



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Ausarbeitung Anwendungen 1**

Ivo Nikolov

Adaptive Kameraparametrierung zur optimalen  
Fahrspurerkennung und -Verfolgung

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>2</b>
1.1	Motivation . . . . .	2
1.2	Problemstellung . . . . .	2
1.3	Das Fahrzeug Onyx . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Das Verfahren zur Fahrbahnverfolgung</b>	<b>5</b>
2.1	Die Kamera . . . . .	5
2.2	Der Spurerkennungsalgorithmus Polaris . . . . .	6
2.3	Die Steuerungssoftware . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Adaptive Kameraparametrierung zur optimalen Fahrspurerkennung</b>	<b>8</b>
3.1	Kameraparameter . . . . .	9
3.2	Schwellwertselektion . . . . .	10
3.3	Belichtungsregelung . . . . .	11
3.4	Belichtungsregelung mittels Merkmalsextraktionstechniken . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick auf Projekt 1</b>	<b>12</b>

# 1 Einführung

Das FAUST-Projekt ist eines der studentischen, departementübergreifenden Projekte an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. In diesem Rahmen werden Technologien für Fahrerassistenz- und Autonome Systeme entwickelt und entworfen. Autonomes Fahren wurde auf Autobahnen und Landstraßen seit Anfang der neunziger Jahre in verschiedenen Projekten erforscht. Der Erfolg autonomer Fahrroboter hat gezeigt, dass automatisches Fahren bereits möglich ist (Thrun, 2006), (Volkswagen, 2006). Am Markt verfügbare Fahrerassistenzsysteme greifen bereits heute aktiv in die Fahrzeuglängs- und Querführung ein. Für die Zukunft ist der Automatisierung in der Fahrzeugführung von der reinen Assistenz hin zu automatischen Fahrfunktionen denkbar (Weiser u. a., 2009). Zudem werden aktuell im FAUST Projekt kamerabasierte Systeme zur Fahrspurerkennung für die Navigation von autonomen Fahrzeugen entwickelt (Kant, 2007), (Berger, 2008), (Jenning, 2009).

## 1.1 Motivation

Der Hochschulwettbewerb Carolo-Cup, einer der Schwerpunkte innerhalb des Projektes FAUST bietet Studententeams die Möglichkeit, sich mit der Entwicklung und Umsetzung von autonomen Modellfahrzeugen auseinander zu setzen. Die Fahrzeuge basieren auf vierrädri- gen 1:10-Modellen. Die Wahl der Sensoren bleibt jedem Team selbst überlassen. Beim Wettbewerb müssen bestimmte Fahraufgaben autonom, möglichst schnell und fehlerfrei bewältigt werden und die erarbeiteten Konzepte in Präsentationen erläutert werden.

## 1.2 Problemstellung

Laut (Carolo-Cup, 2010) soll das Fahrzeug bei der dynamischen Disziplin Rundstrecke autonom drei Minuten lang auf einem unbekanntem Rundkurs so weit wie möglich fahren. Bei der Straße handelt es sich um die Nachbildung einer Landstraße (vgl. Abbildung 1), bestehend aus langen Geraden, schnellen Kurven, engen Serpentin und Kreuzungen. Die Straße ist konstant 820 mm breit und an den Rändern mit durchgezogenen Linien abgegrenzt. Die zwei Fahrspuren werden durch eine gestrichelte Mittellinie geteilt. Das Verlassen der eigenen Fahrspur mit mehr als einem Rad wird bestraft. Alle Linien sind weiß und 20 mm breit. Die Mittellinie ist alle 200 mm durch eine 200mm Lücke unterbrochen. Die engste Kurve hat einen Innenradius von 1000 mm. Die komplette Rundstrecke befindet sich in der Ebene. Eine Runde ist max. 200 m lang. Alle drei Linien können in allen Durchläufen an beliebiger Stelle auf einer Länge von bis zu 1m unterbrochen werden. Außer an Kreuzungen fehlen jedoch an jeder Stelle des Rundkurses nur maximal zwei Linien zeitgleich.



