

**F. Gaßmann, St. Müller:**

# **Hintergrundschätzung für Aufgaben der Verkehrsflussanalyse mittels digitaler Bildverarbeitung**

**48. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium  
Technische Universität Ilmenau  
22.-25. September 2003**

# Inhalt

- ▶ Zielstellung / Einordnung der Arbeiten
- ▶ Problematik der Objektsegmentierung in Outdoorszenen
- ▶ Verfahren zur Objektsegmentierung
- ▶ Multi-Gauß-Ansatz
- ▶ Anpassung / Erweiterungen des Verfahrens
- ▶ Ergebnisse und Ausblick

# **Projekt / Verbundprojekt**

- Verbundprojekt OIS - Optische Informationssysteme für die Verkehrsszenenanalyse und Verkehrslenkung -**
  - gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung
  - Projektlaufzeit: 09 / 2001 - 12 / 2002
  - Projekträger: DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
  - Projektziel:
    - Entwicklung eines Systems zur automatischen Auswertung von Bildfolgen aus Straßenverkehrsszenen
    - Gewinnung aussagekräftiger Verkehrsdaten direkt aus Kreuzungsszenen
    - Interpretation der Verkehrsdaten zum Zweck der Verkehrsprognose und Knotenpunktsteuerung

# Projekt / Aufgabenstellung

- ▶ Unterauftragnehmer: Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung (ZBS) e.V.
- ▶ Aufgabenstellung: automatischen Segmentierung verkehrsrelevanter Objekte in Bildfolgen durch Hintergrundmodellierung
- ▶ Teilaufgaben:
  - ▶ automatische Initialisierung der Hintergrundmodellierung
  - ▶ Objektsegmentierung (Fahrzeuge, Fußgänger, keine Klassifikation)
  - ▶ Modelladaptation an Bildstream (Reaktion auf Änderungen des Hintergrunds)



# Projekt / Randbedingungen

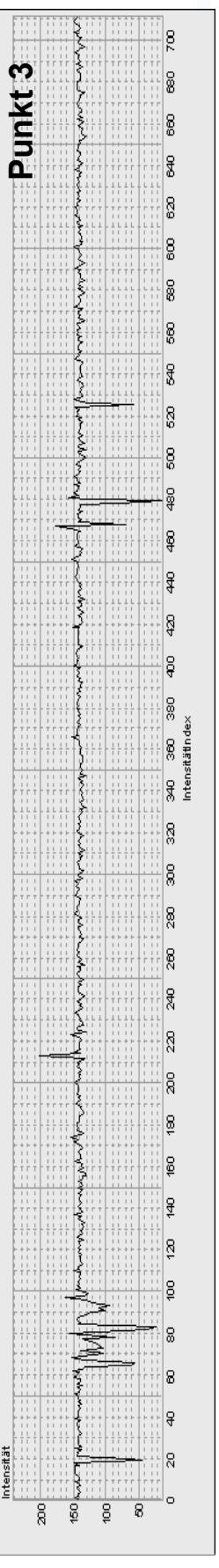
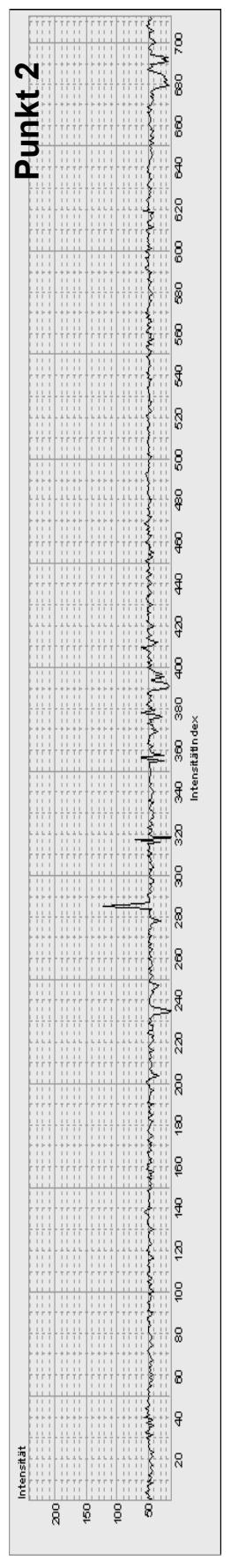
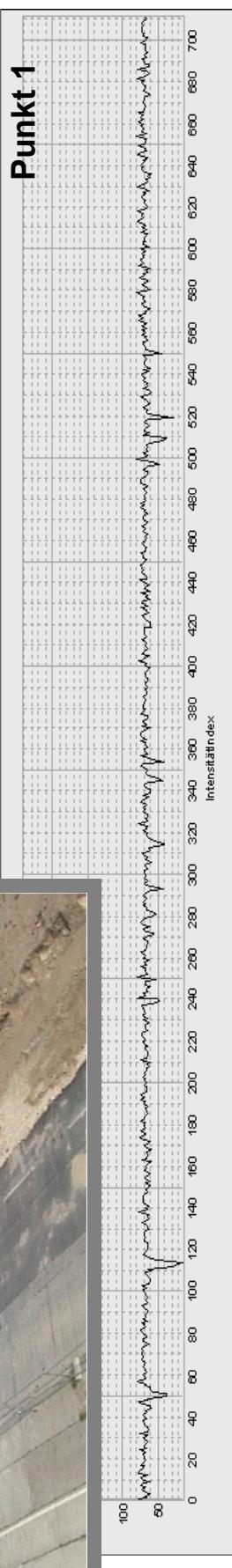


- pro Kreuzung: mehrere Kameraknoten mit jeweils bis zu 4 Kameras (GW, RGB oder IR)
- pro Kameraknoten:  
Objekterkennung  
(Segmentierung, Tracking und Klassifikation), Hardware: PC, (optional: Auslagerung von Teilarithmen auf FPGA)
- pro Kamera: Bildgröße: ca. 400 × 500 Pixel, Bildrate: 200 ms, Objekterkennung in Echtzeit erforderlich

