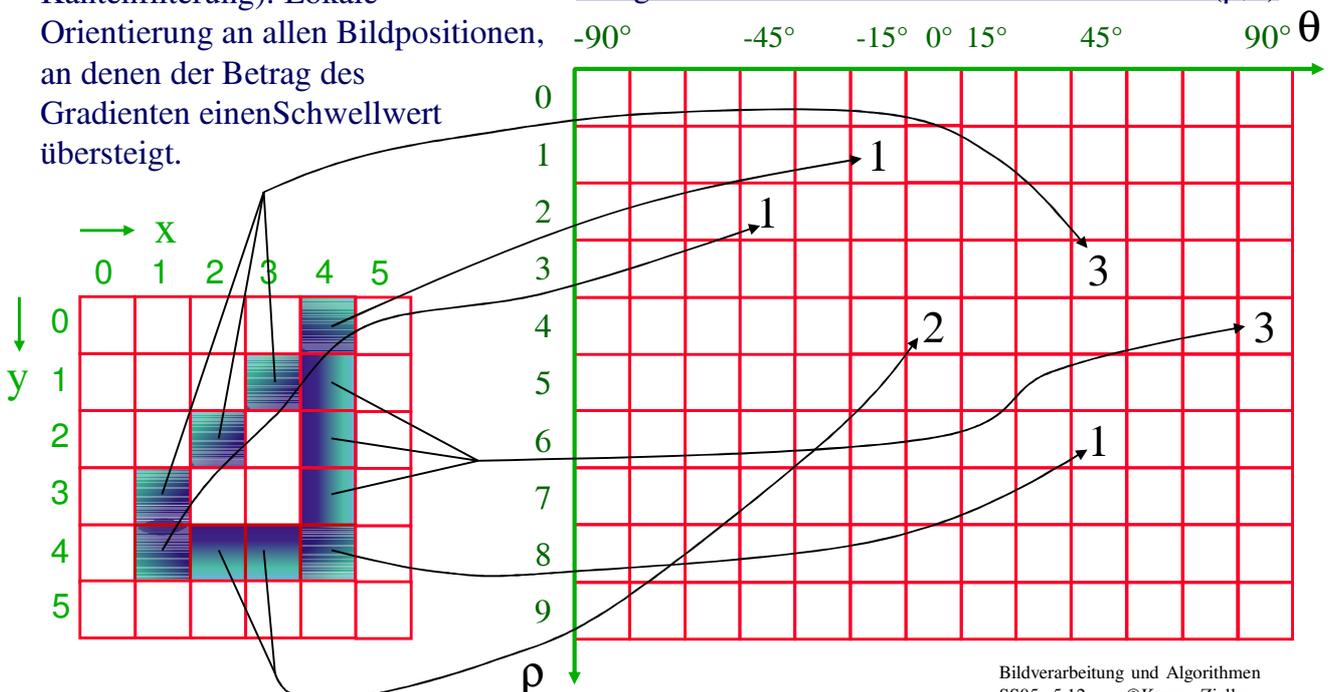
Typische Verarbeitungsschritte zum Finden von Hough-Maxima



Variante der Hough-Transformation zur Liniendetektion (mit Gradientenbestimmung)

"Kantenbild" (Ergebnis einer Kantenfilterung): Lokale Orientierung an allen Bildpositionen, an denen der Betrag des Gradienten einen Schwellwert übersteigt.

Hough-Akkumulator für die Linien-Parameter (ρ, θ)



Allgemeine Merkmale der Informationsverarbeitung bei der Hough-Transformation und verwandten Verfahren

