



**Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg**
University of Applied Sciences



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**
Institut für Technische Physik

Konzeptpapier zur Bachelorarbeit
im Rahmen des Moduls
C7 Praktische Arbeit zur Bachelor-Thesis
im Bachelorstudiengang Elektrotechnik (B. Eng.)
Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau
und Technikjournalismus (EMT)
Wintersemester 2021
Beim Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt
Institut für Technische Physik
Prüfer: Professor Dr. Robert Lange

Konzeptpapier zur Arbeit:

Ferndetektion von schädlichen Pilzen im Weinbau durch Laserinduzierte Fluoreszenz

Weiterentwicklung des VinoLAS® Systems

Vorgelegt von:
Elias Ellingen
Burgstraße 18a
53773
Hennef Uckerath
Tel. 015787692618
Mail: elias.ellingen@gmail.com
Matr.-Nr. 9033698
Betreuer im Unternehmen: Dr. Christoph Kölbl

Datum:



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Theorie	2
2.1	Fluoreszenz	2
2.2	Fluoreszenzspektroskopie	3
3	Stand der Technik	4
3.1	vinoLAS® EWS 1	4
3.2	Schaltungen zur Integration von ns Impulsen	7
3.3	Auf dem Markt erhältliche Systeme	8
3.3.1	Ferndetektion von Pilzen	8
3.3.2	Gated Integrator	8
4	Aufgabenstellung	9
5	Geplante Vorgehensweise	10
6	Vorläufige Gliederung	11
7	Erste Version einer Executive Summary	12

1 Einführung

Im europäischen Weinbau werden jährlich ca. 90000 Tonnen Fungizid zur Bekämpfung von Pilzen und zur Vorbeugung von Pilzbefall eingesetzt. Das entspricht 60% des gesamten Fungizidverbrauchs in der Landwirtschaft, obwohl der Weinbau nur 5% der Anbaufläche einnimmt (Vgl. [1]).

Das Ziel des vinoLAS[®] Projekt ist es, durch laserbasierte Ferndetektion eine, im Vergleich zu passiven Detektionstechnologien, frühere Detektion und damit einen gezielteren Einsatz dieser Fungizide zu ermöglichen. Dadurch entstehen folgende Vorteile:

- Ertragssteigerung durch frühere Erkennung
- geringere Kosten für Fungizide
- geringere Umweltbelastung

Das Projekt vinoLAS[®] setzt sich aus mehreren Entwicklungsphasen zusammen. Im ersten, abgeschlossenen, Entwicklungsschritt eins konnte gezeigt werden, dass die Ferndetektion mittels laserinduzierter Fluoreszenz unter Laborbedingungen möglich ist. Weiterhin kann der Pilzbefall schon vor Auftreten von optischen Symptomen erkannt werden (Vgl. [2]).

Ziel des aktuellen Entwicklungsschritt zwei ist es, das System weiterzuentwickeln, sodass „eine selektive Detektion von Pilzbefall in Feldtests möglich ist“ [2].

Dabei wird die Idee verfolgt, dass das entstehende System, wie in Abbildung 1 gezeigt, später an einem Traktor montiert werden kann.