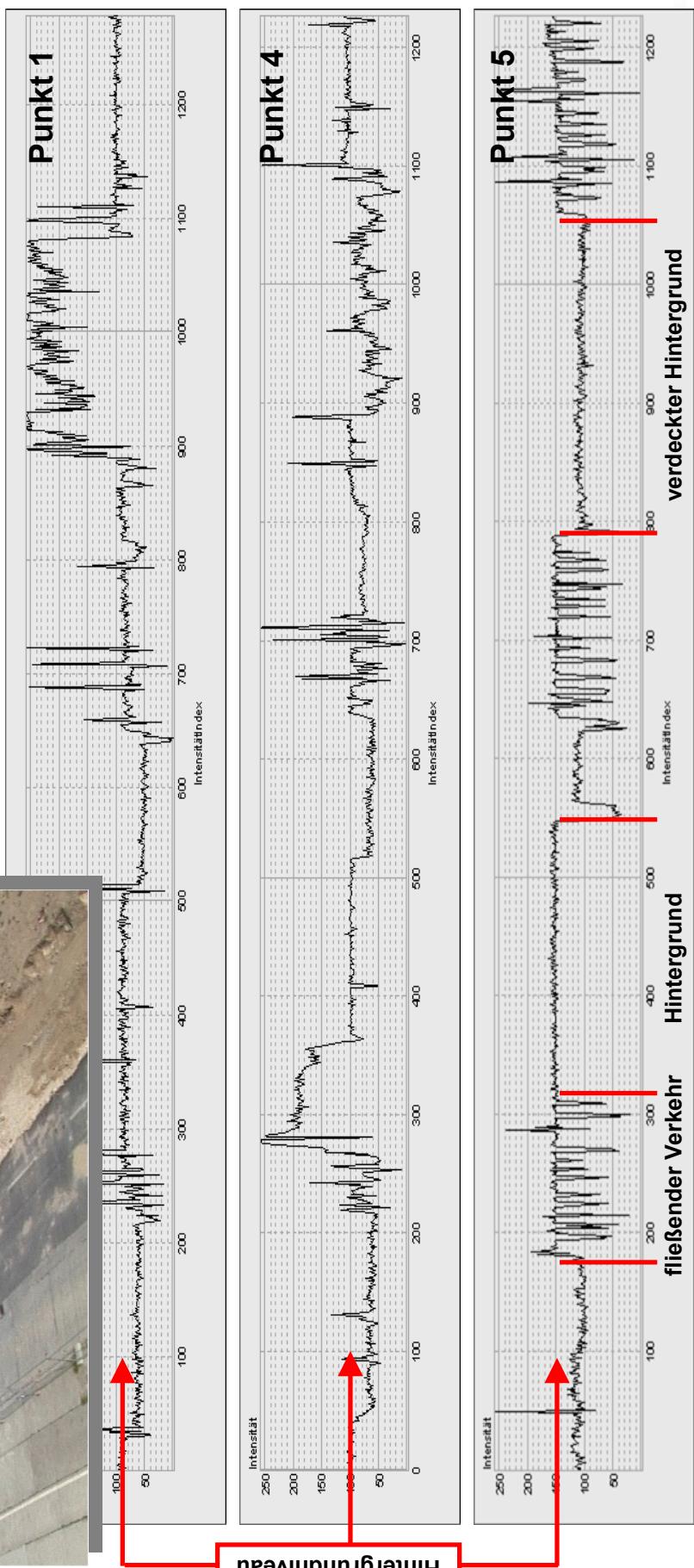
# Probleme in Verkehrsszenen

- plötzliche globale Änderungen der Wetter- bzw. Umweltbedingungen
  - Sonne / Wolken: Helligkeit, Schatten (FZ, Gebäude, ...)
  - Regen: Helligkeit, Direktreflexionen (gesamte Szene, nasse Fahrbahn)
  - Schneefall: gesamte Szene, Schnee / Schneematsch
- Problematik der langen Stillstandszeiten von Objekten (Ampelschaltung, Hintergrund ist lange und gleichbleibend verdeckt und selten sichtbar)
- Bewegung von Bäumen, Sträuchern, Gras, Wasser, ... durch Wind
  - hintergrundidentische FZ-Bereiche (gleichfarben)
  - Überlappungen von FZ
  - Schattenwurf von FZ
  - Direktreflexionen bei Sonne
  - Kamerabewegung durch Wind
  - Besonderheiten bei Dunkelheit (völlig veränderte Beleuchtungsverhältnisse)

## Typischer Grauwertverlauf an Punkten auf „normaler“ Straße (keine stehenden Objekte)

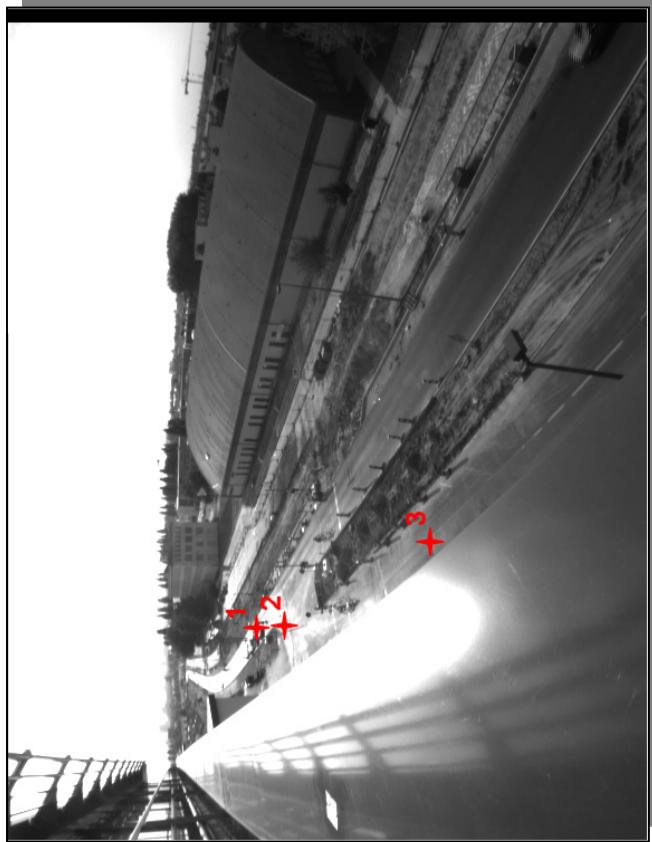
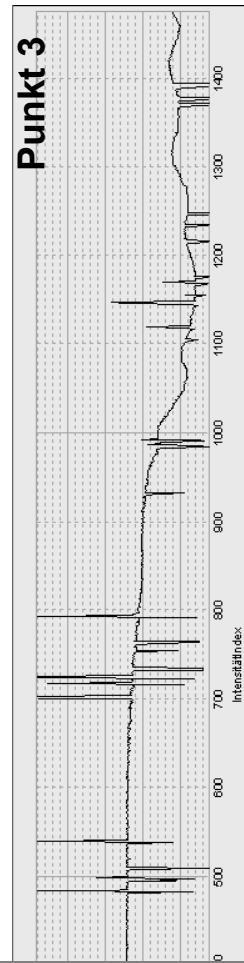
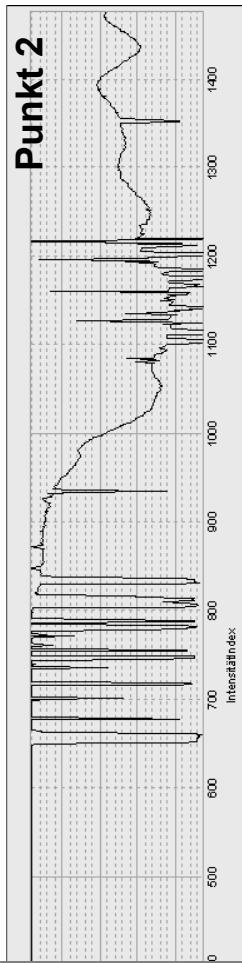
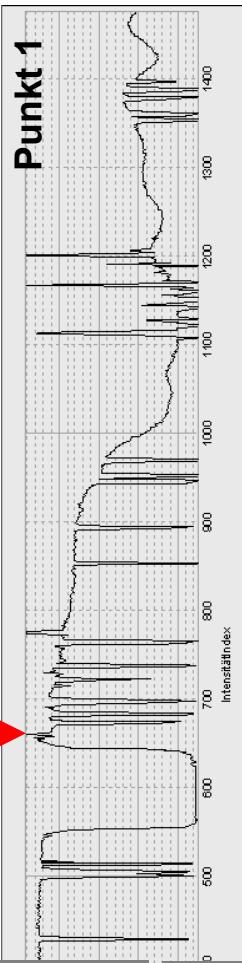


