

Informatik

Digitale Bildverarbeitung

Irene Rothe

Zi. B 241

irene.rothe@h-brs.de

Instagram: irenerothedesign



Informatik: ein Semester für TJs und VTs

Informatik = Lösen von Problemen mit dem Rechner

- Zum Lösen von Problemen mit dem Rechner braucht man **Programmierfähigkeiten (nur mit Übung möglich)**: Was ist Programmieren? Kleine Beispiele mit Code und Flussdiagramm → Vorbereitung auf die Projektwoche in Javascript und Webprogrammierung
- Wie löst der Rechner unsere Probleme? → mit **Dualdarstellung** von Zeichen und Zahlen und mit Hilfe von **Algorithmen**
- Was ist ein Algorithmus? Beispiele von Algorithmen: **Sortieren** und **Suche**
- Ein Beispiel für ein Problem: **Kryptografie**
- Noch ein Beispiel für ein Problem: **Bildverarbeitung**
- Sind Rechner auch Menschen? → **Künstliche Intelligenz**
- Für alle Probleme gibt es viele Algorithmen. Welcher ist der Beste? → **Aufwand** von Algorithmen
- ...



s st verrckt, dss mn dsn Txt lsn knn, bwhl r kmprmrt st. n dsm Txt wrdn ll Slbstlt wgglsn. Ds Ghrn st fhg, n Bchstbnnhfngn Snn z brngn. B dr Bldspchrng wrm wrd gntz, dss ds mnschlch Shrgn (g) ncht s gn sht, z.B. bstmmt Frqunzn wngr whrnmmt ls ndr.

Es ist verrückt, dass man diesen Text lesen kann, obwohl er komprimiert ist. In diesem Text wurden alle Selbstlaute weggelassen. Das Gehirn ist fähig, in Buchstabenanhäufungen Sinn zu bringen. Bei der Bildspeicherung wiederum wird ausgenutzt, dass das menschliche Sehorgan (Auge) nicht so genau sieht, z.B. bestimmte Frequenzen weniger wahrnimmt als andere.

Fragen

- Welche Gebiete gehören zur Bildverarbeitung?
- Was ist ein digitales Bild?
- Was bedeutet 4er bzw. 8er Nachbarschaft eines Pixels?
- Wie kann man Bilder komprimieren?
- Was sind Punktoperationen und was sind Filter?
- Was sind bekannte Filter?
- Was ist eine Clusteranalyse?
- Wie definiert man Kanten in Bildern und wie findet man sie?
- Was ist die Dilatation und Erosion von Binärbildern?
- Was sind Texturen?

Anwendungen der digitalen Bildverarbeitung

- Qualitätskontrolle: Sichtbarmachung von schlecht isolierten Heizungsleitungen (Temperaturverteilung wird mit Infrarotkameras aufgenommen), Finden von Problemzonen bei Schaltungen auf Leiterplatten
- Medizin: Tomografie
- Auswertung von Satellitenaufnahmen
- Sicherheitstechnik: Fingerabdrücke, Gesichtserkennung, Augenretina
- Zeichen- und Schrifterkennung: Scannen von Schriftstücken
- Videotechnik: Datenkompression

Bildverarbeitungssystem besteht aus...

- Computer
- sehr großem Speicher (32 Bit pro Bildpunkt)
- Kamera oder Scanner

Gebiete der Bildverarbeitung

- **Bildverbesserung:**

- Beseitigung von Bildfehlern (durch Filterung)
- Extraktion/Hervorhebung von wichtigen Strukturen (Kanten, Texturen, Linien, Objekten)
- Korrektur von Aufnahmefehlern (Rauschen)
- Bildrekonstruktion

- **Bildanalyse:**

- Interpretation von Bildern (Flächeninhalte, topologische Merkmale, Anordnung von Objekten, Texturmerkmale, Objekterkennung)
- Segmentierung von Bildelementen
- Klassifikation von Objekten, Kanten, Mustern

- **Bildcodierung/Bildkompression:**

- Verringerung des Aufwandes zur Bildspeicherung oder zur Bildübertragung
- Kompression der Bilder durch Beseitigung von Redundanzen mit vollem Erhalt der Bildinformation