Abbildung 1: Straßenausschnitt

### 1.3 Das Fahrzeug Onyx

Zur Teilnahme am Carolo Cup 2009 wurde an der HAW Hamburg das Fahrzeug Onyx entwickelt. Dieses Fahrzeug basiert auf einem Ford F-350 Pickup-Modell im Maßstab 1:10. Als Steuerungselektronik werden drei ARM 7 Prozessoren mit entsprechenden IO-Plattinen für die Sensordatenverarbeitung verwendet. Die eigentliche Rechenleistung stellt ein Acer Aspire One Subnotebook zur Verfügung, welches mit einem Intel Atom Prozessor mit 1.6 GHz ausgestattet ist. Die Kamera und die ARM-Prozessoren sind jeweils über USB mit dem Notebook verbunden. Auf dem Acer Aspire One Subnotebook ist ein Linux Betriebssystem eingerichtet. Das Steuerungsprogramm ist komplett objektorientiert (C++) und besitzt ein Web-Interface für bequemes Konfigurieren und Debuggen (sog. FAUSTcore).



Abbildung 2: Das Fahrzeug Onyx

Die Auswahl von Sensoren wurde anhand der Erfahrungen aus dem Carolo-Cup 2008 und den dort zu bewältigenden Aufgaben getroffen (Hensel, 2008). Zur Umfelderkennung verfügt das Fahrzeug über die folgenden Sensoren:

- Inkrementalgeber an Vorderrädern
- je zwei Ultraschallsensoren nach vorne und hinten
- je zwei Infrarotsensoren nach rechts und links
- Kompass
- Beschleunigungssensor
- optische Hinderniserkennung
- Kamera

## 2 Das Verfahren zur Fahrbahnverfolgung

Der funktionale Systemaufbau der am Carolo-Cup 2010 eingesetzten Spurführung ist in Abbildung 3 dargestellt. Hardware und Software Komponenten sind in grau bzw. weiß abgebildet.

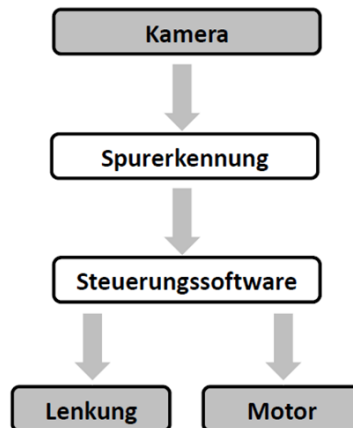


Abbildung 3: Systemaufbau der Spurführung

Ziel dieses Systems ist im 25 Millisekundentakt den Lenkwinkel neu zu berechnen damit das Fahrzeug schnell auf Änderungen der aktuellen Fahrspurgeometrie reagieren kann. Zu diesem Zweck soll die Kamera mindestens 40 Bilder pro Sekunde liefern. Der Spurerkennungsalgorithmus verarbeitet diese Bilder um die Fahrspurgeometrie zu bestimmen. Zur Steuerung der Aktorik werden dann Lenkwinkel und Geschwindigkeit berechnet.

### 2.1 Die Kamera

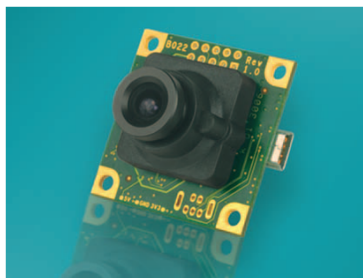
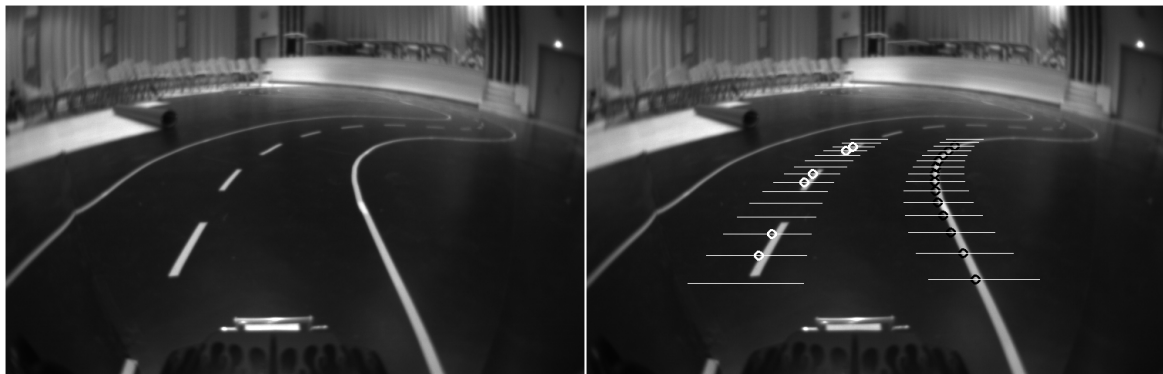


