
BACHELORARBEIT

Herr
Chengyu Zhang

**Entwicklung einer
Lenkwinkelauswertung für
einen elektrifizierten
Rasentraktor und
Übertragung zur Vehicle
Control Unit (VCU)**

Mittweida, 2023

Fakultät Ingenieurwissenschaften

BACHELORARBEIT

Entwicklung einer Lenkwinkelauswertung für einen elektrifizierten Rasentraktor und Übertragung zur Vehicle Control Unit (VCU)

Autor:

Herr

Chengyu Zhang

Studiengang:

Elektro- und Informationstechnik

Seminargruppe:

EI19sA-BC

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Lutz Rauchfuß

Zweitprüfer:

Prof. Sebastian Nitschke

Einreichung:

Mittweida, 29.07.2023

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2023

Faculty Engineering

BACHELOR THESIS

Development of a steering angle evaluation for an electrified lawn tractor and transmission to the Vehicle Control Unit (VCU)

author:

Mr.

Chengyu Zhang

course of studies:

Electrical and information technology

seminar group:

EI19sA-BC

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Lutz Rauchfuß

second examiner:

Prof. Sebastian Nitschke

submission:

Mittweida, 29.07.2023

defence/ evaluation:

Mittweida, 2023

Mittweida, 05.08.2022

Thema: Entwicklung einer Lenkwinkelauswertung für einen elektrifizierten Rasentraktor und Übertragung zur Vehicle Control Unit (VCU)

Um einen elektrifizierten Rasentraktor optimal antreiben zu können, müssen die beiden hinteren Antriebsräder unabhängig voneinander geregelt werden. Der dafür notwendige Lenkwinkel soll mittels Hohlwellengeber an der Lenkstange erfasst und direkt an die VCU übergeben werden.

Arbeitspakete:

1. Entwicklung der mechanischen Ankopplung des Hohlwellengebers an die Lenkstange

-Die ideale Ausrichtung ist dann erreicht, wenn bei Geradeausfahrt der N-Impuls des Hohlwellengebers gesendet wird

-Der Hohlwellengeber muss mechanisch am Rahmen des Rasentraktors befestigt werden, während sich die Hohlwelle exakt mit der Lenkstange bewegt

-Zum Schutz des Hohlwellengebers ist ein Gehäuse auszuwählen, welches den gesamten Aufbau vor Zerstörung schützt und die Kabeldurchführung zur VCU sicherstellt

2. Auswertung des Hohlwellengebers mit 1024 Impulsen pro Umdrehung

-Um exakt zwischen Lenkwinkel links und rechts unterscheiden zu können, ist ein Vorzeichen Minus für Lenkwinkel links und ein Vorzeichen Plus für Lenkwinkel rechts zu definieren

-Der Lenkwinkel ist via Datenpins 11Bit (inkl. Vorzeichen) alle 100ms an die VCU (Herr Zhou) zu übertragen

-Die Lenkwinkelauswertung muss immer die aktuelle Position des Lenkrades bereitstellen, so dass die Bewegungsrichtung des Lenkrades über die Impulsfolge an Kanal A und B auszuwerten ist und in einem Schieberegister immer der aktuelle Lenkwinkel vorliegt

-Die Berechnung des physikalischen Lenkwinkels zwischen -360° und $+360^\circ$ erfolgt in der VCU

Hochschulbetreuer:

Prof. Dr.-Ing. Lutz Rauchfuß

Bibliografische Beschreibung:

Zhang, Chengyu:

Entwicklung einer Lenkwinkelauswertung für einen elektrifizierten Rasentraktor und Übertragung zur Vehicle Control Unit (VCU). - 2023.

-59 Seitzahlen S.6, S.42, S.6.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,
Bachelorarbeit, 2023

Referat:

Um einen elektrifizierten Rasentraktor optimal antreiben zu können, müssen die beiden hinteren Antriebsräder unabhängig voneinander geregelt werden. Der dafür notwendige Lenkwinkel soll mittels Hohlwellengeber an der Lenkstange erfasst und direkt an die VCU übergeben werden.

Die Ziel der Arbeit ist es, ein Lenkwinkelauswertungssystem für einen elektrifizierten Rasentraktor zu entwickeln und die Ergebnisse an die Vehicle Control Unit (VCU) zu übermitteln, um genaue Lenkwinkelinformationen für die Steuerung und den Betrieb von Elektrofahrzeugen bereitzustellen.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 <i>Hintergrund und Motivation der Studie</i>	2
1.1.1 Der Aufschwung des elektrifizierten Rasentraktors.....	2
1.1.2 Forschungsmotivation.....	2
1.2 <i>Ziele und Zweck</i>	2
1.3 <i>Aufbau der Bachelorarbeit</i>	3
2 Übersicht über den elektrifizierten Rasentraktor	4
2.1 <i>Komponenten des elektrifizierten Rasentraktors</i>	4
2.2 <i>Funktionsweise des elektrifizierten Rasentraktors</i>	7
2.3 <i>Beschränkungen der elektrifizierten Rasentraktoren</i>	7
3 Bedeutung der Lenkwinkelauswertung	8
3.1 <i>Definition und Funktion der Lenkwinkelauswertung</i>	8
3.2 <i>Auswirkungen der Lenkwinkelauswertung auf den elektrifizierten Rasentraktor</i>	9
3.3 <i>Anwendungsbereiche der Lenkwinkelauswertung</i>	9
4 Grundlagen der Vehicle Control Unit und der Lenkwinkelauswertung	10
4.1 <i>Funktion und Aufgabe der VCU</i>	10
4.1.1 Datenübertragung zwischen der Lenkwinkelauswertung und der VCU.....	10
4.1.2 Integrationsprozess und Anforderungen.....	11
4.2 <i>Hardwareanforderungen und Auswahl</i>	12
4.2.1 Drehgeber und Sensor.....	12
4.2.2 Signalerfassungsmodul.....	13
4.2.3 Kommunikationsschnittstellen.....	14
4.2.3.1 SPI.....	14
4.2.3.2 SPI-Komponentenstruktur.....	15
4.2.3.3 SPI-Arbeitsmethode.....	16
4.2.4 Datenverarbeitungseinheiten.....	17
4.2.5 Stromversorgung.....	19
4.3 <i>Softwareentwicklung und Algorithmusdesign</i>	19
4.3.1 Arduino.....	20

Inhalt	II
4.3.2 Digital	21
4.3.3 PapDesigner	21
4.4 Test- und Validierungsmethoden	21
5 Experimente und Ergebnisanalyse	23
5.1 Aufbau und Vorbereitung von Experimenten	23
5.1.1 Verwendung der Hardware	23
5.1.2 Verwendung der Software	25
5.1.3 Der allgemeine Aufbau dieses Experiments	26
5.2 Design von Hardware und Software	27
5.3 Der Prozess des Experiments	31
5.4 Diskussion des Experiments	36
6 Schlussfolgerung und Ausblick	38
6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit	38
6.2 Mögliche Verbesserungen	39
6.3 Ausblick für Lenkwinkelauswertung	38
Literatur	41
Anlagen	43
Selbstständigkeitserklärung	48

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 : ELEKTORASENTRAKTOR	6
ABBILDUNG 2 : PARAMETER1	6
ABBILDUNG 3 : PARAMETER2	6
ABBILDUNG 4 : VEHICLE CONTROL UNIT	12
ABBILDUNG 5 : MASTER-SLAVE KOMMUNIKATION. DIE TAKTABFRAGE ERFOLGT HIER BEI AUFSTIEGENDER FLANKE	16
ABBILDUNG 6 : MIKROCONTROLLER	18
ABBILDUNG 7 : ARDUINO DUE	20
ABBILDUNG 8 : ARDUINO MEGA	20
ABBILDUNG 9 : HOHLWELLEN - DREHGEBER WDG 80 H	23
ABBILDUNG 10 : PARAMETER VON WDG 80 H (LINKS: G24; RECHTS: I05)	24
ABBILDUNG 11 : ESP-8285 D1 MINI LITE	25
ABBILDUNG 12 : VOLLSTÄNDIGER VERSUCHSPLAN	26
ABBILDUNG 13 : DIGITAL TASTKOPF	28
ABBILDUNG 14 : WAGO KLEMME	28
ABBILDUNG 15 : PROGRAMMABLAUFPLÄNE VON MASTER UND SLAVE	30
ABBILDUNG 16 : SIMULATIONSSCHALTUNG FÜR DAS EXPERIMENT-1	32
ABBILDUNG 17 : SIMULATIONSSCHALTUNG FÜR DAS EXPERIMENT	32
ABBILDUNG 18 : XOR-GATTER	33
ABBILDUNG 19 : XNOR-GATTER	33
ABBILDUNG 20 : NICHT-GATTER	33
ABBILDUNG 21 : BEWEGUNG UND RESULTIERENDE A/B-SIGNALE	33
ABBILDUNG 22 : TYP VON D-FLIP-FLOP	34
ABBILDUNG 23 : AKTUELLE WELLENFORM AM OSZILLOSKOP	35
ABBILDUNG 24 : LENKWINKEL AUF SERIELLER PLOTTER	36

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 : PARAMETER VON WDG 80 H.....	24
TABELLE 2 : PARAMETER VON ESP-8285 D1 MINI LITE.....	25
TABELLE 3 : PARAMETER VON ARDUINO MEGA.....	25
TABELLE 4 : FUNKTIONSTABELLE.....	34

Abkürzungsverzeichnis

VCU	Vehicle Control Unit
ABS	Anti-lock Braking System
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAN	Controller Area Network
LIN	Local Interconnect Network
CNC	Computerized Numerical Control
ADC	Analog-to-digital converter
SPI	Serial Peripheral Interfac
MCU	Microcontroller Unit
DSP	Digital Signal Processor
LSB	Linux Standard Base
MSB	Modulare Standardantriebsbaukasten
SCK	Serial Clock
MISO	Master Input, Slave Output
MOSI	Master Output, Slave Input
NSS	Network Security Sevices
SoC	System on a Chip
I²C	Inter-Integrated Circuit
USB	Universal Serial Bus
PDM	Product Data Management
LCD	Liquid Crystal Display

IoT /IdD **Internet of things/Internet der Dinge**

XOR **Exklusiv-Oder-Gatter**

XNOR **eXclusive-NOT-Oder-Gatter**

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Sorge um den Umweltschutz und die nachhaltige Entwicklung¹. Elektrorasentraktoren werden als umweltfreundliche und effiziente Alternative immer beliebter. Eine der wichtigsten Komponenten zur Sicherung des effektiven Betriebs und der Fahrstabilität von Elektrorasentraktoren ist das Lenkwinkelauswertungssystem, das den Lenkwinkel des Elektrorasentraktors überwacht, genaue Informationen über den Lenkzustand liefert und mit VCU (Vehicle Control Unit) kommuniziert, um sicheren und effizienten Betrieb zu gewährleisten.

Die Lenkwinkelauswertung ist eine Technologie zur Messung des Lenkwinkels von Fahrzeugen. Es verwendet Sensoren und zugehörige Algorithmen, um den Lenkwinkel des Fahrzeugs genau zu bestimmen und nutzt diese Informationen für das Lenkregelsystem. Im Bereich der elektrifizierten Rasentraktoren kann das Lenkwinkelauswertungssystem genaue Lenkwinkeldaten liefern und so eine stabile und genaue Lenksteuerung erreichen, wodurch das Handling und die Effizienz des Rasentraktors verbessert werden².

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Aufbau, die Funktion und die Anwendung des Systems zur Lenkwinkelauswertung in einem elektrifizierten Rasentraktor zu erforschen. Zunächst werden wir die Definition und Funktion der Lenkwinkelauswertung detailliert erläutern. Zweitens werden wir die Auswirkungen des Lenkwinkelauswertungssystems auf die Leistungsfähigkeit von Elektrorasentraktoren diskutieren. Schließlich wird die Anwendung der Lenkwinkelauswertung in anderen Bereichen erforscht und ihre Zukunftstrends werden analysiert.

¹ Wie laut darf ein Rasenmäher sein? RP online, 12. Juni 2009, abgerufen am 17. August 2020.

² Wang Y X, Li J Q, Wang Xian, Jin C Q, Yin Xiang (2022). Development and test of a steering angle measuring device for wheeled tractor[A]. Journal of China Agricultural University, 2022.

1.1 Hintergrund und Motivation der Studie

1.1.1 Der Aufschwung des elektrifizierten Rasentraktors

Ein elektrifizierter Rasentraktor ist ein Rasenmähergerät, der elektrisch angetrieben wird. Im Vergleich zu herkömmlichen benzinbetriebenen Rasentraktoren hat es viele Vorteile. Elektrorasentraktoren verwenden Batterien oder Stromquellen, um Energie zu liefern, so dass sie keine Abgasemissionen erzeugen und einen niedrigen Geräuschpegel haben. Außerdem sind Elektrorasentraktoren oft einfacher zu warten und zu verwenden, da sie keine Kraftstoffmischungen oder häufige mechanische Wartung benötigen. Diese Vorteile haben dazu geführt, dass Elektrorasentraktor im Haushalts- und Geschäftsbereich immer beliebter werden.

1.1.2 Forschungsmotivation

Um die Lenkbarkeit und Effizienz von Elektrorasentraktor zu verbessern, ist die Entwicklung eines zuverlässigen Lenkwinkelauswertungssystems unerlässlich. Durch die genaue Messung des Lenkwinkels des Rasentraktors und dessen Übertragung an VCU kann eine präzise Lenkkontrolle erreicht werden. Dadurch wird die Stabilität und Präzision des Rasentraktors beim Wenden verbessert und die Qualität und Effizienz des Mähens erhöht.

