



PREMOSYS GmbH

Multispektrales Sensorarray zur Pflanzenerkennung *Entwicklung eines multispektralen True-Color-Sensorarrays zur Echtzeiterkennung und Differenzierung von Kultur- und Unkrautpflanzen zur gezielten Unkrautbekämpfung und Umweltschonung*

Abschlussbericht über das Forschungsprojekt, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt


Az: 33340/01-21/0

Autoren

Matthias Kuhl & Bernd Faber

Januar 2020

Version:	1.0
Datum:	22.01.2020
Ort:	Kalenborn
Status:	Endfassung
Dateiname:	20200123_Abschlussbericht_Pflanzenerkennung_V2.0.docx

06/02		Projektkennblatt			
		der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	33340/01-21/0	Referat		Fördersumme	
				397.930	
Antragstitel		Multispektrales Sensorarray zur Pflanzenerkennung – Entwicklung eines multispektralen True-Color-Sensorarrays zur Echtzeiterkennung und Differenzierung von Kultur- und Unkrautpflanzen zur gezielten Unkrautbekämpfung und Umweltschonung			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
36 Monate	01.07.2016	30.11.2019	6		
Zwischenberichte	25.05.2017 und 14.12.2017				
Bewilligungsempfänger	PREMOSYS GmbH Hillstraße 14 D-54570 Kalenborn-Scheuern			Tel	065919-8311-0
				Fax	06591-98311-10
				Projektleitung Matthias Kuhl	
	Bearbeiter Dr.-Ing. Lefèvre, Jörg				
Kooperationspartner	Universität Bonn Institut für Landtechnik Dr. Oliver Schmittmann Nußallee 5 53115 Bonn				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft und auf kommunalen Flächen wird immer kritischer beurteilt. Hierbei sind ökonomische und ökologische Aspekte von Bedeutung, wie z. B. die immer weiter sinkende gesellschaftliche Akzeptanz, hohe Verbraucherkosten sowie politische Vorgaben. Der Einsatz von Herbiziden soll reduziert werden, auch um für die chemische Industrie die kostenintensive Wirkstoffentwicklung zu minimieren. Um aber eine effiziente Bekämpfung zur ermöglichen gilt es eine pflanzenindividuelle Differenzierung bzw. Identifikation von Kultur- und Unkrautpflanzen zur realisieren. Die daraus resultierende Informationsumsetzung, in Form der Steuerung von Aktoren, ist dann nur noch die logische Konsequenz.</p> <p>In dem Projekt soll ein Sensorarray entwickelt werden, welches mit einem Multi-Spektral-Sensorelement, sowie einem Nah-Infrarot-Sensorelement ausgestattet ist – nachfolgend „System“ genannt. Die Messflächen sollen eine Größe von 1x10cm bis 1x50cm abdecken und mit einem integrierten Controller, zur unmittelbaren Ansteuerung von Aktoren, ausgerüstet sein. Zur Identifikation der Pflanzen, wird die multispektrale Farbbestimmung im CIE-Lab Farbraum und Reflexionseigenschaften ermittelt und in einer Datenbank entsprechend dokumentiert. Das System soll auf verschiedenen Anwendungen (Brachland, abgeerntete Flächen, befestigte Flächen, Bahndämme, Reihenkulturen, Mulchflächen, Bestehenden Grünflächen, Untersaat) eingesetzt werden können. Der Test des Systems soll in Labor- und Feldversuchen erfolgen, wobei ein Markierungssystem eingesetzt werden soll, um die Systemqualität hinsichtlich der Erkennung und Differenzierung der Pflanzen beurteilen zu können.</p>					
<small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de</small>					

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Ziel des Projekts ist der Aufbau eines Sensorarrays welches eine Pflanzenerkennung ermöglicht. Nachfolgend sind die einzelnen Arbeitspakete aufgeführt, wobei die Arbeitsschritte 1 und 4 hauptsächliche Arbeiten von PREMOSYS sind.

1. Sensorik
 - 1.1 Sensorentwicklung auf Basis Multispektraler Sensortechnologien
 - 1.11 Entwicklung Controller mit Bus-Interface Entwicklung Firmware für „Künstliche Intelligenz“
 - 1.12 Entwicklung PC-Tools für Parametereinstellungen und Test
 - 1.13 Entwicklung Kommunikationsprotokolle
 - 1.14 Mechanische Konstruktion
 - 1.15 Suche und Bestimmung geeigneter Lichtquellen (Energie und Wellenlänge)
 - 1.16 Berechnung und Definition/Suche geeigneter optischer Komponenten
 - 1.17 Entwicklung und Bau geeigneter Testvorrichtungen für Kalibrierung
 - 1.18 Entwicklung und Bau geeigneter Vorrichtungen zur Temperaturkompensation
- 1.2 Sensortest im Labor
2. Datenmanagement
 - 2.1 Datenbanken
 - 2.2 Entscheidungsmodellentwicklung
3. Praxiseinsatz
 - 3.1 Aufbau eines Markiersystems zur Erfolgsüberwachung
 - 3.2 Feldtest
4. Sensorarrayentwicklung und externe Busansteuerung
5. Systembewertung
6. Dissemination

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des Projekts wurde zunächst ein geeignetes Sensorelement bestimmt, was durch Recherche und Verifikation in Labortests erfolgte. Der anfänglich geplante 7-Kanal-Spektralsensor musste aufgrund der Anordnung seiner Farbfilter durch einen 3-Kanal-Mehrbereichsfarbsensor ersetzt werden. Ein System mit eigenem Mikroprozessor und dazugehörigen Komponenten wurde entwickelt. Hierbei wurde die Elektronik in 3 Platinen-Ebenen unterteilt (LED-Ebene mit den LED's und der dazugehörigen Leistungselektronik, Sensor- und Prozessor- Ebene mit den Sensoren und dem Prozessor zur Datenverarbeitung, Steckeranschluss-Ebene als externe Schnittstelle des Sensorarrays wie z.B. Ventilansteuerung). Zur direkten Kommunikation mit dem Sensorarray wurde ein PC-Tool programmiert, welches zur Datenanzeige, -speicherung und Konfiguration des Sensors genutzt werden kann. Eine Befehlsbeschreibung bzw. Programm-Bibliothek (DLL) wurde dem Projektpartner ILT zur direkten Kommunikation mit dem Sensor zur Verfügung gestellt. Zur funktionellen Kommunikation mussten vorher Kommunikationsprotokolle entwickelt und dokumentiert werden, wobei es sich beim System um eine serielle Datenübertragung handelt. Ein mechanischer Gehäuseaufbau wurde konstruiert wobei auch die optischen Öffnungen mit kratzfesten optischen Flächen ausgerüstet wurden. Das System kann mit entsprechenden Klemmenhaltern an der Feldspritze positioniert werden. Nach eingehender Recherche auf theoretischer Basis wurden Beleuchtungsversuche zur Auswahl der Farb- und Nahinfrarotlichtquelle durchgeführt. Nachdem die Lichtquellen festgelegt waren, wurden die entsprechenden Optiken zur Erzeugung eines auf den Messfleck begrenzten Lichtflecks in 50cm Abstand recherchiert, getestet und bestimmt. Analog dazu mussten auch für die Sensorik Optiken bzw. Blenden konstruiert werden, um den Messfleck auf dem Boden abzubilden. Nachdem das System zusammengebaut war, wurden Kalibriervorrichtungen zur Farbe und zur Temperaturkompensation konstruiert und entsprechende Kalibrierungen durchgeführt. Dadurch war man in der Lage den Farbwert ohne äußeren Temperatureinfluss wiederzugeben. Erste Sensortests im Labor zeigten positive Ergebnisse, dann erfolgte die Auslieferung an das ILT zur Anlage von Versuchsreihen erfolgte.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Zur weiteren Verbreitung wurde ein Logo und die Marke GG-Detector® kreiert und als Trademark geschützt. Auf der Hannover Messe 2019, wurde auf dem Gemeinschaftsstand der DBU, der GG-Detector® der Öffentlichkeit präsentiert.

Feststellungen über zukünftige für nötig erachtete ArbeitenVersuchsträger zur weiteren Testung des GG-Detectors®

Zur weiteren Testzwecken im Feld wurde ein Versuchsträger zum Anbau des Sensors an einen Kleintraktor konstruiert und gebaut. Dieser hat zwei GG-Detector® Module und einen entsprechenden Aufbau, der einer Feldspritze entspricht. Jeder Kanal des GG-Detector® hat eine eigene Düse welche durch diesen gesteuert wird. Nachfolgend ein Bild des Versuchsträgers.

Problematik Sensorabkündigung

Leider wurde im Laufe des Projekts die Information mitgeteilt, dass das eingesetzte Sensorelement von der Firma AMS abgekündigt wurde (Lieferung eingestellt) und kein adäquater Ersatz momentan auf dem Markt existiert. Zur Lösung des Problems wurde ein Projekt INFIMEDAR gestartet, welches die Entwicklung eines spektralen Farbsensors auf Basis von integrierten nano-optischen Filtern für diese Agraranwendung beinhaltet.

Kompensation der Höhenabhängigkeit

Das momentan eingesetzte Sensorarray hat noch eine Empfindlichkeit im Arbeitsstand welches dazu führt, dass sich der Intensitätswert mit abnehmender Höhe zum Messobjekt verändert. Hierfür könnte eine mechanische Lösung durch ein Gestell, welches den Abstand zum Boden konstant hält und der Sensor an der Feldspritze nur gelagert wäre, helfen. Eine Sensortechnische Lösung mittels Abstandssensoren ist ebenso möglich, aber nur unter Voraussetzung, dass die Rahmenbedingungen wie zum Beispiel Spannungsversorgung der Maschine ausreichend und keine Beeinträchtigung der Sensorsignale gegeben sind.

Berücksichtigung des Geschwindigkeitssignals und Abstand zur Aktorik (z.B. Düse)

Um eine akkurate Ausbringung auf die identifizierte zu bekämpfende Pflanze, bei verschiedenen Geschwindigkeiten, zu erhalten muss die Fahrgeschwindigkeit mitberücksichtigt werden. Dementsprechend wird eine Verzögerung nach Erkennung eingeleitet, damit die Maßnahme genau über der Pflanze erfolgt.

Fazit

Es ist ein System entwickelt und hergestellt worden welches als Basis für weitere Maßnahmen und Entwicklungen geeignet ist.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	2
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Zusammenfassung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2 Einleitung.....	7
3 Hauptteil.....	11
3.1 AP 1.1 Sensorentwicklung auf Basis Multispektraler Sensortechnologien	11
3.1.1 AP 1.11 Entwicklung Controller mit Bus-Interface Entwicklung Firmware für „Künstliche Intelligenz“	12
3.1.2 AP1.12 Entwicklung PC-Tools für Parametereinstellungen und Test	14
3.1.3 AP1.13 Entwicklung Kommunikationsprotokolle	16
3.1.4 AP1.14 Mechanische Konstruktion.....	17
3.1.5 AP 1.15 Suche und Bestimmung geeigneter Lichtquellen (Energie und Wellenlänge) ..	18
3.1.6 AP1.16 Berechnung und Definition/Suche geeigneter optischer Komponenten.....	19
3.1.7 AP1.17 Entwicklung und Bau geeigneter Testvorrichtungen für Kalibrierung.....	23
3.1.8 AP 1.18 Entwicklung und Bau geeigneter Vorrichtungen zur Temperaturkompensation	24
3.2 AP 1.2 Sensortest im Labor	25
3.3 AP 4.1 Sensorarrayentwicklung und BUS.....	26
3.4 Verbreitung und Veröffentlichung.....	27
4 Fazit.....	27
Literaturverzeichnis	29
Anhänge	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Testaufbau als "Gatter" für eine Detektionsbreite von 500mm 11

Abbildung 2: Teststand 11

Abbildung 3: Beispiele verschiedener Farbkartonkombinationen zur Messung am Teststand 11

Abbildung 4: 3-Kanal Mehrbereichsfarbsensor 12

Abbildung 5: Blockschaltbild Sensoraufbau 12

Abbildung 6: Übersicht Elektronik Platinenebenen 13

Abbildung 7: Steckeranschluss-Ebene..... 13

Abbildung 8: Anschlusskizze mehrere Module..... 13

Abbildung 9: Sensorplatine Draufsicht 14

Abbildung 10: Sensorplatine Ansicht von unten..... 14

Abbildung 11: LED-Platinen 14

Abbildung 12: Bedienoberfläche PC-Tool 15

Abbildung 13: Bedienoberfläche PR-Modus PC-Tool 15

Abbildung 14: Software-Blockdiagramm 16

Abbildung 15: Aufbau der Befehle vom Master zum Slave und vom Slave zum Master 16

Abbildung 16: Befehl an den Sensor für Messwerte zu senden 17

Abbildung 17: Antwort des Sensors auf den Befehl Messwerte zu senden..... 17

Abbildung 18: Darstellung des Sensormoduls von unten und oben 18

Abbildung 19: Sensormodul mit Halterung 18

Abbildung 20: Footprint und Bild von weißer LED OSOLON SSL80 19

Abbildung 21: Footprint und Bild von IR LED OSOLON SFH4715 19

Abbildung 22: Beleuchtungsspektrum, weiße LED und IR LED 19

Abbildung 23: erster Test zur Vermessung des Lichtfleckdurchmessers 20

Abbildung 24: Linse LEILA klar (CA11929_LR2-RS) 20

Abbildung 25: Linse LEILA diffus (CA11930_LR2-D) 20

Abbildung 26: Linse HEIDI (CA112264_HEIDI-D) 20

Abbildung 27: Linse TINA (FA11212_TINA-RS) 20

Abbildung 28: Aufbau zur genauen Vermessung des Lichtflecks 20

Abbildung 29: Beispiel Kartierung des Lichtflecks für die Linse: Tina..... 21

Abbildung 30: Optik für Sensoren und die Entwicklungsstufen zur endgültigen Blendenkonstruktion. 21

