

# Alternatives Linienführungssystem für autonome, fahrerlose Transportsysteme

Alternative line guidance system for autonomous transport vehicles

**Maximilian Hochstein  
Jonathan Dziedzitz  
Joachim Göbgen  
Kai Furmans**

*Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

**I**n modernen Unternehmen zählen fahrerlose Transportsysteme (FTS) zum Stand der Technik. Die am weitesten verbreitete Form solcher Systeme stellen spurgeführte Systeme dar. Durch die jahrzehntelange Entwicklung und den jahrzehntelangen Einsatz gelten solche Systeme als erprobt und robust. Allerdings werden sie, auf Grund minimaler Möglichkeiten auf ihre Umwelt zu reagieren, auch als unflexibel eingestuft. Aus diesem Grund wurde am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) ein System entwickelt, welches vorausschauend fahren kann und somit in der Lage ist, in begrenzter Form, auf seine Umgebung zu reagieren.

*[fahrerlose Transportsysteme, optische Spurführung, vorausschauendes Fahren]*

**A**utonomous transport vehicles (ATVs) are considered to be state of the art in modern companies. The most common form of such systems represent Guided Systems. Due to decades of development and use, such systems are considered proven and robust. Because of their limited abilities regarding reacting to their environment, they are considered to be inflexible. For this reason a foresighted system has been developed at the Institute of Mechanical Handling and Logistics Systems (IFL), which is able to analyze its environment and react to it.

*[Autonomous transport vehicles; optical line tracking, foresighted driving]*

## 1 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Im Bereich der Intralogistik werden seit Jahrzehnten Materialflusssysteme für den innerbetrieblichen Transport von Waren eingesetzt. Seit einiger Zeit zeichnet sich jedoch ein Wandel ab. Immer kürzer werdende Produktlebenszyklen, kürzere Wartezeiten und eine größer werdende Anzahl an individualisierten Produkten stellen die Unternehmen vor neue Herausforderungen. Diesem Wan-

del müssen sich auch heutige Materialfluss- und Produktionssysteme anpassen.

Der innerbetriebliche Materialfluss stellt dabei, mit dem Transport von Ladungsträgern, einen wichtigen Prozess dar. Dieser Prozess muss weiter optimiert werden, um auch in Zukunft mit dem Wandel mithalten zu können. Um die Flexibilität im Materialfluss zu erhöhen, werden bereits seit einigen Jahren fahrerlose Transportsysteme (FTS) für den Warentransport eingesetzt. Eines der am häufigsten eingesetzten Lokalisierungsmethoden ist dabei die Spurführung. Obwohl es viele Arten von Spurführungssystemen gibt, zeichnen sich alle durch die Tatsache aus, sich nur entlang einer Spur bewegen zu können. Sie haben dabei nicht die Möglichkeit auf äußere Einflüsse zu reagieren und gelten aus diesem Grund als robust, aber unflexibel.

Um den Nachteil der Inflexibilität zu kompensieren, wurde am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, basierend auf den gängigen Spurführungssystemen, eine Alternative entwickelt. Dieses System kann, wenn auch nur beschränkt, auf seine Umgebung reagieren und gewinnt dadurch deutlich an Flexibilität. Im Gegensatz zu den heutigen Systemen ist die alternative Spurführung in der Lage, neben anderen Eigenschaften, vorausschauend zu fahren und damit deutlich höhere Geschwindigkeiten zu erreichen.

## 2 GRUNDLAGEN SPURGEFÜHRTER SYSTEME

Fahrerlose Transportsysteme haben sich bereits in vielen Betrieben etabliert und sind aus einer Vielzahl von Bereichen nicht mehr wegzudenken. Namhafte Hersteller wie Jungheinrich [Jun], MLR [Mlr], Knapp [Kna], BÄR Automation [Bae] und viele andere befassen sich zum Teil schon seit Jahrzehnten mit dem autonomen Warentransport in der Intralogistik.

Damit ein fahrerloses Transportsystem von einem bestimmten Punkt zu seinem Ziel fahren kann, ist das Wissen um seine Position im Raum essentiell. Dabei gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Lokalisierungsmöglichkeit, mit Hilfe derer sich die Fahrzeuge orientieren können. Eine Liste mit gängigen Systemen findet sich in dem Buch „Fahrerlose Transportsysteme: Die FTS-Fibel mit Praxisanwendungen, zur Technik, für die Planung“ [Ull-11].