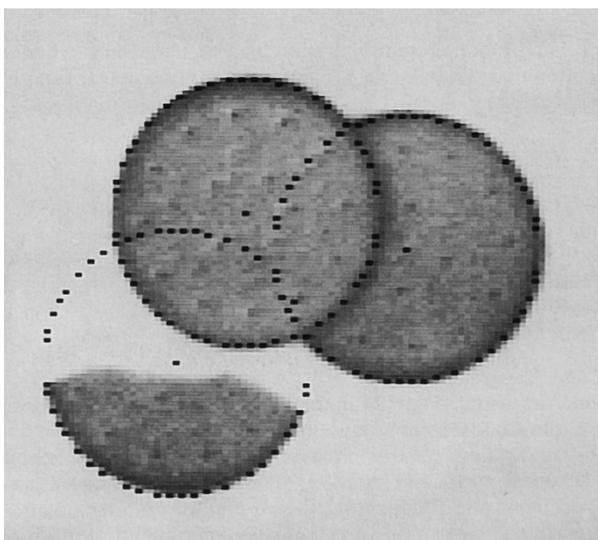
- Hough-basierte Verfahren eignen sich zum Vergleich (*match*) von Daten mit einem parametrischen Modell.
 - Der Parameterraum muss diskret sein.
 - Die Anzahl der zugelassenen Parameterkombinationen ergibt sich aus dem jeweils betrachteten Wertebereich und der jeweiligen Auflösung (Abtastdichte) der einzelnen Parameter-Dimensionen.
- Die Detektion einer Übereinstimmung (Ähnlichkeit) von Daten und Modell ist mit einer Schätzung der Modellparameter gekoppelt.
 - Mehrfaches Vorkommen des Modells in den Daten wird simultan entdeckt.
- Das Detektionsprinzip beruht auf einer Akkumulation von Hinweisen (*evidence*) bzw. Hypothesen, die aus lokalen (ausschnittsbezogenen) Betrachtungen der Daten gewonnen werden.

Jede einzelne lokale Analyse muss zwei Fragen beantworten:

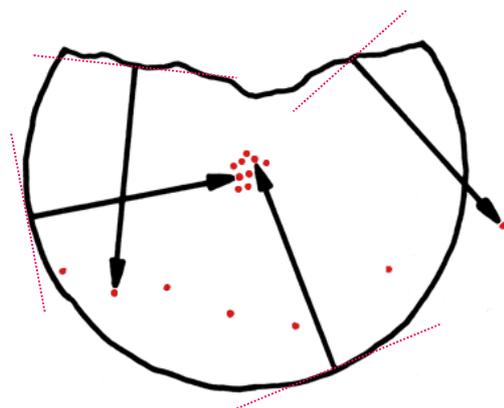
 - ★ Kann die betrachtete (lokale) Datenmenge als Hinweis auf das Vorhandensein einer Modell-Instanz gewertet werden?
 - ★ Welche Varianten des Modells sind mit den betrachteten Daten kompatibel?
- Die Akkumulation von Hinweisen kann auch als Abstimmung (*voting*) aufgefaßt werden:
 - Jede lokale Analyse hat eine oder mehrere "Stimmen" (*votes*) für Modell-Kandidaten.

Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.13 ©Konen, Zielke

Hough-Transformation zur Detektion von kreisförmigen Objekten Motivation und Verfahrensprinzip



Das Bild zeigt runde Kekse. Die Umrisse und die Zentren sind mit dunklen Punkten markiert. Bei dem abgebrochenen Stück kann man mit Wissen der Kreisform, den fehlenden Umriss ergänzen.



Bei der Hough-Transformation zur Kreisdetektion (bei bekanntem Radius), wird an jedem Kantenpunkt aus der lokalen Orientierung die Position des möglichen Kreismittelpunkts geschätzt.

Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.14 ©Konen, Zielke

Parametrisierung eines Kreises bzw. Kreisbogens

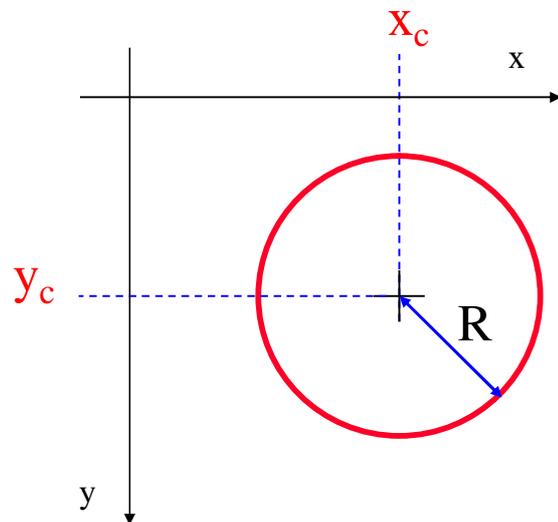
Für jeden Punkt auf einem Kreis bzw. Kreisbogen gilt:

$$R^2 = (x - x_C)^2 + (y - y_C)^2$$

Um einen Kreis festzulegen braucht man mindestens drei Werte.