Abbildung 31: Endgültige Blendenkonstruktion für die Sensoren 22

Abbildung 32: Beispiel Messfleck IR-kanal, Test mit Blende V4..... 22

Abbildung 33: Messaufbau Sensorsignal bei abgedunkelten Sensoren 23

Abbildung 34: Beispiel Aufbau Farbkalibrierstand Sensor 23

Abbildung 35: Farbkartonagen zur Farbkalibrierung 24

Abbildung 36: Kühl-/Heiz-anlage zur Temperaturveränderung 24

Abbildung 37: Aufbauskitze Temperaturkalibrierung Sensor 25

Abbildung 38: Labortest mit Darstellung der Signaländerung "delta ab" und Infrarot..... 26

Abbildung 39: Blockschaltbild zusammenschalten mehrerer Module 26

Abbildung 40: GG-Detector® Logo und Schriftzug 27

Abbildung 41: PREMOSYS GG-Detector® auf dem Gemeinschaftsstand der DBU auf der Hannover Messe 2019 27

Abbildung 42: Versuchsträger GG-Detector® zum Anbau an einen Kleintraktor 28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : Vergleich verschiedener Farbmesssysteme 9

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
ILT	Institut für Landtechnik (Universität Bonn)
SOM	System on Module
FPGA	Field Programmable Gate Array
HMI	Human Machine Interface
DLL	Dynamic Link Library
FIFO	First In First Out

1 Einleitung

Ausgangssituation

Problemstellung – Umweltsituation – Umweltrelevanz

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft und kommunalen (Grün-) Flächen wird zukünftig immer kritischer beurteilt. Hier sind auf der einen Seite ökonomische und ökologische Aspekte von Bedeutung - so die immer weiter sinkende gesellschaftliche Akzeptanz und hohen Kosten als auch politische Vorgaben, den Einsatz von Herbiziden zu reduzieren [BmELF, 2013] und für die chemische Industrie wird es kostenintensiver neue Wirkstoffe zu entwickeln und anzubieten. Auf der anderen Seite scheitern alternative Verfahren aufgrund ihrer Defizite im Praxiseinsatz. Mechanische Verfahren ermöglichen keine ganzflächige sichere Unkrautbekämpfung in bestehenden Kulturen, thermische oder Bekämpfungsmaßnahmen mit Bioherbiziden sind ganzflächig unrentabel.

Eine Voraussetzung zur Effizienzsteigerung alternativer Maßnahmen ist die pflanzenindividuelle Differenzierung bzw. Identifikation von Kultur- und Unkrautpflanzen und die daraus resultierende Informationsumsetzung in Form der Steuerung von Aktoren.

Ein Ansatz, den Pflanzenschutzmitteleinsatz zu reduzieren, ist die dezentrale Einspeisung von Wirkstoffen direkt an der Einzeldüse [Hloben, 2007, Vondricka, 2008, Walgenbach, 2014]. Ein Einsparpotential liegt darin, dass nur bei Bedarf an der Stelle eine Behandlung durchgeführt wird, an der auch eine Unkrautpflanze steht. Diese Behandlung kann neben chemisch, mit einem entsprechenden Spezialherbizid, auch natürlich mit Bioherbiziden oder mit alternativen mechanischen oder thermischen Verfahren durchgeführt werden. Vorausgesetzt wird hier jedoch immer eine hoch aufgelöste Pflanzenerkennung. Bildgebende Verfahren sind hierzu noch nicht in der Lage, da eine Zuordnung über Pflanzenkonturen bei Überlappungen schwierig ist und die Auswerte- und Reaktionszeiten für Echtzeitverfahren zu groß sind [Kluge, 2011].

Hochgenaue Spektrometer sind sowohl für den flächigen Einsatz zu teuer und sind nicht echtzeittauglich.

Stand der Technik

Die Thematik der teilflächenspezifischen Unkrautregulierung ist nicht neu. Dem zu Folge haben sich verschiedene Forschergruppen und auch Firmen mit unterschiedlichen Prinzipien der Pflanzenerkennung befasst. Auf diversen nationalen und internationalen Fachkonferenzen wird über den Stand der Entwicklung und Probleme für den Praxiseinsatz berichtet.

Opto-Elektronische Sensoren

DetectSpray, Weed-Seeker und Green-Seeker sind Systeme, mit denen mittels Reflektionsmessung Grünpflanzen auf Schwarzbrache erkannt werden können [Knittel, 2011].

Das Erkennungsprinzip beruht darauf, dass grüne Pflanzen im Gegensatz zu Böden mit oder ohne abgestorbener Biomasse rotes Licht im Wellenlängenbereichen zwischen 630 und 660 nm absorbieren und im NIR-Bereich zwischen 750 und 1200 nm stark reflektieren. Für diese grundsätzliche Pflanzenerkennung wird das Verhältnis des R- zum IR-Kanal als Entscheidungskriterium benutzt [Biller, 1997, Gibson, 2000].

Im Gegensatz zu DetectSpray verfügen der Green- und der Weed-Seeker über eine aktive Lichtquelle [Biller, 1996].

In der Literatur wird auch von Ansätzen der Zuordnung der Quotienten zu bestimmten Pflanzengruppen berichtet [Vrindts, 1999].

Grundsätzlich werden bei allen Systemen zwei monochromatische Dioden – für den R- und den IR-Bereich eingesetzt- und bei Überschreitung eines Schwellenwertes auf die Existenz von Grünpflanzen geschlossen.

Zur Differenzierung von Pflanzen wird von Ansätzen berichtet, bei denen mit 5 für verschiedene Wellenbereiche sensitive Fotodioden und Filtern eine Art ‚Spektraler Fingerabdruck‘ erhoben wird [Biller u. Schicke, 2001].

Bei diesen Systemen wird eine 12“ (30 cm) bis 15“ Fläche abgescannt. Entwicklerangaben zur Folge, müssen bei einem Scanbereich von 50 x 50 cm mindestens 3 % bzw. 75 cm² grün sein, um erkannt zu werden. Dem entsprechen müssen entweder die Unkräuter weit entwickelt (groß) oder der Bedeckungsgrad (Unkrautpopulation) hoch sein [Alberta Farm Machinery Research Centre]. Eine Differenzierung nach Pflanzenarten ist nicht möglich. Eine Variation der Scanfläche bzw. Auflösung ist sowohl aufgrund der Geometrie und Optik, als auch der Tatsache, dass die Systeme nicht offen für den Anwender sind, nicht möglich.

Untersuchungen zur Genauigkeit dieser Sensoren, bei denen der reale mit dem gemessenen Unkrautbestand verglichen wurde, zeigten Korrelationskoeffizienten von 0,6 bis 0,9 [Wartenberg, 2005].

Weitere Probleme solcher Systeme beschreibt das Alberta Farm Machinery Research Centre: Der Abstand zwischen Sensor und Aufhängung muss exakt sein. Bei breiten Gestängen ist dieses aufgrund der Pendelbewegungen schwierig. Der Einfluss des Sonnenlichts kann die Erkennung negativ beeinflussen bzw. verhindern. Schattenbildung führt auch dazu, dass diese Sensoren nicht für den Einsatz in Reihenkulturen geeignet sind (Hanks, J. E. und Beck, J. L. 1998).

Weed-IT ist ein australisches System bei dem ein Sensor einen Streifen von 1 m abscannt. Es wird das NIR-Spektrum und eine eigene Lichtquelle verwendet. Hohe Geschwindigkeiten bis 25 km/h sind laut Hersteller auf Stoppelflächen möglich [Visser, 1996, Kempenaar, 2006].

Unter dem Namen ‚AmaSpot‘ wurde auf 2015 eine Sensor-Düseneinheit als Neuheit prämiert, das im Bereich der Sensorik auf das Weed-IT System beruht [Köller, 2015].

Crop-Cycle (Fa. Holland Scientific, USA) nimmt Reflexionen in drei Wellenlängen (670, 730 nm und NIR) auf und findet Einsatz bei der Bestimmung der Stickstoffversorgung von Pflanzenbeständen. Mit Hilfe der Berechnung verschiedener Indices kann die Grünfärbung bei vorheriger Kalibrierung gut bestimmt werden. Der Hersteller gibt die Größe des Messfeldes mit ab ca. 20 cm an [HOLLAND SCIENTIFIC, 2014].

Mit vorhandenen optoelektronischen Systemen ist es derzeit nicht möglich, Pflanzen zu unterscheiden. Sie können ausschließlich die Existenz von Pflanzen nachweisen und sind damit nur bedingt im Ackerbau einsetzbar [Kluge, 2011].

In Laborversuchen wird von positiven Resultaten bezüglich der Differenzierung von Pflanzenarten mittels Spektrometer berichtet.

So berichtet FEYAERTS, 1999, dass die Differenzierung des Reflexionsverhaltens von verschiedenen Pflanzenarten auf physikalischen Unterschieden beruht. So im roten Wellenlängenbereich durch ihren Chlorophyllgehalt, der jedoch abhängig von äußeren Faktoren (Krankheiten, Wasser- und Nährstoffversorgung) und im NIR-Bereich von der inneren Struktur der Pflanzen, wie Zellgröße und Zellwandbeschaffenheit, Wachse und Trichome.

Biomassesensoren zur Pflanzenerkennung

Die Fa. Fritzmeier bietet zwei Biomassesensoren an: Isaria und Mini-Veg. Diese Sensoren arbeiten mit Hilfe laserinduzierter Fluoreszenz. Bei diesem Prinzip werden vor allem Chloroplasten mittels Laserstrahl zur Bildung von Fluoreszenzlicht angeregt, das zur Erkennung bzw. Bestimmung von Pflanzen benutzt wird. Da Blattaufbau (Palisaden- und Schwammparenchym, Kutikula) bei Pflanzenarten variieren ist die Einstellung der notwendigen Laserenergie schwierig. Zudem ändern sich die Fluoreszenzeigenschaften durch Sonneneigenschaften (Lage der Chloroplaste) und durch die Stickstoffversorgung, die u.a. durch die Heterogenität der Böden variiert. Aus diesem Grund werden beide Sensoren zur Bestimmung der N-Düngemenge in Beständen angeboten. „MiniVeg ist ein Hightechsensor zur exakten Bestimmung von N-Gehalt, Biomasse und Bestandshöhe von Kulturpflanzen.“ Zitat aus den Produktbeschreibungen der Fa. Fritzmeier.

Der Bezug ist hier immer eine größere Fläche und nicht die Einzelpflanze. Über die Detektion von Einzelpflanzen sind keine Aussagen bekannt.

Bildgebende Verfahren

Bildgebende Verfahren basieren auf mindestens dem Kamerasystem (CCD-Kamera, bi- oder multi- oder hyperspektral) mit entsprechender Optik und einer Auswertesoftware. Diese Systeme reagieren sehr sensibel auf wechselnde äußere Rahmenbedingungen. Die erforderliche Rechenleistung zur Unkrautererkennung über Formfaktoren ist für einen praktikablen Feldeinsatz zur Spritzensteuerung nicht vorhanden [Sökefeld, 2000 u. 2007, Gerhards, 2006]. Bei Überlappungen kann keine Differenzierung stattfinden.

3D Kamerasysteme (Time-of-Flight Kameras), die aktiv eine definierte Wellenlänge aussendet und diese nach der Reflektion am Objekt auffangen, stellen einen technischen Fortschritt dar und verbessern die Qualität der Pflanzenerkennung, sind aber auch aufgrund ihrer Auflösung und des Preises für den Praxiseinsatz nicht geeignet.

Pflanzenerkennung über Pflanzenkonturen

Verschiedene Sensoren zur Pflanzenphänotypisierung sind bekannt. Dies sind Lichtgitter-Sensoren, bestehend aus vertikal kaskadierten Lichtschranken, und sind erfolgreich getestet worden [Fender et al., 2005]. Der Sensor wurde hier an einem Trägerfahrzeug installiert und ist in ca. 20 cm hohem Mais eingesetzt worden. Eine Pflanzenerkennung in der Reihe ist so jedoch nur bei großen, nicht krautigen Unkräutern unter störungsfreien Bedingungen möglich, für eine flächige online Pflanzenerkennung unter Praxisbedingungen sind diese Sensoren nicht geeignet.

Im Draufsichtverfahren sind Ansätze mit Abstandssensoren (Laser und Ultraschall) untersucht worden,

mit denen die Kontur des Aufwuchses bestimmt werden soll. Aufgrund der Messgeschwindigkeit, dynamischen Schwingungen des Trägerfahrzeugs und der Empfindlichkeit gegenüber geringen Abstandsveränderungen ist dieses auch aus eigenen Erfahrungen nicht zielführend [Schmittmann, 2002].

Biomassesensoren

Biomassesensoren basieren unter anderem auf der Reflektion des Chlorophylls (Crop-Sensor von Claas Agrosystems, YARA-N-Sensor, Crop.spec von Topcon). Der Scanbereich bei diesen Sensoren bezieht sich auch mehrere m². Eine Eignung zur Pflanzenerkennung besteht daher nicht.