Eines der ältesten und etablierten Systeme stellt die Spurführung dar. Trotz unterschiedlicher Spurarten, angefangen bei induktiven Leitern im Boden, bis hin zur optischen Spurführung mittels einer Kamera [And-13], ist die Funktionsweise identisch: das Fahrzeug folgt immer einer Spur, oft in Form einer Linie. Bekannte Hersteller solcher Spurführungssysteme sind die Firmen Götting KG [Göt-99] und Pepperl+Fuchs [Pep].

Die Verwendung einer festen Spur, z.B. einer optischen Linie am Boden, gemäß Abb. 1, oder gar eines in den Hallenboden eingelassenen induktiven Leiters machen solche Systeme unflexibel gegenüber Layoutänderungen.

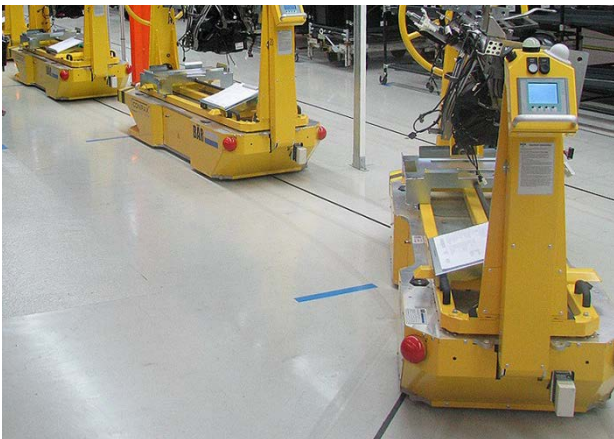


Abbildung 1: Spurgeführte FTF der Firma BÄR Automation [Bea]

Eine Möglichkeit Spurgeführte Systeme zu optimieren, ist die Verwendung von Rastern [Ull-11]. Anstatt einer Linie werden Punkte, entsprechend einem Raster in oder auf dem Hallenboden eingesetzt. Dabei werden die Punkte, von denen jeder eine eigene ID besitzt, in einem bestimmten Abstand zueinander installiert. Das Raster kann unterschiedlich aufgebaut sein. Somit kann es entweder aus Magneten, RFID-Tags [Ove-06] oder QR-Codes bestehen. Ein großer Vorteil eines solchen Aufbaus ist, dass die Punkte codiert werden können. Je nachdem, ob das FTF die Strecke kennt, kann z.B. auf Kurven, schon im Vorfeld reagiert werden, indem die Geschwindigkeit an den Kurvenradius angepasst wird. Die Umsetzung eines solchen Systems erfordert jedoch große, bauliche Maßnahmen, die wiederum mit hohen Kosten

verbunden sind. Für eine nachträglich Aufrüstung ist der Aufwand und somit die Kosten um ein vielfaches höher.

## 2.1 FUNKTIONSWEISE OPTISCHER SPURFÜHRUNGEN

Bei der optischen Spurführung wird mit Hilfe einer auf den Boden gerichteten Kamera eine Linie detektiert. Dabei versucht das System, während der Fahrt, die Linie immer im Sichtfeldmittelpunkt zu halten.

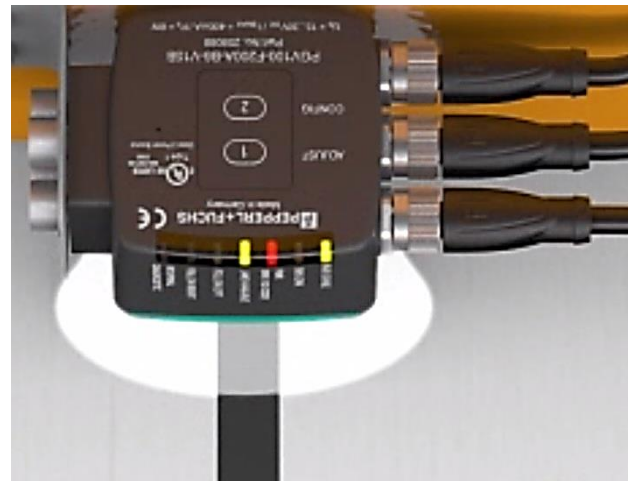


Abbildung 2: Spurführungssystem mit schwarzer Linie [Pep].