## Grauwertverlauf an Punkten vor der Ampel (mit stehenden Objekten)



# Beleuchtungsschwankungen durch sich verändernde Bewölkung (führt in Punkt 1 und 2 zur Invertierung von HG und VG)

Beleuchtungsänderung ab hier



# Ansätze aus der Literatur

seit mehr als 10 Jahren: große und steigende Anzahl von  
Veröffentlichungen zur Problematik „Verkehrsanalyse  
durch Bildverarbeitung“



- **Differenzbildanalyse / einfache statistische Verfahren**
- **Hintergrundmodellierung durch Gaußverteilungen**
  - einzelne Verteilung (Single Gauß)
  - Kombination von Verteilungen (Multi Gauß)
- **Sonstige**
  - Eigenbilder
  - Hidden Markov Modelle
  - Optischer Fluss
- **Hybride Ansätze (Kombination von Verfahren)**

# Ansätze und vergleichende Bewertung

alle Verfahren: unzureichende Segmentierungsqualität  
(Diskrepanz zwischen schnellen globalen Änderungen der Hintergrundhelligkeit und langen Stillstandszeiten von Fahrzeugen)

| Ansatz                   | Bewertung |
|--------------------------|-----------|
| Differenzbildakkumulator | 2)        |
| Kalman-Schätzer          | 2)        |
| Single-Gauß              | 2)        |
| Multiple-Gauß            |           |
| Eigenbildanalyse         | 2) 3) 4)  |
| Hidden Markov Modelle    | 2)        |
| Optischer Fluss          | 2) 4)     |

- 2) keine Modellierung periodischer Schwankungen der Hintergrundhelligkeit (Windbewegung von Bäumen, Sträuchern, Gras, Fahnen, ...), andere bewegte Objekte z.B. Werbetafel)
- 3) hoher Speicherbedarf
- 4) lange Rechenzeit

# Multi-Gaußverteilung (1)

- einfaches Verfahren
- breiter Spielraum für Modifikationen



die weiteren Arbeiten konzentrierten sich deshalb auf diesen Ansatz



# Differenzbildanalyse / einfache statistische Verfahren

## ► **Verfahren:**

- Differenzbildanalyse:
  - Be- und Verrechnung von Differenzbildern der Bildserie
- einfache statistische Hintergrundmodelle:
  - Akkumulation der Differenzen aufeinander folgender Bilder oder Filter über eine Anzahl von zurückliegenden Bildern z.B. Median, Mittelwert oder Modalwert
- Segmentierung von bewegten Objekten durch Schwellwertverfahren:
  - Änderungen werden detektiert, Schwellen heuristisch (auch adaptiv) gewählt

## ► **Vorteile:**

- geringer Speicherbedarf, schnell, einfach zu implementieren

## ► **Nachteile:**

- schlechte Segmentierungsqualität (Detektion von Änderungen des Hintergrunds, unvollständige Objektsegmentierung, ...)

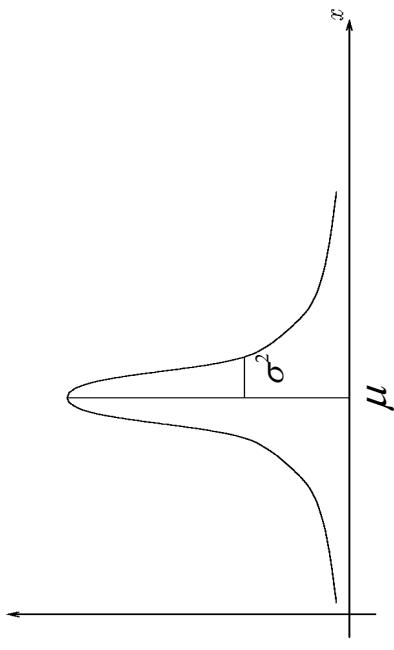
# Einzelne Gaußverteilung (1)

## ► Verfahren:

- pro Bildpixel: Repräsentation des Hintergrunds durch Mittelwert und Streuung einer Gaußverteilung
- Segmentierungsschwellwerte aus Streuung
- Adaption des Hintergrunds mittels Updatefunktion:
  - Kalmanfilter
  - gewichtetes Mittel

## ► Vorteile :

- geringer Speicherbedarf
- gut parallelisierbar
- einfacher, schneller Algorithmus



## ► Nachteile :

- bewegter / wechselnder Hintergrund resultiert in sehr breiter Streuung -> Segmentierungsqualität sinkt deutlich

## Einzelne Gaußverteilung (2)

### ► Update:

$$p_{x_t} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t-1}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(x_t - \mu_{t-1})^2}{\sigma_{t-1}^2}}$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + p_{x_t} (x_t - \mu_{t-1})$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_{t-1}^2 (1 - p_{x_t}) + p_{x_t} (x_t - \mu_{t-1})^2$$

### ► Klassifikation:

- Hintergrund falls gilt:  $\frac{|x_t - \mu_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} < \delta$
- Vordergrund sonst

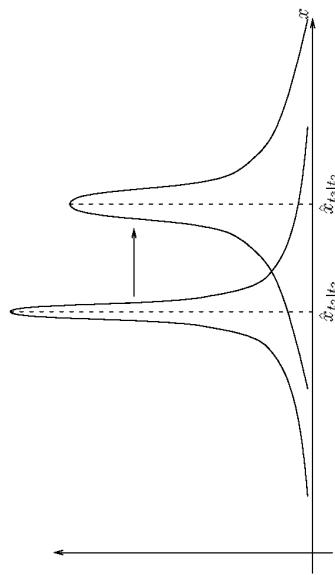
# Kalmanfilter (1)

## ► Verfahren:

- Kalmanfilter ist ein Schätzer, der aus einer Folge von Messwerten eine Aussage über den zukünftigen Systemzustand trifft
- Schätzung erfolgt mittels Rekursionsfunktion für jeden neuen Messwert:
  - aus Varianz des letzten Schätzwertes und der Varianz des gemessenen Wertes wird KalmanGain berechnet
  - Differenz des neuen Messwertes zur Prognose wird mit KalmanGain gewichtet zum alten Schätzwert addiert
  - Wahl des Kalmangain abhängig von Klassifikationsergebnis (Vordergrund: langsame Adaptation, Hintergrund: schnelle Adaptation)
- Segmentierung VG / HG durch Betrachtung der Differenz von vorhergesagtem und tatsächlichem Wert

## ► Vorteile / Nachteile:

- siehe unimodale Gaußverteilung



## Kalmanfilter (2)

► **Update:**

$$\begin{pmatrix} \tilde{s}_t \\ \dot{\tilde{s}}_t \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} s_{t-1} \\ \dot{s}_{t-1} \end{pmatrix}$$

**Vorhersage**

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{1,2} \\ 0 & a_{2,2} \end{pmatrix}$$

**Systemmatrix**

$$\begin{pmatrix} s_t \\ \dot{s}_t \end{pmatrix}_t = \begin{pmatrix} \tilde{s}_t \\ \dot{\tilde{s}}_t \end{pmatrix} + K_t \left( x_t - H \begin{pmatrix} \tilde{s}_t \\ \dot{\tilde{s}}_t \end{pmatrix} \right)$$