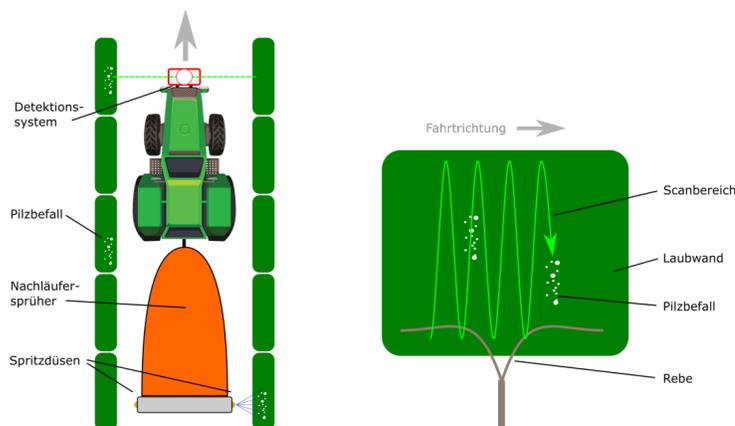


Abbildung 1: Die linke Skizze zeigt den geplanten Aufbau für das vinoLAS[®] System. Das vorne befestigte Detektionssystem liefert die Daten für einen Nachläufersprüher, der den Pilzbefall selektiv behandeln kann. Der rechte Teil veranschaulicht, wie die Laubfläche mit einem Linienscan aufgenommen werden kann. [2].

2 Theorie

2.1 Fluoreszenz

Die Fluoreszenz ist, wie die Phosphoreszenz, eine Form der Photolumineszenz: Ein Elektron wird durch ein oder mehrere Photonen angeregt, und damit in einen energetisch höheren Zustand überführt. Bei der Rückkehr in einen energetisch niedrigeren Zustand emittiert es die überschüssige Energie in Form von Photonen (Vgl. [3, S. 2]).

Die Fluoreszenz tritt auf, wenn ein Übergang direkt aus einem angeregten Zustand in den Grundzustand erfolgt. Bei der Phosphoreszenz erfolgt zunächst eine Interkombination in einen anderen Zustand. Abbildung 2 verdeutlicht dies:

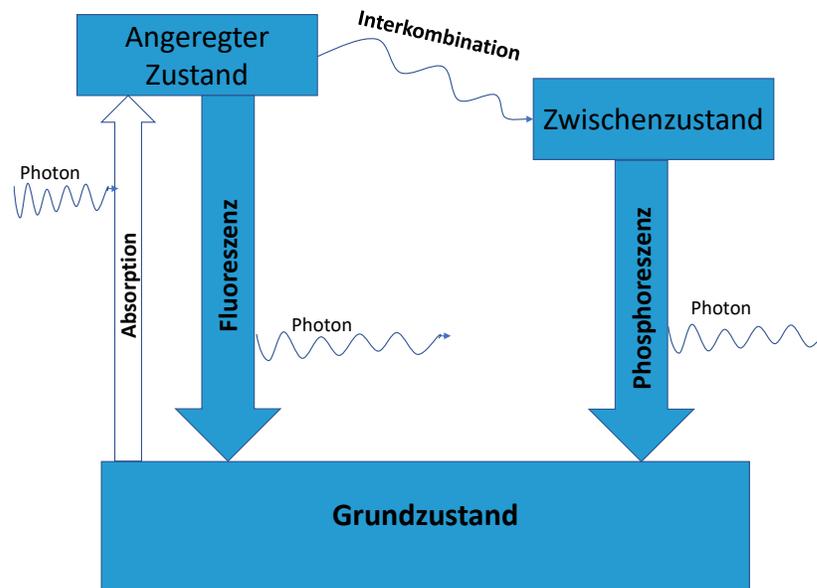


Abbildung 2: Vereinfachtes Perrin-Jablonski Diagramm nach [3, S. 14].

Eine Erklärung zur Bedeutung der verschiedenen Zustände findet sich in [3, S. 36 f]. Die Interkombination vom angeregten Zustand in den Zwischenzustand ist hierbei deutlich unwahrscheinlicher als der direkte Übergang in den Grundzustand. Darum ist die Abklingdauer der Phosphoreszenz in der Regel mit 1 ms – 10 s deutlich länger als die der Fluoreszenz, welche typischerweise im Bereich von 0,1 ns – 100 ns liegt. (Vgl. [3, S. 65]). Weitere Informationen zur Interkombination findet sich in [3, S. 58 f].