Die optische Spurführung ist in der Regel so aufgebaut, dass eine Kamera mit Auswerteeinheit an der Front und/oder im Heck eines FTF montiert wird. Das System kann dabei unterhalb oder außerhalb des Fahrzeugs angebracht sein. Bei einer Verschiebung der Spur, z.B. durch einen Drift oder eine Kurve, wird über die Motoren die Fahrtrichtung so korrigiert, dass die Linie wieder in den Mittelpunkt des Sichtfeldes rückt. Abb.2 zeigt ein solches System [PeP].

## 2.2 EIGENSCHAFTEN OPTISCHER SPURFÜHRUNGEN

Optische Spurführungen gelten auf Grund ihres einfachen Aufbaus als sehr robust und positionstreu. Durch den Blick nach unten auf den Hallenboden sind die Systeme einem Minimum an Reflexionen durch einfallendes Fremdlicht ausgesetzt.

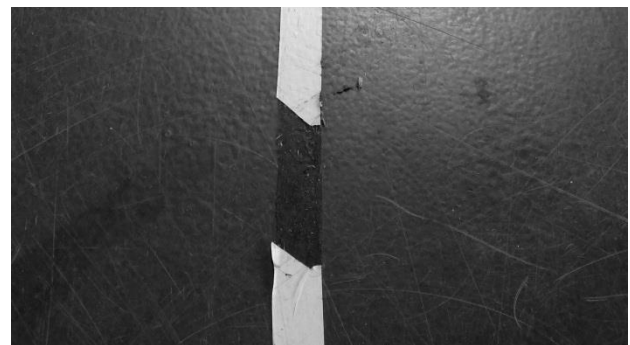


Abbildung 3: Beschädigte Leitlinie.

Dieser Einfluss wird durch eine zusätzliche Lichtquelle, die das Sichtfeld der Kamera homogen ausleuchtet, weiter gemindert.

Während die Linienerkennung sehr robust ist, ist ein Nachteil dieses Systems das eingeschränkte Sichtfeld, in Abb.2 weiß dargestellt. Auch die Robustheit gegenüber Linienschäden, siehe Abb.3, ist nur sehr begrenzt gegeben. Durch den Blick nach unten ist sowohl kein vorausschauendes Fahren möglich, als auch kein Fahren neben der Linie. Durch die fehlende Möglichkeit vorausschauend fahren zu können, muss die Geschwindigkeit an den geringsten Kurvenradius der Strecke angepasst werden, obwohl das System auf gerader Strecke schneller fahren könnte.

### 3 ANSATZ ALTERNATIVE SPURFÜHRUNG

Um das Ziel zu erreichen, ein vorausschauendes Kamerasystem zu entwickeln, musste von der klassischen Kameraausrichtung Abstand genommen werden. Statt senkrecht auf den Boden zu schauen, wird im Falle der alternativen Spurführung die Kamera um einen Winkel von  $27^\circ$  nach vorne geneigt. Dadurch ist es möglich das Sichtfeld von einigen Zentimetern Durchmesser auf mehrere Quadratmeter zu erhöhen. Dabei wurde das Sichtfeld nicht nur in Fahrrichtung deutlich vergrößert, sondern auch senkrecht zur Fahrrichtung (Abb.4).

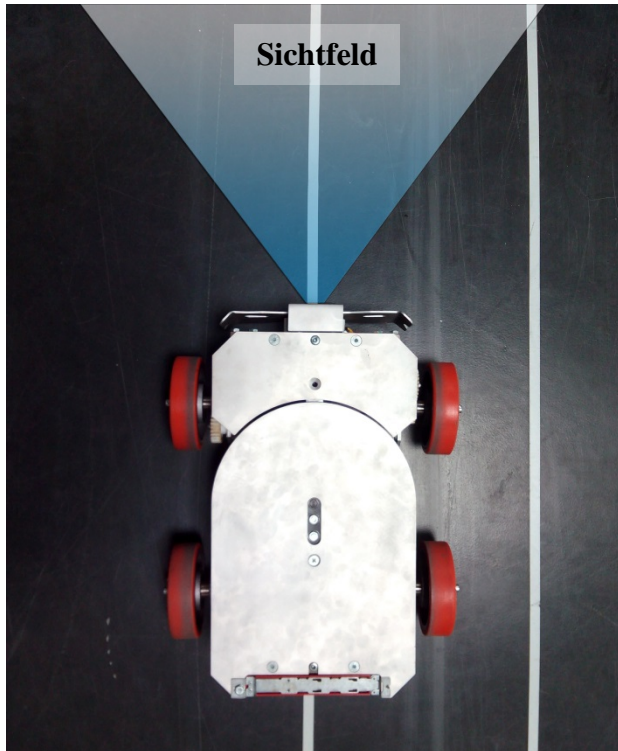


Abbildung 4: Vergrößertes Sichtfeld der geneigten Kamera (blau).