Abbildung 4: Monochrom-USB-Kamera UI-1226LE-M

Das Fahrzeug Onyx verfügt über eine Monochrom-USB-Kamera UI-1226LE-M aus der Ueye-Serie der Firma IDS-Imaging. Die UI-1226LE-M ist eine äußerst kompakte Ein-Platinen-

Kamera mit modernem Aptina CMOS-Sensor in Wide VGA-Auflösung (752x480 Pixel). Diese Kamera kann bis zu 87 Bilder pro Sekunde liefern und die Belichtungszeit kann bis auf  $80 \mu\text{s}$  reduziert werden, so dass auch für bewegliche Objekte ausreichend scharfe Fotos entstehen. Durch Verwendung der weit verbreiteten USB 2.0-Technologie ist die Anbindung an verschiedenste Systeme problemlos möglich. Die UI-1226LE besitzt einen S-Mount-Objektivhalter mit M12-Gewinde und integriertem Filterglas. Um die Integration zu erleichtern, sind die Programmiersprachen C, C++, Microsoft .NET und Visual Basic unterstützt.

## 2.2 Der Spurerkennungsalgorithmus Polaris



(a) Original Kamerabild

(b) Erkennung von Fahrspurpunkten

Abbildung 5: Fahrspurerkennung mittels Polaris

Der Spurerkennungsalgorithmus Polaris (Jenning, 2009) hat die Aufgabe die entstandenen Bilder zu bearbeiten und die Fahrspurgeometrie zu bestimmen. Da Bildverarbeitung in der Regel sehr aufwendig ist, werden nur ein paar Betrachtungsbereiche pro Fahrspurmarkierung ausgewertet (vgl. Abbildung 5b). Im Englischen wird der Betrachtungsbereich als Region Of Interest (ROI) bezeichnet. Um die Kanten zu detektieren wird jeder Betrachtungsbereich des Bildes mit dem horizontalen Sobel-Operator gefiltert. Nach der Faltung mit dem Sobel-Operator wird eine Schwellwert-Funktion zur Erkennung der größten Kanten angewendet. Anschließend wird maximal ein Fahrspurmarkierungspunkt pro Betrachtungsbereich extrahiert. Weiterhin werden diese Bildpunkte durch eine projektive Transformation in das Fahrzeugkoordinatensystem übertragen. Hier liegt das Massezentrum des Fahrzeugs starr im Koordinatenursprung und das Koordinatensystem wird mit dem Fahrzeug bewegt. Zur Approximation der Fahrspurmarkierungen werden Polynome 2. oder 3. Grades verwendet. Um die Parameter des Polynoms zu approximieren wird die Methode der kleinsten Quadrate

angewendet. Auf diese Weise liefert der Algorithmus Polaris zwei Polynome, die die zwei zur Fahrspur gehörigen Fahrbahnmarkierungen im Fahrzeugkoordinatensystem beschreiben.

### 2.3 Die Steuerungssoftware

Ziel der Steuerungssoftware ist bezüglich dieser Polynome Lenkwinkel und Geschwindigkeit für die Aktorik zu ermitteln. Anhand der Parameter des Polynoms kann festgelegt werden ob eine Kurvenfahrt vorsteht. Falls nötig wird dann die Geschwindigkeit reduziert.