1.2 Ziele und Zweck

Die bestimmten Zwecke dieser Forschungsarbeit wie folgt:

- (1) Design und Entwicklung eines Lenkwinkelauswertungssystems, das für elektrifizierte Rasentraktoren geeignet ist und den Lenkwinkel präzise messen kann.
- (2) Entwicklung der entsprechenden Programme und Schaltungen, um die Übertragung und Verarbeitung der Lenkwinkelauswertungsdaten für eine genaue Lenkkontrolle zu ermöglichen.
- (3) Prüfung und Validierung des entwickelten Lenkwinkelauswertungssystems, um seine Leistung, Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu bewerten.
- (4) Analyse der Einflüsse des Lenkwinkelauswertungssystems auf die Manövrierfähigkeit und Effizienz von elektrifizierten Rasentraktoren.

1.3 Aufbau der Bachelorarbeit

Dies Bachelorarbeit teilt sich in sechs Abschnitte.

Zunächst werden im einleitenden Abschnitt der Hintergrund und die Motivation für die Forschung beschrieben. Das Aufkommen von Elektrorasentraktorn und die damit verbundenen Einschränkungen werden erörtert. Die Motivation für die Studie wird erläutert und die Ziele dieser Dissertation werden vorgestellt.

Im zweiten Teil werden Elektrorasentraktor vorgestellt. Es werden die verschiedenen Komponenten und Eigenschaften von Elektrorasentraktorn erklärt.

Der nächste Teil hebt die Bedeutung der Lenkwinkelauswertung für Elektrorasentraktor hervor. Es wird erklärt, wie die Lenkwinkelauswertung die Lenkung und Fahrstabilität des Mähers verbessert.

Teil vier erklärt die Grundlagen der VCU und der Lenkwinkelauswertung. Die Datenübertragung zwischen Lenkwinkelauswertung und VCU wird ebenso diskutiert wie der Integrationsprozess und die Anforderungen.

Dieser Abschnitt enthält eine detaillierte Beschreibung der Experimente und der Analyse der Ergebnisse, der Auswahl und des Einsatzes von Hard- und Software.

Schließlich werden die wichtigsten Ergebnisse der Studie zusammengefasst. Mögliche Verbesserungen werden diskutiert und potenzielle Auswirkungen auf die Rasenmäherindustrie werden erwähnt.

2 Übersicht über den elektrifizierten

Rasentraktor

2.1 Komponenten des elektrifizierten Rasentraktors

Elektrorasentraktoren bestehen aus mehreren Komponenten, die jede für sich eine bestimmte Funktion haben. Die Hauptbestandteile eines elektrifizierten Rasentraktors sind die folgenden:

Elektromotor: Das Herzstück eines elektrifizierten Rasentraktors ist der Elektromotor, der elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt, um die Klingen zu drehen. Elektromotoren werden in der Regel entweder mit Wechselstrom oder mit Gleichstrom angetrieben.

Netzteil: Das Netzteil eines elektrifizierten Rasentraktors versorgt den Elektromotor mit elektrischer Energie. Übliche Stromversorgungseinheiten sind wiederaufladbare Batterien wie Lithium-Ionen- oder Blei-Säure-Batterien. Die Batteriekapazität und der Batterietyp wirken sich direkt auf die Betriebszeit und -dauer des Mähers aus. Eine andere Möglichkeit der Stromversorgung ist der Anschluss an eine äußere Stromquelle, z. B. eine Steckdose, um eine ständige Stromversorgung zu gewährleisten.

Mähklingen: Ein Rasenmähermesser ist ein rotierendes Messer, das zum Schneiden von Pflanzen auf dem Rasen verwendet wird. Es besteht in der Regel aus einem starken Metallmaterial mit einer scharfen Kante. Das Design und die Form des Mähmessers variieren je nach Modell des Mähers und den Anforderungen der Anwendung.

Lenksystem und Lenkwinkelmechanismus: Elektrorasentraktoren müssen über eine Lenkfunktion haben, damit sie während der Arbeit ihre Richtung ändern und sich drehen können. Das Lenksystem besteht in der Regel aus einem Lenkrad, einem Lenkhebel und einem Lenkmechanismus. Der Lenkwinkelmechanismus

wird verwendet, um den Lenkwinkel von Rasentraktor zu messen und zu kontrollieren, um eine genaue Lenkung zu sichern.

Bedienelemente und Steuerungen: Elektrorasentraktoren sind mit Bedienelementen und Steuerungen für Vorgänge wie das Starten und Stoppen des Rasentraktors, die Einstellung der Geschwindigkeit und die Lenkung ausgestattet. Die Bedienelemente befinden sich in der Regel am Griff und umfassen Elemente wie Schalter, Gashebel und Bremse. Bei den Steuerungen kann es sich um elektronische Steuereinheiten zur Überwachung und Regelung der Leistungsabgabe des Elektromotors und der Lenkung handeln.

In meinem Experiment wird der aktuelle Elektrorasentraktor in Abbildung 1 mit den Parametern in Abbildung 2 und 3 gezeigt.



Abbildung 1: Elektrorasentraktor

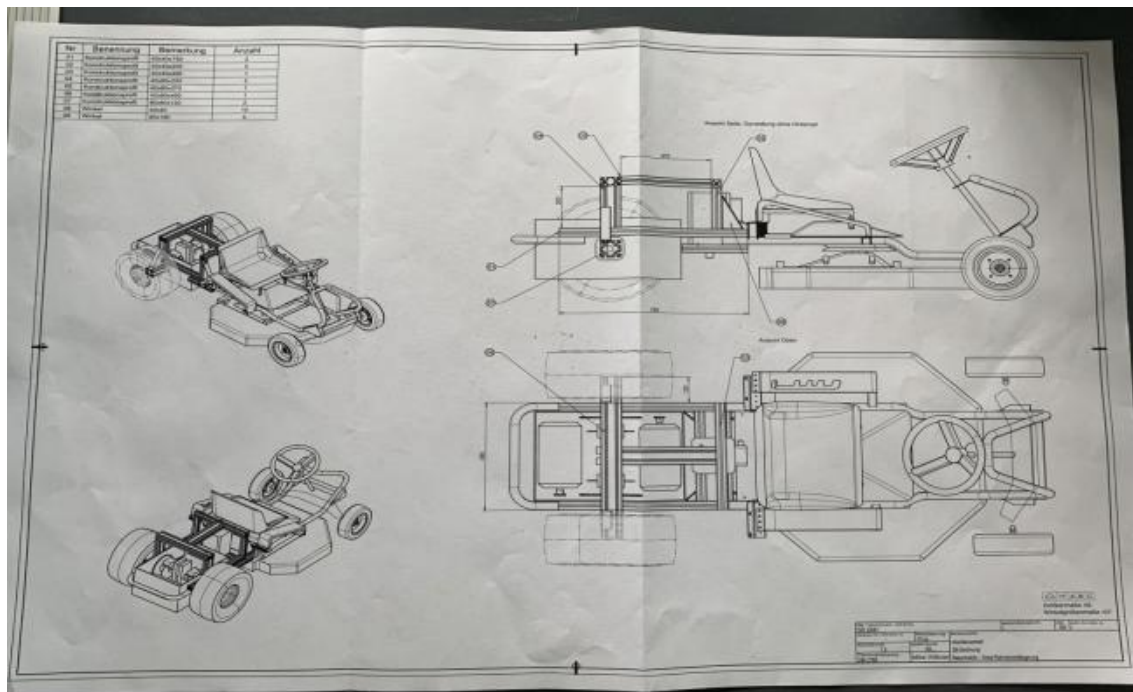


Abbildung 2: Parameter1

Nr	Benennung	Bemerkung	Anzahl
01	Konstruktionsprofil	40x40x750	2
02	Konstruktionsprofil	40x40x200	2
03	Konstruktionsprofil	40x40x490	1
04	Konstruktionsprofil	40x80x200	2
05	Konstruktionsprofil	40x80x370	1
06	Konstruktionsprofil	40x80x490	1
07	Konstruktionsprofil	80x80x120	2
08	Winkel	40x40	10
09	Winkel	80x160	4

Abbildung 3: Parameter2

2.2 Funktionsweise des elektrifizierten Rasentraktors

Ein elektrifizierter Rasentraktor ist eine Art von Mähgerät, das mit einem Elektromotor anstelle eines herkömmlichen Benzinmotors arbeitet. Laut 2.1. Der Elektrorasentraktor treibt die Rotation der Klingen mit Hilfe eines Elektromotors an, um das Gras zu mähen. Die Stromversorgung erfolgt durch das Netzteil, das Antriebssystem überträgt die Drehkraft und wird durch die Bedienelemente und Steuerungen bedient und gesteuert.

2.3 Beschränkungen der elektrifizierten Rasentraktoren

Allerdings haben elektrifizierte Rasentraktor noch einige technische Einschränkungen.

Erstens haben Elektrorasentraktor eine begrenzte Batteriekapazität und Reichweite. Je nach Batteriekapazität können Elektrorasentraktor einige Stunden arbeiten und müssen dann über einen längeren Zeitraum aufgeladen werden. Dies kann bei großen Flächen oder in Situationen, in denen stundenlang gearbeitet werden muss, eine Herausforderung darstellen.

Zweitens haben Elektrorasentraktor eine begrenzte Leistung. Das macht es für Elektrorasentraktor schwierig, über ein Gelände mit komplexeren Rasenbedingungen zu fahren.

Auch das Lenken und die Manövrierfähigkeit können eine Herausforderung sein.

3 Bedeutung der Lenkwinkelauswertung

3.1 Definition und Funktion der Lenkwinkelauswertung³

Über Lenkwinkel wird der mittlere Radlenkwinkel einer gelenkten Achse zuerst im kräftefreien Zustand verstanden.

Die Lenkwinkelauswertung bezieht sich auf den Prozess der Bewertung und Messung des Lenkwinkels eines Fahrzeugs. Es überwacht und analysiert die Bewegung des Lenksystems des Fahrzeugs mit Hilfe von Sensoren und zugehörigen Algorithmen, um genaue Informationen über den Lenkwinkel zu erhalten.

Die Lenkwinkelauswertung liefert die Schlüsseldaten, die das Lenksystem des Fahrzeugs benötigt, um eine genaue Lenkkontrolle zu garantieren. Es hilft dem Fahrzeug, einen stabilen Lenkwinkel in Kurven und auf der Geraden zu behalten, was ein gutes Fahrverhalten und ein gutes Fahrerlebnis ermöglicht.

Die genaue Lenkwinkelauswertung kann auch für Assistierte Fahrfunktionen, z.B. automatische Lenkung und Lenkassistenzsysteme verwendet werden. Durch die Überwachung des Lenkwinkels können diese Systeme den Lenkaufwand und die Richtung des Fahrzeugs automatisch korrigieren und so für mehr Fahrkomfort und Sicherheit sorgen.

Die Lenkwinkelauswertung spielt auch eine wichtige Rolle für das korrekte Funktionieren des ABS (Anti-lock Braking System). Durch die Überwachung von Parametern wie Lenkwinkel und Radgeschwindigkeit hilft es dem ABS, den Lenkzustand des Fahrzeugs genau zu bestimmen und rechtzeitig Anti-Blockier-Maßnahmen zu ergreifen, um die Bremsleistung und die Fahrstabilität zu verbessern.

³ Zhang B J (2022). Design and implementation of intelligent lawn mower[D]. Hangzhou University of Electronic Science and Technology, 2022.

3.2 Auswirkungen der Lenkwinkelauswertung auf den elektrifizierten Rasentraktor

Die Lenkwinkelauswertung hat einen wichtigen Einfluss auf elektrifizierte Rasentraktor. Erstens können Elektrorasentraktoren durch die genaue Auswertung des Lenkwinkels eine präzise Lenkkontrolle erreichen. Dies trägt zu einer präzisen Drehung und Richtungseinstellung beim Mähen bei, sodass ein besserer und gleichmäßigerer Mähergebnis erreicht wird.

Die präzise Lenkwinkelauswertung erhöht die Lenkbarkeit und Flexibilität des Elektrorasentraktors. Der Fahrer kann die Lenkung des Rasentraktors besser steuern und sich leicht an unterschiedliche Rasenformen und Geländebedingungen anpassen, was die Effizienz und die Qualität des Mähens verbessert.

Auch für die Sicherheit und Stabilität ist die präzise Lenkwinkelauswertung entscheidend. Es sorgt dafür, dass der Rasentraktor während des Betriebs einen stabilen Lenkwinkel beibehält, wodurch das Risiko eines unnötigen Kontrollverlusts verringert und die Sicherheit erhöht wird.

3.3 Anwendungsbereiche der Lenkwinkelauswertung

Die Lenkwinkelauswertung hat ein breites Anwendungsspektrum in verschiedenen Bereichen. Die Lenkwinkelauswertung hat ein breites Anwendungsspektrum in einer Reihe von Bereichen. In der Automobilindustrie wird die Lenkwinkelauswertung für die Steuer- und Hilfsfunktionen von Lenksystemen verwendet, z. B. zur Verbesserung des Fahrverhaltens und der elektronischen Stabilitätskontrolle etc.