Zur Echtzeiterkennung und Generierung von Steuersignalen kommen derzeit nur opto-elektronische Sensoren in Frage.

JENSEN und NIMZ haben die verschiedenen Prinzipien in folgender Tabelle bezüglich ihrer charakteristischen Eigenschaften systematisiert: True-Color Sensoren stellen einen Kompromiss aus Spektrometern mit sehr hoher Farbgenauigkeit und kostengünstigen RGB-Sensoren dar.

Tabelle 1 : Vergleich verschiedener Farbmesssysteme

	RGB-Sensoren	True-Color-Sensoren	Mehrbereichsensoren	Mini-Spektrometer	Spektrometer
Spektrale Information	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden	Mittel	Mittel	Sehr hoch
Kosten	Gering	Gering	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Geschwindigkeit	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch	Mittel	gering
Farbgenauigkeit	Mittel	Sehr hoch	Sehr hoch	Hoch	Sehr hoch

[JENSEN, NIMZ, 2015]

True-Color-Sensoren enthalten zur absoluten Messung Interferenzfilter zur technischen Umsetzung von Farbstandards. Per Definition sind sie durch deren Filtercharakteristik in der Lage, Farben treffsicherer als das menschliche Auge zu messen (standardisiert nach DIN5033). Diese Filter besitzen eine exakte Zuordnung des Empfindlichkeitswertes eines Farbkanals zur spektralen Wellenlänge. Durch eine Normierung werden die Farbwerte den XYZ-Koordinaten zugeordnet, die die Basis für die Umrechnung in weitere Farbräume darstellen. Mittels Normspektralwertfunktionen erreichen die True-Color-Sensoren eine mit dem menschlichen Auge vergleichbare absolute Genauigkeit.

Zielsetzung

Der neue Sensor setzt sich in der Anwendung als Detektionssensor von den vorhandenen Systemen in verschiedenen, wesentlichen Punkten ab:

- Der Sensor misst ‚echte‘ Farben und ermöglicht so auch eine Differenzierung von Farbnuancen.
- Ein wesentlicher wissenschaftlicher Nutzen des Sensors ist, dass das System ‚offen‘ ist, das heißt im Vergleich zu anderen Systemen weiterentwickelt und bewertet werden kann.
- Jeder Sensor besitzt eine eigene individuelle programmierbare Auswertung und ist im Gegensatz zu bildanalytischen Verfahren echtzeitfähig.
- Während bei bekannten Systemen der Messbereich vorgegeben ist, wird der Scanbereich des neuen Systems durch die auswählbare Optik und die erfassende Elektronik bestimmt. Es wird mit dem neuen Sensor möglich sein, kleine Flächen von unter 1 x 10 cm aber auch bei Bedarf größere zu erfassen. Es ist somit zu erwarten, dass Grünpflanzen von unter 0,3 cm² Fläche erkannt werden. Der praktische Nutzen ist hierdurch wesentlich verbessert. Unkräuter können schon in frühen Stadien mit geringen Aufwandsmengen und geringen Konzentrationen bekämpft werden. In Reihenkulturen bedeutet dies, dass die Unkräuter noch keine Konkurrenzkraft besitzen und aufgrund der variablen Scanbreite auch kulturpflanzennah bekämpft werden können.
- Durch die Konfigurierbarkeit des Scanbereichs ist der Sensor ohne Differenzierung der Pflanzenart nicht nur auf vegetationsfreien Flächen, sondern auch im Reihbereich von Kulturpflanzen einsetzbar.
- Der neue Sensor ist durch die schon vorhandenen Erfahrungen und Technologie der Fa. Premosys unempfindlich gegen wechselnde äußere Einflüsse, wie Witterungsbedingungen

- und Sonneneinstrahlung. Auch Schattenwurf verursacht keine Probleme.
- Die bauliche Verbindung von Sensor, Ventil und Düse als Einheit hat den Vorteil, dass sowohl eine optimale Position und kinematische Aufhängung auf den Sensor abgestimmt werden kann, als auch auf Seiten der Applikationstechnik keine Einschränkungen gemacht werden müssen. So ist ein Einsatz mit konventioneller Technik, aber auch von Spezialgeräten möglich.
 - Das Sensorsystem ist **kaskadierbar**, so dass Bereiche entsprechend der vorhandenen Spritzgestängebreiten erfasst werden können. Durch die Parallelschaltung verschiedener Sensoren ist es möglich, in einem Arbeitsgang Unkräuter durch Grünerkennung zwischen den Reihen und gleichzeitig durch **Positiverkennung** in der Reihe zu bekämpfen. Auch ein differenzierter Einsatz der Wirkstoffe ist denkbar (Totalherbizid zwischen den Reihen und Spezialherbizid in der Reihe).
 - Aufgrund der Tatsache, dass die Sensoren von Premosys kontinuierlich den aktuellen Lichteinfluss bestimmen, können auch **Grünwerte exakt berechnet und zugeordnet** werden. Daraus ergibt sich generell eine sicherere Erkennung der Pflanzen, eine bessere Erkennung von Pflanzen auf (abgestorbener) organischer Substanz (Mulch). Auch eine Differenzierung von Pflanzen anhand ihrer Grünfärbung ist möglich.
 - Bei Positiverkennung besteht die Möglichkeit, die Kulturpflanzen gezielt zu erkennen und bspw. mit Fungiziden zu behandeln.
 - Das programmierbare Sensorsystem wird ‚**intelligent**‘ ausgestattet. Neben **Lab-Farbwerten** werden auch Abstände (Sensor-Boden) und durch die Blattstellung der Messobjekte hervorgerufenen Messfehler durch ihre **Reflexionseigenschaften** bei der Zuordnung mit hinzugezogen.

Aufgabenstellung

Arbeitsplan

Das Vorhaben knüpft an die Methodik des Vorversuchs an und kann in folgende Arbeitspakete zusammengefasst werden:

1. Sensorik
 - 1.1 Sensorentwicklung auf Basis Multispektraler Sensortechnologien
 - 1.11 Entwicklung Controller mit Bus-Interface Entwicklung Firmware für „Künstliche Intelligenz“
 - 1.12 Entwicklung PC-Tools für Parametereinstellungen und Test
 - 1.13 Entwicklung Kommunikationsprotokolle
 - 1.14 Mechanische Konstruktion
 - 1.15 Suche und Bestimmung geeigneter Lichtquellen (Energie und Wellenlänge)
 - 1.16 Berechnung und Definition/Suche geeigneter optischer Komponenten
 - 1.17 Entwicklung und Bau geeigneter Testvorrichtungen für Kalibrierung
 - 1.18 Entwicklung und Bau geeigneter Vorrichtungen zur Temperaturkompensation
2. Sensortest im Labor
2. Datenmanagement
 - 2.1 Datenbanken
 - 2.2 Entscheidungsmodellentwicklung
3. Praxiseinsatz
 - 3.1 Aufbau eines Markiersystems zur Erfolgsüberwachung
 - 3.2 Feldtest
4. Sensorarrayentwicklung und externe Busansteuerung
5. Systembewertung
6. Dissemination

Von den vorher aufgeführten Arbeitspaketen sind in den AP1.x und AP4.x die hauptsächlichen Arbeiten von PREMOSYS enthalten und werden im Hauptteil betrachtet.

2 Hauptteil

2.1 AP 1.1 Sensorentwicklung auf Basis Multispektraler Sensortechnologien

Die Basis für eine Sensoreinheit zur Erkennung bildet ein Multi-Spektral-Sensorelement (Bereich von 400nm bis 700nm), sowie ein Nah-Infrarot Sensorelement. Eine Sensoreinheit bzw. ein Sensorkanal soll eine Messfläche von 10x10cm abdecken. Durch Aufbau von 5 Sensoreinheiten nebeneinander, soll ein Sensorarray entstehen, welches eine Breite von 50cm abdeckt.

Als erstes Testsystem wurde ein Multi-Spektralsensor mit 7 Spektralkanälen als Sensorbasis aufgebaut und ein Prototyp (siehe nachfolgendes Bild) zu Testzwecken dem Institut für Landtechnik (kurz: ILT) zur Verfügung gestellt.

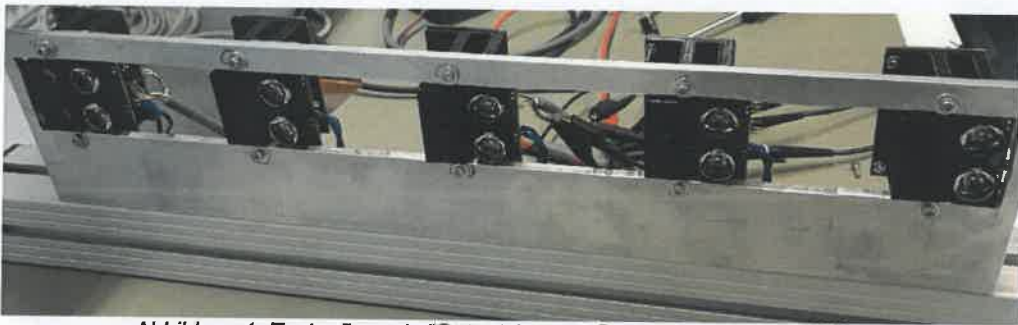


Abbildung 1: Testaufbau als "Gatter" für eine Detektionsbreite von 500mm

Gleichzeitig wurden weitergehende Versuche mit Optiken für die Beleuchtung und Blenden für den Sensor durchgeführt. Die Messung mit Farbkartons verschiedener Farbe, zur Bestimmung des Messflecks und der Erkennungsgröße von Objekten wurde getestet um die spätere Anwendung zu simulieren.

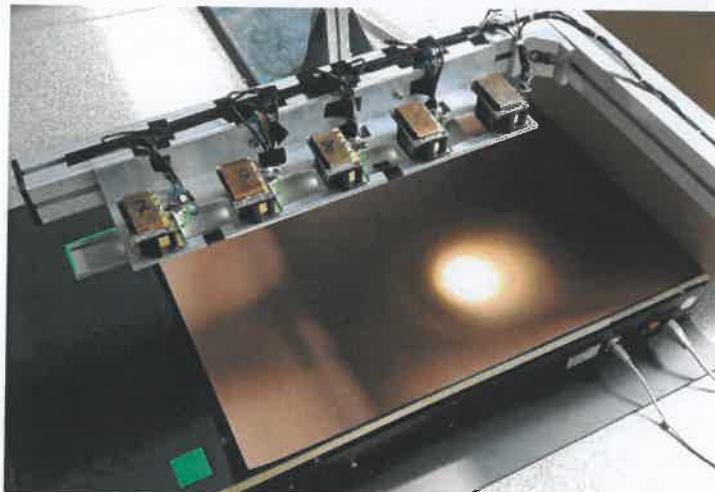


Abbildung 2: Teststand



Abbildung 3: Beispiele verschiedener Farbkartonkombinationen zur Messung am Teststand

Hierbei stellte sich heraus, dass der 7-Kanal-Spektalsensor durch seine Anordnung der Farbfilter und dazugehöriger Sensorik nicht für die Anwendung geeignet ist. Daher wurde dieser durch einen neuen

Sensor mit 3-Farbfiler-Kanälen, welche mehrfach auf dem Sensor verteilt sind, ersetzt (Siehe nachfolgendes Bild).

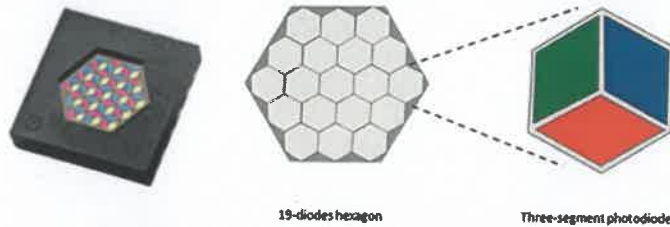


Abbildung 4: 3-Kanal Mehrbereichsfarbsensor

2.1.1 AP 1.11 Entwicklung Controller mit Bus-Interface Entwicklung Firmware für „Künstliche Intelligenz“

Die Sensorarchitektur wurde optimiert auf die Anwendung entwickelt. Nachfolgend ist im Blockdiagramm der Aufbau des Systems dargestellt.