Fände der Fluoreszenzprozess nur zwischen dem Grundzustand und einem angeregten Zustand statt, würde sich im Spektrum genau eine Linie zeigen. In der Realität gibt es jedoch zusätzlich eine Vielzahl von Schwingungszuständen, die energetisch über dem Grundzustand liegen. Somit besteht die Möglichkeit für viele verschiedene Übergänge, bei denen Photonen unterschiedlicher Wellenlängen emittiert werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron in einen bestimmten Zustand übergeht, wird hierbei durch das Franck-Condon Prinzip (Vgl. [3, S. 47ff]) bestimmt. Abbildung 3 zeigt ein typisches Perrin-Jablonski Diagramm und das daraus resultierende Spektrum.

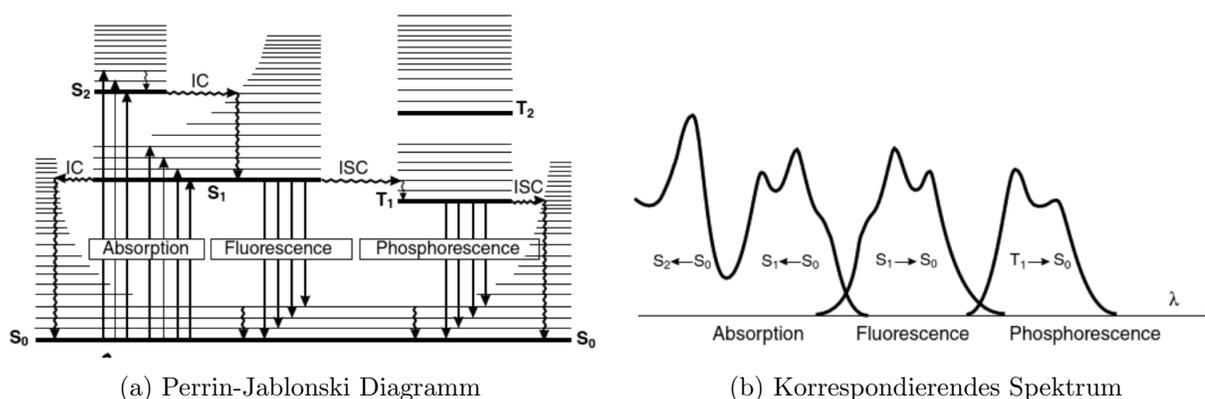


Abbildung 3: Perrin-Jablonski Diagramm [3, S. 54]: Die Fluoreszenzvorgänge(3a) haben verschiedene Energien und somit auch verschiedene Wellenlängen. Dies zeigt sich auch im Spektrum, das, statt einer diskreten Linie, einen kontinuierlichen Verlauf zeigt. (3b).

Zur Messung von Fluoreszenzspektren kommt in der Regel ein Fluoreszenzspektrometer zum Einsatz.

2.2 Fluoreszenzspektroskopie

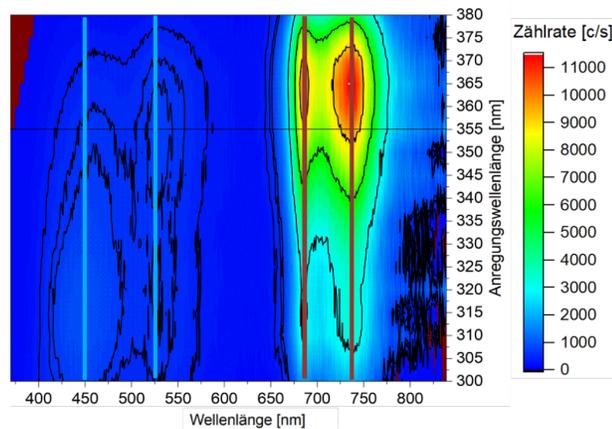
Ein Fluoreszenzspektrometer (z.B. <https://www.edinst.com/types/fluorescence-spectrometers/>) ist in der Lage das Emissionsspektrum einer Probe aufzunehmen. Mit den meisten Fluoreszenzspektrometern kann auch das Anregungsspektrum aufgenommen werden. Das Emissionsspektrum beschreibt die Intensität des emittierten Lichts in Abhängigkeit der Wellenlänge, wobei die Anregungswellenlänge konstant bleibt. Das Anregungsspektrum beschreibt die Intensität des emittierten Lichts einer Wellenlänge, in Abhängigkeit der Anregungswellenlänge (Vgl. [4, S. 27]).