Die Lenkwinkelauswertung wird auch in landwirtschaftlichen Maschinen zur Verbesserung der Handhabung und Effizienz eingesetzt. Auch in der Industrieautomation wird die Lenkwinkelauswertung für die Steuerung und Positionierung von Robotern und Automatisierungsgeräten für präzise Bewegungssteuerung und Positionierungsaufgaben eingesetzt.

4 Grundlagen der Vehicle Control Unit und der Lenkwinkelauswertung

4.1 Funktion und Aufgabe der VCU⁴

Die VCU ist das wichtigste Steuergerät in einem elektrifizierten Rasentraktor und ist für die Steuerung und Koordinierung des Betriebs und der Funktionen der verschiedenen Systeme verantwortlich. Sie kontrolliert den Betrieb von Schlüsselkomponenten wie dem Antriebssystem, dem Bremssystem und dem Lenksystem. Bei einem Elektrorasentraktor empfängt die VCU Lenkwinkeldaten von der Lenkwinkelauswertung und nutzt sie für eine präzise Lenksteuerung. Durch die Integration mit dem Lenkwinkelauswertungssystem ermöglicht die VCU die vollständige Kontrolle und Optimierung des Elektrorasentraktors und verbessert dessen Handhabung und Mähergebnisse.

4.1.1 Datenübertragung zwischen der Lenkwinkelauswertung und der VCU

Die Datenübertragung zwischen dem Lenkwinkelauswertungssystem und der VCU ist der Schlüssel zu diesem Experiment. Die Datenübertragung kann je nach Aufbau und Anforderungen des Systems über Kabel oder drahtlos erfolgen.

Gängige Methoden der Datenübertragung sind:

Kabelgebundene Übertragung: Das Lenkwinkelauswertungssystem wird über ein Kabel mit der VCU verbunden, und die Daten werden über eine spezielle Schnittstelle oder ein Buskommunikationsprotokoll ausgetauscht. Diese Methode hat eine stabile Übertragungsleistung und ist resistent gegen Störungen.

⁴ Werner Zimmermann, Ralf Schmidgall (2010). Bussysteme in der Fahrzeugtechnik – Protokolle, Standards und Softwarearchitektur. 4. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2010.

Drahtlose Übertragung: drahtlose Verbindung des Lenkwinkelauswertungssystems mit der VCU unter Verwendung drahtloser Kommunikationstechnologien (z. B. Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee usw.) zur Datenübertragung und Kommunikation. Diese Methode ist flexibel und bequem, aber Faktoren wie Übertragungsdistanz, Signalstabilität und Sicherheit müssen berücksichtigt werden.

4.1.2 Integrationsprozess und Anforderungen

Um die Integration des Lenkwinkelauswertungssystems mit der VCU zu erreichen. Stellen Sie zunächst sicher, dass die Hardware-Schnittstellen zwischen dem Lenkwinkelauswertungssystem und der VCU kompatibel sind und dass die geeigneten Verbindungsmethoden und Schnittstellenstandards verfügbar sind.

Bestimmen Sie dann die Datenformate und Kommunikationsprotokolle für die Datenübertragung zwischen dem Lenkwinkelauswertungssystem und der VCU. Gängige Datenformate sind z.B. binär, ASCII (American Standard Code for Information Interchange), etc. und Kommunikationsprotokolle wie CAN (Controller Area Network) und SPI (Serial Peripheral Interface).

Es werden auch Integrationstests des Lenkwinkelauswertungssystems mit der VCU durchgeführt, um die Korrektheit und Stabilität der Datenübertragung zu überprüfen. Dazu gehört die Echtzeitfähigkeit der Datenübertragung, der Genauigkeit der Datenanalyse usw.

Abschließend werden Tests und Fehlerprüfungen durchgeführt. Um eventuelle Kommunikationsausfälle, Datenübertragungsfehler usw. zu lösen und die Stabilität und Zuverlässigkeit des Systems zu garantieren.

Die aktuelle VCU in meinem Fach ist in Abbildung 4 gezeigt.

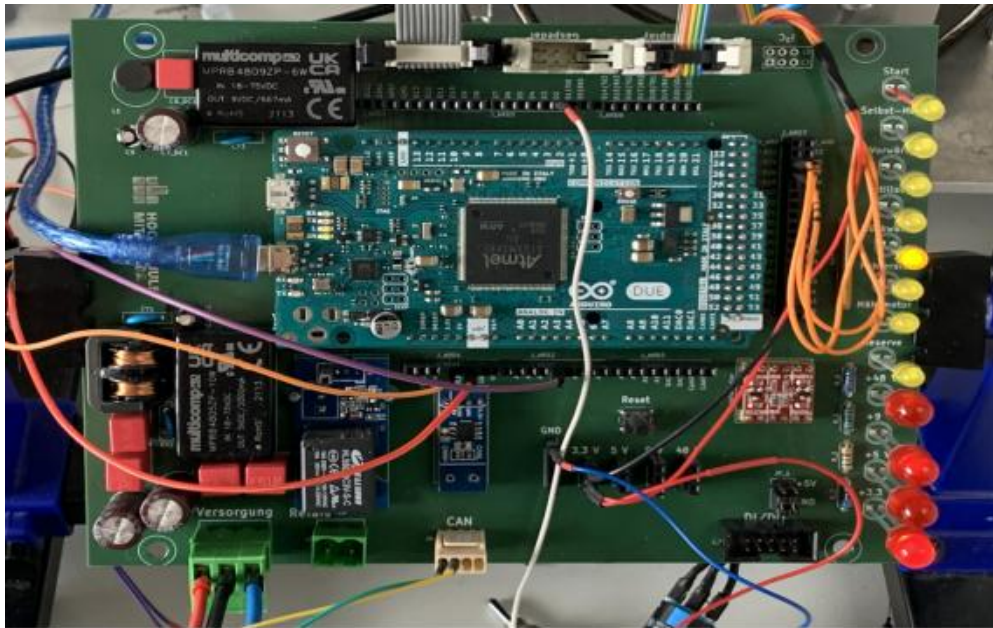


Abbildung 4: Vehicle Control Unit

4.2 Hardwareanforderungen und Auswahl

Bei der Konzeption eines Lenkwinkelauswertungssystems ist es notwendig, die geeignete Hardware auszuwählen. Zum Beispiel Sensoren, Signalerfassungsmodulare, Datenverarbeitungseinheiten, Kommunikationsschnittstellen und Stromversorgungssysteme.

4.2.1 Drehgeber und Sensor⁵

Unter diesen sind Drehgeber und Sensoren die wichtigsten Hardware-Geräte. Nach dem Funktionsprinzip lassen sich Drehgeber in inkrementale und absolute Typen unterteilen.

Als Inkrementalgeber⁶ werden Sensoren zur Erfassung von Lageänderungen (linear) oder Winkeländerungen (rotierend) bezeichnet, die Wegstrecke und Wegrichtung oder Winkelveränderung und Drehrichtung erfassen können. Weitere Bezeichnungen rotierender Geber sind Inkrementaldrehgeber, Drehimpulsgeber oder allgemeiner Drehgeber. Gegenüber kontinuierlich arbeitenden Messsystemen wie Servo-Potentiometern besitzen Inkrementalgeber eine Maßverkörperung mit sich wiederholenden, periodischen Teilstrichen. Die

⁵ Yang Cai, Zhou Y X (2007). Research development of steering wheel angle sensor [A]. Transducer and Microsystem Technologies, 2007.

⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Inkrementalgeber> 16.07.2023

Messung beruht auf einer Richtungsbestimmung und einer Zählung (Digitale Messtechnik). Am häufigsten werden rotierende optische Geber verwendet.

Der Aufbau des Inkrementalgebers besteht aus einem photoelektrischen oder magnetoelektrischen Sensor und einer rotierenden Codierscheibe oder einem linearen Codierband. Das Kodierband ist mit einer Anzahl von gleichmäßig verteilten Tickmarks oder Impulslöchern beschriftet, die von der Lichtschranke oder dem magnetoelektrischen Sensor erfasst werden, wenn sich die Drehachse oder der lineare Verdränger bewegt.

Das Funktionsprinzip des Inkrementalgebers basiert auf der Messung der Anzahl und Richtung von Impulsen. Wenn sich eine Drehachse oder ein linearer Verdränger bewegt, werden durch Änderungen der Skala oder des Impulslochs Impulssignale erzeugt. Jedes Impulssignal stellt eine Positionsänderung dar, und durch Berechnung der Anzahl und Richtung der Impulse kann die Position und Bewegung der Drehachse oder des linearen Verdrängers bestimmt werden.

Inkrementalgeber werden in der Regel in zwei Typen unterteilt: A-Phase-B-Phase und Einkanalgeber. A-Phase-B-Phase-Geber haben zwei Ausgangskanäle, A-Phase und B-Phase, und diese Signale, die um 90 Grad phasenverschoben sind, können zur Bestimmung der Bewegungsrichtung verwendet werden. Einkanalige Drehgeber haben nur einen Ausgangskanal, der zwar Positionsinformationen liefert, aber nicht die Richtung bestimmen kann.

Inkrementalgeber werden in vielen Anwendungen eingesetzt, z. B. in der Industrieautomation, Robotik, CNC (Computerized Numerical Control)-Werkzeugmaschinen, Elektrofahrzeugen, medizinischen Geräten und vielen anderen. Sie bieten hohe Genauigkeit, hohe Auflösung und schnelle Reaktionsfähigkeit bei der Positions- und Bewegungserfassung für Anwendungen wie Positionssteuerung, Bewegungsmessung, Navigation und Positionierung.

4.2.2 Signalerfassungsmodul

Signalerfassungsmodul ist ein Modul zum Empfang und zur Umwandlung von Sensoren oder anderen externen Signalen. Der Zähler ist ein Modul zum Zählen von Eingangssignalen, normalerweise zum Messen der Frequenz von

Impulssignalen oder zum Zählen der Anzahl von Ereignissen. Der Zähler kann Impulssignale von Sensoren oder anderen Geräten empfangen und in eine digitale Form zur weiteren Verarbeitung und Analyse umwandeln.

In einigen Anwendungen, insbesondere in Steuerungs- und Automatisierungssystemen, werden Zähler häufig zur Überwachung des Betriebszustands von Geräten, zur Geschwindigkeitsmessung, zur Zählung des Durchsatzes usw. eingesetzt. Sie sind in der industriellen Steuerung, Automatisierung, Zeitmessung und Metrologie weit verbreitet.

4.2.3 Kommunikationsschnittstellen

Und Kommunikationsschnittstellen wie CAN-Bus oder SPI-Schnittstellen werden für den Datenaustausch mit anderen Systemen oder Steuergeräten verwendet. Die geeignete Kommunikationsschnittstelle wird je nach den Systemanforderungen ausgewählt.

In der modernen Technik müssen verschiedene Geräte und Systeme über Kommunikationsschnittstellen Daten austauschen und Arbeit koordinieren. Eine der gängigen Kommunikationsschnittstellen ist die SPI-Schnittstelle.

4.2.3.1 SPI⁷

SPI ist eine synchrone Peripherieschnittstelle, die es einem Mikrocontroller ermöglicht, mit verschiedenen Peripheriegeräten im seriellen Modus zu kommunizieren und Informationen auszutauschen. Zu den Peripheriegeräten gehören Flash-RAM, Netzwerk-Controller, LCD-Display-Treiber, Analog-Digital-Wandler und MCU (Mikrocontroller Unit).

Der SPI-Schnittstellen wurde erstmals von Motorola als vollduplexe, dreidrahtige, synchrone serielle Peripherieschnittstelle eingeführt, die eine Master-Slave-Architektur zur Unterstützung eines oder mehrerer Slave-Geräte verwendet. Die Schnittstelle wurde erstmals in der M68-Serie von Mikrocontrollern eingesetzt und wird aufgrund ihrer Einfachheit, Leistung und Patentfreiheit von vielen

⁷ Zhang Xiaojing (2021), Implementation of serial peripheral interface communication [A]. The Magazine on Equipment Machinery, 2021

Herstellern unterstützt. Sie wird häufig verwendet, um MCUs mit Peripheriemodulen wie E2PROMs, ADCs, Anzeigetreibern usw. zu verbinden.

Mit Hilfe von SPI können verschiedene Systeme unter Softwarekontrolle aufgebaut werden. Wie ein Master-Controller und mehrere Slave-Controller; mehrere Slave-Controller miteinander verbunden, um ein Multi-Master-System (verteiltes System) zu bilden; ein Master-Controller und ein oder mehrere von der I / O-Gerät aus einer Vielzahl von Systemen. In den meisten Anwendungen kann eine Master-Steuerung als Master verwendet werden, um Daten zu steuern und diese Daten an ein oder mehrere Slave-Peripheriegeräte zu übertragen.

Die Slave-Geräte können nur dann Daten empfangen oder senden, wenn der Master-Controller einen Befehl sendet, und ihre Daten werden in einem Format übertragen, bei dem das hohe Bit (MSB) an erster und das niedrige Bit (LSB) an zweiter Stelle steht. Das Single-Master-System hat nur einen Master-Controller, alle anderen sind Slave-Controller.

4.2.3.2 SPI-Komponentenstruktur⁸

Das SPI-System kann direkt mit einer breiten Palette von Standard-Peripheriegeräten verschiedener Hersteller verbunden werden und benötigt nur vier Leitungen: SCK (Serial Clock, auch SLK oder SCLK), MISO (die Master-Eingangs-/Slave-Ausgangsdatenleitung), MOSI (die Master-Ausgangs-/Slave-Eingangsdatenleitung) und NSS (die niedrig aktive Slave-Select-Leitung) (wie Abbildung 5 zeigt).