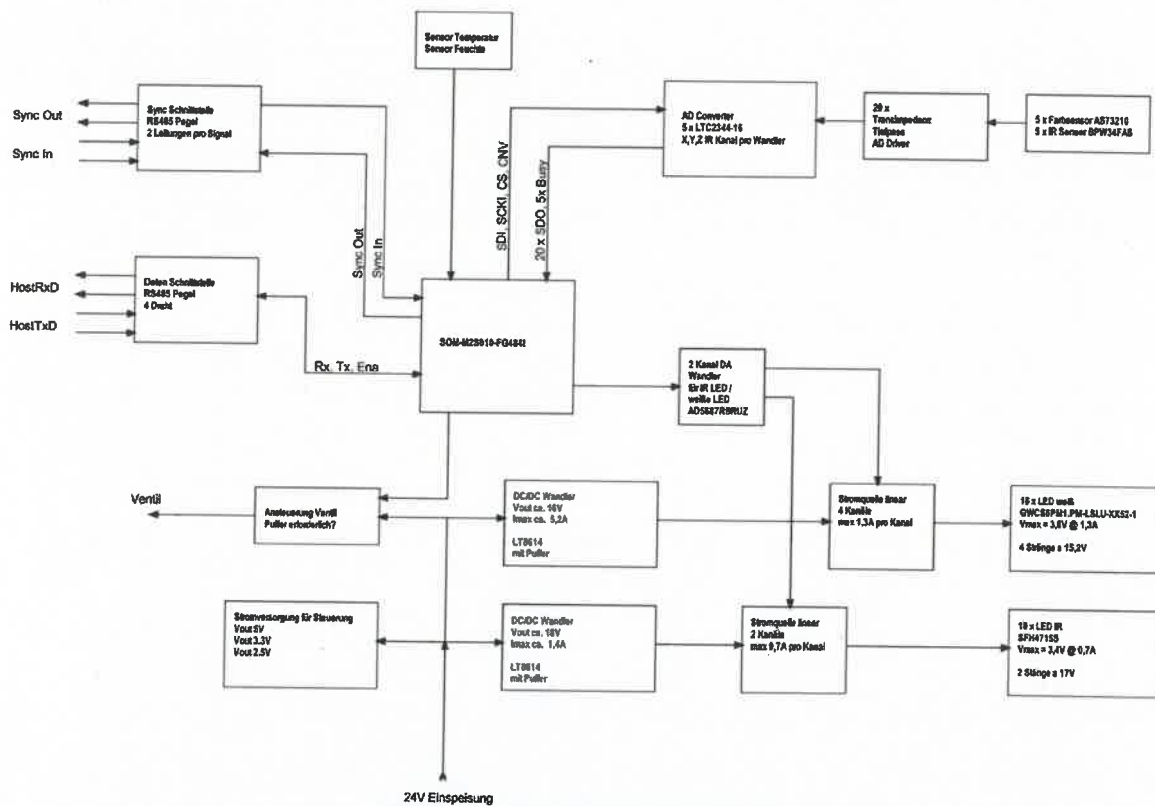


Abbildung 5: Blockschaltbild Sensoraufbau

Zentrale Recheneinheit ist ein SOM (System on Module) welches den Mikroprozessor und FPGA (Field Programmable Gate Array) beinhaltet. Hier werden die Sensorsignale des Farb- und Infrarotsensors verarbeitet und auch die Berechnungen zur Generierung des Signals, welches zur Ansteuerung der LED's genutzt wird, vorgenommen. Zudem wird die Kommunikation (via RS485-Bussystem) mit den anderen Systemen und die Ansteuerung der Ventile durchgeführt. Auf gleicher Systembasis ist eine Datenschnittstelle eingerichtet, die zur externen Kommunikation mit einem Windows basierten PC-Tool genutzt wird.

Die Elektronik des Sensormoduls besteht aus 3 Platinen-Ebenen:

- LED -Ebene
- Sensor- und Prozessor- Ebene
- Steckeranschluss- Ebene

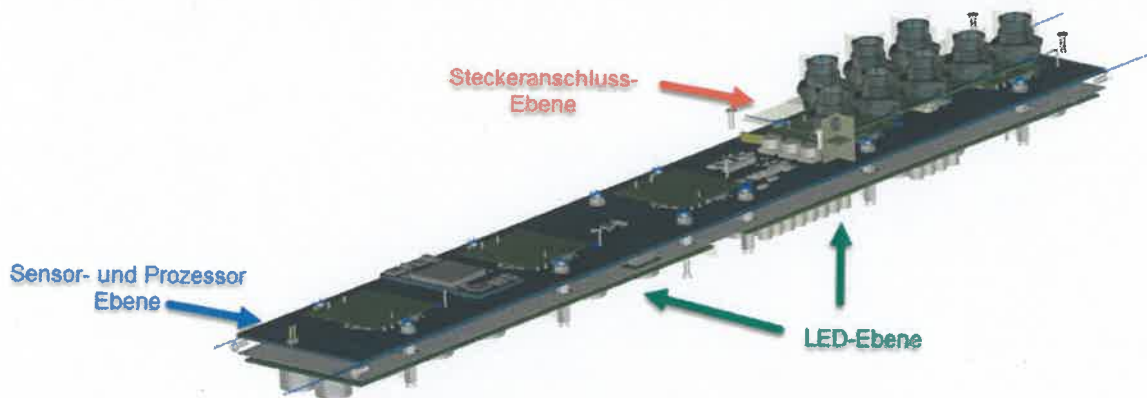


Abbildung 6: Übersicht Elektronik Platinenebenen

Die Steckeranschluss-Ebene besteht aus zwei Kommunikationssteckern (COM-IN, COM-OUT), dem Spannungsversorgungsstecker (Power) und 5 Ventilansteuerungssteckern (V1,V2,V3,V4,V5).

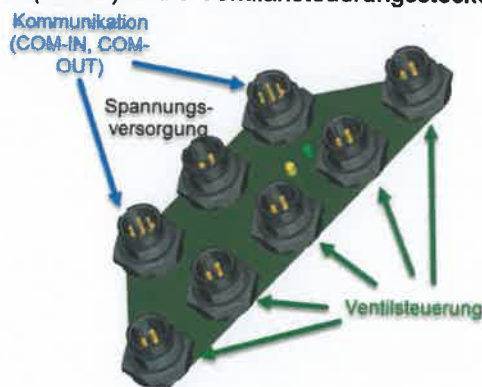


Abbildung 7: Steckeranschluss-Ebene

Die Kommunikationsstecker dienen zur Koppelung der Module untereinander und Kommunikation des Master-Moduls mit einem Windows basierten PC-Tool. Um die Module in Reihe schalten zu können, ist es wichtig, dass der COM-OUT Anschluss vom ausgehenden Modul mit dem COM-IN Anschluss des eingehenden Moduls verbunden wird (siehe nachfolgende Skizze).

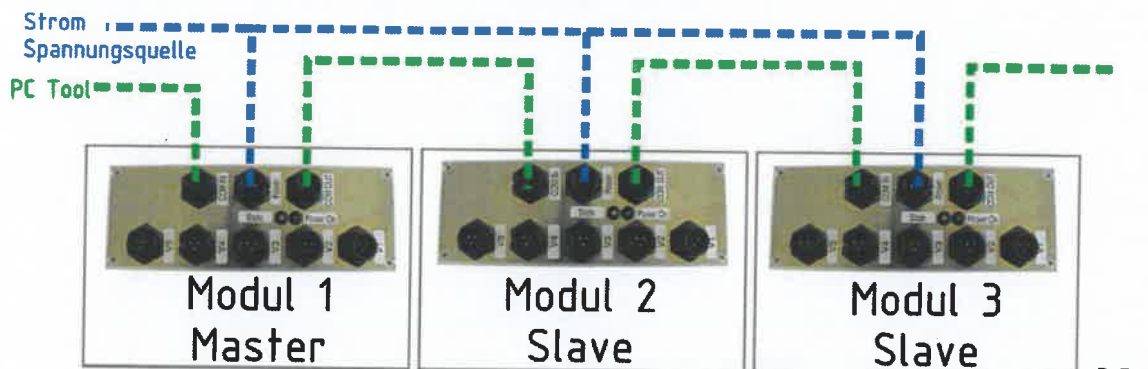


Abbildung 8: Anschlusskizze mehrere Module

Die Sensor-/Prozessorplatine beinhaltet die Farb- und Infrarot- Sensoren die mit entsprechenden Schutzschirmplatinen (einzeln über den Sensoren und ein kompletter Schirm zwischen LED-Platinen-Ebene und Sensor-/Prozessor-platine) gegen externe Störsignale ausgestattet sind.

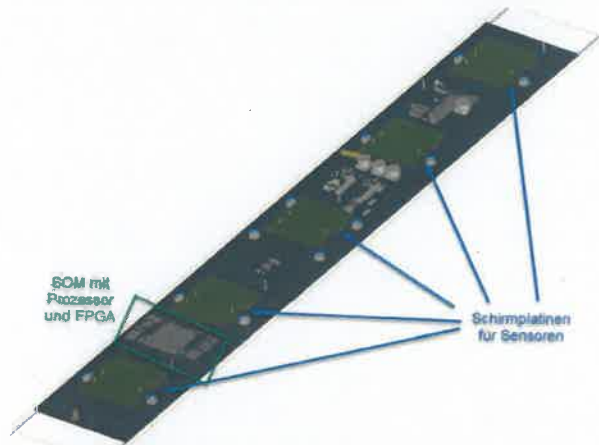


Abbildung 9: Sensorplatine Draufsicht

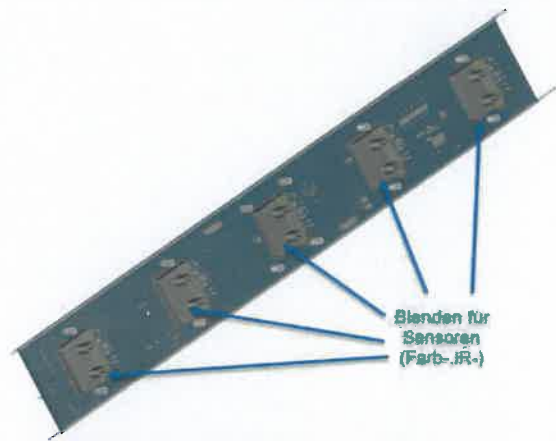


Abbildung 10: Sensorplatine Ansicht von unten

Die LED-Ebene besteht aus zwei separaten Platinen. Die LED's sind mit entsprechenden Optiken zur Kollimation des LED-Lichts auf den Messbereich am Boden ausgestattet. Auf der Leiterplatte sind zwischen den LED's Löcher angeordnet, um die Blenden der Sensoren durchführen zu können.

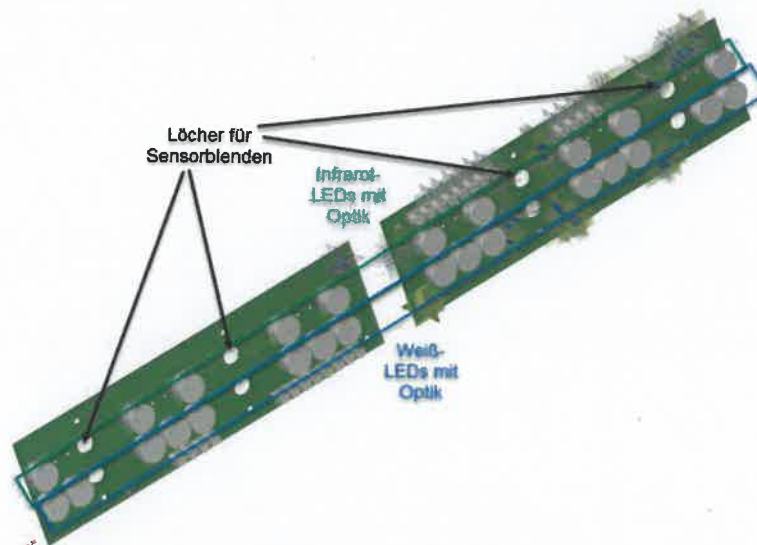


Abbildung 11: LED-Platinen

2.1.2 AP1.12 Entwicklung PC-Tools für Parametereinstellungen und Test

Für die Anzeige und Parametereinstellung des Sensorarrays wurde ein PC-Tool als HMI (Human Machine Interface) auf Basis eines Windows-Programms entworfen. Das Sensorarray wird über eine RS485-Schnittstelle mit dem PC verbunden und die Werte, nach Kommunikationsverbindung, in dem Bildschirmfenster angezeigt.

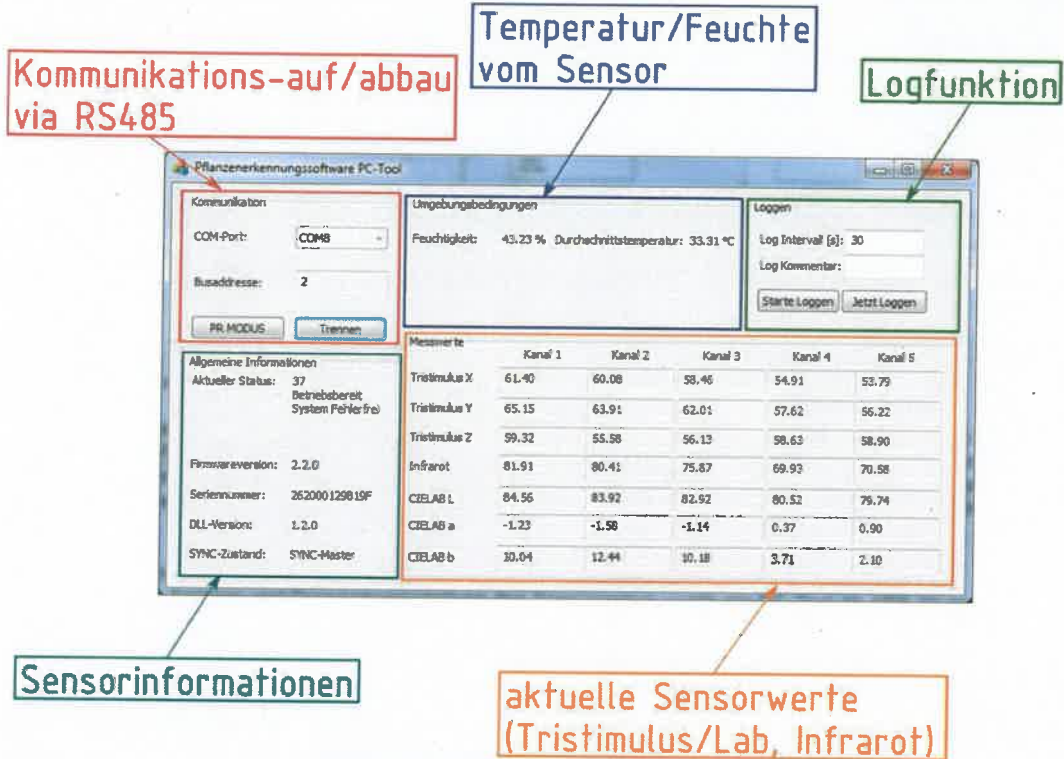


Abbildung 12: Bedienoberfläche PC-Tool

Für das ILT wurde eine Befehlsbeschreibung bzw. Bibliothek (DLL - Dynamic Link Library) zur direkten Programmierung des Sensorarrays zur Verfügung gestellt. Dadurch konnte ILT eine direkte Auswertung nach eigenen Erfordernissen zum Test der Systeme erstellen. Zur Inbetriebnahme, Programmierung und Kalibrierung des Sensorarrays wurde ein Expertenmodus (PR MODUS) im Programm hinterlegt.