Der Aufbau verschiedener Spektroskope ist in [4, S. 27 ff] dargestellt.

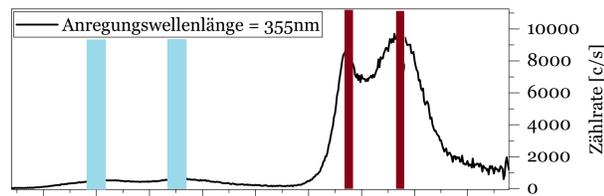
3 Stand der Technik

3.1 vinoLAS[®] EWS 1

Da die Anregung mittels eines Lasers erfolgen soll, kann sie zunächst nur mit einer Wellenlänge erfolgen. Um diese auszuwählen, wurde ein zweidimensionales Anregungs-Emissionsspektrum erstellt. Dieses ist in Abbildung 4 zu sehen:



(a) 2d Spektrum



(b) Emissionsspektrum bei 355 nm

Abbildung 4: Das 2d Spektrum (4a) zeigt die Zählrate in Abhängigkeit der Anregungswellenlänge und der Wellenlänge des emittierten Lichts. Die eingezeichnete Linie bei 355 nm entspricht dem Emissionsspektrum in 4b [2].

Wie zu sehen bietet eine Anregungswellenlänge von 355 nm Emissionen für die Bereiche der blau-grünen (440 nm – 520 nm) und der roten (690 nm – 740 nm) Fluoreszenz. Ausgehend davon wurde für den Laboraufbau ein Laser mit einer Wellenlänge von 355 nm gewählt. Dieser wird über Spiegel auf die Pflanze gelenkt. Das Fluoreszenzsignal wird dann mit einem Kepler Fernrohr aufgenommen. Durch einen Langpassfilter werden Reflexionen des Laserlichts herausgefiltert. Das Licht wird dann durch eine Faser in das Spektrometer gegeben:

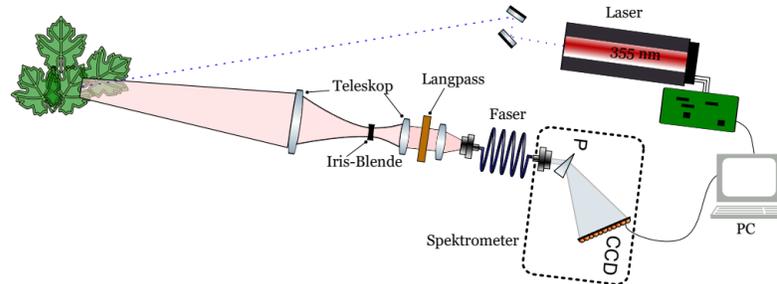


Abbildung 5: Skizze des Laboraufbaus: Dieser besteht aus einem Laser zur Anregung, einem Teleskop zum Einfangen des Fluoreszenzsignals und einem Spektrometer. [5].

Mit diesem Aufbau werden mehrere Messungen mit Weinblättern in den Gesundheitszuständen gesund, inokuliert ohne sichtbare Symptome, inokuliert mit sichtbaren Symptomen vorgenommen (Vgl. [2]). Zur weiteren Auswertung werden folgende Verhältnisse berechnet (Vgl. [5]):

$$V_1 = \frac{\int_{500 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} I(\lambda) d\lambda}{\int_{400 \text{ nm}}^{500 \text{ nm}} I(\lambda) d\lambda} \quad V_2 = \frac{\int_{706 \text{ nm}}^{850 \text{ nm}} I(\lambda) d\lambda}{\int_{650 \text{ nm}}^{707 \text{ nm}} I(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