**Updategleichung**

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$K_t = \begin{pmatrix} k_{t1} \\ k_{t2} \end{pmatrix}$$

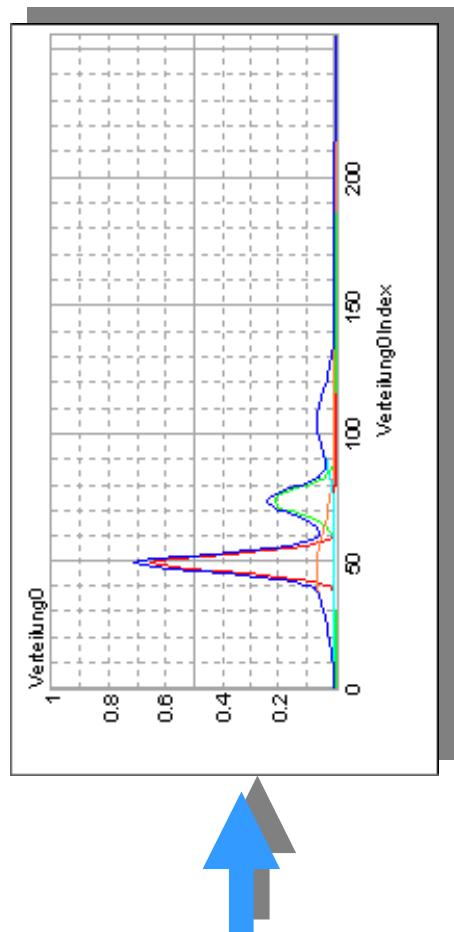
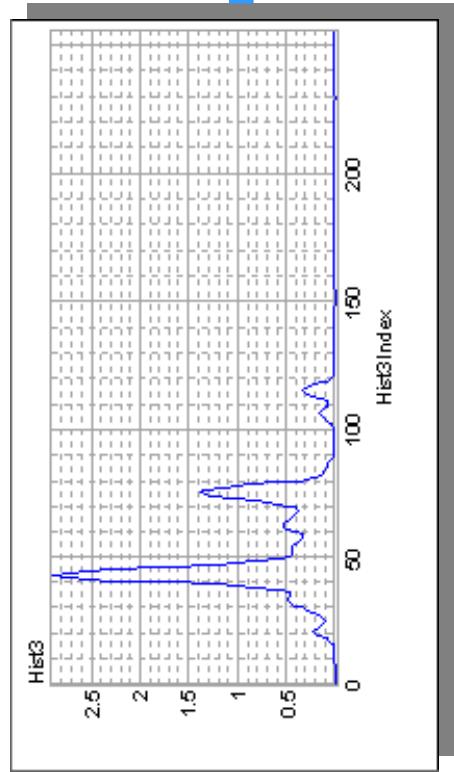
**Kalmangain**

$$k_{t1} = k_{t2} = \begin{cases} \alpha, & \text{falls } |\tilde{s}_t - x_t| > th \\ \beta, & \text{sonst} \end{cases}$$

(vereinfacht durch zwei konstante Werte, die in Abhängigkeit vom Klassifikationsergebnis gewählt werden)

# Multi-Gaußverteilung (2)

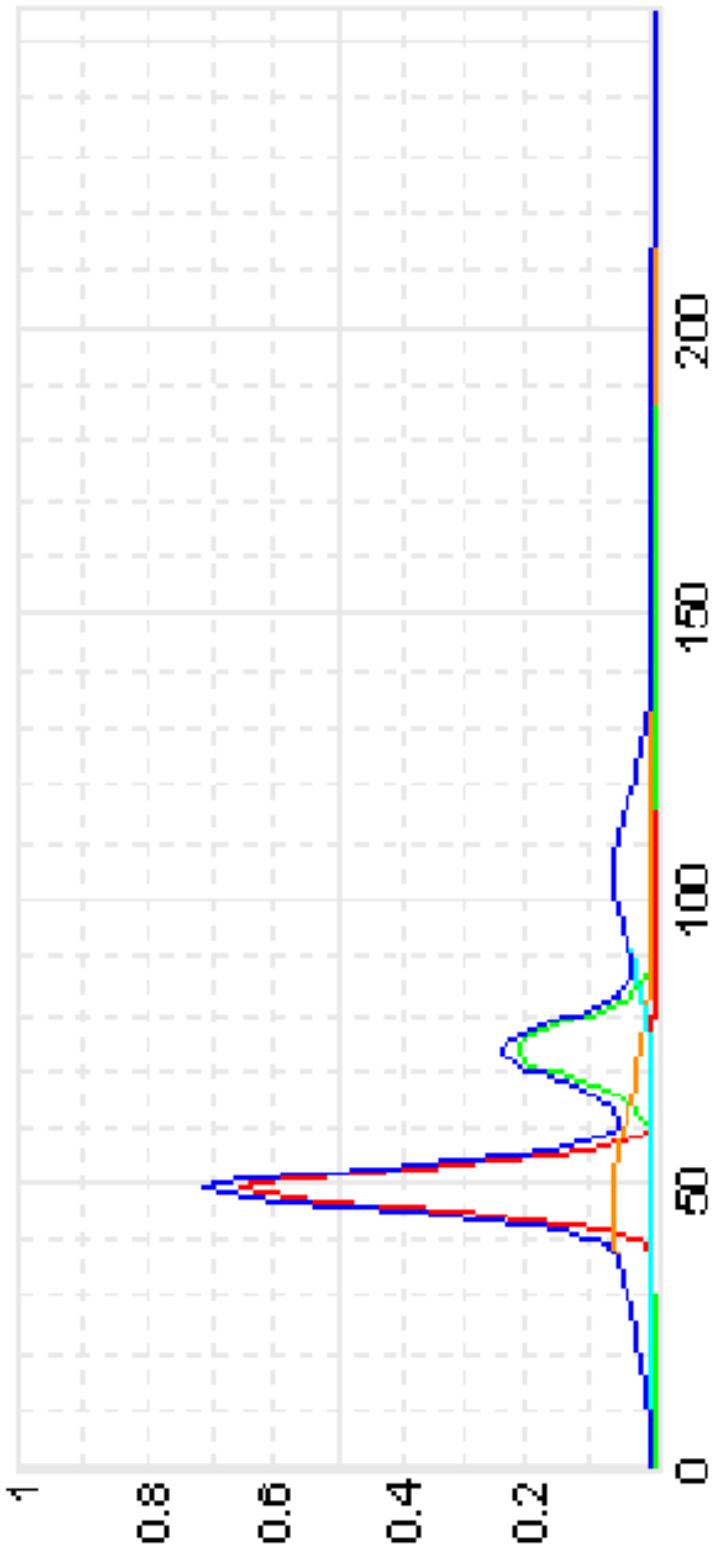
- **Prinzip:**
  - Verteilung jedes Pixels wird durch eine gewichtete Summe von Gaußverteilungen modelliert
  - am stärksten gewichtete Verteilungen repräsentieren Hintergrund
- **Vorteile:**
  - länger zurückliegende Zustände bleiben bekannt
  - gute Modellierung sich periodisch ändernden Hintergrunds
  - Initialisierung unkritisch
  - großer Spielraum für Modifizierungen des Basisverfahrens