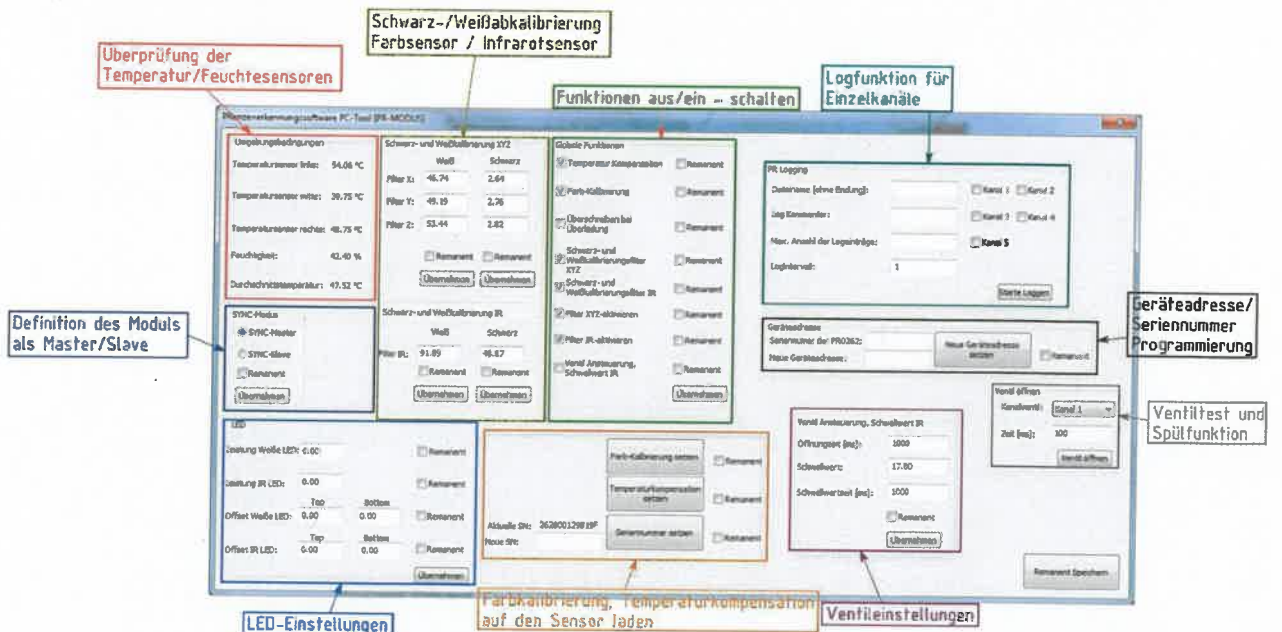


Abbildung 13: Bedienoberfläche PR-Modus PC-Tool

2.1.3 AP1.13 Entwicklung Kommunikationsprotokolle

In der nachfolgenden Abbildung sind die einzelnen Softwarepakete zur Signalerzeugung (LED-Ansteuerung) und Signalaufnahme (Sensoren) dargestellt. Hierbei wird zwischen Aufgaben des Prozessors und des FPGAs unterschieden.

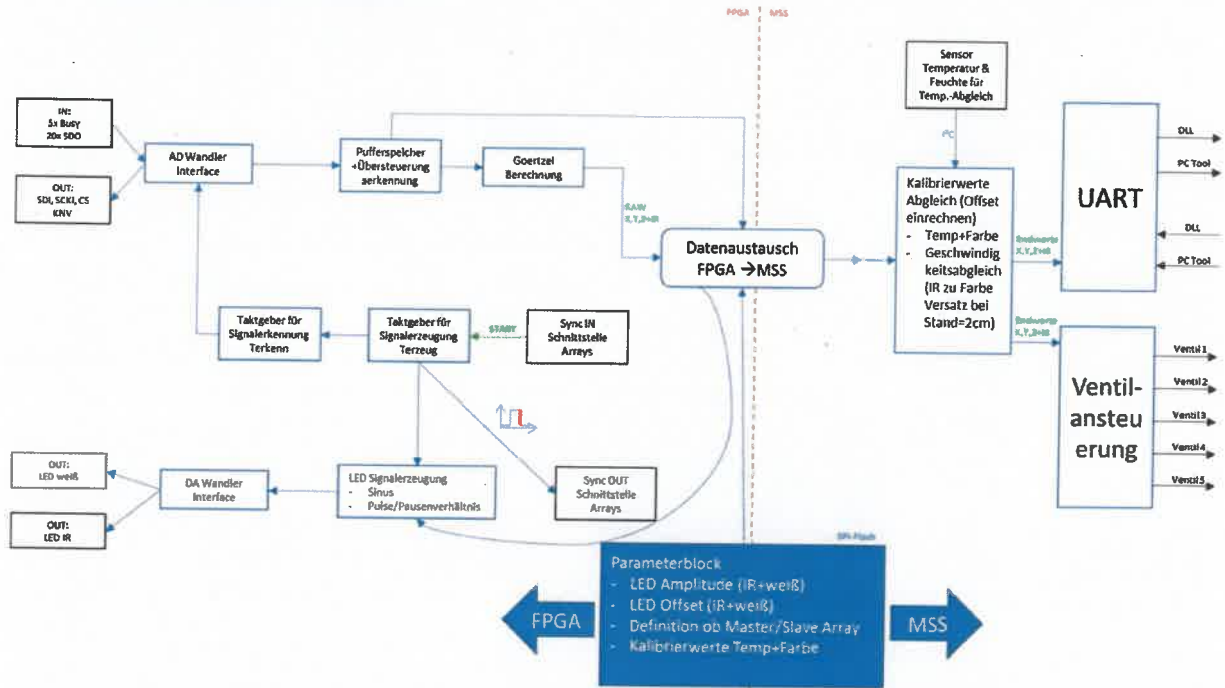


Abbildung 14: Software-Blockdiagramm

Die externe Kommunikation (außerhalb des Sensors) wird mittels einer seriellen Schnittstelle vorgenommen. Die serielle Datenübertragung erfolgt mit 115.200 Baud. Es wird ein Startbit, 8 Datenbits und ein Stopbit übertragen. Es existieren keine Hardware-Handshakesignale (RTS/CTS). Die Hardware des Host (z.B. PC) muss schnell genug und mit ausreichend großen FIFO Speichern (First In-First Out) bestückt sein. Dabei ist es hilfreich, die FIFO Größe des Empfangspuffers nicht auf das Maximum einzustellen.

Übertragungsprotokoll

Es handelt sich um ein reines Master/Slave Protokoll, wobei das System als Slave agiert. Es werden Befehle mit variabler Länge übertragen. Auf jeden Befehl erhält der Master eine Antwort, womit eine Kommunikationssequenz abgeschlossen ist.

Aufbau der Befehle

Alle Befehle werden mit dem in Abbildung 15 gezeigten Aufbau an die verschiedenen Busteilnehmer versendet. Dabei verwenden sowohl die Slaves im Bus, als auch der Master den gleichen Aufbau.

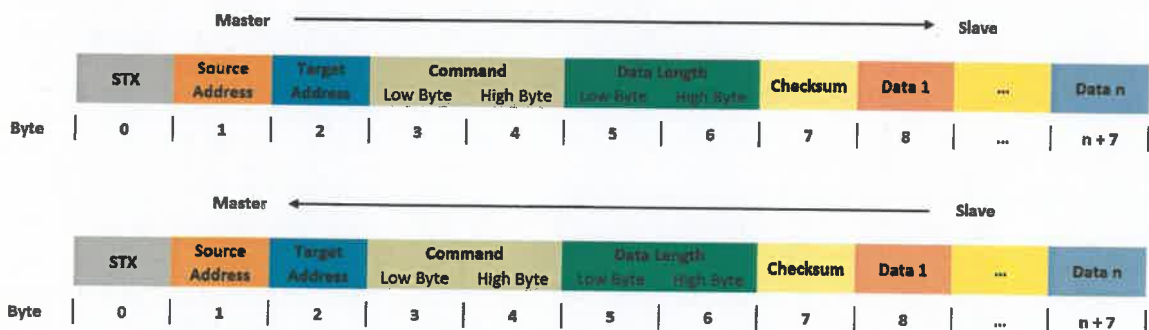


Abbildung 15: Aufbau der Befehle vom Master zum Slave und vom Slave zum Master

In der Befehlsbeschreibung wird detaillierter auf den Aufbau eingegangen. Nachfolgend ein Beispiel für den Aufbau des Befehls mit dem die Messwerte aus dem System eingelesen werden. Zuerst wird ein Kommando an das System gesendet:

Command:	1A00h
Data Length:	0 Byte
Data 1...	keine Daten

Abbildung 16: Befehl an den Sensor für Messwerte zu senden

Die entsprechende Antwort aus dem Sensor ist wie folgt aufgebaut:

Command:	1A00h
Data Length:	98 Byte
Data 1...4	TimeStamp: Zeitstempel für Messwerte.
Data 5...8	Spare: Reserviert.
Data 9...10	StateChannel1: Bitcodierter Status der Messung von Kanal 1 der PR0262.
Data 11...14	MeasureValueChannel1FilterX: Messwert des Filters X von Kanal 1 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).
Data 15...18	MeasureValueChannel1FilterY: Messwert des Filters Y von Kanal 1 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).
Data 19...22	MeasureValueChannel1FilterZ: Messwert des Filters Z von Kanal 1 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).
Data 23...26	MeasureValueChannel1FilterR: Messwert des Filters IR von Kanal 1 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).
Data 27...28	StateChannel2: Bitcodierter Status der Messung von Kanal 2 der PR0262.
Data 29...32	MeasureValueChannel2FilterX: Messwert des Filters X von Kanal 2 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).
Data 33...36	MeasureValueChannel2FilterY: Messwert des Filters Y von Kanal 2 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).
Data 37...40	MeasureValueChannel2FilterZ: Messwert des Filters Z von Kanal 2 der PR0262 (IEEE754-32-Bit Float).

Abbildung 17: Antwort des Sensors auf den Befehl Messwerte zu senden

Die Antwort wird nach entsprechendem Muster der Werte weitergeführt bis der 5. Kanal mit Data 95...98 (Infrarot-Werte des Kanals) abschließt. Die Werte der einzelnen Kanäle können auch als CIELab-Werte abgefragt werden. Dies erfolgt mit dem Kommando 1A01h, wobei die CIELAB-Daten aller Kanäle dann der Reihe nach dem gleichen vorher gezeigten Prinzip von Data 99 bis 158 zurückgegeben werden.

2.1.4 AP1.14 Mechanische Konstruktion

Das Gehäuse des Systems basiert auf einem Stranggussprofil, welches mit entsprechenden Zeichnungen der Applikation angepasst wurde. Um in einer rauen Einsatzumgebung zu bestehen sind die optischen Öffnungen für die LED's- und Sensor-Optiken mit extra formkonstruiertem Kunststoff verschlossen, welche die Eigenschaft haben besonders robust und kratzfest zu sein. Alle Öffnungen und Schrauben sind explizit abgedichtet, sodass das Modul gegen Wassereintritt geschützt ist.

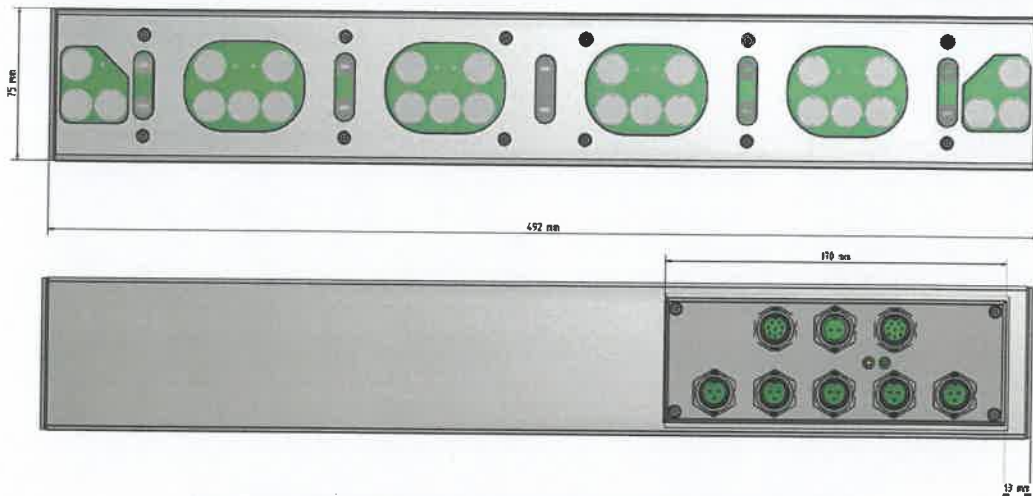


Abbildung 18: Darstellung des Sensormoduls von unten und oben

Die Stecker vom Hersteller Amphenol sind robust und Wasser- und Staubgeschützt (IP67). Das Gehäuse kann mittels Klemmenhaltern zur späteren Positionierung an der Feldspritze montiert werden.