Eine statistische Betrachtung der Messergebnisse findet sich in Abbildung 6:

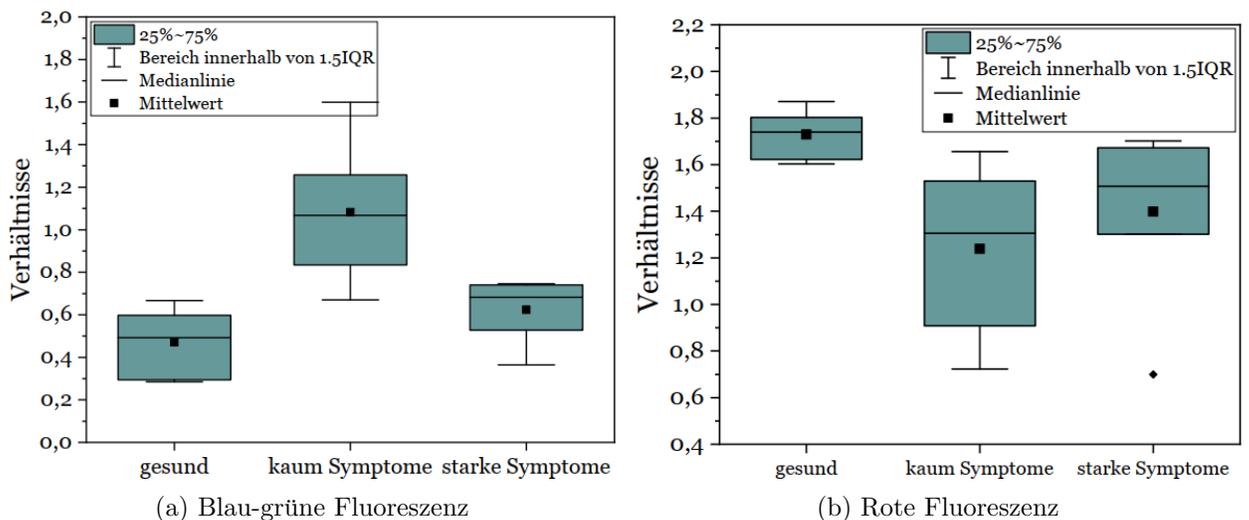


Abbildung 6: 6a zeigt eine statistische Auswertung der gemessenen Verhältnisse V_1 , 6b die der Verhältnisse V_2 [5].

Es zeigt sich also, dass es zur Erkennung von Pilzbefall genügen könnte, die Intensität für vier Wellenlängenbereiche zu bestimmen und ins Verhältnis zu setzen. Zur Bestimmung wäre also kein hochauflösendes Spektrometer notwendig, sondern es würde genügen, das Licht, beispielsweise mit optischen Filtern, in die 4 Wellenlängenbereiche aufzuteilen. Die Intensität kann dann mit einem geeigneten Detektor, beispielsweise einer APD (Avalanche Photo Diode) gemessen werden. Der Vorteil dieser 4 Kanal Detektion liegt darin, dass sie deutlich kompakter und günstiger als ein hochauflösendes Spektrometer ist. Abbildung 7 zeigt den geplanten Aufbau für diese 4 Kanal Detektion: Das empfangene Licht wird in eine Faser (a) eingekoppelt, welche sich zu 4 Enden aufteilt. Die 4 Strahlen werden je durch einen optischen Bandpassfilter (b) geleitet, um das Signal in die 4 Wellenlängenbereiche aufzuteilen. Diese werden dann mit einem Detektor (c) in ein elektrisches Signal umgewandelt.