### 3.1 VORTEILE DER ALTERNATIVEN SPURFÜHRUNG

Die Vorteile eines solchen Systems liegen dabei vor allem im deutlich erweiterten Sichtfeld vor dem Fahrzeug, sowohl in Fahrrichtung, als auch senkrecht zur Fahrrichtung.

So kann das Fahrzeug eine Linie nicht nur direkt unter sich, sondern bis in eine Entfernung von 1,5 Metern erkennen. Dieser Vorausblick erlaubt im Vorfeld das Erkennen von Kurven und Geraden, wodurch unterschiedliche Geschwindigkeiten möglich sind. Auf gerader Strecke kann mit maximal 1,5 m/s gefahren werden. Wird eine Kurve erkannt, wird die Geschwindigkeit an den jeweiligen Kurvenradius angepasst.

Ein weiterer Vorteil ist auch das erweiterte Blickfeld rechts und links der Linie. Dadurch ist das Fahrzeug in der Lage gezielt neben der Linie zu fahren, ohne diese dabei aus dem Sichtfeld zu verlieren. Fahrzeuge könnten dadurch in der Lage sein zukünftig entgegenkommendem Verkehr oder Hindernissen auszuweichen (siehe Kapitel 7).

### 3.2 NACHTEILE DER ALTERNATIVEN SPURFÜHRUNG

Ein großer Nachteil des alternativen Systems sind die deutlich größeren Fremdlichteinflüsse. Durch die geneigte Kamera sind Reflexionen deutlich stärker ausgeprägt als sie bei regulären Systemen auftreten.

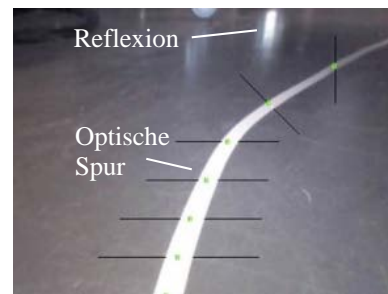


Abbildung 5: Optische Leitlinie mit Störquelle.

Reflexionen können dabei sehr leicht die Helligkeit der Linie annehmen. Durch eine Reflexion auf der Linie kann diese partiell und im schlechtesten Fall komplett überlagert und nicht erkannt werden. Andererseits kann eine Reflexion ähnlich der in Abb. 5 auch dazu führen, dass das System den Lichtfleck für die Linie hält, was zur Folge hätte, dass das Fahrzeug von dieser abkommt und unkontrolliert weiterfährt.

Ein weiterer Nachteil ist, dass das Kamerabild einen Ausschnitt vor dem Fahrzeug zeigt, und daher die exakte Position des Fahrzeuges auf der Linie nur geschätzt, aber nicht gemessen werden kann. Dieser Umstand kann zu einem Fehler bzgl. der Positioniergenauigkeit führen.

## 4 AUFBAU DES FAHRZEUGES

Entwickelt und getestet wurde das System mit Hilfe des in Abb.6 dargestellten Fahrzeuges. Um kein neues Fahrzeug entwickeln und bauen zu müssen, wurde auf ein bereits bestehendes Fahrzeug zurückgegriffen [Hoc-13]. Dieses wurde um Akkumulatoren, einen Rechner für Bildverarbeitung und eine Kamera erweitert. Um die Intensität von Reflexionen zu minimieren, wurde vor der Kamera ein Polarisationsfilter installiert.

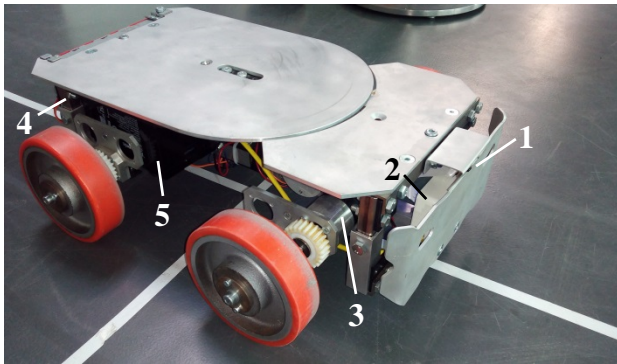


Abbildung 6: Aufbau des Versuchsfahrzeuges.