Histogramm

Approximation durch Multiple Gauß

## Multi-Gaußverteilung (3)



- Rot, Orange, Grün, Cyan: 4 einzelne Gauß-Verteilungen
- Dunkelblau: Wahrscheinlichkeitsdichte der Mischverteilung

# Multi-Gaußverteilung (4)

- **Updateprinzip** (EM-Algorithmus):

- fällt ein Wert in die Nähe des Mittelwertes einer Verteilung, so wird diese adaptiert und ihr Gewicht erhöht
- wenn nicht: Ersetzung der am wenigsten relevanten Verteilung
- die Gewichte der nicht adaptierten Verteilungen werden verringert

$$p_{x_t} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{t-1}^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x_t - \mu_{t-1})^2}{\sigma_{t-1}^2}}$$

Wahrscheinlichkeitsdichte:

$$w_{k,t} = (1 - \alpha) w_{k,t-1} + \alpha M_{k,t} \quad M_{k,t} = \begin{cases} 1 & \text{Treffer} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Verteilungsgewichte:

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 &= (1 - \rho) \sigma_{t-1}^2 + \rho (x_t - \mu_t)^T (x_t - \mu_t) \\ \mu_t &= (1 - \rho) \mu_{t-1} + \rho x_t \end{aligned} \quad \text{mit} \quad \rho = \alpha p_{x_t}$$

Streuung:

Mittelwert:



# Unzulänglichkeiten des Multi-Gaußverfahrens (1)

- Konflikt zwischen langen Standzeiten von Fahrzeugen (Stauraum vor Ampel) und schnellen Beleuchtungsänderungen

Hintergrundstatistik soll schnellen Beleuchtungsänderungen nachgeführt werden

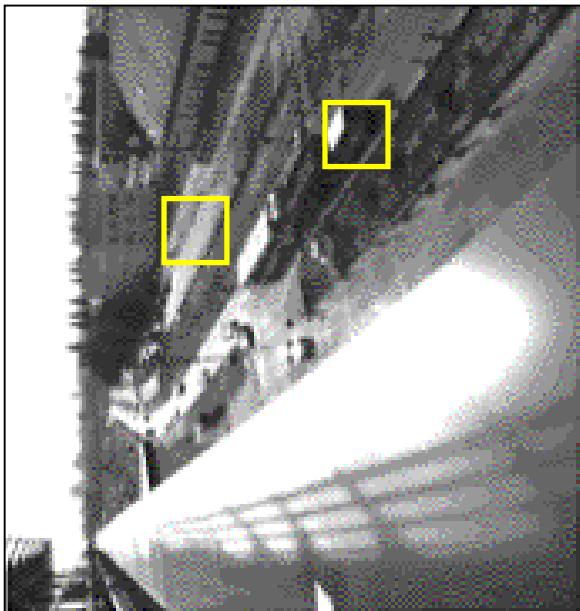
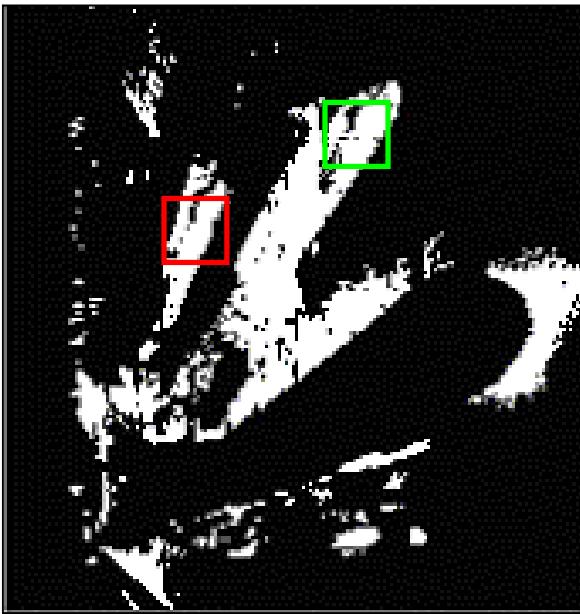
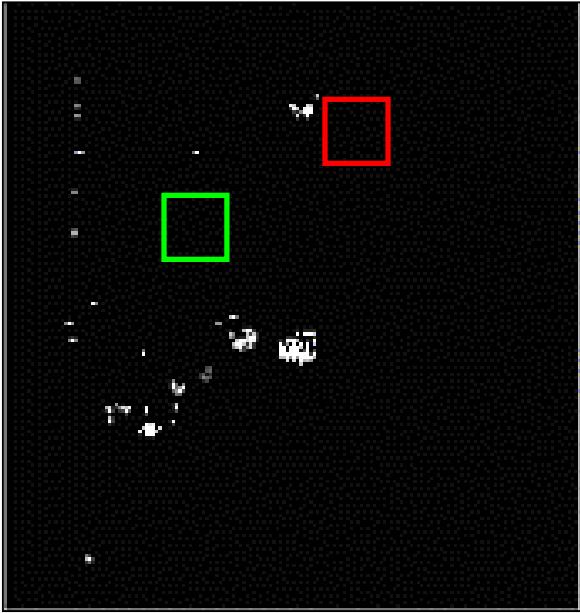


Über einen längeren Zeitraum unveränderte Objekte sollen nur sehr langsam adaptiert werden

- problematisch sind sehr langsame Bewegungen von Fahrzeugen, dadurch gehen die Randpixel der Objekte auch kontinuierlich von Hintergrundfarbe zu Objektfarbe über und werden adaptiert

- Hintergrund unter stehenden Objekten wird bei Beleuchtungsänderungen nicht adaptiert
  - Änderung des Hintergrundes kann aus dem Verhalten der nichtverdeckten Umgebung abgeleitet werden.

## Unzulänglichkeiten des Multi-Gaußverfahrens (2)



- links: Originalbild  
mitte: Lernrate zu klein, Beleuchtungsänderungen werden nicht adaptiert  
rechts: Lernrate zu groß, Fahrzeuge werden adaptiert

# Modifikationen

- **Splitting der Adaptionsgeschwindigkeit von Mittelwert / Streuung und Gewichten:**
  - dadurch wird eine Adaption an Beleuchtungsänderungen möglich, ohne dass stehende Fahrzeuge adaptiert werden (große Lernrate für Mittelwert und kleine Lernrate für Gewichte)
- **Änderung der Updatefunktion:**
  - Verzicht auf Exponentialfunktion  $\rightarrow$  schnellere Adaption stärkerer Abweichungen, weniger Rechenaufwand
  - wird möglich, da nur Werte adaptiert werden, die auch in der Nähe des Mittelwertes liegen, und da die Werte selbst eine gaußähnliche Statistik aufweisen
- **Nachführung verdeckter Hintergrundpixel durch Referenzpixel:**
  - Auswahl von Referenzpixeln in der Umgebung verdeckter Pixel
  - Auswahlkriterium ist ähnlicher Grauwert