Grundlagen der Bilddigitalisierung

1. Bildaufnahme durch eine Kamera
2. Digitalisierung durch Kamera
3. Entstehung eines digitalen Bildes

$I = [I(m,n)]$ mit $0 \leq m \leq M$, $0 \leq n \leq N$

- I ist ein $M \times N$ Bild,
- $I(m,n)$ sind die Grauwerte oder Farben der einzelnen Bildpunkte (Pixel)
- (m,n) ist die Position eines Pixels

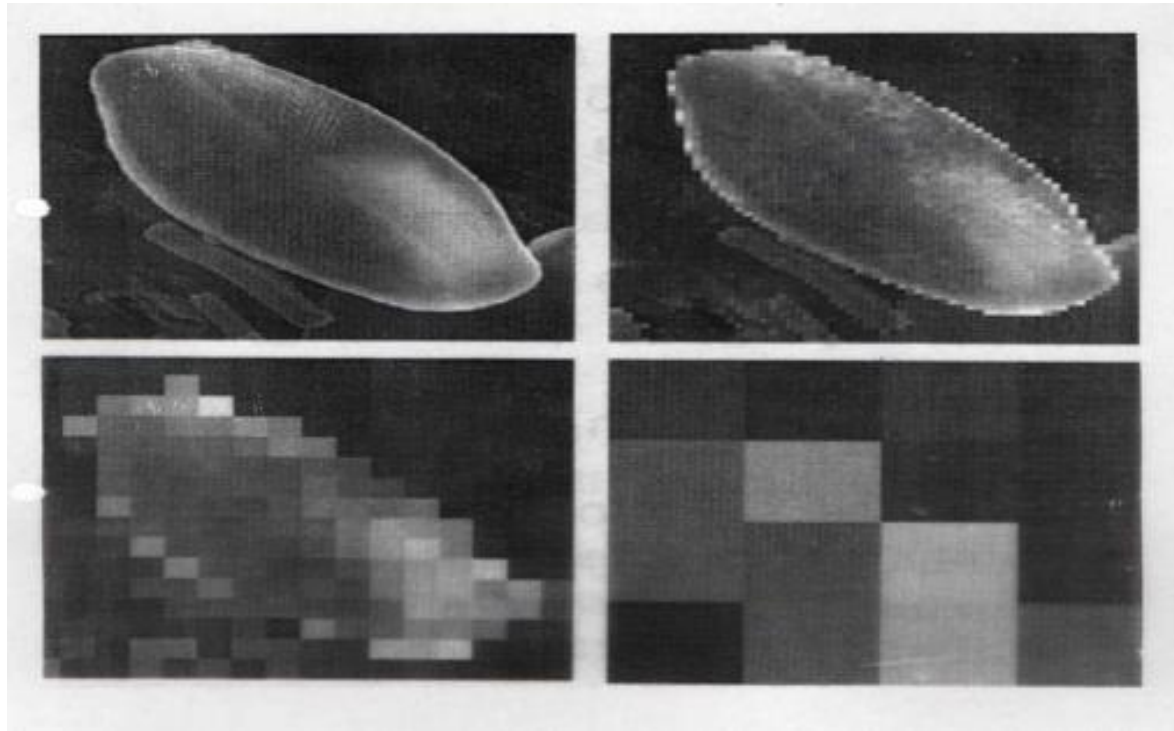
4. Quantisierung: Diskretisierung der Grauwerte bzw. der Farbwerte eines jeden Pixels
 - Binärbild ist weiß und schwarz,
 - üblich sind **256** Grauwertstufen: $0 \leq I(m,n) \leq 255$

Digitales Bild

127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
127	127	127	127	255	255	127	127	127	127
127	127	127	127	255	255	127	127	127	127
127	127	127	255	127	127	255	127	127	127
127	127	127	255	255	255	255	127	127	127
127	127	255	127	127	127	127	255	127	127
127	127	255	127	127	127	127	255	127	127
127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
127	127	127	127	127	127	127	127	127	127

(2,2)

Digitalisierung eines Bildes



Grundlagen der Bilddigitalisierung

Frage: Wie viele Pixel braucht man für ein Bild?

Ziel: ausreichende Bildqualität bei minimaler Abtastrate

Shannon Abtasttheorem: Wie gut wird ein kontinuierliches Bild durch ein diskretes Bild repräsentiert?