- (1) MISO: Master-Geräteeingangs-/Slave-Geräteausgangs-Pin. Dieser Pin sendet Daten im Slave-Modus und empfängt Daten im Master-Modus.
- (2) MOSI: Master-Geräteausgang/Slave-Geräteeingangspin. Dieser Pin sendet Daten im Master-Modus und empfängt Daten im Slave-Modus.
- (3) SCK: Es wird als Ausgang vom Master-Gerät und als Eingang vom Slave-Gerät verwendet.

⁸

https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%B2%E8%A1%8C%E5%A4%96%E8%AE%BE%E6%8E%A5%E5%8F%A3/2845092?fr=ge_ala 16.07.2023

(4) NSS: Auswahl des Slave-Geräts. Dies ist ein optionaler Pin zur Auswahl des Master/Slave-Geräts. Seine Funktion besteht darin, als Chip-Select-Pin verwendet zu werden, damit das Master-Gerät mit einem bestimmten Slave-Gerät einzeln kommunizieren kann, um Konflikte auf den Datenleitungen zu vermeiden.

SPI ist eine Ringbusstruktur, die aus NSS, SCK, MISO und MOSI besteht. Die NSS-Pins sind als Eingänge festgelegt, die MOSI-Pins sind miteinander verbunden, die MISO-Pins sind miteinander verbunden und die Daten werden seriell zwischen Master und Slave übertragen (MSB-Bit zuerst).

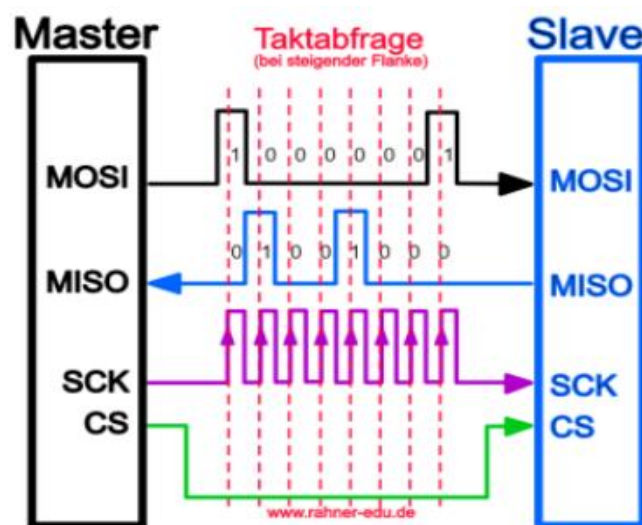


Abbildung 5: Master-Slave Kommunikation. Die Taktabfrage erfolgt hier bei aufsteigender Flanke⁹

4.2.3.3 SPI-Arbeitsmethode

Das SPI hat zwei Betriebsmodi, Master und Slave¹⁰.

Master-Modus

Im Master-Modus liefert die SPI einen seriellen Takt an den SPICLK-Pin der anderen Knoten, und die Daten werden über den SPISIMO-Pin ausgegeben und über den SPISOMI-Pin eingegeben. Der Master-Controller leitet einen Sendevorgang ein, indem er Daten in das Register SPITXBUF schreibt, aus dem die Daten in das Register SPIDAT übertragen und dann über den SPISIMO-Pin gesendet werden, wobei das höchste Bit zuerst gesendet wird; gleichzeitig

⁹ <https://www.rahner-edu.de/grundlagen/signale-richtig-verstehen/spi-besser-verstehen-1/> 18.07.2023

¹⁰ Xu, S. Li, J. (2016). Research on Design of SPI Master/Slave Bus Interface Based on FPGA. Journal of Physics: Conference Series, 2016.

werden die vom Master-Controller empfangenen Daten über den SPISOMI-Pin in das niedrigste Bit des Registers SPIDAT verschoben.

Wenn die gewählte Anzahl von Bits gesendet wurde, wird die gesamte Datenübertragung abgeschlossen, und unmittelbar danach wird der Empfang abgeschlossen (das höchste Bit der über den SPISIMO-Pin gesendeten Daten in SPIDAT wird nach jedem herausgeschobenen Bit um ein Bit vom SPISOMI-Pin in das niedrigste Bit von SPIDAT verschoben). Die empfangenen Daten werden zunächst in das Register SPIRXBUF übertragen und zum Lesen durch die CPU rechtsbündig ausgerichtet.

Slave-Betrieb

Im Slave-Modus werden die Daten vom SPISOMI-Pin herausgeschoben und vom SPISIMO-Pin hineingeschoben. Der SPICLK-Pin wird als Eingang für den seriellen Schiebetakt verwendet.

Um die Daten zu empfangen, wartet die serielle Peripherieschnittstelle auf das SPICLK-Signal vom Netzwerk-Master-Controller, der dann die Daten am SPISIMO-Pin in das SPIDAT-Register schiebt. Wenn der Slave-Controller ebenfalls Daten sendet, muss er die Daten in die SPIRXBUF- oder SPIDAT-Register schreiben, bevor das SPICLK-Signal beginnt

4.2.4 Datenverarbeitungseinheiten¹¹

Die Datenverarbeitungseinheit ist für die Verarbeitung, Berechnung und Analyse der erfassten Daten zuständig, um genaue Lenkwinkelinformationen oder andere relevante Daten zu erhalten.

Ein gängiger Typ von Datenverarbeitungseinheiten sind MCU oder DSP (digitale Signalprozessoren). Sie verfügen über leistungsstarke Rechen- und Verarbeitungsfunktionen und sind in der Lage, komplexe Algorithmen und Datenverarbeitungsaufgaben durchzuführen.

¹¹ Klaus Wüst (2008). Mikroprozessortechnik: Grundlagen, Architekturen und Programmierung von Mikroprozessoren, Mikrocontrollern und Signalprozessoren. Vieweg und Teubner, 2008.

Als Mikrocontroller (auch μ Controller, μ C, MCU oder Einchipmikrorechner) werden Halbleiterchips bezeichnet (wie Abbildung 6 zeigt), die einen Prozessor und zugleich auch Peripheriefunktionen enthalten. In vielen Fällen befindet sich auch der Arbeits- und Programmspeicher teilweise oder komplett auf demselben Chip. Ein Mikrocontroller ist ein Ein-Chip-Computersystem. Für manche Mikrocontroller wird auch der Begriff SoC (System-on-a-Chip) verwendet.

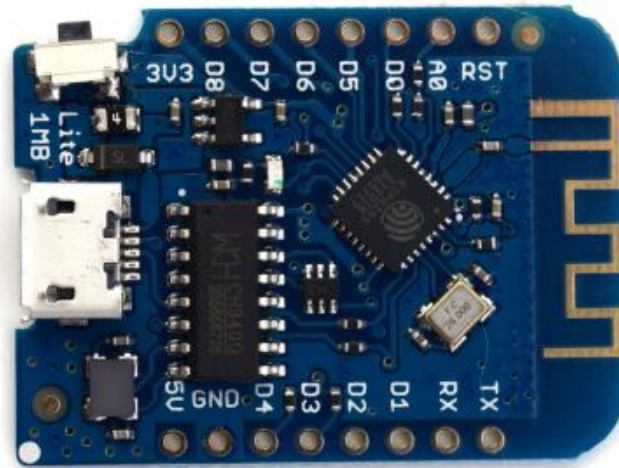


Abbildung 6: Mikrocontroller

Auf modernen Mikrocontrollern finden sich häufig auch komplexe Peripheriefunktionen wie z. B. CAN-, LIN (Local Interconnect Network)-, USB (Universal Serial Bus)-, I²C (Inter-Integrated Circuit)-, SPI-, serielle oder Ethernet-Schnittstellen, PDM (Product Data Management)-Ausgänge, LCD (Liquid Crystal Display)-Controller und -Treiber sowie Analog-Digital-Umsetzer. Einige Mikrocontroller verfügen auch über programmierbare digitale und/oder analoge bzw. hybride Funktionsblöcke.

Ein Mikrocontroller ist ein kleiner Controller, der normalerweise in eingebetteten Systemen verwendet wird. Er ist in der Regel mit Funktionsmodulen wie Prozessor, Speicher, Kommunikationsschnittstelle usw. integriert und hat eine geringe Größe und einen niedrigen Energieverbrauch. Der Mikrocontroller tauscht normalerweise Daten aus und kommuniziert mit anderen Geräten über eine Kommunikationsschnittstelle (z. B. SPI-Schnittstelle).

In Situationen, in denen die SPI-Schnittstelle verwendet wird, kann der Mikrocontroller als Master-Gerät fungieren und mit anderen Geräten (Slave-Geräten) kommunizieren. Über die SPI-Schnittstelle kann der Mini-Controller Befehle, Daten und Steuersignale an die Slave-Geräte senden und Daten und

Statusinformationen von den Slave-Geräten zurückerhalten. Die hohe Übertragungsgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit der SPI-Schnittstelle ermöglicht dem Mikrocontroller einen schnellen und präzisen Datenaustausch mit anderen Geräten, um verschiedene Funktionen und Anwendungen zu realisieren.

4.2.5 Stromversorgung

Das Stromversorgungssystem schließlich sorgt dafür, dass das System stabil und zuverlässig mit Strom versorgt wird. Geeignete Power-Management-Module und Leistungssensoren können ausgewählt werden.

4.3 Softwareentwicklung und Algorithmusdesign

Die Softwareentwicklung und das Algorithmusdesign sind auch bei dem Lenkwinkelauswertungssystem sehr wichtig.

Erstens. Auswahl geeigneter Entwicklungswerkzeuge und Programmiersprachen auf der Grundlage von Systemanforderungen und Hardwareplattformen. Design der Systemarchitektur, Schreiben von Programmen und Datenerfassungsmodulen, Implementierung von Datenverarbeitung, Algorithmen und Schaltungssimulation. Das Experiment wurde mit Arduino due und Mega durchgeführt. Die Schaltungssimulation hingegen wird auf Digital (eine Software) durchgeführt.

Danach werden geeignete Algorithmen entwickelt, um die Sensordaten entsprechend den Anforderungen der Lenkwinkelmessung zu verarbeiten. Und mit PapDesigner Programmablaufpläne konzipieren.

Bei der Entwicklung der Algorithmen werden auch Echtzeit und Effizienz berücksichtigt. So wird sichergestellt, dass das System auf große Mengen von Sensordaten rechtzeitig reagieren und verarbeiten kann.

Schließlich werden die Genauigkeit und die Leistung des Algorithmus durch Simulationen, Experimente und Vergleiche mit Referenzdaten bewertet, um notwendige Anpassungen und Verbesserungen vorzunehmen.

4.3.1 Arduino

Arduino ist eine Open-Source-Hardwareplattform (z.B. Arduino Due/Mega, wie Abbildung 7/8 zeigt), die in eingebetteten Systemen und IoT (Internet of things)-Geräten weit verbreitet ist. Er basiert auf Atmel-Mikrocontrollern und bietet eine Vielzahl von Eingangs- und Ausgangsschnittstellen für den Anschluss verschiedener Sensoren und Aktoren.

Der Arduino verfügt über eine große Speicherkapazität und Verarbeitungsleistung und eignet sich daher für die Bearbeitung komplexer Aufgaben und Algorithmen. Bei der Verwendung des Arduino für die Softwareentwicklung können Entwickler eine Vielzahl von Programmiersprachen und Entwicklungswerkzeugen wie die Sprache C/C++ und die Arduino-Entwicklungsumgebung verwenden. Durch das Schreiben von Programmcode können Entwickler die Eingabe- und Ausgabeschnittstellen des Arduino steuern, mit externen Geräten Daten austauschen und verschiedene Funktionen und Algorithmen implementieren.

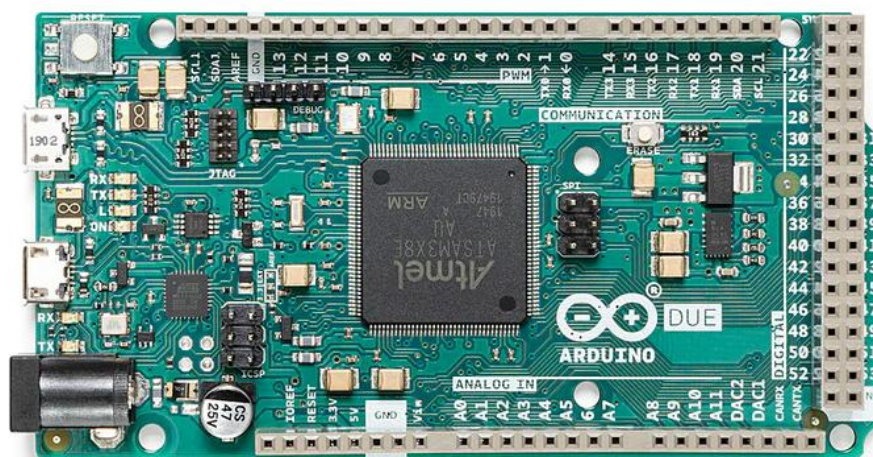


Abbildung 7: Arduino Due

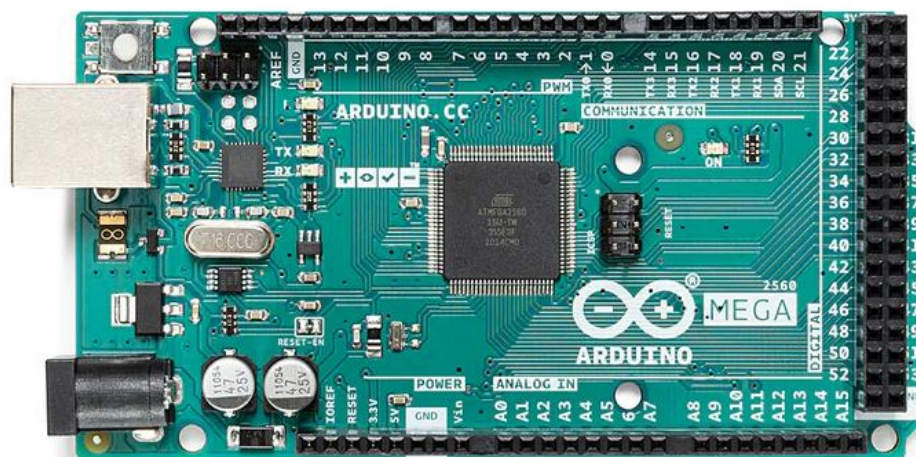


Abbildung 8: Arduino Mega

4.3.2 Digital

Digital ist ein Simulator für digitale Schaltkreise. Eine Schaltung besteht dabei aus einer Anzahl logischer Gatter, welche miteinander durch Leitungen verbunden sind. Das Verhalten der Gesamtschaltung kann simuliert werden. Der Anwender kann mit der laufenden Simulation über bestimmte Elemente interagieren, indem er z.B. Knöpfe betätigt oder Eingangswerte setzt.