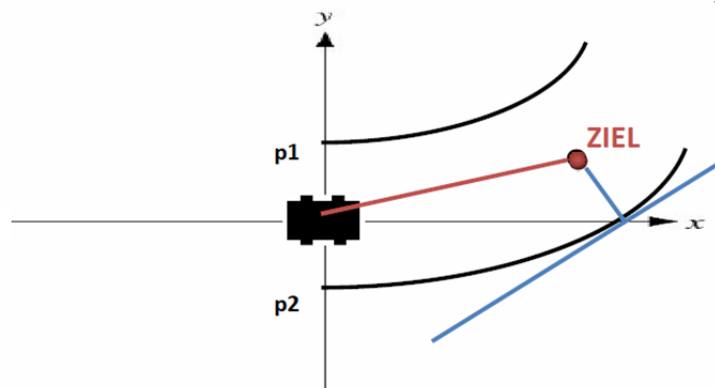


Abbildung 6: Bestimmung des Zieles

Weiterhin soll die Steuerungssoftware den Lenkwinkel festlegen und die Fahrriichtung des Fahrzeuges korrigieren. Das Verfahren beruht teilweise auf dem Verhaltensmuster des Menschen beim Fahren. Der Fahrer fokussiert sein Blickfeld in einer gewissen Entfernung vor dem Fahrzeug und dreht das Lenkrad relativ zu der Fahrspur. Analog dazu lokalisiert das Verfahren (Nikolov, 2009) kontinuierlich ein Ziel, das das Fahrzeug verfolgen soll. Dieses Ziel sollte im Idealfall in der Mitte der Fahrspur liegen (vgl. Abbildung 6). Um die die Fahrspurmitte zu bestimmen, wird die Tangente eines Polynoms gebildet. Die Entfernung zwischen Fahrzeug und Ziel ist für Präzision und Stabilität der Fahrbahnverfolgung entscheidend. Um eine präzise Fahrt zu erreichen muss das Ziel nah am Fahrzeug liegen, damit die Fahrspurgeometrie optimaler berücksichtigt wird. Das wiederum beeinträchtigt die Stabilität so erheblich, dass höhere Geschwindigkeiten nicht erreichbar sind, weil die Verzögerung des Lenkungssystems ausschlaggebende Schwingungen beim Fahren verursacht. Um diese Schwingungen zu reduzieren sollte die Entfernung erhöht werden. Auf diese Weise wird eine Stabilität erreicht, die die Fahrbahnverfolgung bei höheren Geschwindigkeiten ermöglicht. Das verschlechtert gleichzeitig aber die Präzision der Fahrt und ab einer bestimmten Entfernung kann der Algorithmus nicht mehr gewährleisten, dass das Fahrzeug dauerhaft auf der zu verfolgenden Fahrbahn bleibt. Da sowohl Präzision, als auch Stabilität sehr wichtig sind,



muss eine passende Entfernung hinsichtlich der gestellten Anforderungen bestimmt werden. Die bestgeeignete Zielentfernung ist bezüglich des minimalen Kurvenradius empirisch ermittelt worden, weil die Fahrt in den engsten Kurven der Strecke am meisten Präzision fordert.

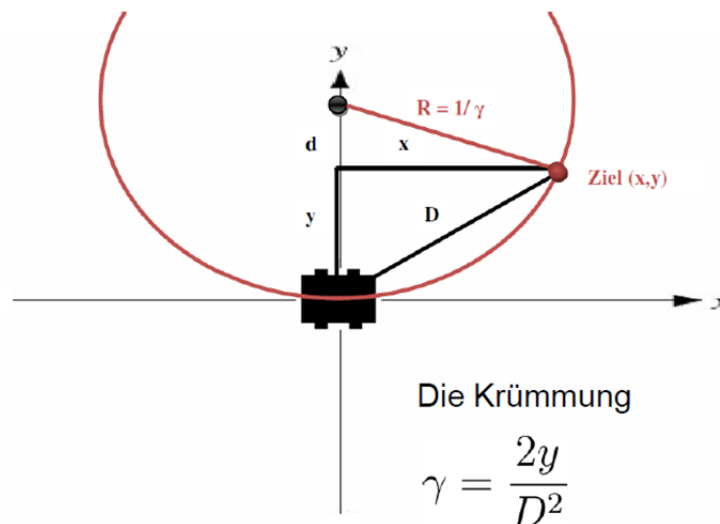


Abbildung 7: Lenkwinkelermittlung mittels „Pure Pursuit“

Als nächstes soll der Lenkwinkel in Bezug auf das Ziel bestimmt werden. Hier kommt der geometrische Algorithmus „Pure Pursuit“ (Coulter, 1992) zum Einsatz. Dieser Algorithmus basiert auf die Krümmung des Kreisbogens, der Fahrzeug und Ziel verbindet. Diese Krümmung dient als Führungsgröße für die Steuerung der Lenkaktorik. Das Fahrzeug reagiert kontinuierlich mit einer Kurvenfahrt dieser Krümmung, um das Ziel zu erreichen (vgl. Abbildung 7). Somit entsteht eine stabilere Fahrt, weil die Krümmung im Verlauf einer Strecke zum großen Teil konstant ist.