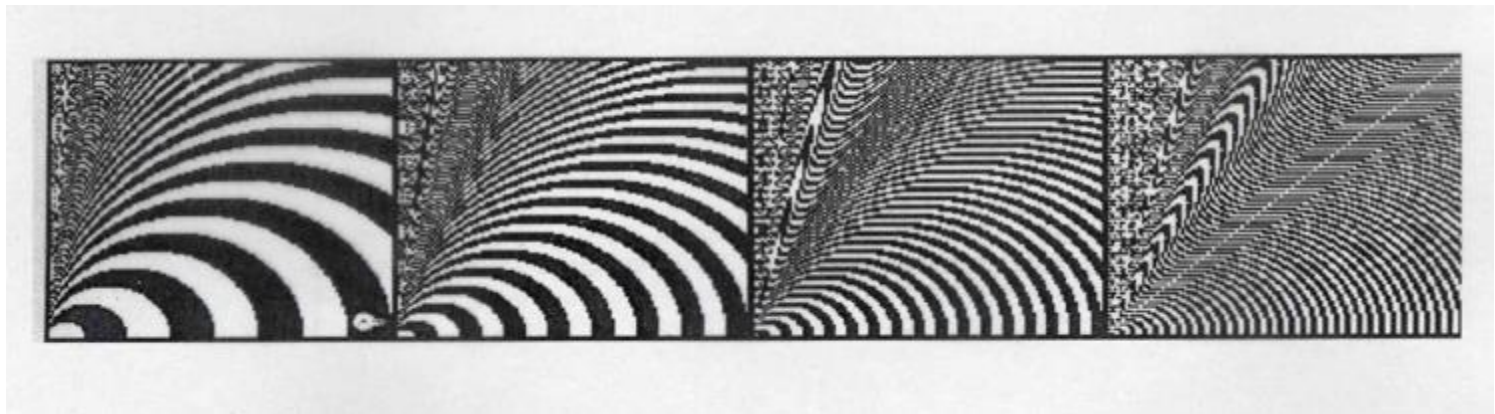
Übung: Wieviel Speicher braucht folgendes Bild?

Breite: 128 Pixel

Höhe: 48 Pixel

GRW pro Pixel: 16 Bit

Aliasing



Übung: Wie sieht der Mensch? Analog oder digital?

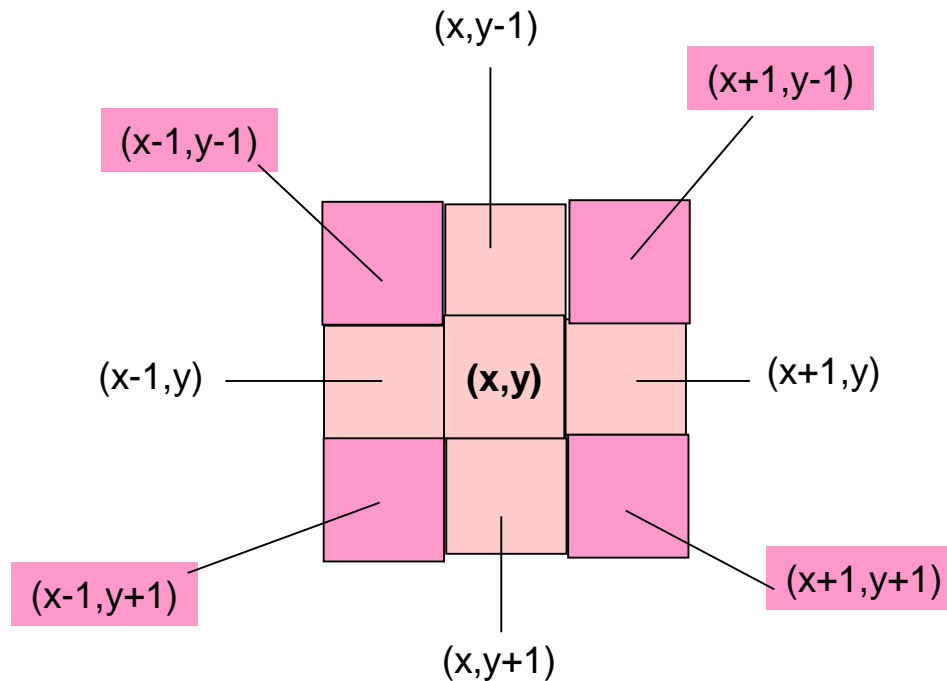


Berechnung einiger Bildgrößen

- **mittlerer** Grauwert: $\text{mittlerergrw} = \frac{1}{mn} \sum \sum I(m,n)$
- **homogenes** Bild: mittlerergrw = 127
- **unterbelichtetes** Bild: mittlerergrw << 127
- **überbelichtetes** Bild: mittlerergrw >> 127

