

## 11. Verarbeitung von Bewegtbildern

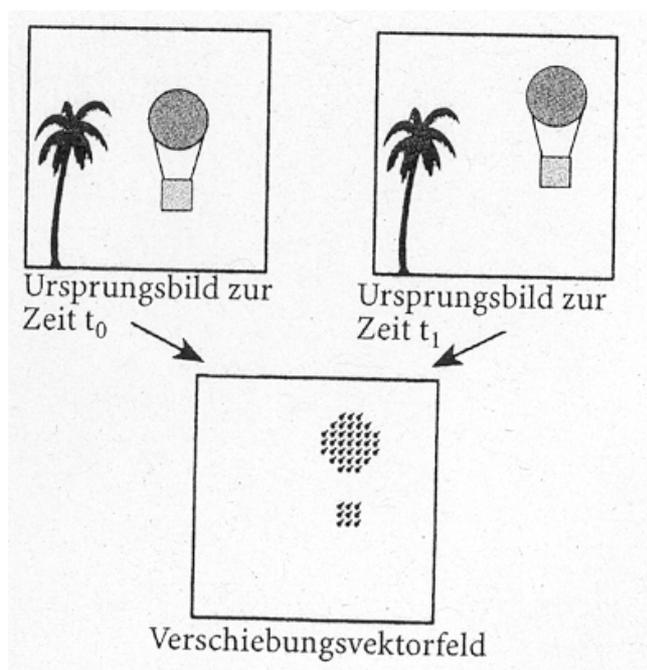
Problemstellung:

Analyse und Verstehen von Bewegung in Bildfolgen

Schwierigkeiten:

- Unterschiede zwischen Bildveränderung und Bewegung
- Rauschen soll nicht als Bewegung interpretiert werden
- ebenso Veränderung der Beleuchtungsbedingungen
- bewegte Teile eines Bildes müssen nicht notw. zusammenhängen (Beisp. Vogelschwarm) – Mensch erkennt dies trotzdem als zusammengehörig (Gestaltgesetz des "gemeinsamen Schicksals")
- Bewegung eines Objektes hinter einem Lattenzaun: ständig tauchen Bildelemente auf und verschwinden wieder
- Verformung von Objekten während der Bewegung: Beisp. Gehen eines Menschen, Aufprallen eines Balls, sich drehender Stein im Flug (nach Wurf) – auch Beleuchtung kann sich dabei ändern
- Eigenbewegung zu unterscheiden von Bewegung der beobachteten Objekte

Ziel der Bewegungsschätzung: Verschiebungsvektor für jeden Bildpunkt



## 2 Ansätze zur Abtastung bei Bewegungsdetektion:

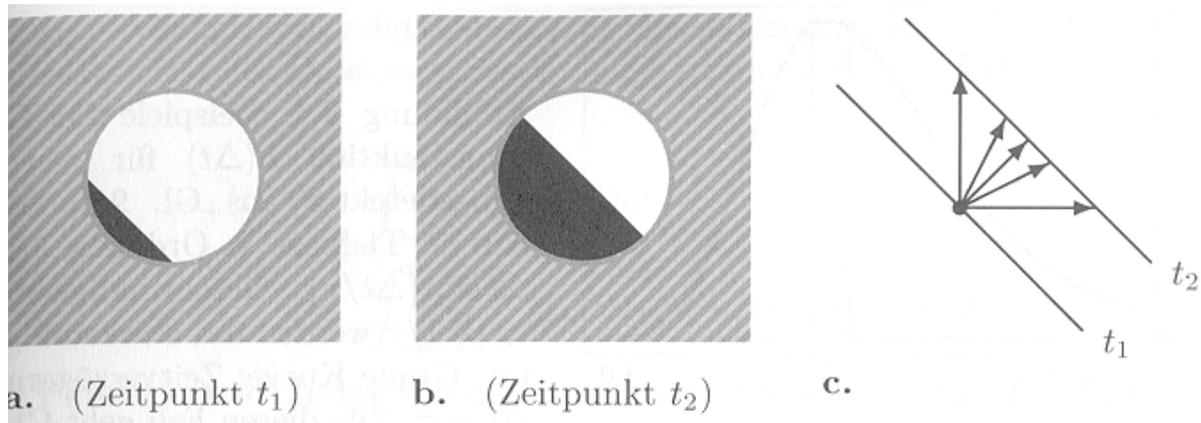
- zeitdiskret: Abfolge von Einzelbildern zu verschiedenen Zeitpunkten ("frames") – abgetastete Bewegung (*apparent motion*)
- kontinuierliche Entwicklung des Grauwertes an einem festen Ort: entspricht eher dem biologischen Vorbild (rezeptive Felder der retinalen Ganglienzellen; Insektenauge)