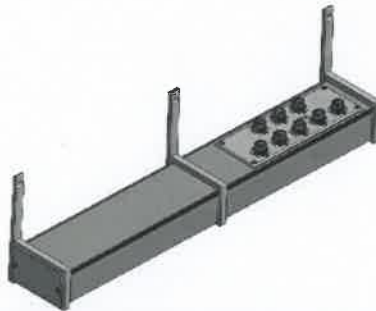


Abbildung 19: Sensormodul mit Halterung

2.1.5 AP 1.15 Suche und Bestimmung geeigneter Lichtquellen (Energie und Wellenlänge)

Zunächst wurde eine Recherche auf theoretischer Basis (Datenblätter) zur Bestimmung von in Frage kommenden LED's und optischen Komponenten durchgeführt. Die selektierten Favoriten wurden beschafft und mittels Versuchen miteinander verglichen. Zusammen mit den optischen Komponenten wurden Tests durchgeführt um die geeignetste Kombination zu bestimmen (weitere Informationen in Kapitel 2.1.6).

Als Lichtquelle für den sichtbaren Bereich wurde von OSRAM die Led OSOLON SSL80 ausgewählt. Dies ist eine weißfarbige LED welche mit dem Farbortgruppe von 5700K recht nahe am Weißpunkt ($x=0,33; y=0,33$) positioniert ist.¹ Für die Infrarotlichtquelle ist die OSOLON SFH4715S im Einsatz. Beide Lichtquellen sind von der Bauart fast identisch und besitzen das gleiche Footprint zum Auflöten auf Platinen.

¹ Weitere Informationen können dem Datenblatt der OSOLON SSL80 entnommen werden

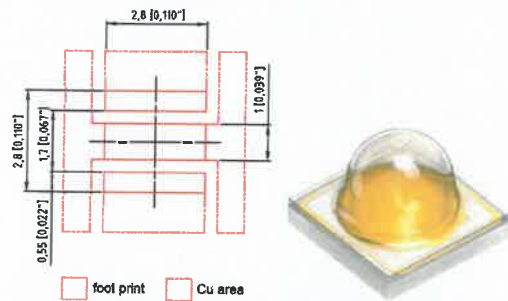


Abbildung 20: Footprint und Bild von weißer LED OSLON SSL80

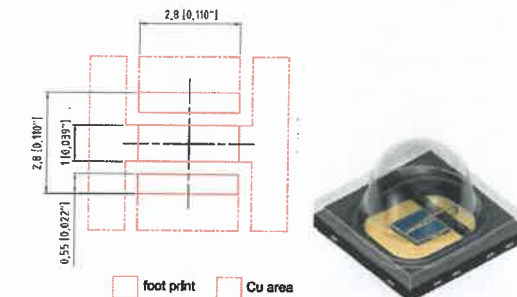


Abbildung 21: Footprint und Bild von IR LED OSLON SFH4715

Die Abstrahlwinkel weisen einen geringen Unterschied (SSL80= 40°; SFH4715S=45°) auf, was es ermöglichte die gleichen Optiken zur Beeinflussung der Abstrahlcharakteristik zu nutzen. Dies wiederum sorgt für eine homogene Beleuchtung des Messflecks im Visuellen (VIS) und Nahinfrarot (NIR) Bereich.

Die Wellenlängen der beiden eingesetzten LED's sind in der nachfolgenden Abbildung 22 dargestellt.

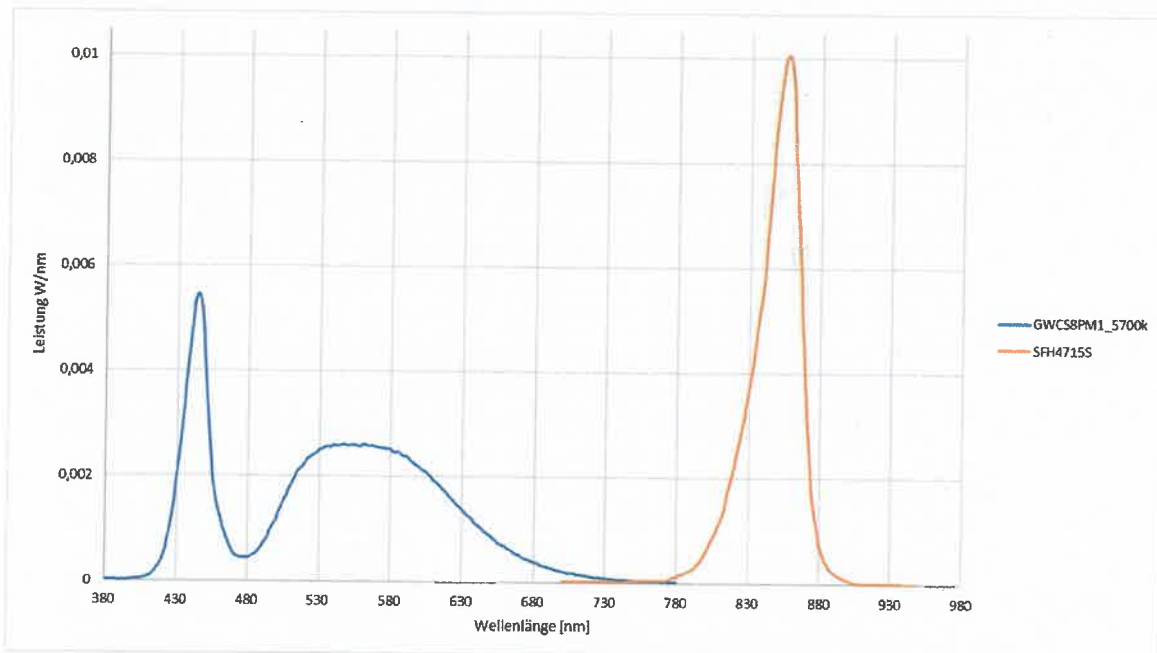


Abbildung 22: Beleuchtungsspektrum, weiße LED und IR LED

2.1.6 AP1.16 Berechnung und Definition/Suche geeigneter optischer Komponenten

Optik LED

Zur Bestimmung der geeigneten optischen Komponenten wurden verschiedene optische Linsen beschafft, die in Kombination mit den LED's zur Bestimmung des Lichtflecks in 50cm (Arbeitsabstand Systems zum Boden) getestet wurden. Nachfolgend eine Aufnahme zum ersten Test der Vermessung des Lichtfleckdurchmessers und Bilder der gemessenen LED Optiken.



Abbildung 23: erster Test zur Vermessung des Lichtfleckdurchmessers



Zur genaueren Bestimmung des Lichtflecks wurden anschließend die verschiedenen Linsen mit nachfolgendem Aufbau vermessen.

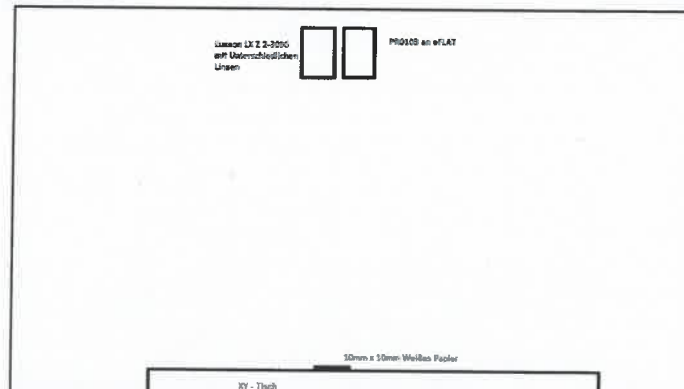


Abbildung 28: Aufbau zur genauen Vermessung des Lichtflecks

Auf einem in zwei Achsen verfahrbaren Tisch wurde ein 10x20mm hell reflektierendes Papier auf dem schwarzen sehr schwach reflektierenden Untergrund positioniert. Mittels einer Optik (PR103) und einem Lichtsensor wurde nach Positionierung des Tisches die Reflektion gemessen. Damit entstand eine Kartierung des Lichtflecks (siehe nachfolgendes Beispiel).

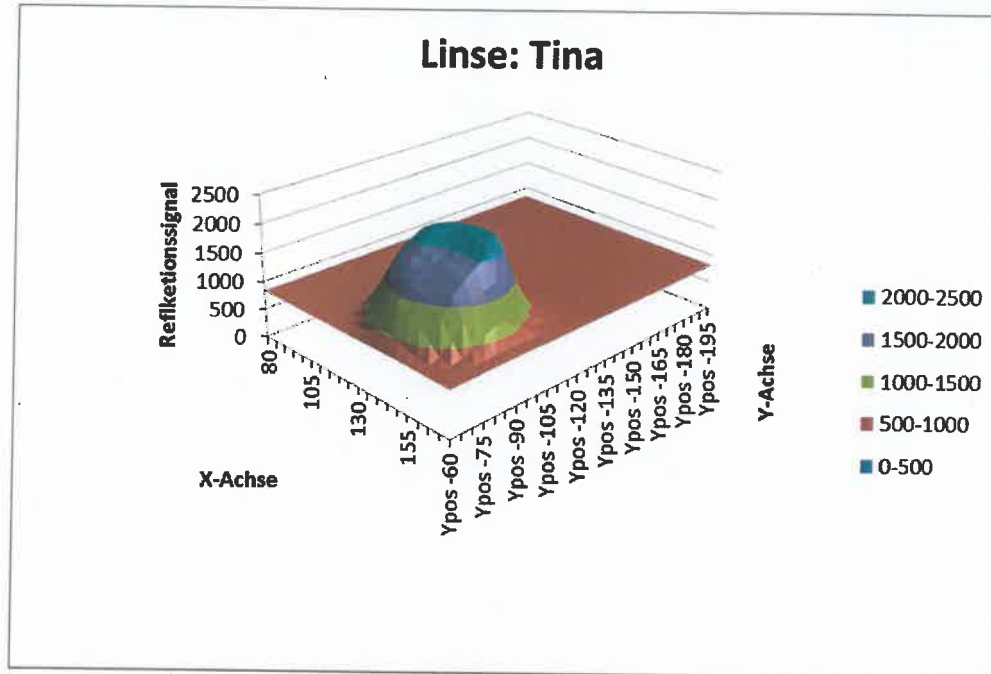


Abbildung 29: Beispiel Kartierung des Lichtflecks für die Linse: Tina

Der Versuch ergab, dass die Linse TINA vom Hersteller LEDIL am besten geeignet war, da die Fläche die diese Linse beleuchtet den gewünschten Lichtfleck erzeugt und die Linse die höchste Helligkeit im Vergleich zu anderen Testlinsen erzeugte.

Tests mit Optiken bzw. Tests von Blenden für Sensoren

Für die Sensoren wurde eine Optik für den jeweiligen Sensor (VIS+IR) eingesetzt. Da aber das Ergebnis nicht zufriedenstellend war, wurde auf eine Entwicklung einer Blende gewechselt. Im nachfolgenden Bild sind die Optik und die 3 Entwicklungsstufen, die zur endgültigen Blendenkonstruktion (siehe Abbildung 31) führten, abgebildet.