Begriffe

- **Histogramm:** Häufigkeitsverteilung der Grauwerte
- **4er Nachbarschaft** eines Pixels
- **8er Nachbarschaft** eines Pixels

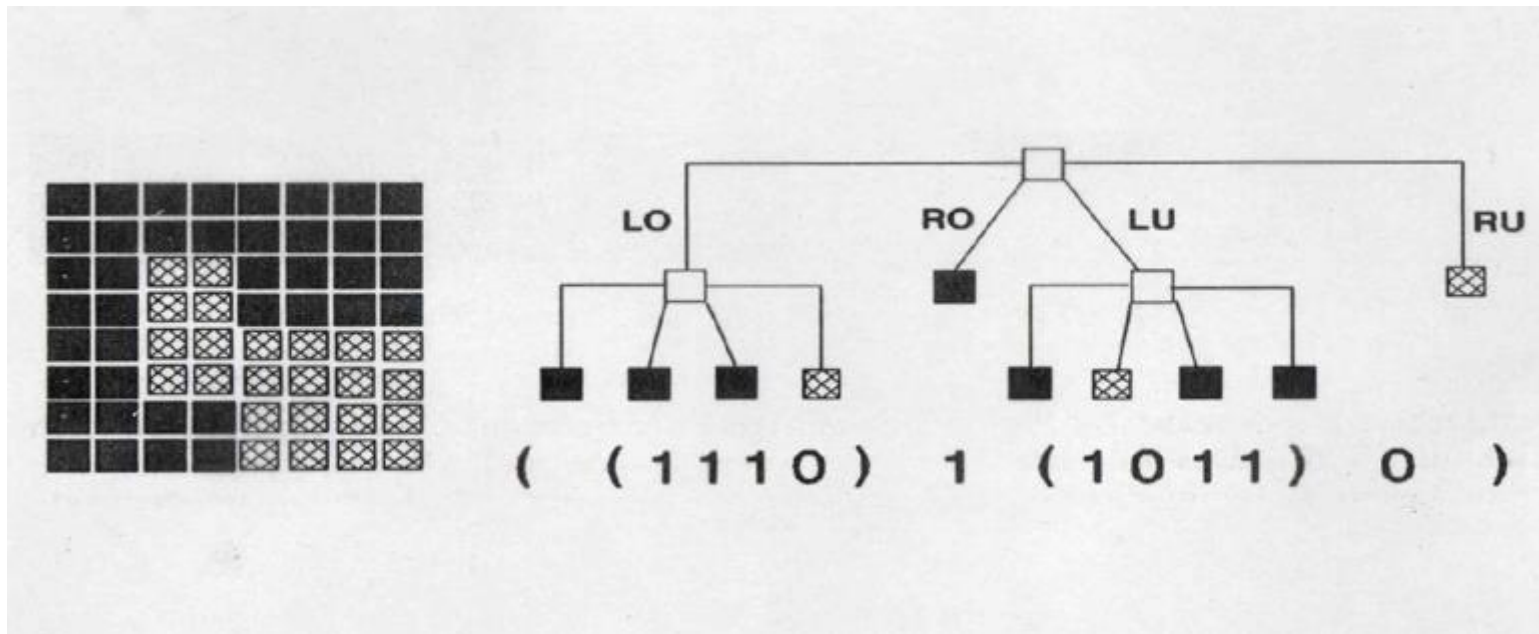


Bildkomprimierung

- Bild mit einheitlichem Grauwert (*homogenes Bild*): Speicherung der Größe des Bildes und des Grauwertes
- **Quadtreekomprimierung**: Unterteilung des Bildes in 4 Teilbilder und Untersuchung, ob eines der Teilbilder homogen ist, alle nicht homogenen Bilder werden weiter geviertelt (geht manchmal bis zum einzelnen Bildpunkt runter)
- **Laufängenkomprimierung**:

00000000000000000000	(19,0)
00000111111111100000	(5,0), (9,1), (5,0)
00000111111111100000	(5,0), (9,1), (5,0)
00000111111111100000	(5,0), (9,1), (5,0)
00000000000000000000	(19,0)

Quadtree-Darstellung



Übung

Codierung eines großen X



Übung: Welches Bild ergibt die folgende Codierung?