# Splitting der Lernraten / Änderung der Updatefunktion

$$w_{k,t} = \begin{cases} w_{k,t-1} + \alpha & \text{Treffer} \\ w_{k,t-1} & \text{sonst} \end{cases}$$

anschließend Normierung der Gewichte  
auf Summe == 1

$$\mu_t = (1 - \beta)\mu_{t-1} + \beta x_t$$

**Mittelwert:**

$$\sigma_t^2 = (1 - \beta)\sigma_{t-1}^2 + \beta(x_t - \mu_t)^T(x_t - \mu_t)$$

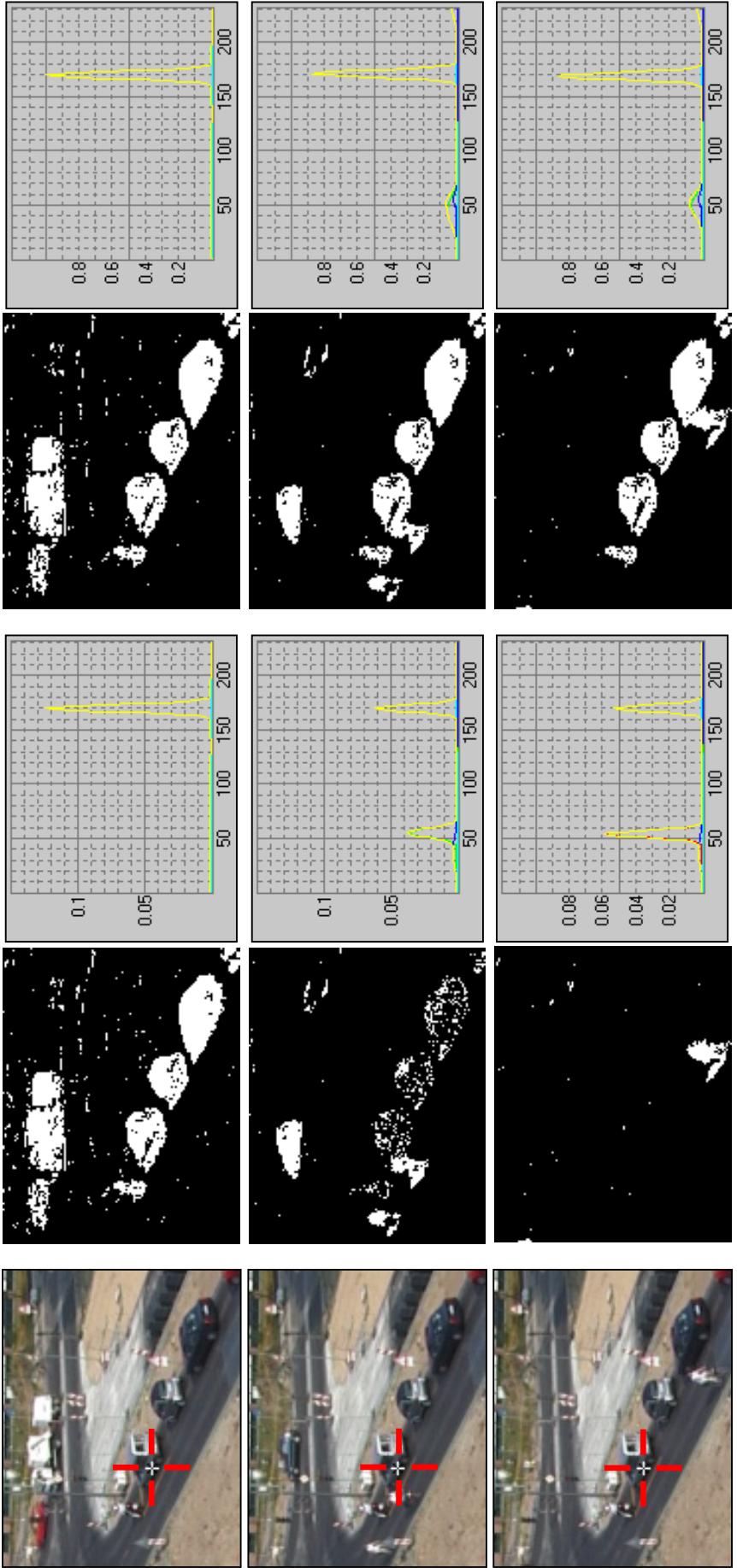
**Streuung:**

unabhängige Lernraten  $\alpha$  und  $\beta$

# Splitting der Lernraten

Spalten: Originalbild, Multi-Gauß-Originalansatz, Multi-Gauß modifiziert (jeweils Segmentierungsergebnis und Verteilungen eines Einzelpixels (rote Markierung))

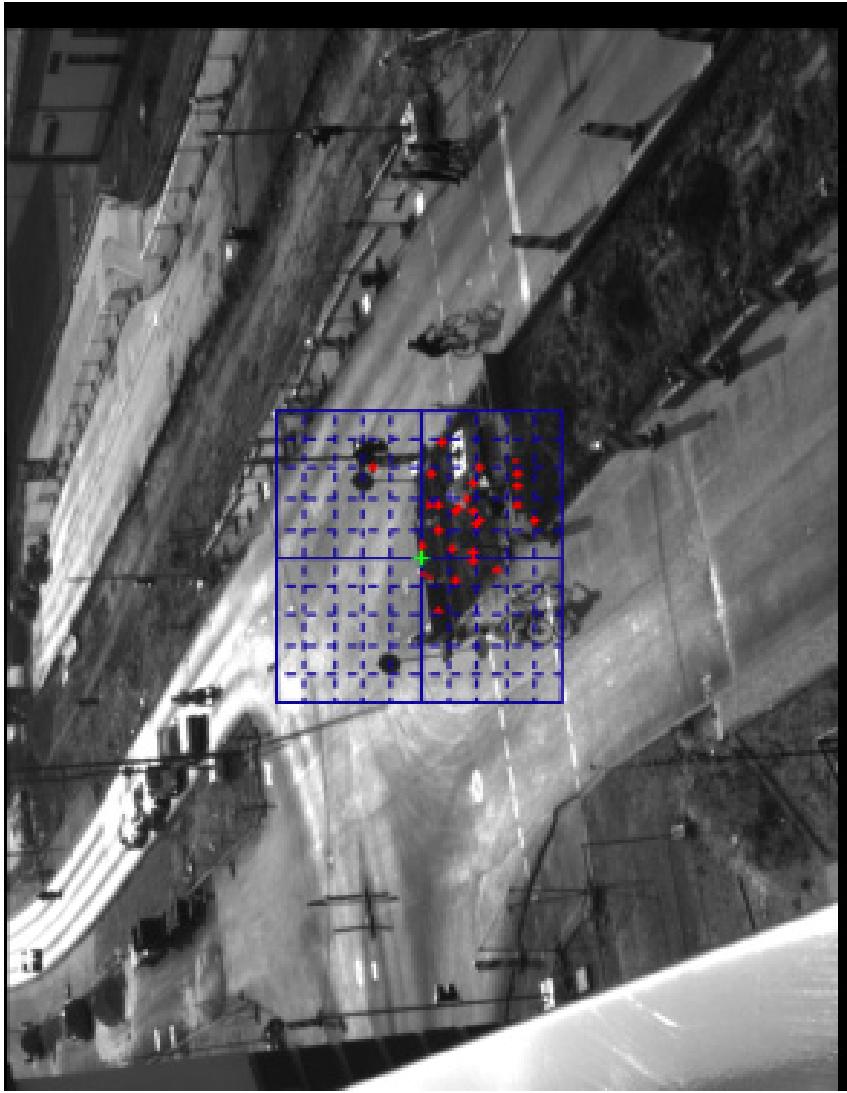
Zeilen: Zustand zum Zeitpunkt Bild 0, Bild 60, Bild 80