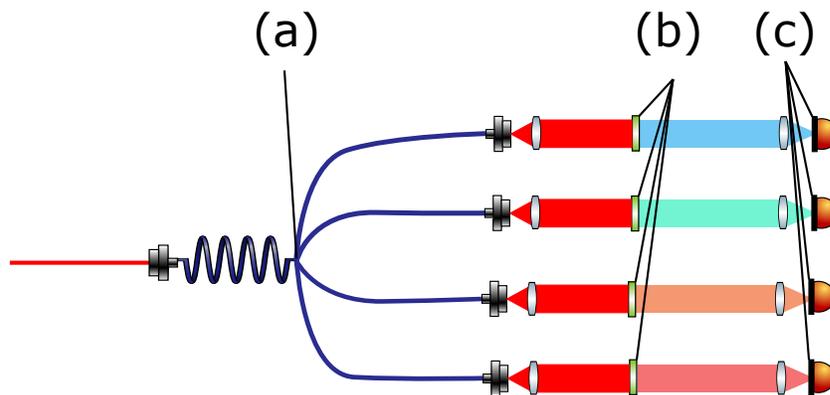
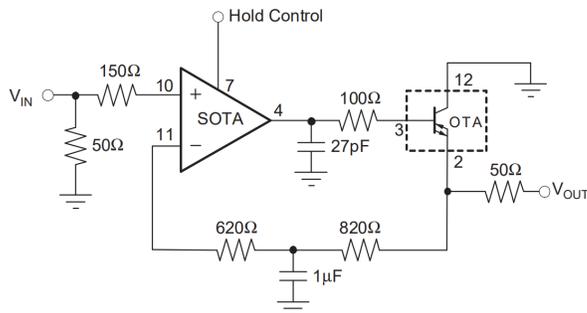


Abbildung 7: Skizze zum Aufbau eines 4-Kanal Detektionsmodul. (a) 4 Kanal Multimodefaserbündel (b) optische Bandpassfilter (c) Detektor

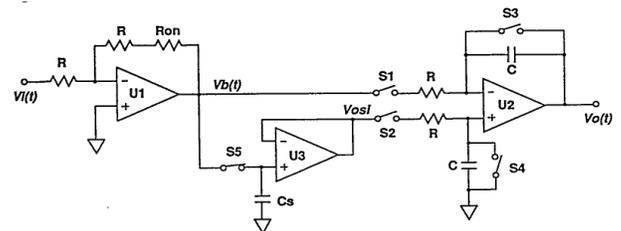
3.2 Schaltungen zur Integration von ns Impulsen

Um das Signal am Ausgang der APD zu integrieren und dann zu digitalisieren soll eine Schaltung entwickelt werden. Die Herausforderung liegt hierbei darin, dass die Laserpulse mit ca. 900 ps zusammen mit der Abklingdauer der Fluoreszenz einen Lichtpuls ergeben, der nur wenige Nanosekunden lang ist. Weiterhin ist dieser mit einem Gleichanteil durch das Sonnenlicht überlagert, der herausgerechnet werden muss. Eine Literaturrecherche zu Integratoren für Pulse im Nanosekundenbereich zeigte dabei zwei interessante Ergebnisse:

- In [6] wird ein OPA615 IC der Firma Texas Instruments verwendet. Dieser enthält einen Sample and Hold OTA und einen regulären OTA (Operational Transconductance Amplifier). Ein OTA ist eine Art des Operationsverstärker. Im Gegensatz zum klassischen Operationsverstärker bewirkt eine Spannungsdifferenz an den Eingängen keine Ausgangsspannung sondern einen Ausgangsstrom (Vgl. [7]). Der OPA615 eignet sich aufgrund seiner hohe Bandbreite von 710 MHz und der geringen Schaltzeit von 2,5 ns des Sample and Hold Verstärkers für die Anwendung. Im Datenblatt findet sich weiterhin ein Referenzdesign für eine Integratorschaltung. Diese ist in Abbildung 8a zu sehen.
- In [8] wird eine Integratorschaltung auf Basis von Operationsverstärkern gezeigt (Abb. 8b). Diese bietet den Vorteil, dass bereits vor der Integration der Gleichanteil des Signals abgezogen wird. Somit kann die Verstärkung des Integrators größer gewählt werden, ohne in die Sättigung zu gehen.