### 3 Adaptive Kameraparametrierung zur optimalen Fahrspurerkennung

Im Kapitel 2 beschriebene Verfahren zur Fahrbahnverfolgung bestimmt die Fahrspurgeometrie indem der Spurerkennungsalgorithmus Polaris Kamerabilder auswertet. Bevor eine Fahrbahnverfolgung realisiert werden kann, müssen passende zu Lichtverhältnissen Kameraparameter empirisch ermittelt werden. Während einer Fahrt wird die Kamera mit den entsprechenden Parameter gesteuert um Bilder zu produzieren. Wenn aber die Fahrstrecke nicht gleichmäßig belichtet ist treten Probleme auf, weil manche Bilder unter- oder überbelichtet werden. Weiterhin soll der Schwellwert für die Spurerkennung festgelegt werden. Der

bestgeeigneter Schwellwert ist von Kantenfilterung und Belichtung des Bildes abhängig. Aus diesem Grund ist eine Adaptive Kameraparametrierung in Echtzeit nützlich.

### 3.1 Kameraparameter

Belichtungszeit ist die Dauer, für die sich der Verschluss der Kamera öffnet und das Aufnahmematerial dem durch das Objektiv projizierten Bild aussetzt. Wenn das Aufnahmelicht sehr hell ist oder um Bewegung zu stoppen soll die Belichtungszeit verkürzt werden. Lange Belichtungszeit ist vorteilhaft wenn das Aufnahmelicht schwach ist. Damit das Fahrzeug schnell auf Änderungen der Spurgeometrie reagiert soll die Kamera mindestens 40 Bilder pro Sekunde aufnehmen. Dadurch ist die Belichtungszeit auf 25 ms begrenzt. Damit ausreichend scharfe Bilder auch bei höheren Geschwindigkeiten entstehen, soll die Belichtungszeit noch reduziert werden. In Abbildung 8 sind Kamerabilder mit unterschiedlichen Belichtungszeiten dargestellt. Die entsprechenden mit horizontalem Sobel-Operator gefilterten Bilder werden mit unterschiedlichen Schwellwerten verarbeitet, weil der bestgeeignete Schwellwert zur Kantenextraktion mit der Belichtung des Bildes gebunden ist (vgl. Abbildung 9).