(1,1)(3,0)(1,1)
(1,0)(1,1)(1,0)(1,1)(1,0)
(2,0)(1,1)(2,0)
(2,0)(1,1)(2,0)
(2,0)(1,1)(2,0)
(2,0)(1,1)(2,0)

Bildkomprimierung

- mit Hilfe von Histogrammen kann man feststellen, ob man ein komprimiertes Bild hat oder ein Vollbild
- Bemerkung: **JPEG** ist ein Verfahren zur Kompression von Bilddaten (**Huffmankodierung**)
- Kompressionen laufen oft auch unter Datenverlust ab, wobei unwichtige Daten einfach weggelassen werden mit Hilfe von z.B. Spektraltechniken

Dias: Mikroskopbild

```
grayh 1 1 1  
vish 255 2
```

Übung: Woran könnte man erkennen, dass ein Bild komprimiert wurde mit Bildverlust?

Punktoperationen

- Veränderung von Pixeln ohne Einbeziehung der benachbarten Pixel
- **Thresholding:** $0 \dots 127 \rightarrow 0$, $128 \dots 255 \rightarrow 255$: Entstehung eines *Binärbildes*
- **Histogrammstreckung:**
 - gleiche Häufigkeit der Grauwerte erreichen, d.h. in jedem konstanten Grauwertintervall liegen gleich viele Punkte
 - Kontrasterhöhung: z.B. $I(x,y) \rightarrow I(x,y) * 1,5 + 10$
 - Anzeige von Bildfehlern: Überbelichtung bzw. Unterbelichtung (Sättigung des Histogramms am einen bzw. am anderen Ende)

Bildverbesserung

- Verminderung von Rauschen (Fehler bei der Aufnahme, mehr oder weniger zufällig)
- **additives Rauschen:** $GRW(x,y) + R(x,y)$
- **multiplikatives Rauschen:** $GRW(x,y) * R(x,y)$ (sehr kompliziert zu handhaben)
- **weißes Rauschen:** $R(x,y)$ ist unabhängig voneinander und gleichverteilt (also im gesamten Bild kommt kein stärkeres oder schwächeres Rauschen vor)
- Verminderung von Rauschen:
 - Erzeugung mehrerer Bilder B_1, \dots, B_n : $\frac{1}{n} \sum B_i(x, y)$
wobei die Aufnahmen so unabhängig wie möglich sein sollten
(bei sehr vielen Aufnahmen geht die Störung gegen Null)
 - Einsatz von Filtern