im zeitdiskreten Fall:

Bildelemente müssen von einem Bild zum nächsten verfolgt werden – *Korrespondenzproblem*

Problem beim 2. Ansatz (streng lokaler Detektor):

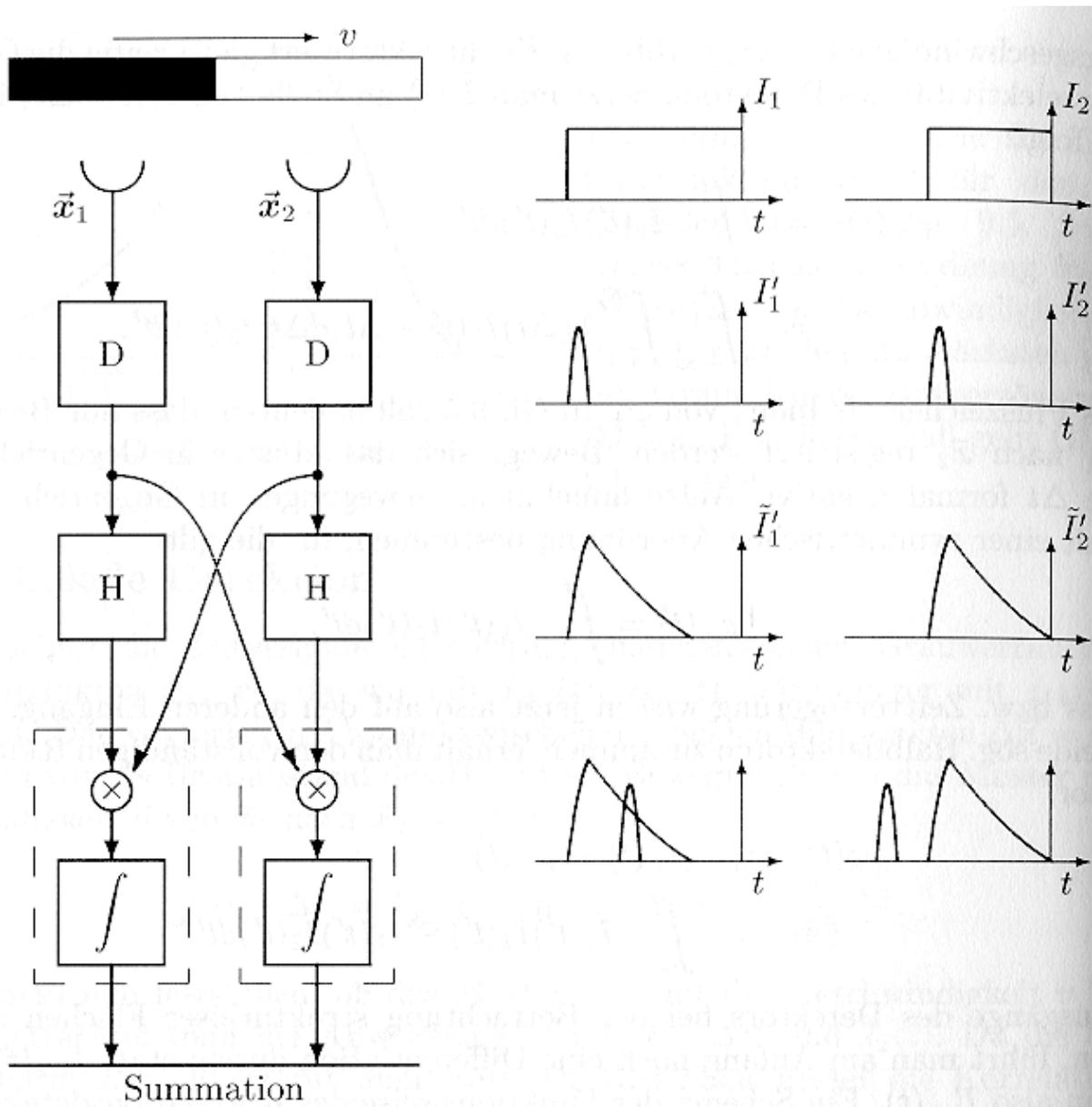
Helligkeitsänderungen an einem Punkt können auf ganz verschiedene Bewegungen zurückzuführen sein – *Aperturproblem*