(a) Schaltung auf Basis des OPA615 [9]



(b) Schaltung nach [8]

Abbildung 8: Die abgebildete Schaltung 8a integriert das Eingangssignal, solange am Hold Control Eingang eine Spannung von 5v anliegt. Sinkt die Spannung auf 0v bleibt die Ladung im Kondensator, und somit die Ausgangsspannung, konstant. 8b: Diese Schaltung erfüllt die selbe Funktion wie 8a, jedoch wird mit dem zusätzlichen Sample and Hold Glied um U_3 vor der Integration der Gleichanteil abgezogen.

3.3 Auf dem Markt erhältliche Systeme

3.3.1 Ferndetektion von Pilzen

Bisher werden zur Fernuntersuchung von Pflanzenbeständen hauptsächlich Multispektralkameras verwendet. Diese können zwar spektrale Informationen aufnehmen, jedoch wird in der Regel die Sonne als Lichtquelle für die Anregung verwendet. Somit sind die Ergebnisse witterungsabhängig. Weiterhin wurde gezeigt, dass diese einen Pilzbefall erst erkennen, wenn bereits optische Symptome vorliegen, während die Anregung durch einen Laser die Erkennung bereits vorher ermöglicht (Vgl. [2]). Ein System, das selbst die Beleuchtung der Proben übernimmt ist das Multiplex Fluorometer der Firma Force A. Hier wird die Beleuchtung allerdings durch LEDs umgesetzt und das Gerät muss direkt an die Probe gehalten werden, wodurch der Durchsatz deutlich geringer ist (Vgl. [10]).

3.3.2 Gated Integrator

Bisher wurde zur Auswertung der APD Signale ein UHFLI-600 Lock In Verstärker (<https://www.zhinst.com/uhfli-600-lock-in-amplifier>) verwendet, der auch zur gated Integration und zum Abzug des Gleichanteils geeignet ist. Allerdings verfügt dieser nur über zwei Kanäle und ist deutlich weniger kompakt und teurer als eine selbst entwickelte Schaltung. Für andere verfügbare Systeme zeigen sich ähnliche Nachteile.



4 Aufgabenstellung

Das System aus Entwicklungsschritt eins soll soweit verbessert und integriert werden, dass die Bewertung des Systems in Feldtests möglich ist. Einen zentralen Punkt dabei stellt die Entwicklung der Ausleseschaltung dar. Weiterhin soll ein Autofokus auf Basis eines LIDARs und eines piezoelektrischen Verschiebetischs implementiert werden, da der Abstand zu den Proben nicht mehr konstant ist. Wenn möglich soll eine Spannungsversorgung für alle Komponenten entwickelt werden, die vom Traktor mit einer Eingangsspannung von 12v versorgt wird. Abschließend soll das gesamte System in ein Gehäuse integriert werden. Somit ergeben sich folgenden, nach Priorität geordneten, zentralen Fragestellungen:

1. Lässt sich eine Ausleseschaltung zur Integration der vier Signale umsetzen und genügt diese den Anforderungen hinsichtlich SNR, Linearität und Geschwindigkeit?
2. Wie lässt sich ein Autofokussystem auf Basis eines LIDAR und eines piezoelektrischen Verschiebetisch implementieren?
3. Wie kann eine Spannungsversorgung aller Komponenten, ausgehend von der 12v Versorgungsspannung des Traktors, implementiert werden?