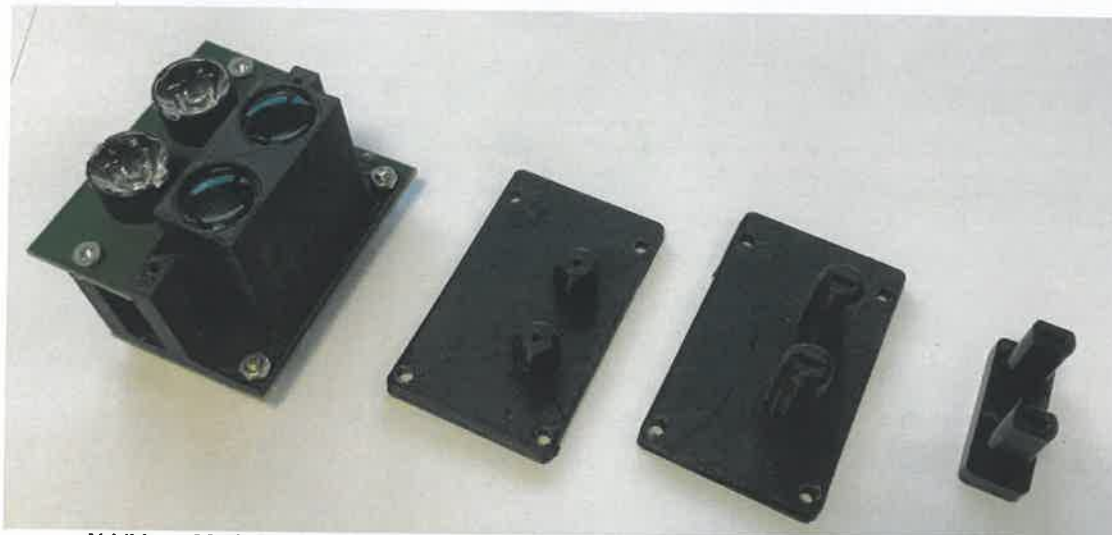


Abbildung 30: Optik für Sensoren und die Entwicklungsstufen zur endgültigen Blendenkonstruktion

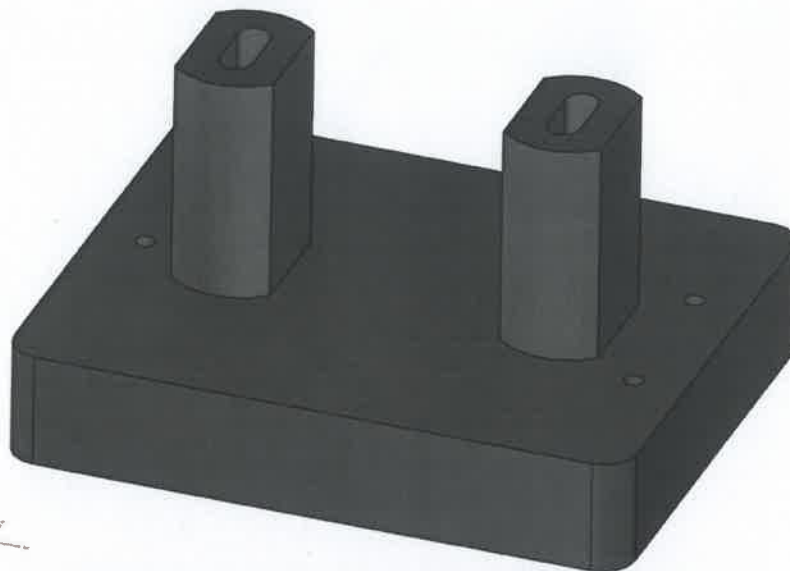


Abbildung 31: Endgültige Blendenkonstruktion für die Sensoren

Um von den Entwicklungsstufen zur endgültigen Blendenkonstruktion zu gelangen, wurden Tests ähnlich wie bei der LED Optik durchgeführt, um den Messfleck zu bestimmen. Ein kleines Papier wurde auf einem in zwei Achsen verfahrbaren Tisch in kleinen Schritten unter dem Sensor verfahren. Die daraus resultierenden Werte ergeben ein Diagramm wo der Messfleck dargestellt ist.

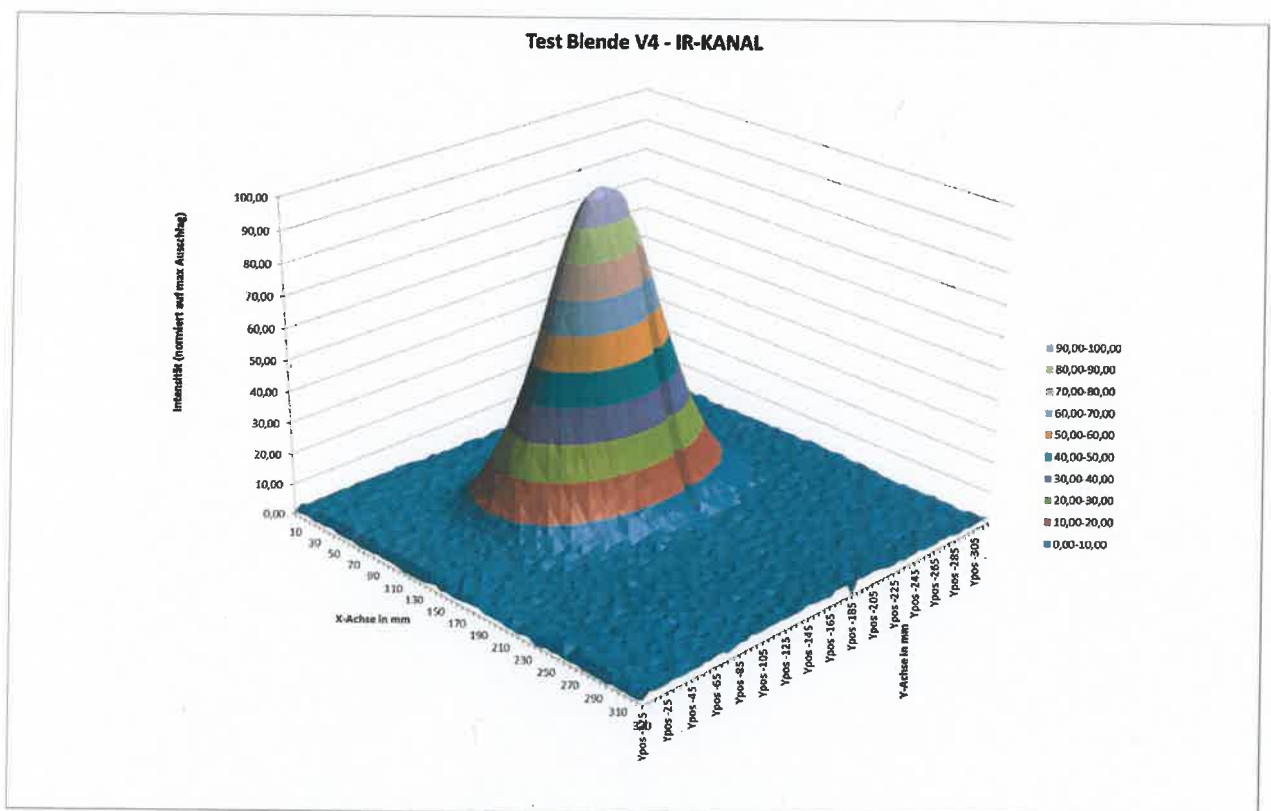


Abbildung 32: Beispiel Messfleck IR-kanal, Test mit Blende V4

In der Z-Achse sind die Intensitätswerte des Sensors, normiert auf den maximalen Wert, dargestellt. Im Zentrum hat der Sensor die höchste Sensibilität was zu den Rändern bis auf ein Minimum abnimmt.

2.1.7 AP1.17 Entwicklung und Bau geeigneter Testvorrichtungen für Kalibrierung

Bevor die Farbkalibrierung durchgeführt werden kann, mussten die Einflüsse der Elektronik identifiziert und durch einen Offset beseitigt werden. Dafür muss bei abgedunkeltem Sensor, dass Sensorsignal gemessen werden (welches in der Theorie nicht vorhanden sein sollte). Der gemessene Wert entspricht den Einflüssen durch die elektronische Schaltung. Nachfolgend ein Bild des Versuchsaufbaus zur Messung des Sensorsignals bei abgedunkeltem Sensor. Die Sensoren wurden durch schwarzen Kunststoff abgedeckt.

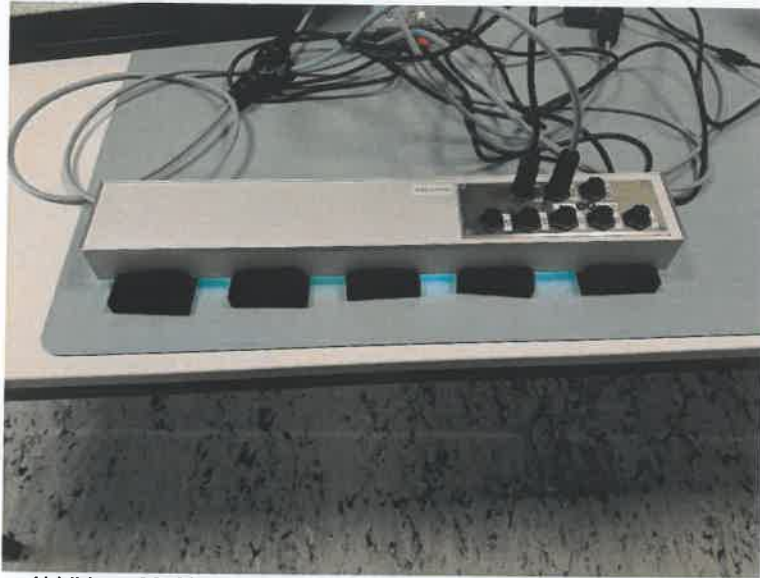


Abbildung 33: Messaufbau Sensorsignal bei abgedunkelten Sensoren

Der Messaufbau zur Kalibrierung ist nachfolgend in einem Beispielbild zu sehen.

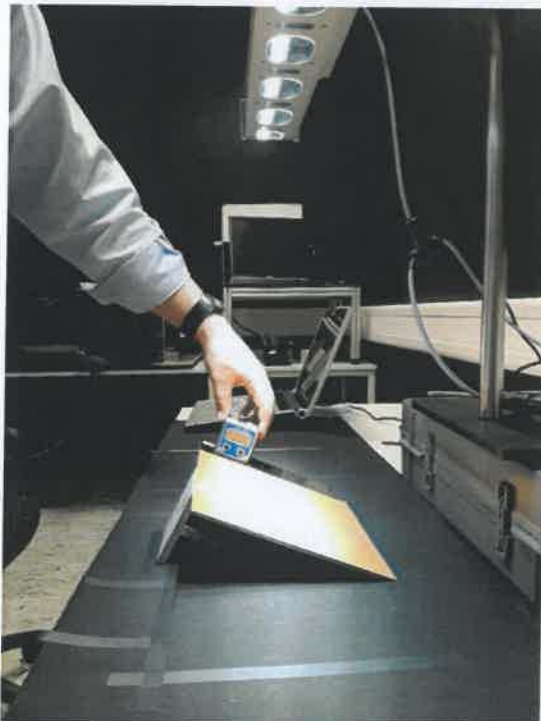


Abbildung 34: Beispiel Aufbau Farbkalibrierstand Sensor

Hierbei wird das Systeme 3m 50cm über dem Messbereich (Arbeitsabstand) ausgerichtet. Der Untergrund wurde mit einer nicht reflektierenden Matte abgedeckt, damit keine unerwünschten äußeren Farbeinflüsse das Messergebnis verfälscht.

Als erste Kalibriernormalen wurden RAL-Farbbögen gewählt, die die Standard-RAL-Farbmuster darstellen. Leider musste festgestellt werden, dass diese Bögen durch ihre glänzende Oberfläche nicht

zur Farbkalibrierung geeignet sind. Selbst eine schräge Messanordnung, wie in Abbildung 34 zu sehen, brachte keine akzeptablen Ergebnisse.

Als alternative wurden Farbkartons eingesetzt, die eine matte Oberfläche besitzen (siehe Abbildung 35). Um diese als Farbreferenz einsetzen zu können, wurden sie mittels Spektrometer (Instrument Systems CAS 140CT+Einkoppeloptik EOP-120) vermessen und der jeweilige Farbwert zur Kalibrierung bestimmt.

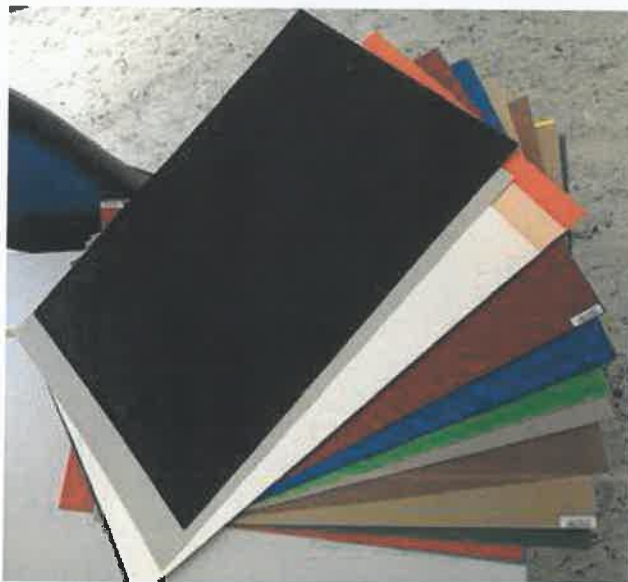


Abbildung 35: Farbkartonagen zur Farbkalibrierung

2.1.8 AP 1.18 Entwicklung und Bau geeigneter Vorrichtungen zur Temperaturkompensation

Zur Kompensation von Temperaturveränderungen die auf den Sensor einwirken wurde eine Temperaturkalibrierung des Systems eingerichtet. Hierbei wird eine eigens konstruierte Kühl-/Heizanlage zur Veränderung der Temperatur und somit zur Simulation der Außentemperatur, umfunktioniert.



Abbildung 36: Kühl-/Heiz-anlage zur Temperaturveränderung

Bei der Kalibrierung wird ein definiertes Temperaturprofil von niedrigen und hohen Temperaturen automatisch eingestellt. Das System befindet sich auf der Kühl-/Heizplatte und wird den Temperaturen von dieser ausgesetzt und dementsprechend können verschiedene Zustände erzeugt werden.