# Nachführung verdeckter Pixel (1)

- jedem Pixel werden Referenzen aus seiner Umgebung zugewiesen
- wenn Objekt detektiert ist:
  - durchschnittliche Mittelwertänderung der unverdeckten Referenzen auf die Verteilung anwenden, die das größte Gewicht besitzt (aktuelle Hintergrundverteilung)
- schnelle Helligkeitsänderungen führen nicht mehr zu Geisterobjekten, wenn sich stehende Objekte wieder bewegen
- Zuordnung von Referenzen:
  - Referenzpixel werden an zufälligen Positionen (gaußverteilt mit aktuellem Pixel als Zentrum) ausgewählt
  - Auswahlkriterium ist Ähnlichkeit zum Grauwert am betrachteten Ort (Annahme: Pixel mit ähnlichen Grauwerten sind ebenfalls HG-Pixel und haben auch ähnliches Verhalten)
  - Verwerfen und Neusuchen von Referenzen, wenn der Grauwertabstand zum Zentralpixel zu groß wird

## Nachführung verdeckter Pixel (2)

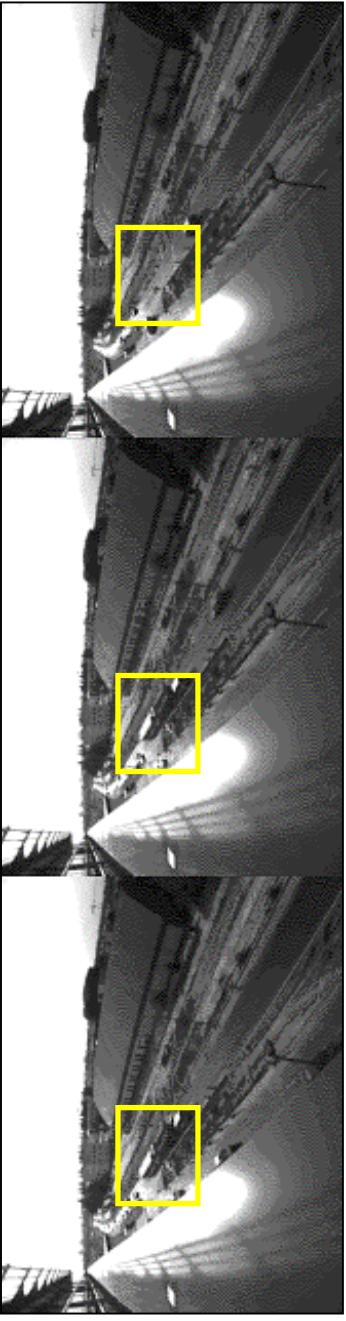


blau: Suchradius,  
grün: Zentralpixel,  
rot: gefundene  
Referenzen  
mit ähnlichem  
Grauwert

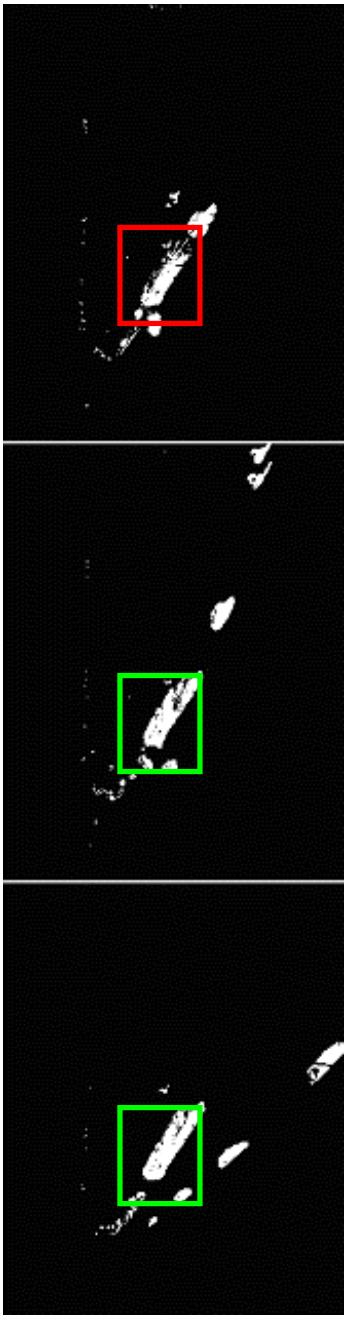
Beispiel für Pixelkorrespondenzen zur Nachführung verdeckter Pixel

# Nachführung verdeckter Pixel (3)

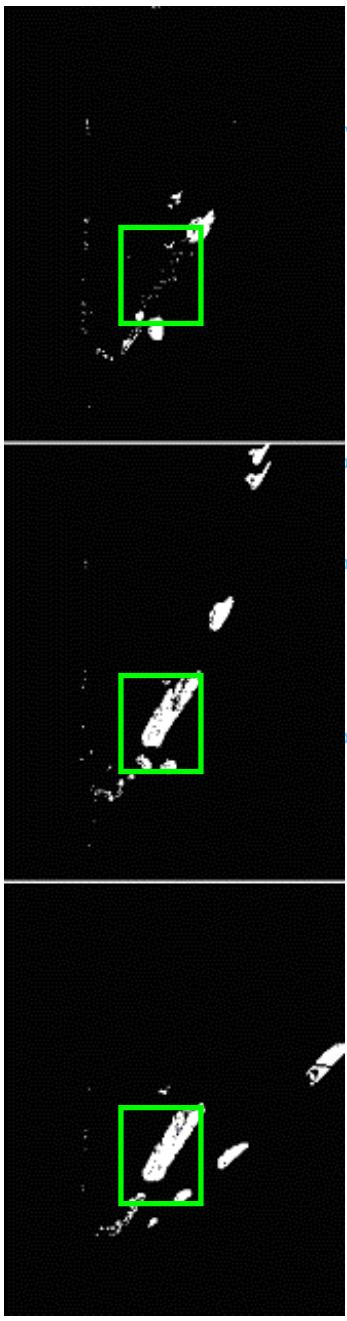
Spalte 1 und 2: Stillstand an Signalanlage, Spalte 3: Weiterbewegung in der Grünphase



Zeile 1: Bildserie mit Beleuchtungsänderung (Bildabstand 60 Bilder)



Zeile 2: keine Nachführung der Beleuchtungsänderung: nach der Weiterbewegung des Fahrzeugs verbleiben fehlsegmentierte Bereiche



Zeile 3: Nachführung der Beleuchtungsänderung, keine fehlsegmentierten Bereiche nach der Weiterbewegung der Fahrzeuge

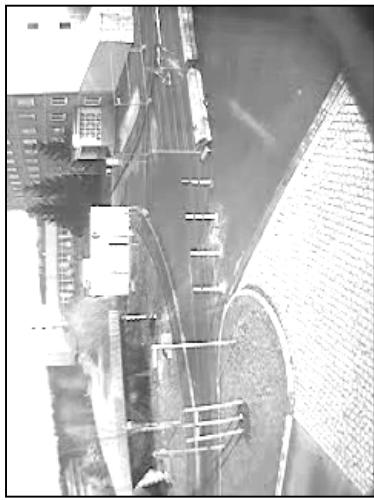
# Verhalten bei extremem Beleuchtungswchsel (1)