Die Faltung

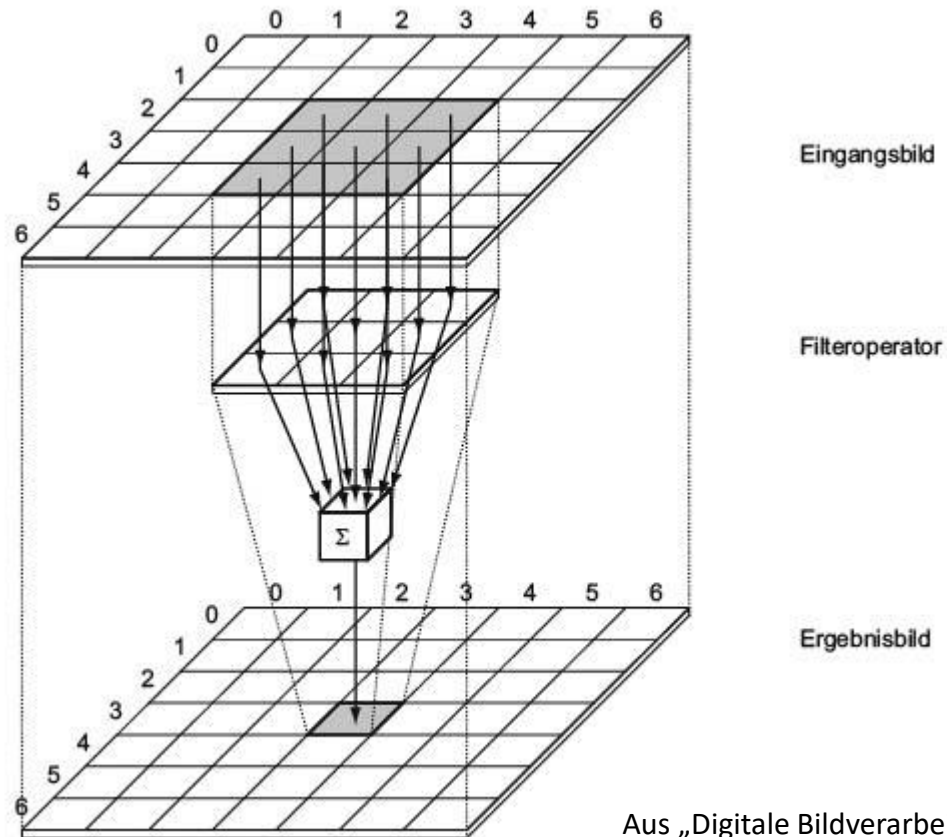
- bei der Bildaufnahme entstehen Verzerrungen, die aus einem Punkt einen Fleck werden lassen
- man macht dafür die Punktverbreiterungsfunktion (englisch PSF) verantwortlich
- **Faltung:** Operation, die aus dem Originalbild B durch die PSF die Aufnahme G erzeugt:

$$G = B * PSF + R$$

mit * als Matrizenmultiplikation und R als Rauschen

Aufgabe: Rückgängigmachen dieser Operation durch pseudoinverses Filter (im allgemeinen kann man Filter nicht rückgängig machen) und Rauschbeseitigung

Filter



Aus „Digitale Bildverarbeitung“ Christian Demant 2011

Weitere Erklärungen: https://www.prepress-secrets.at/index_files/filter-digitale-bildverarbeitung.html

Filter

Eine $n \times n$ Maske wird von links oben nach rechts unten über das Bild geschoben, wobei GRW-Neu wie folgt berechnet wird (Faltung für eine 4er Nachbarschaft mit 3×3 Maske fürs Mittelwertfilter):

$$Grw-Neu = \frac{1}{5} (GRW(i, j) + GRW(i-1, j) + GRW(i+1, j) + GRW(i, j-1) + GRW(i, j+1))$$

Die Bildränder werden extra behandelt.

Filteroperationen

- Operationen auf einem Bild, die auch die *Nachbarpunkte* in die Berechnung jedes neuen Bildpunktes *mit einbezieht*
- oft angewandt in der **Bildvorverarbeitung**, um nachgeschaltetes Analyseverfahren zu erleichtern
- 3x3 Maske ist üblich
- **lineare** Filter: Aufaddierung von Bildpunkten mit Gewichten (*ganzzahlige* Filterkoeffizienten)
- *Ziel*: Rauschbeseitigung, Bildschärfe erhöhen (scharfes Bild: Intensität steigt in kleinen Bereichen stark an und ab)

Mittelwertfilter

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dies ist das arithmetische Mittel aus den Umgebungspixeln.

Wirkung:

- *Glättung* des Bildes (es wird weicher)
- Kanten werden verwischt
- Details und Rauschen werden abgeschwächt

Sobelfilter

Horizontales Filter

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Vertikales Filter

$$S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Dieses Filter ist richtungsabhängig.

Wirkung: verdeutlichen von Kanten und feinen Details in bestimmten Richtungen

Gradientenfilter

$$G = |S_x| + |S_y|$$

Dieses Filter bestimmt die maximale Steigung des Grauwertgebirges in Richtung des *Gradientens*.

Dies ist gleich:

Betrag des Gradientens
= Nullstelle der 2. Ableitung
= Wendepunkt
= Punkt mit größter Steigung

Nichtlineare Filter

- **Minimum-Maximum-Filter:** neuer Bildpunkt ist höchster bzw. niedrigster Grauwert der 8er Umgebung diese Pixels
- **Medianfilter:** neuer Bildpunkt ist mittlerer Grauwert der 8er Umgebung diese Pixels

Klassifikation und Clusteranalyse

Einzelne Objekte sind durch Merkmale unterteilt (Farbe, Umfang der Objekte,...).