(aus Mallot 2000)

Korrelationsdetektor nach Hassenstein & Reichardt (in Anlehnung an das Bewegungssehen von Insekten):

- (nahezu) kontinuierliche Verfolgung der Bildintensitäten an zwei Bildpunkten
- durch Vergleich der Zeitverläufe der Grauwerte wird auf Verschiebungen des Musters geschlossen
- verwendet (zeitliche) Änderungsdetektion (Ableitung nach der Zeit,  $D$ ), Tiefpassfilter ( $H$ ), Produktbildung und Integration



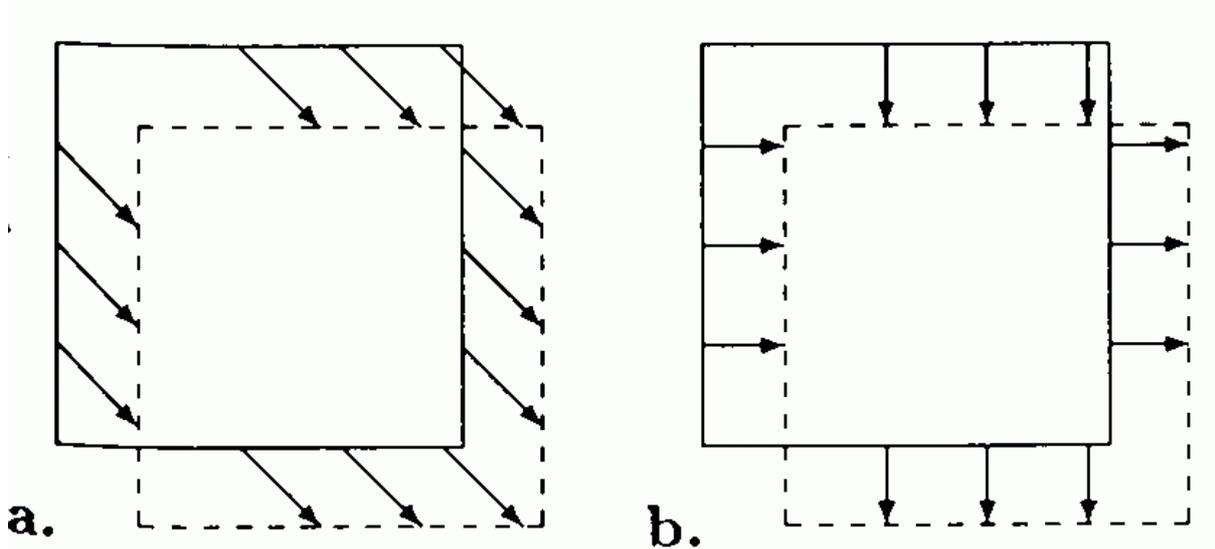
**Gradientenverfahren** messen für jeden Bildpunkt die zeitliche Änderung des Grauwertes  
 Aperturproblem: nur die Bewegungskomponente senkrecht zur Kontur (d.h. in Richtung des Grauwertgradienten) wird dabei erfasst  
 Hypothese: Bewegung findet (lokal) tatsächlich in diese Richtung statt:

$$\vec{v} = - \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} \frac{\text{grad } I(x, y)}{\|\text{grad } I(x, y)\|^2}$$