Auf diese Weise können die meisten Grundsaltungen der Digitaltechnik aufgebaut werden. Im Ordner examples finden sich viele Beispiele bis hin zum funktionsfähigen 16-Bit Single Cycle Harvard Prozessor.

Der Simulator kennt dabei zwei Modi: Im Bearbeitungsmodus kann die Schaltung bearbeitet werden. In diesem Modus ist die eigentliche Simulation nicht aktiv. Der Simulationsmodus wird durch den Start-Knopf aktiviert. Beim Wechsel in diesen Modus wird die Schaltung zunächst auf Konsistenz überprüft. Enthält die Schaltung keine Fehler, wird die Simulation aktiviert. Jetzt kann mit der laufenden Simulation interagiert werden. Möchte man die Schaltung weiter bearbeiten, muss man die Simulation zunächst wieder stoppen.

4.3.3 PapDesigner¹²

PapDesigner ist ein Werkzeug zum Erstellen von Programmablaufplänen (PAP) angelehnt an die DIN 66001. Es ist gezielt für die Unterstützung des Programmierunterrichts am Georg-Simon-Ohm Berufskolleg in Köln entwickelt worden. Auch Schüler und Studierende anderer öffentlicher Bildungseinrichtungen seien herzlich eingeladen, die Software zum Lernen zu verwenden. Generell ist PapDesigner hilfreich, wenn Abläufe, Prozesse oder Verfahrensschritte grafisch erarbeitet oder dargestellt werden sollen.

4.4 Test- und Validierungsmethoden

Sobald die Auswahl der Hardware und die Entwicklung der Software abgeschlossen sind. Um den korrekten Ablauf und die Genauigkeit des

¹² <http://friedrich-folkmann.de/papdesigner/Hauptseite.html> 19.07.2023

Lenkwinkelauswertungssystem zu gewährleisten, ist eine entsprechende Prüfung und Verifizierung notwendig.

Der erste ist ein Funktionstest. Dabei werden die grundlegenden Funktionen des Systems getestet, einschließlich der Erfassung von Sensorsignalen, der Datenverarbeitung und der Lenkwinkelberechnung. Sicherstellung, dass das System den Lenkwinkel des Fahrzeugs genau messen und wiedergeben kann.

Dann folgt die Prüfung der Genauigkeit. Der Messfehler und die Genauigkeit des Systems werden durch den Vergleich mit einer genauen Referenzmessung beurteilt. Dies kann mit speziellen Prüfgeräten und Standardmessmethoden überprüft werden.

Außerdem gibt es Umwelteignungstests, Fehlersimulation und Fehlertoleranztests.

Die Tests werden unter verschiedenen Umgebungsbedingungen durchgeführt, einschließlich Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, Vibration und Lärm. So wird die Stabilität und Zuverlässigkeit des Systems unter verschiedenen Umweltbedingungen sichergestellt.

Prüfung der Fehlertoleranz und der Fähigkeit des Systems zur Fehlerbehandlung durch Simulation von Sensorausfällen, Signalverlusten und Störungen. Sicherstellung, dass das System abnormale Situationen korrekt handhaben und zuverlässige Lenkwinkelinformationen liefern kann.

5 Experimente und Ergebnisanalyse

5.1 Aufbau und Vorbereitung von Experimenten

In diesem Abschnitt wird die Vorbereitung und der Aufbau des Experiments beschrieben. Dazu gehören die verschiedenen in den Experimenten verwendeten Hardwaretypen und ihre Parameter, die detaillierte Codeerstellung und Programmierung und der Hauptablauf der Experimente.

5.1.1 Verwendung der Hardware

Drehgeber und Sensor¹³.

Für diesen Versuch wurde der Hohlwellen - Drehgeber WDG 80 H verwendet, wobei das Modell I05 gewählt wurde. Weil die Spannung in diesem Experiment 5 Volt beträgt, wie Abbildung 9 zeigt. Und die Parameter sind in Abbildung 10 und Tabelle 1 gezeigt.

Hohlwellendrehgeber sind eine spezielle Form von Inkrementalgebern, die so konstruiert sind, dass sie eine Hohlbohrung im Mittelteil des Sensors aufweisen, die einen direkten Durchgang durch die Welle für bestimmte Szenarien ermöglicht, in denen die mechanische Struktur den Durchgang der Welle erfordert.



Abbildung 9: Hohlwellen - Drehgeber WDG 80 H

¹³ Sensorik, Systemkommunikation und Steuerungstechnik für die Automatisierung – Schulungsunterlagen – Drehgeber, IFM Electronic GmbH, PDF.

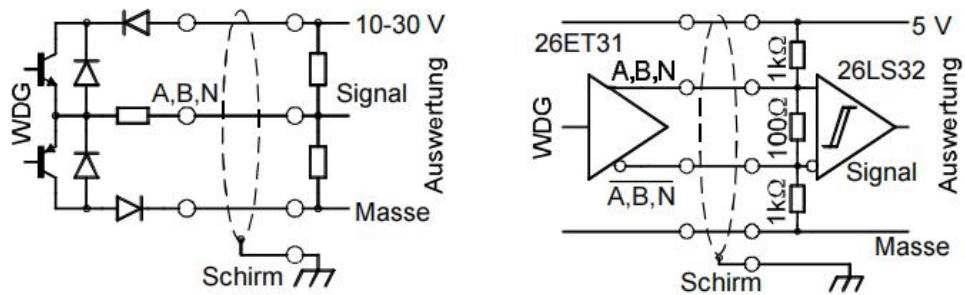


Abbildung 10: Parameter von WDG 80 H (LINKS: G24; RECHTS: I05)

Elektrische Daten	G24	I05
Auslegung gemäß	DIN VDE0160	DIN VDE0160
Versorgung	10-30 VDC	4.75-5.5 VDC
Stromaufnahme	Max. 60mA	Max. 60mA
Kanäle	A, B, N	A, B, N und ABN inv.
Ausgang	Gegentakt	Gegentakt
Belastung	Max. 40mA	Max. 40mA
Pegel	bei 20mA H > U _B - 2,5 VDC L < 2,5 VDC	bei 20mA H > 2,5 VDC L < 0,5 VDC
Impulsfrequenz	Max. 200kHz	Max. 200kHz
Anschlußschutz	ja	nein
Frühwarn - Ausgang:	Leitet im Betriebszustand	Leitet im Betriebszustand
Kabellänge	Max. 100m	Max. 100m

Tabelle 1: Parameter von WDG 80 H

Mikrocontroller

Der in diesem Experiment verwendete Mikrocontroller ist das Typ ESP-8285 D1 mini Lite¹⁴, wie Abbildung 11 und Tabelle 2 zeigt.

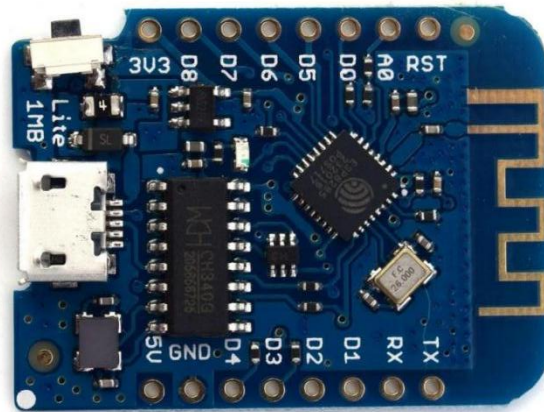


Abbildung 11: ESP-8285 D1 mini Lite

Operating Voltage	3.3V
Digital I/O Pins	11
Analog In put Pins	1(3.2V Max)
Clock Speed	80/160MHz
Flash	1M Bytes
Size	34.2*25.6mm
Weight	5g

Tabelle 2: Parameter von ESP-8285 D1 mini Lite

5.1.2 Verwendung der Software

Der in diesem Experiment verwendete Code wird außer auf dem Mikrocontroller auch auf Arduino Mega geschrieben (aktueller Parameter, wie Tabelle 3 zeigt).

Microcontroller	ATmega2560
Operatin g Voltage	5V
nput Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA

Tabelle 3: Parameter von Arduino Mega

¹⁴ https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini_lite.html 20.07.2023

5.1.3 Der allgemeine Aufbau dieses Experiments

Wie in Abbildung 12 gezeigt, ist die Zusammensetzung des gesamten Experiments.

- ① Lenkrad : Simuliert die tatsächliche Lenkraddrehung.
- ② Bildschirm-1 : Drehgeberauswertung. Zeigt die Drehrichtung des Lenkrads in Echtzeit an.
- ③ Bildschirm-2 : Anzeige des Echtzeit-Drehwinkels und Unterscheidung zwischen Links- und Rechtsdrehung in positiver und negativer Form.
- ④ Receiver: Verarbeitet Signale, bestimmt Links- und Rechtskurven, berechnet Lenkwinkel.

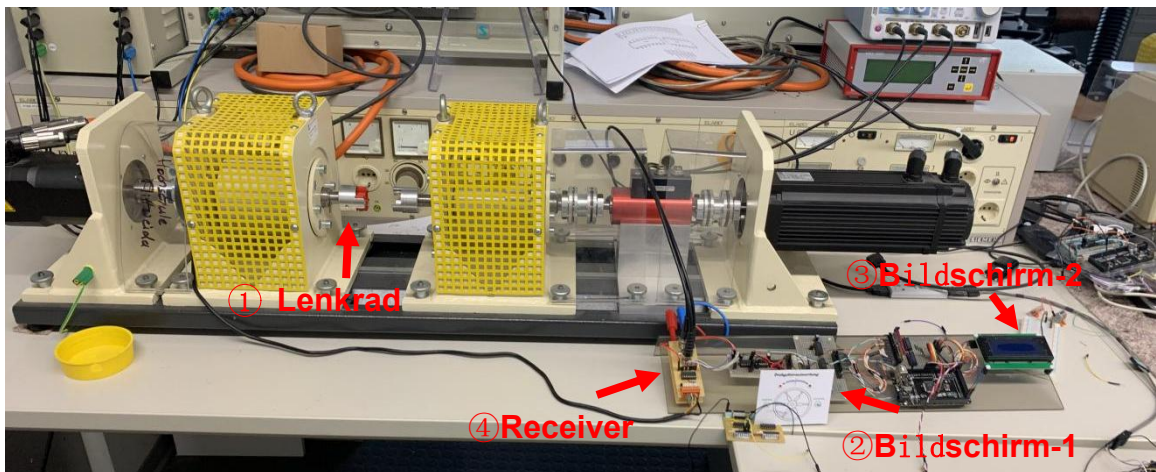


Abbildung 12: Vollständiger Versuchsplan

Zum Schutz des Hohlwellengebers ist ein Gehäuse noch auszuwählen, welches den gesamten Aufbau vor Zerstörung schützt und die Kabeldurchführung zur VCU sicherstellt.

5.2 Design von Hardware und Software

Hardware

Die gesamte Versuchsumgebung liegt bei 5 Volt. Operating Voltage der Mikrocontroller ist 3,3 Volt. Daher wird auch ein Pegelwandler benötigt.

Zunächst wird der Hohlwellengeber an das Lenkrad angebunden.

Der Hohlwellengeber liefert immer zwei um 90 Grad phasenverschobene Signale A und B, mit denen die Drehrichtung und der Drehwinkel bestimmt werden können. Außerdem gibt es einen Referenzimpuls R.

Diese drei PinModes des Hohlwellengebers werden über Pegelwandler mit den entsprechenden Empfangsbits des Mikrocontrollers verbunden. Der Hohlwellenencoder ist mit dem Zähler verbunden und dient dazu, die Impulse des Hohlwellenencoders zu empfangen und in ein digitales Signal zur Weiterverarbeitung umzuwandeln.

Der Mikrocontroller ist dann ebenfalls über die gesetzten Bits mit dem Arduino Mega verbunden (wobei der Mikrocontroller der Slave und der Arduino Mega der Master ist). Gleichzeitig wird der Mikrocontroller mit der Stromversorgung und der Arduino Mega mit dem Computer für den Programm-Upload verbunden. Der Arduino Mega muss auch an ein Oszilloskop angeschlossen werden, um die Wellenformänderungen des Signals zu beobachten.