- 1: geneigte Kamera mit Polarisationsfilter
- 2: Bildverarbeitungsrechner
- 3: Motor
- 4: Steuerung (SPS)
- 5: Akkumulator

## 5 FUNKTIONSWEISE

In den folgenden Abschnitten wird die Funktionsweise des Spurführungssystems erläutert und beschrieben, wie die Nachteile aus Abschnitt 3.2 behoben werden konnten.

### 5.1 BILDVERARBEITUNG

Ähnlich der in Kapitel 2.1 erläuterten Funktionsweise des regulären Spurführungssystems wird auch bei dem hier beschriebenen System versucht die Linie in der Mitte des unteren Bildrandes zu halten. Zuvor muss jedoch die Leitlinie im Bild gefunden werden. Nachdem in einem ersten Schritt das Farbbild auf ein Schwarz/Weiß-Bild reduziert wird, werden durch das Bild mehrere linear verlaufende Scanlinien gelegt, über die der Bildinhalt an definierten Stellen ausgewertet wird (siehe Abb.5). So erhält man alle notwendigen Informationen, die man benötigt, um aus dem SW-Bild die optische Leitlinie herauslesen zu können. Durch die Scanlinien wird nicht das komplette Bild analysiert, was Rechenleistung einspart und die Verarbeitungszeit reduziert. Dies ist notwendig, da das Bild 30 Mal in der Sekunde aktualisiert und analysiert wird.

Um den Einfluss von Schatten und Fremdlicht zu minimieren, wird für jede Scanlinie ein separater Helligkeitsabgleich durchgeführt. Über den Kontrast zwischen dem Boden und der Linie werden Helligkeitsübergänge ermittelt und bewertet. Entspricht der Abstand zweier Übergänge der ungefähren Breite der Leitlinie, wird die Linienmitte errechnet (Abb.5) und zur weiteren Bearbeitung gespeichert. Um die erneute Suche im darauffolgenden Bild einzuschränken und Fehler zu minimieren, wird jede Scanlinie an die Position und Länge der bereits gefundenen Scanlinien angepasst.

Damit die Linienbreite auch in Kurven ausreichend genau ermittelt werden kann, erfolgt eine weitere Optimierung durch das Drehen der Scanlinien. Hierfür werden benachbarte Linienmittelpunkte auf deren horizontalen Versatz hin untersucht und je nach Ausmaß des Versatzes um  $45^\circ$  bzw.  $90^\circ$  gedreht.

Kann auf Grund eines Linienschadens oder zu starken Reflexionen in einem bestimmten Bereich keine Leitlinie gefunden werden, wird die Position der Scanlinie im darauffolgenden Bild durch Interpolation der umliegenden Scanlinien errechnet.

### 5.2 TRANSFORMATION

Die aus der Bildanalyse (vgl. Kap. 5.1) gewonnenen Linienpunkte liegen in Bildkoordinaten vor. Diese bestehen aus einer zwei dimensional Matrix, deren Einträge die einzelnen Pixel darstellen und deren Größe der Kameraauflösung entspricht.

Aufgrund der physikalischen Eigenschaften einer Kamera unterliegen die gefundenen Punkte einer perspektivischen Verzerrung und einer Linsenverzerrung [Lauer14]. Mit Hilfe einer Kamera Kalibrierung [Zhang99] wurden intrinsische und extrinsische Parameter der Kamera berechnet und die gefundenen Linienpunkte über eine Koordinatentransformation in eine Draufsicht (BirdView) (Abb.7) projiziert. (Top-View-Transformation) [Aly08].

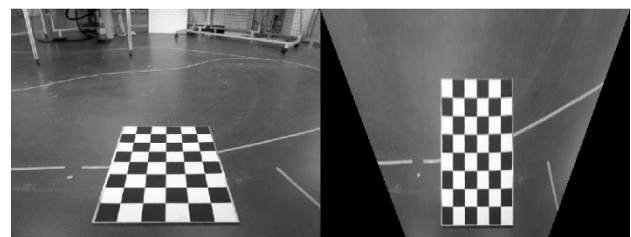


Abbildung 7: Top-View eines Schachbrettes.