Nach der hier gewählten Parametrisierung sind dies

- der Radius R sowie
- die x -Koordinate x_C und
- die y -Koordinate y_C des Kreismittelpunkts.



Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.15 ©Konen, Zielke

Beziehung zwischen Mittelpunkt, Radius und Tangenten eines Kreises

Bei einem Kreis mit bekanntem Radius läßt sich der Mittelpunkt aus jeder Tangente an diesem Kreis berechnen. Es gilt

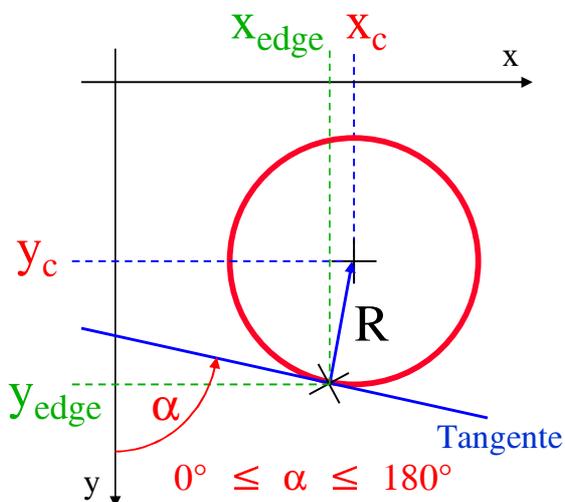
$$x_{edge} = x_C - R \cos(\alpha)$$

$$y_{edge} = y_C + R \sin(\alpha)$$

und

$$x_C = x_{edge} + R \cos(\alpha)$$

$$y_C = y_{edge} - R \sin(\alpha)$$



Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.16 ©Konen, Zielke

Effiziente Implementierung der zirkularen Hough-Transformation Zur Berechnung des Hough-Arrays

sind keine trigonometrischen Funktionen notwendig!

Sobel-Filter

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

$$\tan \alpha = \frac{G_y}{G_x} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\frac{|G|^2}{G_x^2} = \frac{G_x^2}{G_x^2} + \frac{G_y^2}{G_x^2} = 1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha}$$

$$\cos^2 \alpha \frac{|G|^2}{G_x^2} = \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$$

$$\cos \alpha = \frac{G_x}{|G|}$$

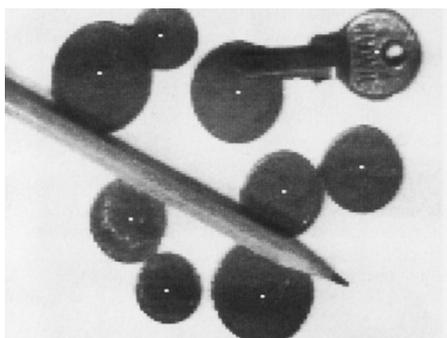
$$\sin \alpha = \frac{G_y}{|G|}$$

$$x_C = x_{edge} - R \frac{G_x}{|G|}$$

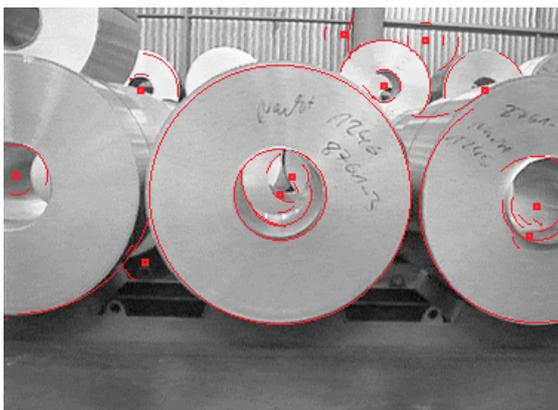
$$y_C = y_{edge} + R \frac{G_y}{|G|}$$

Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.17 ©Konen, Zielke

Simultane Detektion von mehreren Kreisstrukturen in einem Bild (Beispiele)



- Simultane Detektion und Lokalisierung von Münzen und einem Schlüssel bzw. von Aluminium-Coils in einer Fabrikhalle.
- Die Detektion wird nicht beeinträchtigt durch teilweise Verdeckung und Glanzlichter.
- Einige Zentren im Hough-Raum werden nicht ortsgenau abgebildet.



Bildverarbeitung und Algorithmen
SS05 5.19 ©Konen, Zielke