Der Mikrocontroller und der Arduino Mega werden dann über den Digitalen Tastkopf (wie Abbildung 13 zeigt) und die Wago Klemme (wie Abbildung 14 zeigt) mit dem Oszilloskop verbunden, um eine einfache Betrachtung der erzeugten Wellenformen zu ermöglichen.



Abbildung 13: Digital Tastkopf



Abbildung 14: Wago Klemme

Zum Schluss stellen Sie sicher, dass alle Komponenten mit den GND-PinMode verbunden sind (Verbunden mit der Erde, d.h. 0Volt).

Software

Die Simulation digitaler Schaltungen erfolgte auch mit dem Simulationsprogramm Digital¹⁵.

Die beide Programme von Master und Slave werden zunächst in der Arduino-Software auf Computer geschrieben und überprüft, ob sie fehlerfrei sind. Dann wird der Computer über ein Datenkabel mit dem Arduino Mega und

¹⁵ <https://github.com/hneemann/Digital> Documentation Version.0.30. 20.07.2023

Mikrocontroller verbunden, und die beide Programme (siehe Anlagen A/B für das Programm) werden auf den Arduino Mega und Mikrocontroller hochgeladen¹⁶.

Der Prozess ist in der Programmablaufpläne (wie Abbildung 15 zeigt) dargestellt.

Auf Master. Zuerst wird das Chip-Select-Signal gesendet und beurteilt, ob es sich um eine steigende Flanke handelt oder nicht. Dann lesen Sie das Signal und den Bit-Wert von 12 mal MISO und berechnen Sie den Winkel. Schließlich wird der Winkel in 10 Gruppen von Ausgängen aufgeteilt und auf den nächsten Zyklus zurückgesetzt.

Auf Slave. Zunächst wird das Chip-Select-Signal vom Master empfangen und mit dem vorherigen Zustand verglichen; ist es eine steigende Flanke, beginnt der Code mit der Datenübertragung. Dann gibt das Programm die 12-Bit-Werte der Encoder-Zählung in Temp. nacheinander in einer Schleife aus. Schließlich aktualisiert es den vorherigen Zustand und geht zur nächsten Zyklus über.

¹⁶ Liang Y X, Yang M L, He Y Y, Ding M. The design of measurement system of rotation angle based on single chip microcomputer [J]. Journal of Shanxi University of Technology: Natural Science Edition, 2015.

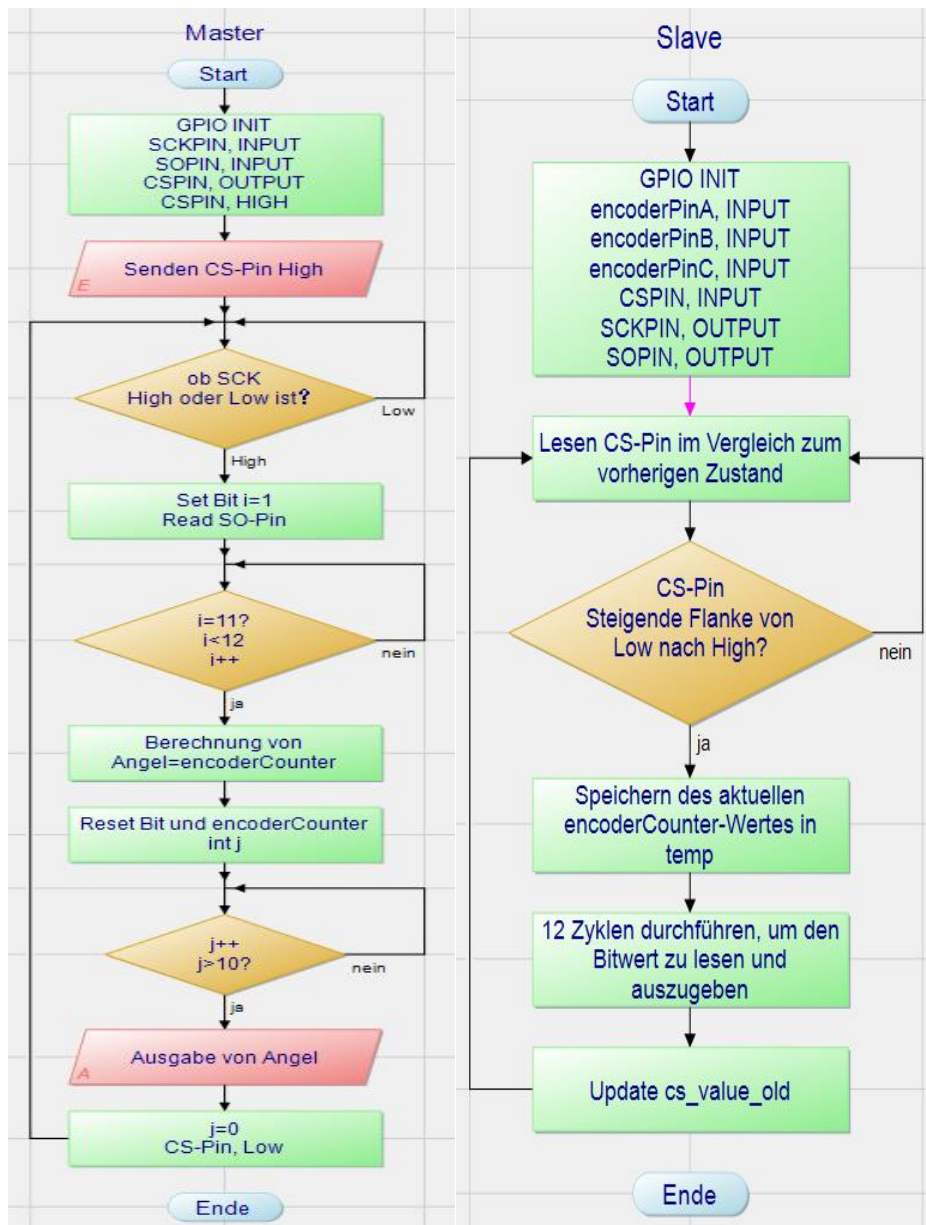


Abbildung 15: Programmablaufpläne von Master und Slave

5.3 Der Prozess des Experiments

Der allgemeine Prozess des Experiments war wie folgt:

Zunächst wird das Lenkrad gedreht und der Signalimpuls an die Schaltung gesendet. Der Programm in der Schaltung bestimmt dann die Drehrichtung und berechnet den Lenkwinkel auf der Grundlage dieses Signals. Schließlich werden die Daten, wie Drehrichtung und Lenkwinkel, über die SPI-Schnittstelle an die VCU gesendet.

Über das allgemeine Funktionsprinzip des Experiments. Demonstriert durch eine mit Digital erstellte Simulationsschaltung (wie Abbildung 16/17 zeigt).

Die Taste Drehrichtung dient als Lenkrad zum Umschalten zwischen Links- und Rechtsdrehung.

Die LEDs LINKS und RECHTS werden verwendet, um die Drehrichtung in Echtzeit anzuzeigen.

Die LEDs POSITIVE und NEGATIVE hingegen zeigen die Änderung des Drehwinkels von 0 an.

Zum Beispiel, um exakt zwischen Lenkwinkel links und rechts unterscheiden zu können, ist ein Vorzeichen Minus für Lenkwinkel links und ein Vorzeichen Plus für Lenkwinkel rechts zu definieren. Wenn Sie mit einer Linksdrehung beginnen, wird der Winkel negativ dargestellt, d.h. -360° bis 0° (d.h. NEGATIVE leuchtet). Beim Wechsel von einer Links- zu einer Rechtskurve wechselt der Winkel zunächst von negativ auf 0, wobei NEGATIVE weiterhin leuchtet. Erst wenn der Winkel positiv wird (d. h. von 0° auf 360°), leuchtet POSITIVE auf. LINKS und RECHTS hingegen reagieren nur auf die Drehrichtung in Echtzeit.

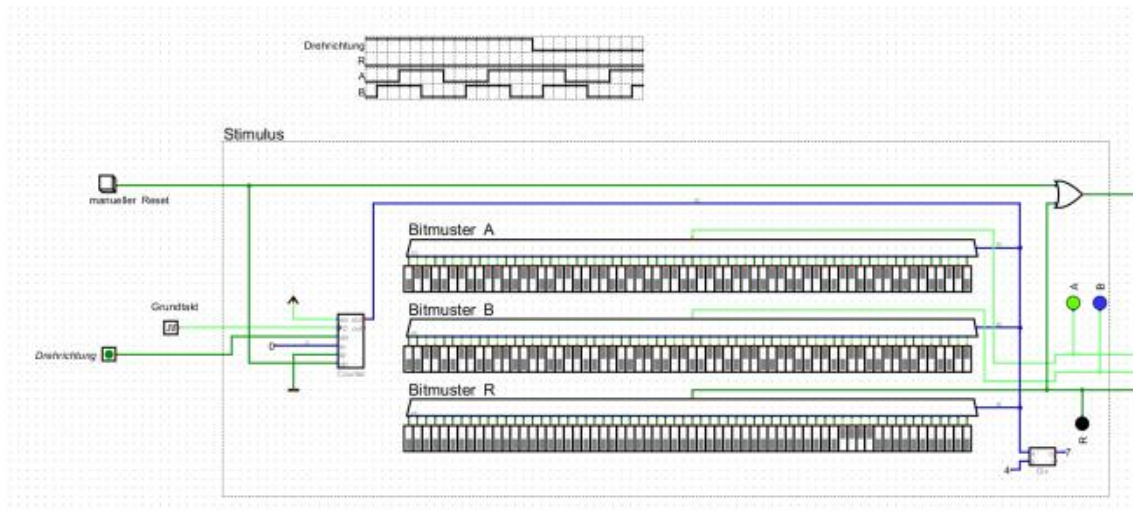


Abbildung 16: Simulationsschaltung für das Experiment-1

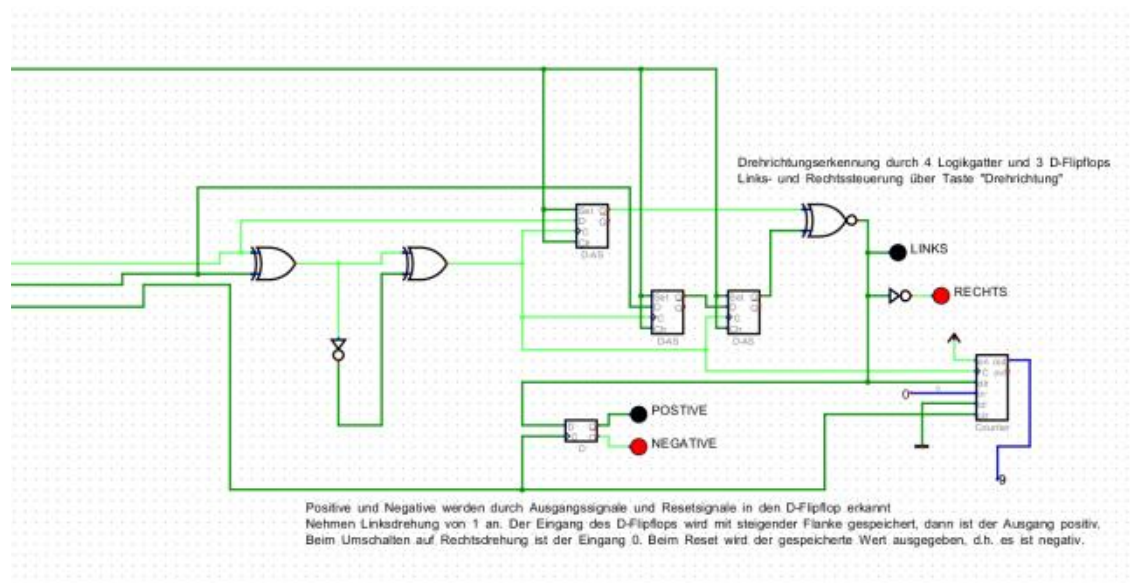


Abbildung 17: Simulationsschaltung für das Experiment

Die Lenkwinkelauswertung muss immer die aktuelle Position des Lenkrades bereitstellen, so dass die Bewegungsrichtung des Lenkrades über die Impulsfolge an Kanal A und B auszuwerten ist und in einem Schieberegister immer der aktuelle Lenkwinkel vorliegt.

Beim Entwurf der Schaltung ist es wichtig, dass sie genau auf Änderungen des Lenkwinkels reagieren kann. Für den Aufbau der Schaltung muss geeignetes Logikgattern¹⁷ mit D-Flip-Flop ausgewählt werden. Nach vielen Versuchen und Änderungen wurden schließlich zwei XOR (Exklusiv-Oder)-Gatter, zwei Nicht-Gatter, ein XNOR (Exklusiv-NOT-Oder)-Gatter, drei asynchrone D-Flipflops, ein D-Flipflop und ein Zähler für die Schaltung ausgewählt, wie Abbildung 18-20 und 22 zeigt.