Die gefundenen Linienpunkte liegen somit nicht mehr in Bildkoordinaten ( $u, v$ ) sondern in Echtweltkoordinaten ( $x, y$ ) vor und unterliegen keiner perspektivischen- oder Linsenverzerrung der Kamera [siehe Abb.8].

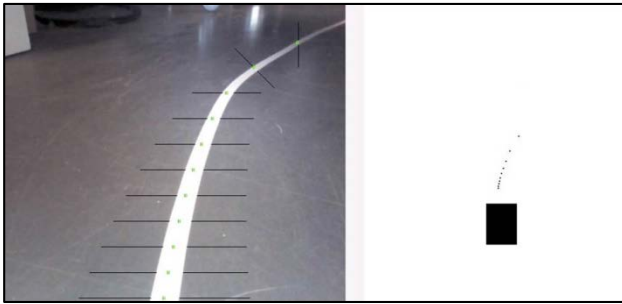


Abbildung 8: In die Draufsicht (rechts) transformierte Scanlinien (links)

### 5.3 REGELUNG

Die Fahrzeugregelung kann in zwei Gebiete unterteilt werden. Zum einen soll die Geschwindigkeit des FTF bestimmt werden (Längsregelung), als auch der Querversatz des Fahrzeuges in Abhängigkeit der gefundenen Linienpunkte (Querregelung).

Um den Spurverlauf robust darstellen zu können, wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate die Linie durch ein Polynom 2. Ordnung approximiert. Hiermit kann der Verlauf von Kurven und Geraden dargestellt und sogar außerhalb des Sichtfeldes der Kamera extrapoliert werden.

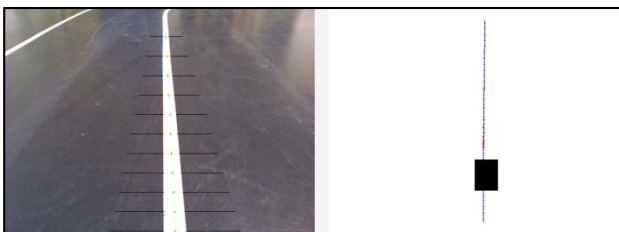


Abbildung 9: Transformation der gefundenen Punkte in die Draufsicht mit Polynom – Gerade.



Abbildung 10: Transformation der gefundenen Punkte in die Draufsicht mit Polynom – Kurve.

Die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ergibt sich nun aus der Krümmung des Polynoms an einer festgelegten Stelle vor dem Fahrzeug. Überschreitet die Krümmung einen definierten Schwellwert, reduziert das Fahrzeug die Geschwindigkeit und fährt langsam in die Kurve ein. Gegen Ende der Kurve unterschreitet die Krümmung den

Schwellwert und das Fahrzeug beschleunigt aus der Kurve heraus. Mit dem hier vorgestellten Verfahren können lange, gerade Abschnitte mit einer höheren Geschwindigkeit gefahren werden und kurvige Bereiche mit einer reduzierten Geschwindigkeit.

Die Bestimmung des Lenkwinkels erfolgt auf Basis der von Jong Jin Park und Benjamin Kuipers [Park11] vorgestellten Methode zur Bestimmung der Radgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Entfernung und Orientierung des Fahrzeuges relativ zum Zielpunkt. Die vorgestellte Regelung wurde um eine weitere geschwindigkeitsadaptive Komponente erweitert, um ein Aufschaukeln des Fahrzeuges zu verhindern und die Positioniergenauigkeit zu erhöhen.

Neben dem Abstand und der Orientierung, gehen die Geschwindigkeit des Fahrzeuges sowie der orthogonale Abstand des Fahrzeuges in die Querregelung mit ein. Das Ziel ist stets ein Punkt auf dem aktuell gefundenen Polynom. Zusammenfassend wird, wie oben erwähnt, die Steuerung über zwei unabhängige Regler beeinflusst, den Längsregler und den Querregler. Je nach Situation kann die Gewichtung der Regler verändert werden.

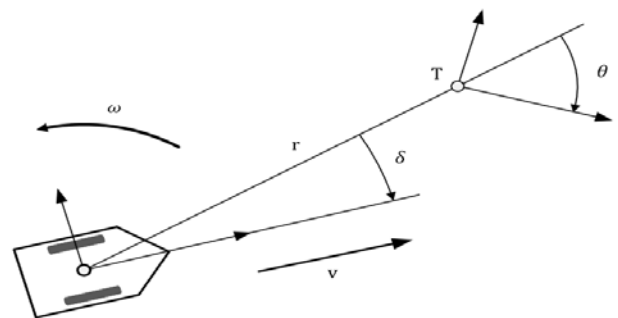


Abbildung 11: Fahrzeugorientierung relativ zu Zielpunkt [Park11].