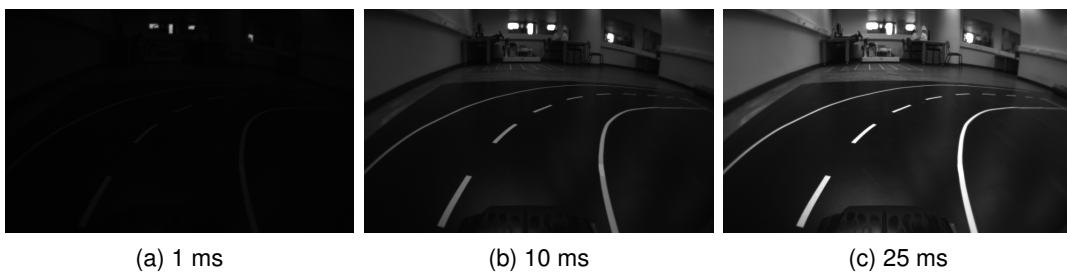


Abbildung 8: Originale Kamerabilder mit unterschiedlichen Belichtungszeiten

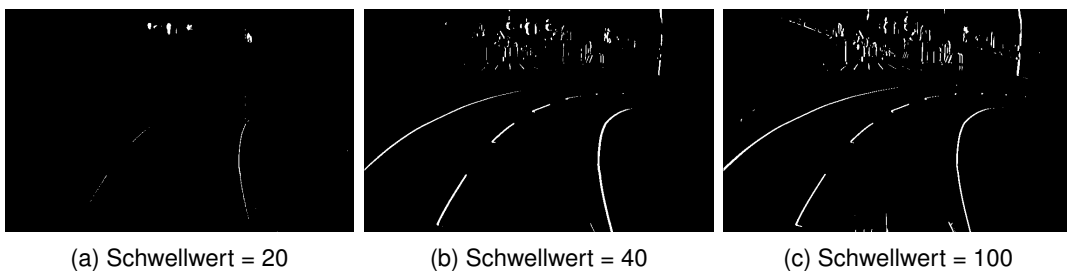


Abbildung 9: Sobelbilder nach Schwellwertfunktion

Mittels dem „master gain“ Kameraparameter kann der Kontrast eines Bildes erhöht werden. Auf diese Weise kann Robustheit für die Spurerkennung geschaffen werden, weil dann die

Spurmarkierung von der Fahrbahn besser zu unterscheiden ist. Somit kann das Intervall, in dem ein geeigneter Schwellwert für die Kantenfilterung liegt, vergrößert werden (vgl. Abbildung 10). Ein hoher master gain kann jedoch zu verrauschte Bilder führen.



Abbildung 10: Kontrastverstärkung

Zur Optimierung der Spurenerkennung kann die Kamera UI-1226LE-M auch eine Kantenverstärkung leisten. Das könnte aber gleichzeitig die Wirkung von ungünstigen Lichtverhältnissen verstärken (vgl. Abbildung 11).

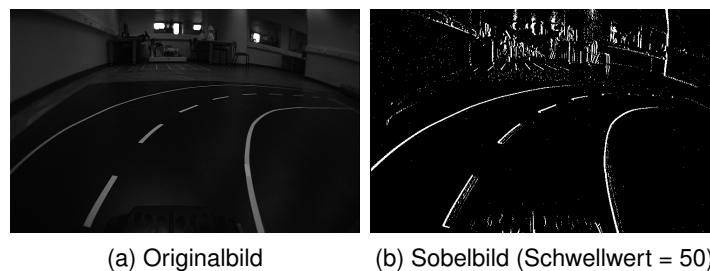


Abbildung 11: Kantenverstärkung

### 3.2 Schwellwertselektion

Aus Kapitel 3.1 folgt, dass der bestgeeignete Schwellwert für die Kantendetektion von Belichtung des Bildes abhängig ist. Somit ist es vorteilhafter diesen Schwellwert automatisch bezüglich Bildbelichtung zu ermitteln. Im (Hamadani, 1981) wurde die Methode „Threshold Selection Using Mean and Standard Deviation“ vorgestellt. Diese Methode berechnet einen geeigneten Schwellwert  $\tau$  mittels der arithmetischen Mittel  $\mu$  und der Standardabweichung  $\sigma$  eines Bildes  $a$  mit der Größe  $m \times n$ :

$$\tau = k_1\mu + k_2\sigma \quad (1)$$

wobei die Konstanten  $k_1$  und  $k_2$  von Bildtyp abhängen und

$$\mu = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a(i, j) \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a(i, j) - \mu)^2} \quad (3)$$

Für typische niedriger Auflösung Bilder  $k_1 = k_2 = 1$  scheint ziemlich gut zu funktionieren. Für höhere Auflösung sollten  $k_1 = 1$  oder  $k_1 = 1,5$  und  $k_2 = 2$  bessere Ergebnisse erzielen.

### 3.3 Belichtungsregelung

Eines der Hauptprobleme, die Bildqualität betreffen kommt aus der unpassenden Belichtung. Zu diesem Zweck sind in fast alle modernen, digitalen Kameras Shutter-Systeme zur automatischen Belichtungsregelung integriert. Jedoch bleiben noch Beschränkungen. Normalerweise sind solche Techniken in Bezug auf den spezifischen Inhalt der Szene völlig blind. Zum Beispiel eine Schnee-Szene oder eine schwarze Lokomotive mit einem Shutter-System zu fotografieren ist sehr schwierig.