*Beispiel:* diagonale Bewegung eines Quadrats

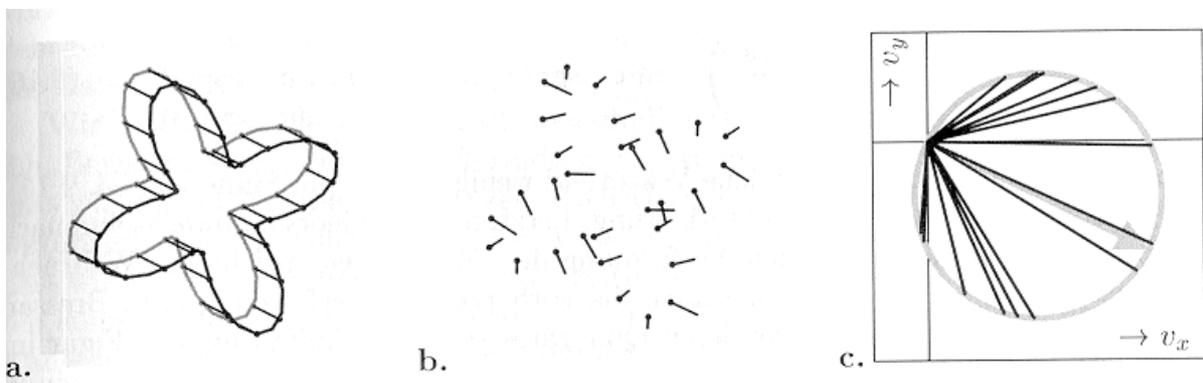
a. tatsächliche Bewegungsvektoren

b. nach obiger Gleichung errechnete Bewegungsvektoren



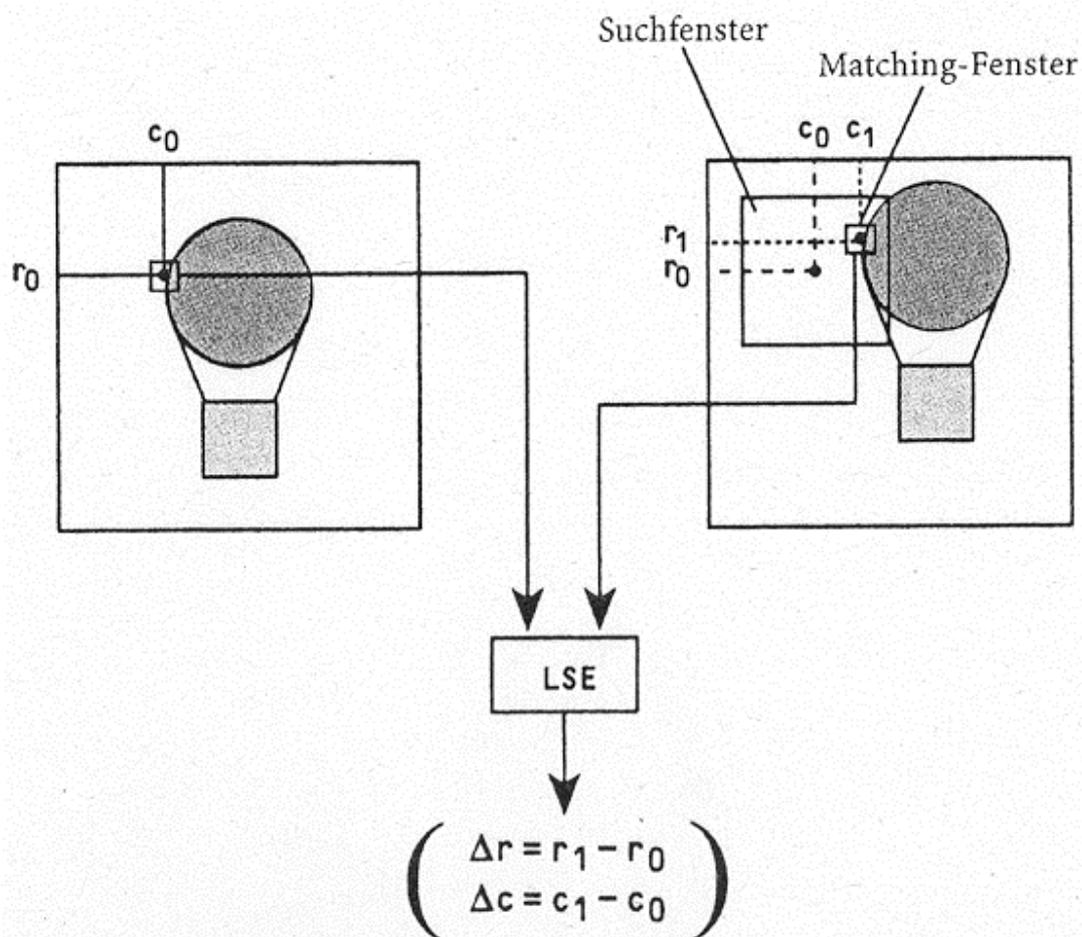
Bei konstantem Verschiebungsfeld (Bewegung = reine Translation) kann der tatsächliche Verschiebungsvektor dennoch aus diesen Daten geschätzt werden:

Ähnlich zur modifizierten Hough-Transformation von Geraden durch einen Fluchtpunkt (s. Übung, Aufg. U26) liegen alle Endpunkte von errechneten Verschiebungsvektoren auf einem Thales-Kreis durch den Nullpunkt. Der am Nullpunkt ansetzende Durchmesser dieses Kreises entspricht der tatsächlichen Verschiebung:



## Korrelationsverfahren zur lokalen Bewegungskdetektion

- lege Matching-Fenster in Bild 1 um aktuelles Pixel
- suche mittels Matching-Fenster der gleichen Größe in Bild 2 Übereinstimmung innerhalb eines Suchfensters
- für jedes Pixel im Suchfenster werden die Grauwerte der beiden Matching-Fenster verglichen
- der Vergleich, der den kleinsten quadratischen Fehler (LSE) aufweist, liefert die Verschiebungsdaten
- nachfolgende Korrekturverfahren zum Ausgleich von Korrespondenz- und Aperturfehlern



klassisches Verfahren zur Bewegungsdetektion  
(beinhaltet initiale Verschiebungsdetektion und Korrektur):

### Verfahren von Horn und Schunk

- iteratives Verfahren
- wird auf das gesamte Bild  $E$  (zum Zeitpunkt  $t_0$  und  $t_1$ ) angewandt
- 1. Schritt: Berechnung der partiellen Ableitungen

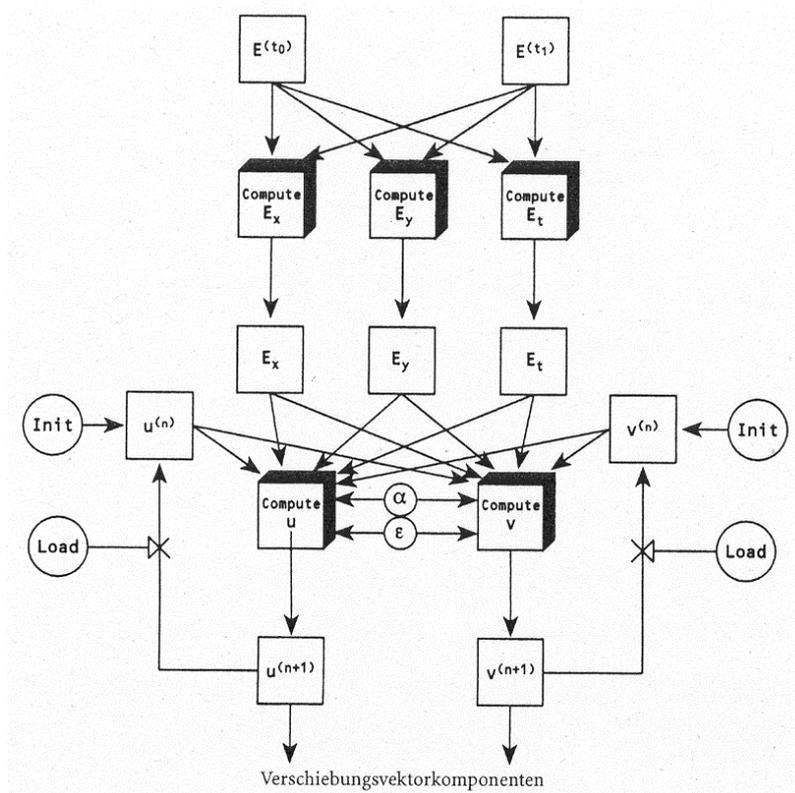
$$E_x = \frac{\partial E}{\partial x} \quad E_y = \frac{\partial E}{\partial y} \quad E_t = \frac{\partial E}{\partial t}$$