**sehr schneller und  
starker Beleuchtungs-  
wechsel:**

**blauer Himmel,  
schnell vorbeiziehende  
und scharf konturierte  
Wolken,  
z.B. Rückseitenwetter,  
Zeitkonstanten: < 5s  
bei 5 Bilder / s**



## Verhalten bei extremem Beleuchtungswchsel (2)

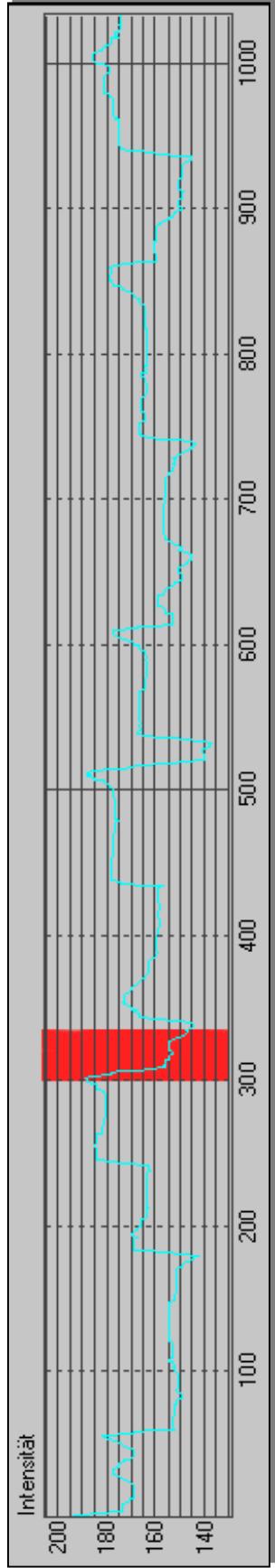


sehr schneller und starker  
Beleuchtungswchsel



Grauwertverläufe von  
Einzelpixeln bei  
Beleuchtungswchsel und  
langsam fahrenden  
Fahrzeugen sind nicht  
mehr unterscheidbar

Beispield Bilder und Intensitätsdaten entstammen den rot markierten Bereichen

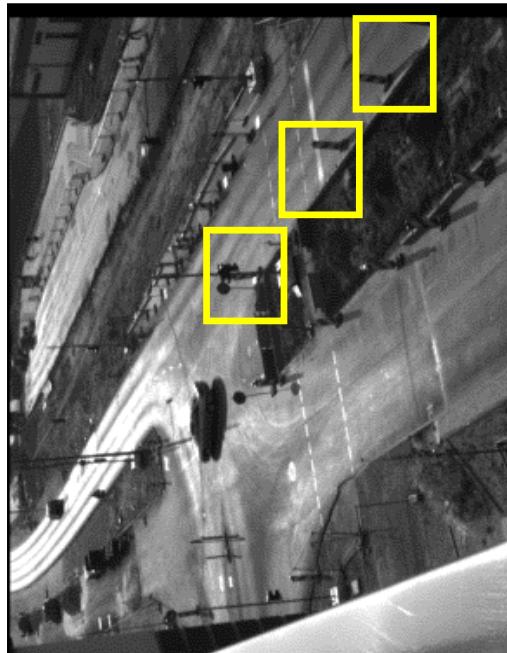
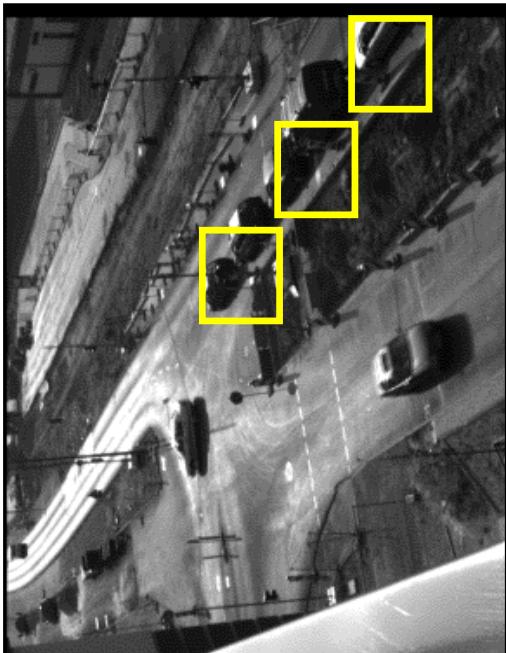
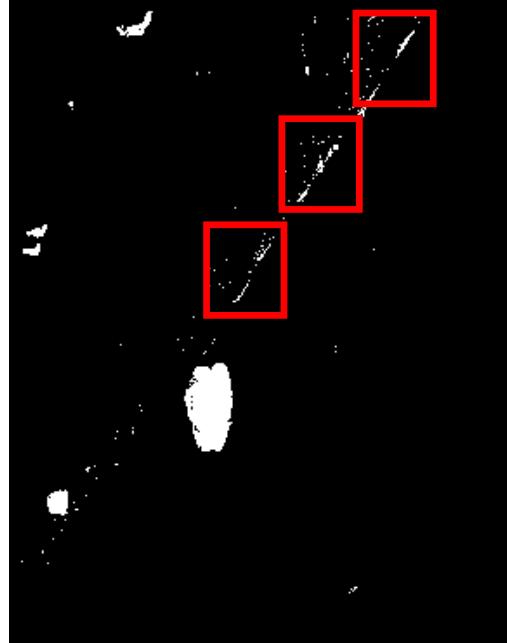


# Adaptionserscheinungen an Objekträndern

bei sehr langsamfahrenden Fahrzeugen an geraden Objekträndern, die parallel zur Fahrtrichtung ausgerichtet sind:



die Grauwerte im Übergangsbereich zwischen Fahrzeug und Hintergrund ändern sich langsam und kontinuierlich und werden adaptiert, verlässt die gerade Objektkante die betreffenden Pixel dann wird der Sprung vom adaptierten Grauwert zum Hintergrundgrauwert als Objekt interpretiert: Geisterkanten



# Lösungsmöglichkeiten

## Verhalten bei extremem Beleuchtungswechsel

- ▶ Steuerung der Lernrate anhand globaler Beleuchtungsänderung im aktuellen Bild (Erhöhen der Lernrate nur bei kritischem Wetter)
- ▶ dafür werden im Bild in unkritischen Bereichen ‚Sensoren‘ platziert, unkritisch sind Bereiche in denen sich **keine** potentiellen Objekte bewegen

## Adoptionserscheinungen an Objekträndern

- ▶ nichtverdeckte Pixel an Objekträndern werden wie verdeckte Pixel behandelt: keine Adaption sowie Nachführung von Beleuchtungsänderungen

## Ergebnisse / Ausblick

- Realisierung eines Verfahrens zur Segmentierung von Verkehrsszenen: modifizierter Multi-Gauß-Ansatz mit folgenden Eigenschaften:

- selbstadaptives Verfahren (Lernphase automatisch), Beherrschung periodischer Änderungen des Hintergrunds
- Bewältigung unterschiedlicher Zeitkonstanten (Stausituation vor Ampeln, Beleuchtungsänderungen in Outdoorszenen)
- Adaption auch bei verdecktem Hintergrund
- Laufzeit (AMD Athlon, 2.1 GHz, Bildgröße 748 x 576): 100ms

## ► Ausblick / Erfordernisse:

- Lösung der Problematik extrem schneller Beleuchtungsänderungen
- Vermeidung von Adaptionserscheinungen an Objekträndern