- δ: Orientierung des Fahrzeuges relativ zum Ziel
- ω: Drehrate des Fahrzeuges
- θ: Orientierung am Ziel relativ zum Fahrzeug
- r: Entfernung zum Ziel
- v: Geschwindigkeit des Fahrzeuges
- T: Zielpunkt

Beispielsweise ist es beim Start des Fahrzeuges mit sehr geringer Geschwindigkeit wünschenswert, den Querversatz vermehrt zu minimieren, um eine Positionierung direkt auf der Linie zu gewährleisten. Ebenso bei einer langsamen Kurvenfahrt, da die Strecke hier möglicherweise um statische Hindernisse führt. Befindet sich das Fahrzeug jedoch auf einer Geraden, könnte eine zu sensible Regelung des Querversatzes zu unerwünschtem

Schwingen aufgrund eventueller Linienunebenheiten führen. In einem letzten Schritt werden die Geschwindigkeit und die Korrektur in Motordrehzahlen umgerechnet, um anschließend über die Motorsteuerung an die Motoren weitergegeben zu werden.

Abbildung 12 veranschaulicht den geschlossenen Regelungskreislauf mit den vorgestellten Methoden:

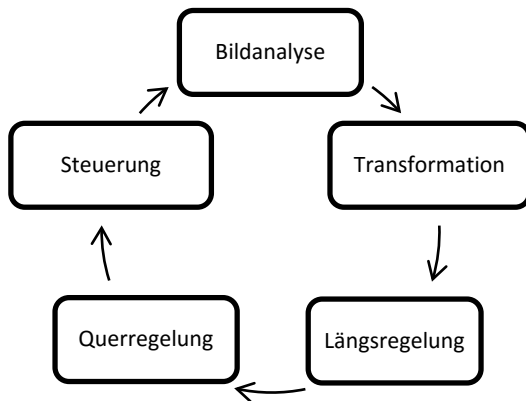


Abbildung 12: Darstellung des Regelungsschemas.

## 6 INBETRIEBNAHME UND ERSTE TESTERGEBNISSE

Die Inbetriebnahme wurde nach erfolgreicher Anpassung des Fahrzeuges durchgeführt. Nach einer Vielzahl von Fahrversuchen und Optimierungsschritten konnten erste Tests durchgeführt werden. Auf einem speziell entwickelten Parcours, bestehend aus unterschiedlichen langen Geraden und Kurven unterschiedlicher Radien wurden möglichst viele Szenarien nachgebildet. Als Linie wurde ein 19mm breites Isolierband verwendet. Dabei hat sich herausgestellt, dass auf einer geraden Strecke eine Geschwindigkeit von 1,5 m/s stabil gefahren werden kann. Im Vergleich zu industriellen, optisch spurgeführten Systemen konnte somit auf gerader Strecke eine Geschwindigkeitssteigerung von 0,4 m/s erzielt werden. In den Kurven wurde die Geschwindigkeit auf den jeweiligen Kurvenradius angepasst. Das hat zur Folge, dass auf dem Parcours nicht nur eine höhere Maximalgeschwindigkeit, sondern auch eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit gegenüber industriellen Systemen erreicht werden konnte.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme wurde ein Spurführungssystem entwickelt, dass es fahrerlosen Transportsystemen erlaubt vorrausschauend zu fahren. Durch das nach vorne geneigte Sichtfeld ist es möglich enge Kurvenabschnitte frühzeitig zu erkennen. Obendrein erlaubt das Sichtfeld einen gewissen Versatz von der Linie, ohne dass das Fahrzeug diese aus seinem

Sichtfeld verliert. Somit hat das Fahrzeug einen gewissen Spielraum um flexibel auf äußere Einflüsse reagieren zu können. In Kombination mit einer Objekterkennung zur Hinderniserkennung kann das System sein volles Potential ausnutzen. Somit könnte das Fahrzeug nicht nur Hindernisse erkennen, sondern ihnen, wenn auch in begrenztem Maße, ausweichen. Das Gesamtsystem könnte bei bestehender Infrastruktur deutlich reaktiver werden.