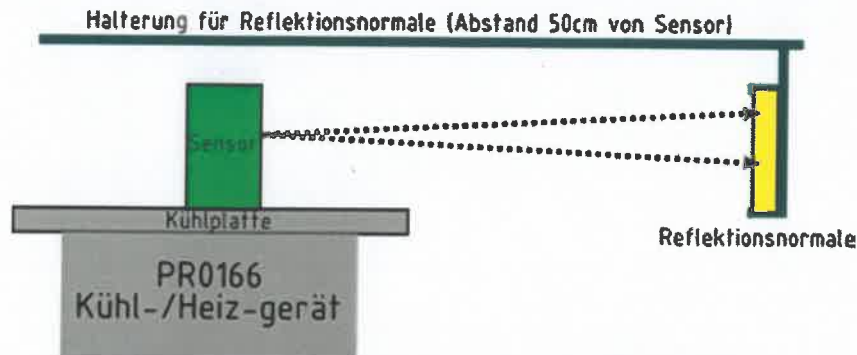


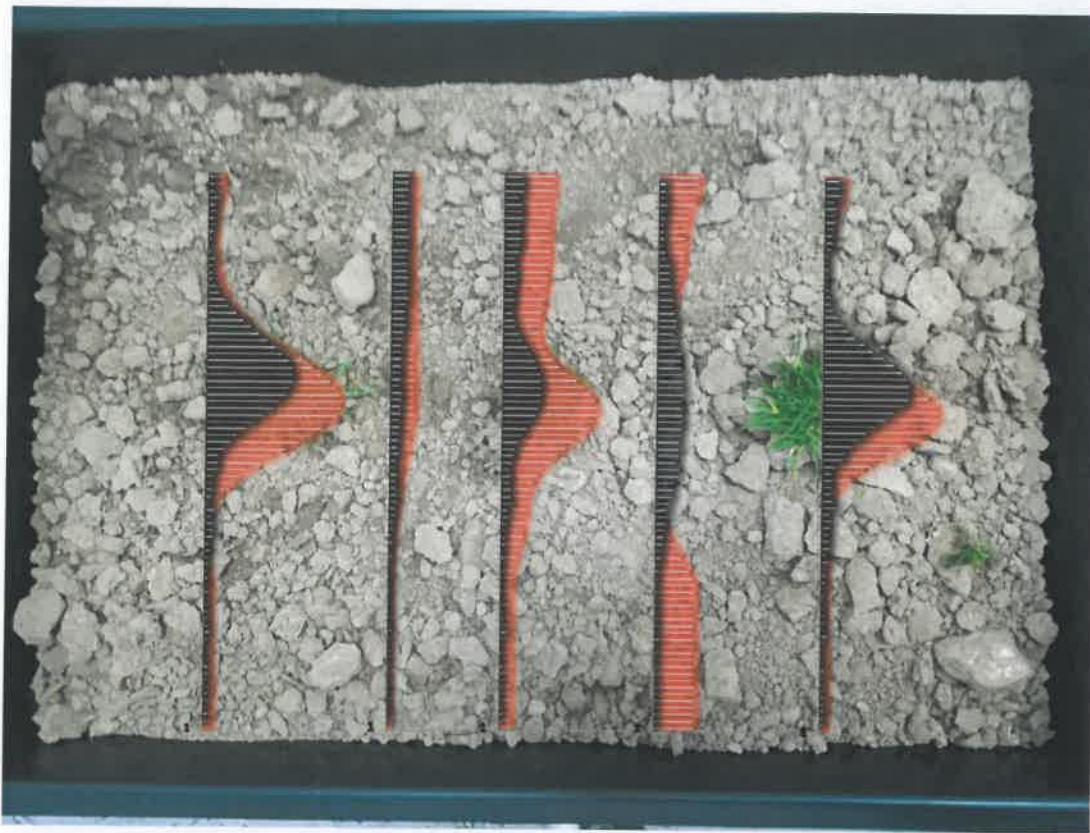
Abbildung 37: Aufbauskitze Temperaturkalibrierung Sensor

Die Kalibrierung bezieht sich auf die Durchschnittstemperatur im System und wird dementsprechend auf dieser aufgebaut. Die zu erwartende Einsatztemperatur des Systems gilt hierfür als Basis und die Kalibrierwerte des Sensors werden durch ein Polynom 5.Grades erzeugt.

2.2 AP 1.2 Systemtest im Labor

In Labortests wurde das System mit verschiedenen Signalen getestet. Hierbei wurde zur Simulation der Bewegung ein flacher Behälter mit Erde und Pflanzen ausgestattet und auf einem in zwei-Achsen verfahrenen Tisch installiert. Durch Verfahren des Tisches, in die zum Sensor gerichtete Achse, konnte eine Bewegung des Sensors über der Erde erzeugt werden.

Wie in Abbildung 38 zu sehen, ist eine eindeutige Veränderung der Signale allein bei der Unterscheidung zwischen Boden und Pflanzen erkennbar.



Rot = Infrarot Signal

Schwarz = Farbunterschied (Δab)

Abbildung 38: Labortest mit Darstellung der Signaländerung "delta ab" und Infrarot

2.3 AP 4.1 Sensorarrayentwicklung und BUS

Wie in Kapitel 2.1.4 unter AP1.14 Mechanische Konstruktion bereits vorgestellt, wurde das System entsprechend robust aufgebaut um auch im rauen landwirtschaftlichen Einsatz bestehen zu können. Die Stromversorgung ist auf das mittlerweile auf landwirtschaftlichen Maschinen verbreitete 24V Bordnetz aufgebaut und die verschiedenen Sensorarrays durch ein Bussystem miteinander verbunden (siehe Abbildung 39).

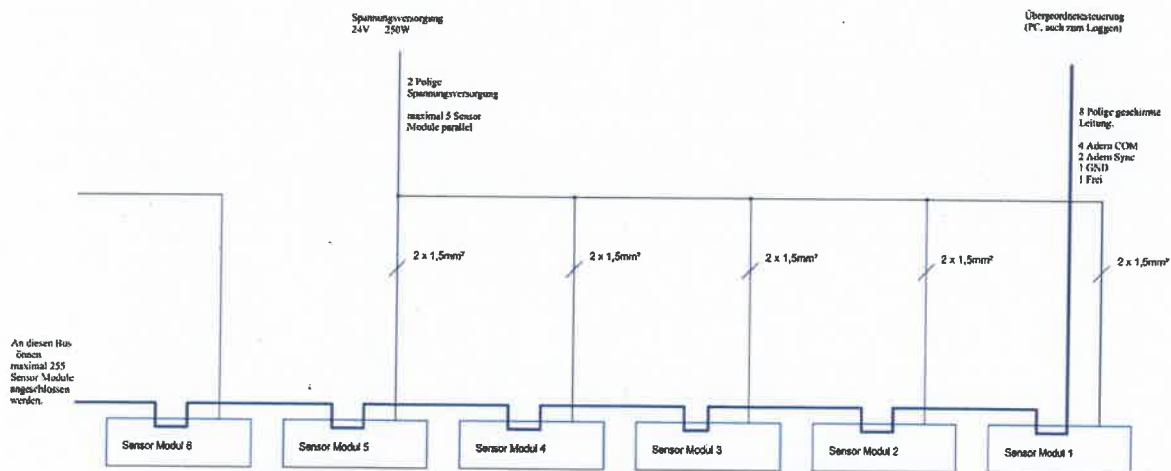


Abbildung 39: Blockschaltbild zusammenschalten mehrerer Module

Dem Verbundpartner, ILT Bonn, wurden zur insgesamt 7 Systeme zur Verfügung gestellt die an eine reale Feldspritze installiert wurden. Durch diese Anwendung versucht das ILT genauere Muster und Kriterien zur Verwendung des Sensors zu erforschen.

2.4 Verbreitung und Veröffentlichung

Zur weiteren Verbreitung und Veröffentlichung wurde der Sensor mit dem geschützten Markennamen und Logo „GG-Detector®“ (Green Ground Detector) ausgestattet (siehe nächste Abbildung).



Abbildung 40: GG-Detector® Logo und Schriftzug

Zur weiteren Präsentation in der Öffentlichkeit wurde der GG-Detector® auf dem Gemeinschaftsstand der DBU auf der Hannover Messe 2019 präsentiert.



Abbildung 41: PREMOSYS GG-Detector® auf dem Gemeinschaftsstand der DBU auf der Hannover Messe 2019

3 Fazit

Als Fazit des Projekts lässt sich feststellen, dass durch nicht vorhersehbare äußere Einflüsse (z.B. Problematiken mit der Optik und Wechsel der Sensorelemente) ein vorher nicht eingeplanter deutlicher Mehraufwand und Verzögerung im Projekt verursachten. Dennoch wurde ein System gebaut welches als Basis zu weiteren Maßnahmen und Entwicklungen geeignet ist.

Feststellungen über zukünftige für nötig erachtete Arbeiten

Versuchsträger zur weiteren Testung des GG-Detectors®

Zu weiteren Testzwecken im Feld wurde ein Versuchsträger zum Anbau des Sensors an einen Kleintraktor konstruiert und realisiert. Dieser hat zwei GG-Detector® Module und einen entsprechenden Aufbau, der einer Feldspritze entspricht. Jeder Kanal des GG-Detector® hat eine eigene Düse welche durch diesen gesteuert wird. Nachfolgend ein Bild des Versuchsträgers.

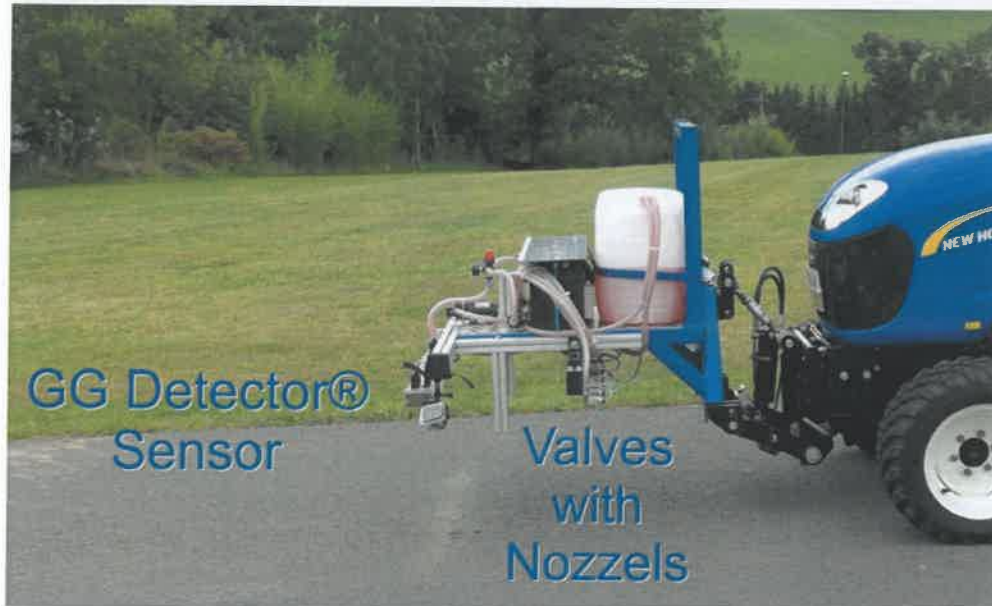


Abbildung 42: Versuchsträger GG-Detector® zum Anbau an einen Kleintraktor

Problematik Sensorabkündigung

Leider wurde im Laufe des Projekts die Information mitgeteilt, dass der eingesetzte Farbsensor von der Firma AMS abgekündigt wurde (Lieferung eingestellt) und momentan kein adäquater Ersatz auf dem Markt existiert. Zur Lösung des Problems wurde ein Projekt INFIMEDAR gestartet, welches die Entwicklung eines spektralen Farbsensors auf Basis von integrierten nano-optischen Filtern für diese Agraranwendung beinhaltet.

Kompensation der Höhenabhängigkeit

Das momentan eingesetzte Sensorarray hat noch eine Empfindlichkeit im Arbeitsstand welches dazu führt, dass der Intensitätswert mit abnehmender Höhe zum Messobjekt sich verändert. Hierfür könnte zum Beispiel eine mechanische Lösung durch ein Gestell, welches den Abstand zum Boden konstant hält und der Sensor an der Feldspritze nur gelagert wäre, helfen. Eine Sensortechnische Lösung mittels Abstandssensoren ist ebenso möglich, aber nur unter Voraussetzung, dass die Rahmenbedingungen wie zum Beispiel Spannungsversorgung der Maschine ausreichend und nicht Beeinträchtigung der Sensorsignale gegeben sind.

Berücksichtigung des Geschwindigkeitssignals und Abstand zur Aktorik (z.B. Düse)

Um eine akkurate Ausbringung auf die identifizierte zu bekämpfende Pflanze, bei verschiedenen Geschwindigkeiten, zu erhalten muss die Fahrgeschwindigkeit mitberücksichtigt werden. Dementsprechend wird eine Verzögerung nach Erkennung eingeleitet, damit die Maßnahme genau über der Pflanze erfolgt.

Kommunikation mit ISOBUS System zur direkten Kommunikation mit Landwirtschaftlichen Maschinen

Momentan erfolgen die Einstellung bzw. Parametrisierung des Sensors mittels Kommunikation eines PCs und dem dazugehörigen Programm. Damit das System direkt durch Maschinen gesteuert werden kann, muss die Kommunikation um den ISOBUS Standard erweitert werden. Außerdem müsste dementsprechend ein User-Interface konzipiert und realisiert werden.

Literaturverzeichnis

BmELF, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Hloben, P. (2007) Study on the Response Time of Direct Injection Systems for Variable Rate Application of Herbicides, Dissertation Sept. 2007, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreise Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Bd 459, p184

Vondricka, J. (2008) Study on the Process of Direct Nozzle Injection for Real-Time Site-Specific Pesticide Application. Dissertation Januar 2008 Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreise Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Bd. 465, p131

Walgenbach, M. (2014) Aufbau und Untersuchung eines Versuchsträgers zur Direkteinspeisung an der Düse, Dissertation Februar 2014 Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreise Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, p98