In der Bildverarbeitung wird der Maß Lichtwert  $LW$  verwendet, um die Beziehung zwischen dem Blendenzahl  $K$  und der Belichtungszeit  $T$  vorzugeben (Lukac, 2006):

$$LW = \log_2 \left( \frac{K^2}{T} \right) = 2 \log_2(K) - \log_2(T) \quad (4)$$

Der Lichtwert wird kleiner wenn die Belichtungszeit steigt und er wird größer, wenn die Blendenzahl wächst. Die meisten Algorithmen zur Belichtungsregelung arbeiten auf die folgende Weise:

1. Ein Bild wird mit einem vorher bestimmten Lichtwert  $LW_{vor}$  aufgenommen.
2. Die RGB-Werte werden zur Helligkeit  $B$  umgewandelt.
3. Ein Wert  $B_{vor}$  (Standardabweichung, Median o. a.) wird vom Helligkeitsbild berechnet.
4. Beruhend auf die Linearitätsannahme und Gleichung 4 der optimalen Lichtwert  $LW_{opt}$  sollte eine bessere Belichtung erzielen. Das mit diesem  $LW_{opt}$  aufgenommene Bild sollte eine Zahl in der Nähe von einem vorherbestimmten idealen Wert  $B_{opt}$  ergeben. Daraus folgt:

$$LW_{opt} = LW_{pre} + \log_2(B_{vor}) - \log_2(B_{opt}) \quad (5)$$

Der ideale Wert  $B_{opt}$  wird meistens empirisch ermittelt. Verschiedene Algorithmen unterscheiden sich hauptsächlich darin, wie  $B_{vor}$  aus dem Bild abgeleitet wird.

### 3.4 Belichtungsregelung mittels Merkmalsextraktionstechniken

Weitere Algorithmen regeln die Belichtung des Bildes, indem sie spezifische Bildmerkmale extrahieren und dann nur relevante Betrachtungsbereiche auswerten. Die in diesem Abschnitt beschriebene Methode wurde im Wesentlichen für bewegliche Sensoranwendungen (speziell für Videotelefonie) entworfen. Die Erkennung von Hauteigenschaften in Bildern erlaubt die Auswahl und das Verfolgen von Betrachtungsbereichen (z.B. Gesichter). Wenn keine Haut in der Szene anwesend ist, schaltet der Algorithmus automatisch zu anderen Eigenschaften (wie Kontrast und Fokus) zur Verfolgung von relevanten Betrachtungsbereichen. Der Algorithmus wird wie folgt definiert:

1. Extraktion der Leuchtdichte.
2. Mittels einer passenden Merkmalsextraktionstechnik, ordnet der Algorithmus jedem Betrachtungsbereich einen Wert zu. Das ermöglicht die Suche nach relevanten Bereichen im Bild.
3. Sobald die wichtigen Pixel identifiziert sind (z.B. die Pixel, die zur Hauteigenschaften gehören), wird eine globale Belichtungsregelung angewandt, wobei als Hauptparameter die Standardabweichung der relevanten Betrachtungsbereichen verwendet wird.



Abbildung 12: Belichtungsregelung mittels Merkmalsextraktionstechnik

Ergebnisse zeigen, dass eine Belichtungsregelung mittels Merkmalsextraktionstechniken eine Verbesserung der Bildqualität ermöglicht (Battiato u. a., 2004).

## 4 Zusammenfassung und Ausblick auf Projekt 1

In dieser Ausarbeitung wurde das am Carolo Cup 2010 (Carolo-Cup) von Team FAUST Onyx eingesetzte Verfahren zur Fahrspurerkennung und -Verfolgung dargestellt. Eines der Hauptprobleme, die Bildqualität betreffen, kommt aus der unpassenden Belichtung. Um die Robustheit des Verfahrens zu erhöhen ist eine Belichtungsregelung zur Verbesserung der

Bildqualität erforderlich. In dieser Ausarbeitung wurden Techniken zur Belichtungsregelung vorgestellt. Um eine optimale Bildbelichtung zu erzielen, analysieren die meisten Algorithmen die Helligkeit des Bildes, manche betrachten nur bestimmte Bildbereiche und dritte wiederum verwenden Merkmalsextraktionstechniken zur Bestimmung und Verfolgung von relevanten Betrachtungsbereichen.