- Ziel: Komponenten  $u, v$  der Verschiebungsvektoren (Vektorfeld)

$$u = \frac{dx}{dt} \quad v = \frac{dy}{dt}$$

- werden nicht exakt bestimmt, sondern approximativ mit gegebener Fehlerschranke

Ablaufschema des Verfahrens:



Herleitung des Verfahrens:

$E(x, y, t)$  = Grauwert eines Pixels zum Zeitpunkt  $t$

zum nächsten Zeitpunkt  $t + \delta t$ :

$$E(x, y, t) = E(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t)$$

Taylor-Entwicklung des rechten Terms um den Punkt  $(x, y, t)$ :

$$E(x, y, t) = E(x, y, t) + \delta x \frac{\partial E}{\partial x} + \delta y \frac{\partial E}{\partial y} + \delta t \frac{\partial E}{\partial t} + R$$

Es folgt:

$$\delta x \frac{\partial E}{\partial x} + \delta y \frac{\partial E}{\partial y} + \delta t \frac{\partial E}{\partial t} + R = 0$$

Vernachlässigung des Restglieds  $R$  und Division durch  $\delta t$  liefert:

$$\frac{\delta x}{\delta t} \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\delta y}{\delta t} \frac{\partial E}{\partial y} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0$$

$\Rightarrow$  im Grenzübergang  $\delta t \rightarrow 0$ :

$$\frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0$$

oder kurz

$$E_x u + E_y v + E_t = 0$$

Dies ist eine Gleichung mit 2 Unbekannten ( $u, v$ ).

2. Bestimmungsgleichung: "Smoothness Constraint"; Annahme: benachbarte Punkte vollführen ähnliche Bewegungen ("glatte Bewegung").

Zur formalen Beschreibung dieser Bedingung wird gefordert, dass die beiden Terme

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \quad \text{und} \quad \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2$$

bzw. ihre Summe = 0 werden soll.

Anstatt Gleichheit in beiden Bedingungen werden 2 Fehlerterme definiert, die die Abweichung von der Gleichheit quantifizieren:

$$\varepsilon_b = E_x u + E_y v + E_t$$

$$\varepsilon_c^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2$$

Diese Fehler werden für jedes Pixel der Eingabebilder ermittelt; der Gesamtfehler

$$\varepsilon^2 = \iint (\varepsilon_b^2 + \alpha^2 \varepsilon_c^2) dx dy$$

soll minimiert werden.

Dabei steuert der Parameter  $\alpha$  das Verhältnis des Einflusses der Einzelfehler auf den Gesamtfehler.

Abhängigkeiten der zu minimierenden Funktion:

$$\iint F(x, y, u, v, u_x, u_y, v_x, v_y) dx dy$$

Approximative Lösung des Extremalproblems mit Mitteln der Variationsrechnung (kurze Einführung bei Bässmann & Kreyss 1998, S. 407 ff.):

2 Euler-Gleichungen

$$\frac{\partial F}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial F}{\partial u_x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial F}{\partial u_y} \right) = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial v} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial F}{\partial v_x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial F}{\partial v_y} \right) = 0$$

werden approximativ umgeformt zu

$$\left( \alpha^2 + E_x^2 \right) u + E_x E_y v = \alpha^2 \bar{u} - E_x E_t$$

$$E_x E_y u + \left( \alpha^2 + E_x^2 \right) v = \alpha^2 \bar{v} - E_y E_t$$

mit lokalen Mittelwerten  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ .

Iterative Lösung des linearen Gleichungssystems mit dem Gauß-Seidel-Verfahren möglich:

$$u^{(n+1)} = \frac{\alpha^2 \bar{u}^{(n)} - E_x E_t - E_x E_y v^{(n)}}{\alpha^2 + E_x^2}$$

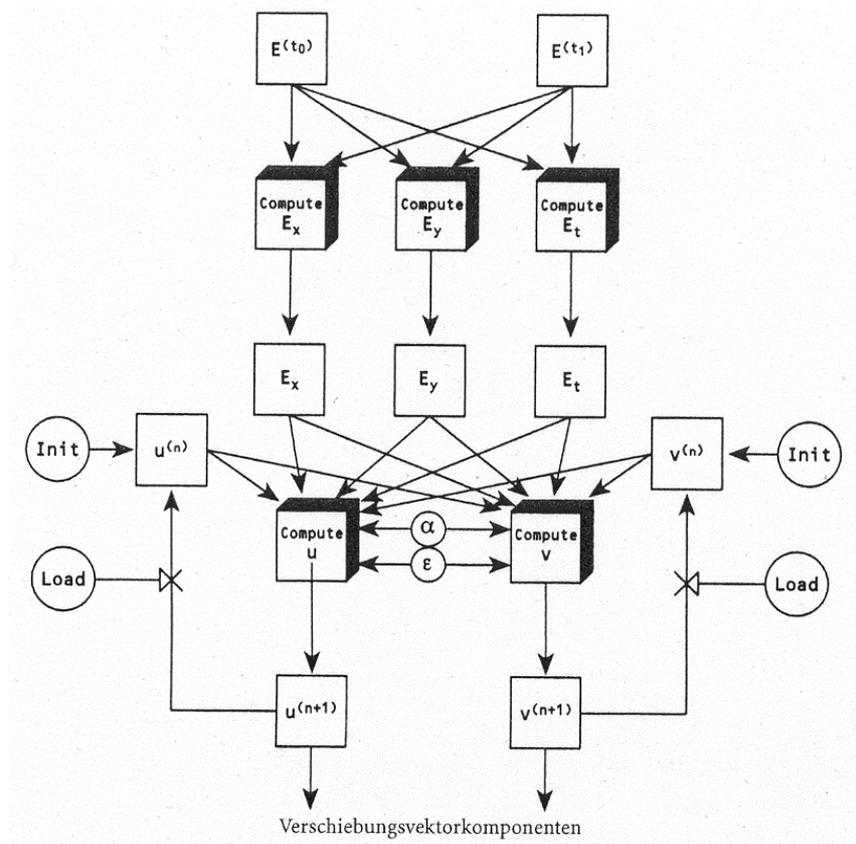
$$v^{(n+1)} = \frac{\alpha^2 \bar{v}^{(n)} - E_y E_t - E_x E_y u^{(n)}}{\alpha^2 + E_y^2}$$

kann noch so umgestellt werden, dass  $u$  und  $v$  isoliert auftreten (schnellere Berechenbarkeit, da Teile der rechten Seiten in beiden Iterationsgleichungen identisch sind):

$$u^{(n+1)} = \bar{u}^{(n)} - \frac{E_x \left( E_x \bar{u}^{(n)} + E_y \bar{v}^{(n)} + E_t \right)}{\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2}$$

$$v^{(n+1)} = \bar{v}^{(n)} - \frac{E_y \left( E_x \bar{u}^{(n)} + E_y \bar{v}^{(n)} + E_t \right)}{\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2}$$

Iteration, bis Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Werten vorgegebene Genauigkeitsschranke unterschreitet.



Ergebnis: "Nadelbild"