¹⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/Logikgatter> 22.07.2023

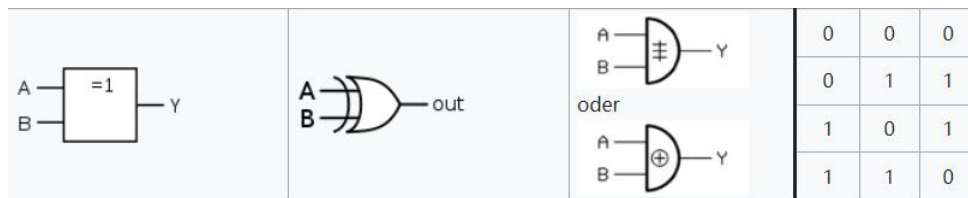


Abbildung 18: XOR-Gatter

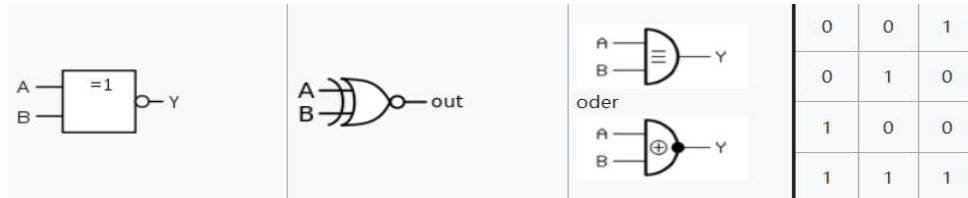


Abbildung 19: XNOR-Gatter



Abbildung 20: Nicht-Gatter

Bei einer Bewegung geben die beiden Sensoren zwei um 90° elektrisch phasenverschobene Signale (A und B) ab. Bewegt sich die Maßverkörperung (Messgröße, die in A/B-Impulsen abgebildet wird) nach rechts, ist das Signal des Kanals A gegenüber dem Kanal B um 90° voreilend. In der anderen Richtung ist das Signal des Kanals A gegenüber dem Kanal B um 90° nacheilend. Die vier unterschiedlichen Zustände von A und B wiederholen sich bei jedem Teilstrich der Maßverkörperung. Sie können mit 0, 90, 180 und 270 Grad gekennzeichnet werden und werden auch Teilungsperiode genannt¹⁸.

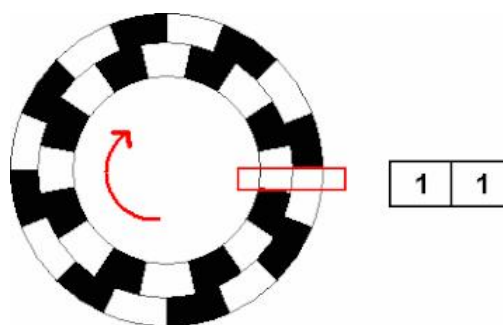


Abbildung 21: Bewegung und resultierende A/B-Signale

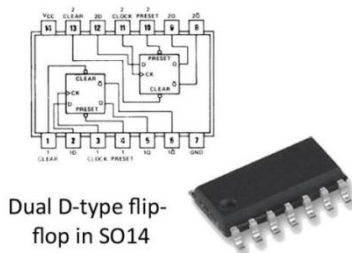
So ist die Schaltung aufgebaut. Je nach Drehrichtung wird dann eine 1 für rechts und eine 0 für links erzeugt (wie Abbildung 21 zeigt). Und mit D-Flip-Flop und Logikgatter wird die Addition oder Subtraktion von Impulsen bestimmt. Sobald die Schaltung die Drehrichtung perfekt erkennen kann, muss ein weiterer 12-Bit-

¹⁸ Signalauswertung von Inhaltsverzeichnis. <https://de.wikipedia.org/wiki/Inkrementalgeber> 23.07.2023

Zähler hinzugefügt werden, um den Drehwinkel von -360° bis 360° (d.h. -1024 bis 1024 Impulse) registrieren zu können.

5pcs Signetics

74LS74



Dual D-type flip-flop in SO14

C	D	Q
	0	0
	1	1
0,1,	x	unverändert
: steigende Flanke : fallende Flanke X: beliebig (0 oder 1)		

Abbildung 22: Typ von D-Flip-Flop

Tabelle 4: Funktionstabelle

Wie Tabelle 4 zeigt. Das D-Flipflop⁴⁹²⁰⁶⁴⁴⁵² (abgekürzt für Data- oder Delay-Flipflop) dient zum Verzögern des Signals am Dateneingang bis zur Freigabe synchron zu einer Taktflanke. Es besitzt einen Dateneingang D und einen dynamischen Eingang C (Clock), der im Schaltzeichen mit gekennzeichnet wird, wenn er auf steigende Flanken reagiert. (Wenn eine fallende Flanke die aktive ist, wird noch ein Negierungszeichen außerhalb der Symbolkontur davorgesetzt.) Dieses D-Flipflop realisiert die elementare charakteristische Funktion der taktgesteuerten direkten Übernahme des Dateneingangs zum Ausgang.

$$Q' = D$$

Darin gilt D für den Zustand bis zur Triggerung und Q' nach der Triggerung. Bis zur nächsten aktiven Taktflanke wird der aktuelle Zustand gehalten („verzögert“). Die gegenläufige Flanke hat keinen Einfluss. Dieses Verhalten führt auf drei wichtige Anwendungen:

- Speicherung eines Datenbits solange, bis die Taktflanke eine neue Speicherung auslöst.
- Synchronisierung paralleler, gleichzeitig begonnener Vorgänge, die je nach Anzahl und Art der durchlaufenen Bauelemente unterschiedlichen Laufzeitverzögerungen unterliegen.
- Verhinderung kurzzeitiger Falschaussagen (Glitches oder Spikes).

Weil sich alle Änderungen an D, die nach der aktiven Flanke eintreffen, erst zur nächsten aktiven Flanke auswirken, ist es nichttransparent und als elementares

⁴⁹²⁰⁶⁴⁴⁵² https://de.wikipedia.org/wiki/Flipflop#Taktflankengesteuertes_D-Flipflop 23.07.2023

Flipflop direkt rückkopplungsfähig. Beispielsweise ist eine Verbindung von Ausgang Q zum Eingang D derselben Kippstufe zulässig, durch die sich das Ausgangssignal in sein Gegenteil ändert, aber immer erst zur nächsten aktiven Taktflanke. Damit eignet sich das D-Flipflop als Grundbaustein von Zählschaltungen.

Mit einem Clock-Enable-Eingang CE (im deutschsprachigen Raum „Vorbereitungseingang“ V) kann der Takteingang in seiner Funktion freigeschaltet werden (engl. enable = freigeben); ohne Freigabe bleibt der Zustand bis zu einer späteren Taktflanke unverändert.

Die Anzahl der Impulse wird im Zähler festgehalten und der entsprechende Lenkwinkel im Arduino mit Hilfe eines Algorithmus errechnet. Schließlich wird der Lenkwinkel über die SPI-Schnittstelle mit einer Übertragungsrate von 10ms an die VCU gesendet und auf dem Bildschirm angezeigt.



Abbildung 23: Aktuelle Wellenform am Oszilloskop

Das Oszilloskop zeigt die Wellenform des Arduino Mega (d. h. des Master) an und deutet darauf hin, dass jede 10 ms 12 Pulse übertragen werden (wie A0 zeigt), und A0 ist der serielle Takt. A1 ist MISO und die Informationsbits des jeweiligen Übertragungsschrittes, wobei das Signal mit der steigenden Flanke aktiviert wird. Und A2 ist der Chip-Select Signal, um den Slave (Mikrocontroller) zu aktivieren.

Der Serieller Plotter zeigt der Lenkwinkelbereich von -360° bis 360° an.

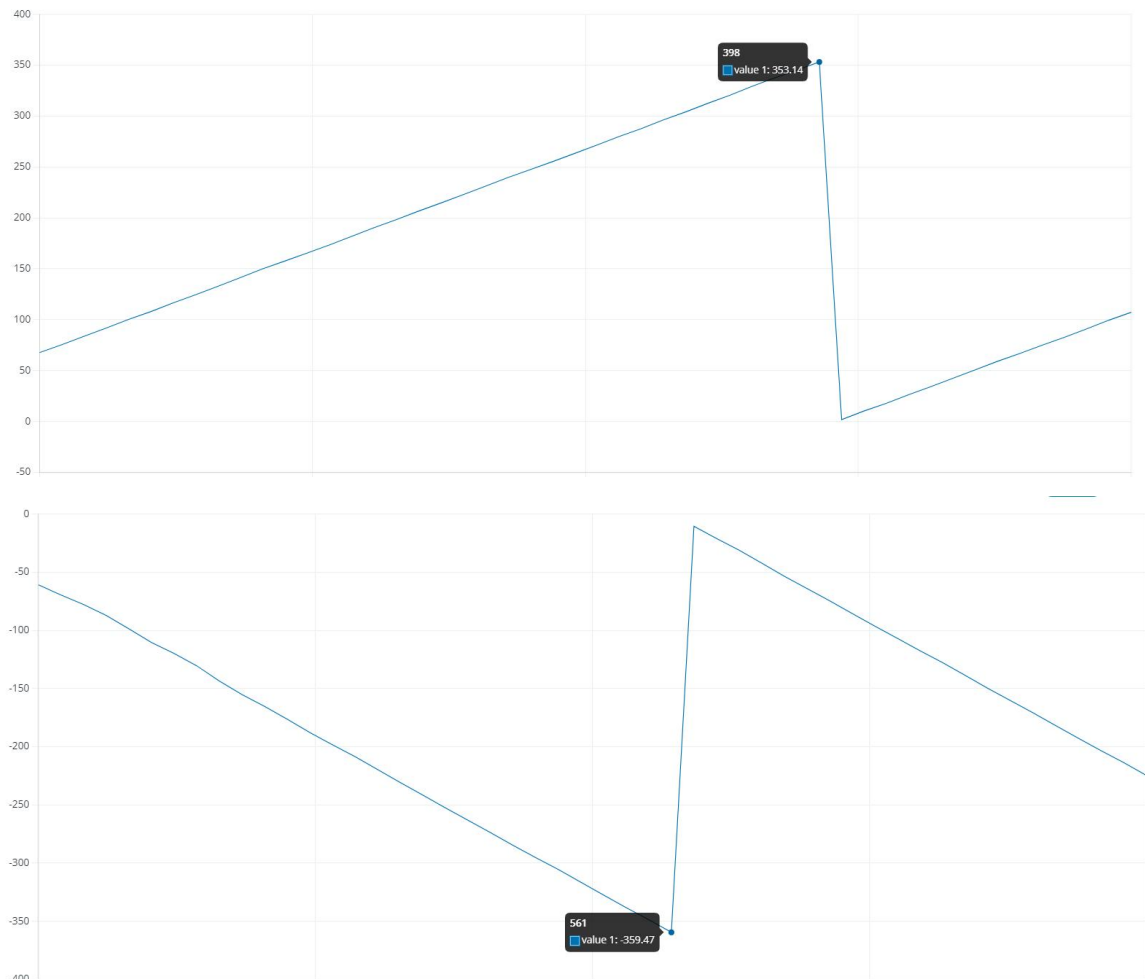


Abbildung 24: Lenkwinkel auf Serieller Plotter

5.4 Diskussion des Experiments

Bei diesem Experiment hatte jedes Teil einige Schwierigkeiten.

Beim Aufbau der Schaltung müssen verschiedene Logikgatter und Verbindungsmöglichkeiten ausprobiert werden. Manchmal leuchtet die entsprechende LEDs beim Umschalten der Lenkung nicht auf. Manchmal

leuchtet nur eine der LEDs für -360° bis 0° oder die LED für 0° bis 360° , unabhängig davon, ob die Lenkung nach rechts oder nach links gedreht wird. Auch kann der Zähler manchmal nur von groß auf klein oder von klein auf groß wechseln, nicht von groß auf klein für Linksdrehungen und von klein auf groß für Rechtsdrehungen; oder er wechselt nur zwischen Teilzahlen, die nicht 0 bis 12 umfassen.

Deshalb habe ich Informationen über Logikgatter gelesen, um das Prinzip der einzelnen Logikgatter zu verstehen. Außerdem habe ich mich im Internet über den Aufbau von Schaltungen informiert. Schließlich habe ich die Schaltung mit Hilfe meines Professors gebaut.

Beim Schreiben des Programms gab es auch viele Probleme. Zum Beispiel kann man im Serieller Monitor oft sehen, dass sich der Lenkwinkel nicht ändert oder bei 0 bleibt. Auch dafür gibt es viele Gründe. Es kann sein, dass die Baudrate anders eingestellt ist; die eingestellten steigenden und fallenden Flanken sind unterschiedlich zu den tatsächlichen; der Interrupt-Modus der Interrupt-Funktion stimmt nicht überein, usw. Hinzu kommt, dass die berechnete Anzahl der Impulse nicht immer zwischen -1024 und 1024 liegt, was bedeutet, dass der Lenkwinkel nicht immer zwischen -360° und 360° liegt. Auch die Verzögerungszeit muss ständig angepasst werden, um die vorgegebene Übertragungsrate und die Anzahl der Rechteckwellen in der vorgegebenen Zeit einzuhalten.

Ich habe mit einem Programm zur Erkennung des Drehwinkels nur auf dem arduino due begonnen und bin dann dazu übergegangen, Programme zur Erkennung des Drehwinkels und zum Empfang von Übertragungen auf dem Mikrocontroller als Tochterplatine und auf dem arduino mega als Hauptplatine zu schreiben.

In dieser Zeit habe ich viel Zeit investiert. Ich habe im Internet viele Informationen darüber gesucht, wie das entsprechende Programm zu schreiben ist, und habe sowohl Professoren als auch viele Leute befragt, um das Programm fertig zu stellen.