Im Hinblick auf Projekt 1 soll eine Belichtungsregelung für das Fahrzeug Onyx entwickelt und realisiert werden. Diese soll relevante für die Spurerkennung Betrachtungsbereiche analysieren und die passenden Kameraparameter ermitteln. Weiterhin muss der Schwellwert zur Kantenextraktion mittels der Methode „Threshold Selection Using Mean and Standard Deviation“ berechnet werden um eine autonome Spurführung bei änderbaren Lichtverhältnissen zu ermöglichen.

## Abbildungsverzeichnis

1	Straßenausschnitt . . . . .	3
2	Das Fahrzeug Onyx . . . . .	4
3	Systemaufbau der Spurführung . . . . .	5
4	Monochrom-USB-Kamera UI-1226LE-M . . . . .	5
5	Fahrspurerkennung mittels Polaris . . . . .	6
6	Bestimmung des Zieles . . . . .	7
7	Lenkwinkelermittlung mittels „Pure Pursuit“ . . . . .	8
8	Originale Kamerabilder mit unterschiedlichen Belichtungszeiten . . . . .	9
9	Sobelbilder nach Schwellwertfunktion . . . . .	9
10	Kontrastverstärkung . . . . .	10
11	Kantenverstärkung . . . . .	10
12	Belichtungsregelung mittels Merkmalsextraktionstechnik . . . . .	12

## Literatur

- [Battiato u. a. 2004] BATTIATO, S. ; BOSCO, A. ; CASTORINA, A. ; MESSINA, G.: Automatic image enhancement by content dependent exposure correction. In: *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*. 2004
- [Berger 2008] BERGER, Dennis: *Fahrspurenerkennung mit Three Feature Based Lane Detection Algorithm (TFALDA)*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Studienarbeit, 2008
- [Carolo-Cup ] CAROLO-CUP: *Homepage des Carolo-Cup Wettbewerbs*. – URL <http://www.carolocup.de>
- [Carolo-Cup 2010] CAROLO-CUP: *Carolo-Cup Regelwerk*. 2010. – URL [http://www.carolocup.de/uploads/media/20080507\\_Carolo-Cup\\_Regelwerk.pdf](http://www.carolocup.de/uploads/media/20080507_Carolo-Cup_Regelwerk.pdf)
- [Coulter 1992] COULTER, R. C.: *Implementation of the Pure Pursuit Tracking Algorithm / Robotics Institute, Carnegie Mellon University*. 1992. – Forschungsbericht
- [Hamadani 1981] HAMADANI, N.: *Automatic target cueing in IR imagery*, Air Force Institute of Technology, Masterarbeit, 1981
- [Hensel 2008] HENSEL, Enrico: *Führungskonzept eines autonomen Fahrzeuges*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bericht Anwendung 1, 2008
- [Jenning 2009] JENNING, Eike: *Systemidentifikation eines autonomen Fahrzeugs mit einer robusten, kamerabasierten Fahrspurenerkennung in Echtzeit*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterarbeit, 2009
- [Kant 2007] KANT, Alexander: *Bildverarbeitungsmodul zur Fahrspurenerkennung für ein autonomes Fahrzeug*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 2007
- [Lukac 2006] LUKAC, Rastislav (Hrsg.): *Single-Sensor Imaging - Methods and Applications for Digital Cameras*. CRC Press, 2006
- [Nikolov 2009] NIKOLOV, Ivo: *Verfahren zur Fahrbahnverfolgung eines autonomen Fahrzeugs mittels Pure Pursuit und Follow-the-carrot*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 2009
- [Thrun 2006] THRUN, S.: *Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge*. 2006. – URL <http://robots.stanford.edu/papers/thrun.stanley05.pdf>



[Volkswagen 2006] VOLKSWAGEN: *Automatischer GTI*. 2006. – URL [http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research\\_vehicles/automatic\\_gti.html](http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research_vehicles/automatic_gti.html)

[Weiser u. a. 2009] WEISER, Andreas ; BARTELS, Dr. A. ; STEINMEYER, Simon ; SCHULTZE, Dipl.-Ing K. ; MUSIAL, Dr. M. ; WEISS, Dr. K.: Intelligent Car - Teilautomatisches Fahren auf der Autobahn. In: *AAET*, 2009