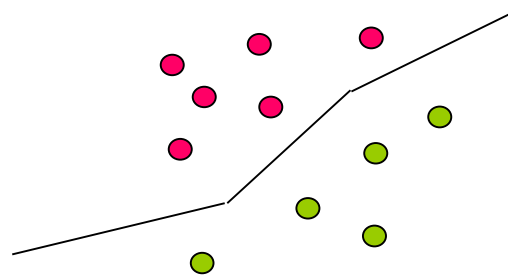
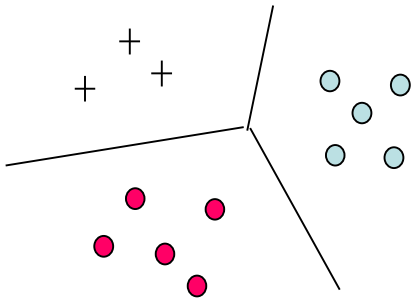
Erhalt von *Clustern* durch:

- **Minimum-Distance-Klassifikation:**

Objekt gehört in das Cluster, zu dessen Schwerpunkt (kann auch typischer Vertreter sein) es den kleinsten Abstand hat

- **Nearest-Neighbour Klassifikator:** Minimum jedes einzelnen Objektes zu jedem anderen Objekt aus einem anderen Merkmalsraum, davon dann Berechnung des Minimums:

Erhalt von stückweisen linearen Funktionen



Kanten in Bildern

Kanten sind Orte im Bild, an denen sich die Intensität der Grauwerte abrupt ändert.

- Hervorhebung von Kanten: nur noch die Kanten sind sichtbar, Kontrastüberhöhung
- *Kantendetektion*:
 - maximaler Anstieg des Grauwertgebirges
 - für jeden Punkt (x,y) wird der Betrag des Grauwertgradientens berechnet
 - danach Gradientenschwellwertentscheidung

$$|\textit{Gradient}(\textit{GRW}(x, y))| > \textit{Pegel}$$

Kontur eines Objektes

Kontur eines Objektes ist der Rand (geschlossener Weg).

- ein Objektpunkt ist genau dann Randpunkt, wenn mindestens ein Punkt seiner 8er Nachbarschaft ein Untergrundpunkt (Grauwert $<$ Pegel) ist
- es gibt noch andere Definition (Begriff ist nicht eindeutig)
- *Algorithmus:*
 1. Finde ersten Randpunkt
 2. Suche gesamte 8er Nachbarschaft nach Randpunkten ab
 3. Gehe von Punkt zu Punkt in Schritten der Länge 1
 4. Ergebnis: Folge von Pixeln

Templatematching

- *Gegeben*: Bild g mit Objekt oder Muster (Schablone) und ein großes Bild f
- *Gesucht*: Finde in f Stellen, die der Schablone g stark ähneln

$$\sum (g(u, v) - f(x + u, y + v))^2$$

als Maß für die Unähnlichkeit, d.h. gesucht sind die Stellen, wo diese Größe minimal wird

Dilatation und Erosion für Binärbilder

- Pixel (x,y) mit 8er Nachbarschaft: $A(x,y)$ = Anzahl der schwarzen Bildpunkte
- **Dilatation:** alle Pixel mit $A(x,y) \geq 1$ werden schwarz gefärbt, dies bedeutet eine Erweiterung der schwarzen Punkte und einzelne weiße Bildpunkte verschwinden
- **Erosion:** alle Pixel mit $A(x,y) < 8$ werden weiß gefärbt, dies bedeutet eine Verkleinerung von Bildgebieten und einzelne schwarze Bildpunkte verschwinden

Texturen

Textur ist ein schwierig zu definierender Begriff

- **Textur:** *Strukturierung* der Grauwerte
- mit dem Auge sind Texturen leicht erkennbar, aber mit Merkmalen schwer beschreibbar
- Texturen sind kleine Grundmuster, die sich in leichten Variationen wiederholen
- Verarbeitung:
 - Katalog mit sehr vielen Texturbeispielen,
 - Durchführung eines Matchings
 - mit Hilfe von stochastischen Prozessen

Literatur:

- Voss/Süße: „Praktische Bildverarbeitung“
- Wilhelm Burger, Mark James Burge: „Digitale Bildverarbeitung“