**LITERATUR**

- [And-13] Andresen, Erik (2013) : ARM-basierter MPSoC unter Linux für eine Fahrspur-führung mit Bildverarbeitung, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Technik und Informatik.
- [Ull-11] Ullrich, Günter (2011) : Fahrerlose Transportsysteme: Die FTS-Fibel mit Praxisanwendungen, zur Technik, für die Planung, VIEWEG+TEUBNER, S. 75ff.
- [Park11] Jong Jin Park and Benjamin Kuipers: A Smooth Control Law for Graceful Motion of Differential Wheeled Mobile Robots in 2D Environment; Department of Mechanical Engineering, University of Michigan; Computer Science and Engineering, University of Michigan; 2011
- [Lauer12] M. Lauer, Vorlesung Machine Vision; Institut für Mess- und Regelungstechnik; Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), 2012
- [Zhang99] Zhengyou Zhang: Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations; Microsoft Research
- [Aly08] Mohamed Aly: Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets; Computational Vision Lab; Electrical Engineering; California Institute of Technology
- [Ove-06] Overmeyer, Ludger; Niemann, Björn; Baum, Matthias (2006): Aufbau von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) durch eine dezentrale Datenstruktur, Leibniz Universität Hannover, Logistik Heute.
- [Hoc-13] Hochstein M, Kohler D, Baur T, Furmans K (2013). VuLF – Entwicklung eines Versuchsstandes zur Fehlerminimierung durch Fahrzeuganalyse. Logistics Journal, Vol. 2013.
- [Göt-99] Götting KG (2015); www.goetting.de/dateien/downloads/d\_89500d.pdf
- [Bae] Bär Automation GmbH (2015); www.baer-automation.de/de/contrax
- [Jun] Jungheinrich AG (2015); http://www.jungheinrich.com
- [Kna] Knapp AG (2015); https://www.knapp.com/cms/cms.php?pageName=glossary&iD=72
- [Mlr] MLR Gruppe (2015); http://www.mlr.de
- [Pep] Pepperl+Fuchs GmbH (2015); http://www.pepperl-fuchs.de

---

**Dipl.-Ing. Maximilian Hochstein**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Maximilian Hochstein studierte Maschinenbau am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Im Januar 2013 trat er seine Stelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme an. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Steuerungstechnik und der Ortung von FTF.

Adresse: Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Gott-hard-Franz-Straße 8, 76131 Karlsruhe,  
 Tel.: +49 (0)721/608-48665,  
 E-Mail: Maximilian.Hochstein@kit.edu

**B. Sc. Jonathan Dziedzitz**, wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Jonathan Dziedzitz studiert seit 2008 Maschinenbau am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Im August 2013 trat er seine Stelle als Hilfwissenschaftler am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme an. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen autonomes Fahren und Lokalisierung von FTF.

Adresse: Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Gott-hard-Franz-Straße 8, 76131 Karlsruhe,  
 Betreuer: Maximilian Hochstein  
 E-Mail: jonathan.dziedzitz@student.kit.edu

**Joachim Göbgen**, wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Joachim Göbgen studierte von 2012 bis 2013 Informatik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und studiert seit 2013 Informationswirtschaft am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Im April 2014 trat er seine Stelle als Hilfwissenschaftler am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme an. Seine Forschungsschwerpunkte lie-

gen in den Bereichen autonomes Fahren und Lokalisierung von FTF.

Adresse: Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Gotthard-Franz-Straße 8, 76131 Karlsruhe,  
Betreuer: Maximilian Hochstein  
E-Mail: joachim.goebgen@studium.kit.edu

**Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans**, Institutsleiter des Instituts für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Professor Dr.-Ing. Kai Furmans war nach seinem Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der Universität Karlsruhe von 1988 bis 1996 am Institut für Fördertechnik tätig. Seine Promotion schloss er im April 1992 zum Dr.-Ing. ab. Nach einer Postdoktorandenzeit in den USA arbeitete er zwischen 1996 bis 2003 für die Robert Bosch GmbH. Danach kehrte er ans Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme zurück und ist seit Oktober 2005 Institutsleiter. Schwerpunkte seiner Arbeiten sind Materialflussplanung in Bediensystemnetzwerken.

Adresse: Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Gotthard-Franz-Straße 8, 76131 Karlsruhe,  
Tel.: +49 (0)721/608-48600,  
E-Mail: Kai.Furmans@kit.edu