6 Schlussfolgerung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit

In dieser Bachelorarbeit wird das für Elektrorasentraktor entwickelte Lenkwinkelauswertungssystem im Detail diskutiert und seine Anwendung in der Fahrzeugsteuerung untersucht und analysiert. Die Experimente und die Analyse der Ergebnisse führen uns zu den folgenden Hauptschlussfolgerungen:

Die Lenkwinkelauswertung hat einen wichtigen Einfluss auf die Steuerung und Fahrstabilität von Elektrorasentraktoren. Durch die genaue Überwachung von Parametern wie dem Lenkwinkel ermöglicht das Lenkwinkelauswertungssystem eine präzisere Lenkungssteuerung von Elektrorasentraktoren.

Aus den Experimenten geht hervor, dass ein effizientes und zuverlässiges Lenkwinkelauswertungssystem mit den richtigen Hardware- und Softwareentwicklungstechniken realisiert werden kann. Daher sind die Auswahl geeigneter Hardwaregeräte und die effektive Softwareentwicklung und der Entwurf von Algorithmen der Schlüssel zum Erreichen einer genauen und stabilen Lenkwinkelauswertung.

Nach Experimenten und Testvalidierung haben wir die Machbarkeit und Effektivität des Lenkwinkelauswertungssystems nachgewiesen. Es überwacht und löst Lenkwinkel genau auf und überträgt die Daten rechtzeitig an VCU, um den Elektrorasentraktor präzise zu steuern.

6.2 Mögliche Verbesserungen

Trotz der guten Ergebnisse, die mit dem Lenkwinkelauswertungssystem in dieser Arbeit an einem elektrifizierten Rasentraktor erzielt wurden, gibt es noch einige Bereiche für Verbesserungen und weitere Forschung.

Verbessertes Hardware-Design: Das Hardware-Design des Lenkwinkelauswertungssystems kann weiter verbessert werden, um seine Leistung und Zuverlässigkeit zu verbessern. Zum Beispiel durch den Einsatz fortschrittlicherer Sensortechnologie oder durch Hinzufügen von Redundanz im Design, um die Störfestigkeit und Fehlertoleranz des Systems zu erhöhen.

Dadurch wird die Datenübertragungsrate verbessert. Zum Beispiel, die ursprüngliche Übertragungsrate für dieses Experiment ist auf 1 ms festgelegt, aber der lässt sich bei vielen Geräten nicht realisieren, deshalb wird es auf 10 ms geändert.

Algorithmusoptimierung: Die Algorithmen des Systems für die Lenkwinkelauswertung können verbessert werden, um die Genauigkeit und Echtzeitleistung der Datenanalyse und der Lenkwinkelberechnung zu erhöhen. Durch eingehende Forschung und Algorithmusabstimmung können die Leistung und Reaktionsfähigkeit des Systems weiter verbessert werden.

6.3 Ausblick für Lenkwinkelauswertung

Die Einführung und Anwendung des Lenkwinkelauswertungssystems verbessert die Bedienbarkeit, Sicherheit und Effizienz von Elektrorasentraktoren.

Durch die genaue Überwachung und Steuerung des Lenkwinkels verbessert das Lenkwinkelauswertungssystem die Bedienbarkeit von Elektrorasentraktoren und macht den Betrieb präziser, flexibler und effizienter.

Das Lenkwinkelauswertungssystem erhöht auch die Sicherheit. Die Integration mit anderen Sicherheitsfunktionssystemen (z. B. ABS) erhöht die Sicherheitsleistung und Fahrstabilität und verringert das Unfallrisiko.

Mit der präzisen Steuerung und den Automatisierungsfunktionen des Lenkwinkelauswertungssystems werden der Betrieb und die Arbeitseffizienz des Elektrorasentraktors verbessert, was zu einer höheren Produktivität und Effizienz führt.

Neben Elektrorasentraktoren kann das System zur Lenkwinkelauswertung auch in anderen Fahrzeugtypen oder mechanischen Geräten eingesetzt werden. Künftige Arbeiten könnten das System in der Landwirtschaft oder in der Industrie anwenden, um den Bedarf der verschiedenen Bereiche zu erfüllen²⁰.

In der Landwirtschaft beispielsweise trägt die Lenkwinkelauswertung dazu bei, die intelligente Unkrautbekämpfung zu verbessern und die intelligente Navigation, den automatischen Betrieb und die präzise Unkrautbekämpfung von elektrifizierten Rasentraktoren oder Rasentraktor-Robotern weiter zu verbessern. Mit Hilfe der informationsbasierten Betriebsweise wird der Personaleinsatz reduziert und die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion gesteigert. Durch die präzise Unkrautbekämpfung und die punktuelle Unkrautbekämpfung wird der Einsatz von Pestiziden und die Umweltbelastung verringert, um ein gutes Wachstum der Pflanzen zu garantieren.

²⁰ Qiao Q X, Yang Jing, Yuan H Y (2023). Introduction to the research status of intelligent weeder and its development trend. Agricultural Development & Equipments, 2023.

Literatur

- [1] Wie laut darf ein Rasenmäher sein? RP online, 12. Juni 2009, abgerufen am 17. August 2020.
- [2] Wang Y X, Li J Q, Wang Xian, Jin C Q, Yin Xiang (2022). Development and test of a steering angle measuring device for wheeled tractor[A]. Journal of China Agricultural University, 2022.
- [3] Zhang B J (2022). Design and implementation of intelligent lawn mower[D]. Hangzhou University of Electronic Science and Technology, 2022.
- [4] Werner Zimmermann, Ralf Schmidgall (2010). Bussysteme in der Fahrzeugtechnik – Protokolle, Standards und Softwarearchitektur. 4. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2010.
- [5] Yang Cai, Zhou Y X (2007). Research development of steering wheel angle sensor [A]. Transducer and Microsystem Technologies, 2007.
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Inkrementalgeber> 16.07.2023
- [7] Zhang Xiaojing (2021), Implementation of serial peripheral interface communication[A]. The Magazine on Equipment Machinery, 2021
- [8] https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%B2%E8%A1%8C%E5%A4%96%E8%AE%BE%E6%8E%A5%E5%8F%A3/2845092?fr=ge_ala 16.07.2023
- [9] SPI. <https://www.rahner-edu.de/grundlagen/signale-richtig-verstehen/spi-besser-verstehen-1/> 18.07.2023
- [10] Xu, S., & Li, J. (2016). Research on Design of SPI Master/Slave Bus Interface Based on FPGA. Journal of Physics: Conference Series,
- [11] Klaus Wüst (2008). Mikroprozessortechnik: Grundlagen, Architekturen und Programmierung von Mikroprozessoren, Mikrocontrollern und Signalprozessoren. Vieweg und Teubner, 2008.
- [12] <http://friedrich-folkmann.de/papdesigner/Hauptseite.html> 19.07.2023
- [13] Sensorik, Systemkommunikation und Steuerungstechnik für die Automatisierung – Schulungsunterlagen – Drehgeber, IFM Electronic GmbH, PDF.

[14] Mikrocontroller. https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini_lite.html
20.07.2023

[15] Digital. <https://github.com/hneemann/Digital> Documentation Version. 0.30.
20.07.2023

[16] Liang Y X, Yang M L, He Y Y, Ding M. The design of measurement system of rotation angle based on single chip microcomputer [J]. Journal of Shanxi University of Technology: Natural Science Edition, 2015.

[17] <https://de.wikipedia.org/wiki/Logikgatter> 22.07.2023

[18] Signalauswertung von Inhaltsverzeichnis.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Inkrementalgeber> 23.07.2023

[19] https://de.wikipedia.org/wiki/Flipflop#Taktflankengesteuertes_D-Flipflop
23.07.2023

[20] Qiao Q X, Yang Jing, Yuan H Y (2023). Introduction to the research status of intelligent weeder and its development trend. Agricultural Development & Equipments, 2023.

Anlagen

Master- und Slave-Arduino-Programme

Anlagen A

Master:

```
// Aufnahme-Lenkwinkel
//Mini-Controll ist 3.3V
//Mega ist 5V
//MicroControll ist notwendig, um Mini-Controll mit Mega zu verbinden
//SPI Pin Definitionen
const int SCKPIN = 2;
const int SOPIN = 3;
const int CSPIN = 4;

// SCK Taktwert
int sck_value = 0;
int sck_value_old = 0;

//SPI-Bits-Werte
int bit_value = 0;

//Bits-Zähler
int bit_count = 0;

int j = 0;

//Winkelzähler
long encoderCounter = 0;
double angle = 0;

void setup() {
  //Initialisierung von Schnittstelle
  Serial.begin(115200);
  //SPI-Initialisierung
  pinMode(SCKPIN, INPUT);
  pinMode(SOPIN, INPUT);
  pinMode(CSPIN, OUTPUT);
  digitalWrite(CSPIN, HIGH);
}

void loop() {
  digitalWrite(CSPIN, HIGH); //Senden CS-Signal, um den Slave(Mini-Controll) zu aktiviere
```

```
for (int i = 0; i < 12; i++) { // Zwölfmalige Schleife zum Lesen der Bits des MISO
do{
    //Ermittlung der Taktflanke
    sck_value_old = sck_value;
    delayMicroseconds(1);
    sck_value = digitalRead(SCKPIN);

}while (!(sck_value == HIGH && sck_value_old == LOW));
    //Signal mit steigender Flanke aktiv
    bit_value = digitalRead(SOPIN); //Lesen des Signals von MISO und Lesen des Bitwert von Lenkwinkel
    //Übertragung von zwölf Winkelcodierungswerten an encoderCounter
    if(bit_value == 1){
        bitSet(encoderCounter, 11-i);
    }
    //Nach Durchlaufen von zwölf Bitströmen
    if (i == 11) {
        // EncoderCounter von Links- und Rechtsdrehungen zwischen -2048 und 2048
        if (encoderCounter > 2048) {
            encoderCounter -= 4096;
        }
        //Ausgabe der aktuellen Lenkwinkelwerte durch Mega
        angle = encoderCounter * 360.0 / 2048.0;
        //Serial.println(angle);

        //Setzen Sie die Variablen zurück und warten Sie auf die nächste Winkelübertragung
        bit_count = 0;
        encoderCounter = 0;

        j++;
        if(j > 10){
            Serial.println(angle);
            j = 0;
        }
    }
}

//Ende der Lenkwinkelübertragung
digitalWrite(CSPIN, LOW);
delay(8);
}
```

Anlagen B

Slave :

```
//Definitionen der Variablen
volatile long temp, encoderCounter =0;

//Definitionen der Encoderpins
const int encoderPinA = D5;
const int encoderPinB = D6;
const int encoderPinC = D7;

//SPI Pin-Definitionen
const int SCKPIN = D1;
const int SOPIN = D2;
const int CSPIN = D0;

//Definition der CS-Variablen
int cs_value = 0;
int cs_value_old = 0;
bool bit_value = 0;

//Drehgeber-Unterbrechungsfunktion doEncoderA
ICACHE_RAM_ATTR void doEncoderA(){
    if (digitalRead(encoderPinB) == HIGH) {
        encoderCounter++;    // CW
    }
    else {
        encoderCounter--;    // CCW
    }
}

//Drehgeber-Unterbrechungsfunktion doEncoderB
ICACHE_RAM_ATTR void doEncoderB(){
    if (digitalRead(encoderPinA) == LOW) {
        encoderCounter++;    // CW
    }
    else {
        encoderCounter--;    // CCW
    }
}
```



```
//Drehgeber-Unterbrechungsfunktion doEncoderC
ICACHE_RAM_ATTR void doEncoderC(){
  encoderCounter = 0;
  temp = 0;
}
void setup() {
  //Initialisierung der Schnittstelle
  Serial.begin (115200);

  //GPIO des Encoders auf Eingangszustand initialisiert
  pinMode (encoderPinA, INPUT);
  pinMode (encoderPinB, INPUT);
  pinMode (encoderPinC, INPUT);

  //SPI-Initialisierung
  pinMode (CSPIN, INPUT);
  pinMode (SCKPIN, OUTPUT);
  pinMode (SOPIN, OUTPUT);

  //pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

  //Initialisierung der Unterbrechungsfunktion
  attachInterrupt (digitalPinToInterrupt(encoderPinA), doEncoderA, RISING);
  attachInterrupt (digitalPinToInterrupt(encoderPinB), doEncoderB, RISING);
  attachInterrupt (digitalPinToInterrupt(encoderPinC), doEncoderC, FALLING);
}

void loop() {

  cs_value = digitalRead(CSPIN); //Lesen des CS-Wert an Mini-Controll

  if((cs_value == HIGH) && (cs_value_old == LOW)){
    //Warten auf steigende Flanke der CS(aus Master-Mega)

    temp = encoderCounter;

    //Zwölf Zyklen
    for (int i = 11; i >= 0; i--){

      //Liest die Bits l der Encoderwerte von hoch nach niedrig
      bit_value = bitRead(temp, i);
      digitalWrite(SOPIN, bit_value); //Ausgangsbits
    }
  }
}
```

```
    delayMicroseconds(17);
    digitalWrite(SCKPIN, HIGH);//Erhöhen des Taktsignals
    delayMicroseconds(17);
    digitalWrite(SCKPIN, LOW);//Absenken des Taktsignals
    delayMicroseconds(17);
    Serial.println(temp);//Encoderwerte-Lenkwinkel drucken
  }
}
cs_value_old = cs_value;
//delay(1);
}
```

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, 29.07.2023

Chengyu Zhang