5 Geplante Vorgehensweise

1. Design einer Ausleseschaltung

- Literaturrecherche zu ns Gated Integrator (fertig)
- Simulation verschiedener Integratorschaltungen in SPICE (fertig)
- Vergleich der Schaltungen und Auswahl einer Schaltung (fertig)
- Umsetzung einer Testplatine in der die gewählte Schaltung unter Laborbedingungen getestet werden kann (fertig)
- Evaluierung der Testplatine im Labor
- Simulation einer kompletten Ausleseschaltung, die, neben dem Integrator, auch das Trigger Timing enthält und evtl. das Signal digitalisieren und über USB/UART an den Hauptcomputer senden kann
- Umsetzung der Gesamtschaltung auf PCB
- Test der Gesamtschaltung im Labor
- Test des Spektroskopiesystems mit der neuen Ausleseschaltung (Streifenmuster, dann Weinblätter)

2. Aufbau eines Autofokussystems

- Auswahl eines LIDAR (fertig)
- Ansteuerung des Verschiebetischs und des LIDAR über Python
- Integration des Codes zur Ansteuerung in das bestehende ROS (Robot Operating System)
- Entwicklung Regelungssoftware

3. Integration

- Entwicklung einer Spannungsversorgung
- Entwurf eines Gehäuses

Ein GANTT Diagramm dazu findet sich im Anhang.



6 Vorläufige Gliederung

1. Executive Summary
2. Einführung
3. Theorie
 - Fluoreszenzspektroskopie
 - Avalanche Photodiode
 - Transkonduktanzverstärker/Operationsverstärker
 - Metriken zur Bewertung der Schaltung
4. Ausleseschaltung
 - Integratorschaltung
 - Analog Digital Wandlung
 - Layout
 - Test
5. Autofokus
 - Beschreibung der Komponenten
 - Programmierung in ROS
 - Regelungsalgorithmus
6. Systemintegration
 - Spannungsversorgung
 - Gehäuse
7. Test des gesamten Spektroskopiesystems
8. Fazit



7 Erste Version einer Executive Summary

In Entwicklungsschritt zwei des vinoLAS[®] Projekts soll ein System zur laserbasierten Fern-detektion von Pilzen im Weinbau so weiter entwickelt werden, dass es sich zur Durchführung von Feldtests eignet.

Ziel dieser Arbeit ist es, die folgenden Fragen zu beantworten:

1. Lässt sich eine Ausleseschaltung zur Integration der vier Signale umsetzen und genügt diese den Anforderungen hinsichtlich SNR, Linearität und Geschwindigkeit?
2. Wie lässt sich ein Autofokussystem auf Basis eines LIDAR und eines piezoelektrischen Verschiebetisch implementieren?
3. Wie kann eine Spannungsversorgung aller Komponenten, ausgehend von der 12v Versorgungsspannung des Traktors, implementiert werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden Lösungen für die benötigten Systeme recherchiert, angepasst und umgesetzt. Die so entwickelten Systeme werden zunächst in Labortests einzeln evaluiert und dann als Gesamtsystem getestet. Dabei zeigen sich folgenden Ergebnisse:

- Ausleseschaltung:
- Autofokus:
- Spannungsversorgung:
- Gesamtsystem:



Literatur

- [1] J. Irmer, „Weinbau ohne Gift - unvorstellbar, aber möglich,“ *Spektrum.de*, 4. Apr. 2017. Adresse: <https://www.spektrum.de/news/weinbau-ohne-gift/1445061> (besucht am 19.10.2021).
- [2] C. Kölbl, F. Duschek und S. Klug, *Abschlussbericht vinoLAS Entwicklungsstufe 1 Labordemonstrator*, Lampoldshausen: Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, 20. Okt. 2020.
- [3] B. Valeur, *Molecular Fluorescence : principles and applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 25. März 2013, ISBN: 9783527650033.
- [4] J. R. Lakowicz, *Principles of Fluorescence Spectroscopy*. Springer-Verlag GmbH, 5. Dez. 2007, 954 S., ISBN: 9780387463124. Adresse: https://www.ebook.de/de/product/19111410/joseph_r_lakowicz_principles_of_fluorescence_spectroscopy.html.
- [5] S. Klug, *Laserbasierte Ferndetektion im Weinbau, Entwicklung eines laserinduzierten Fluoreszenzspektroskopiesystems zur Detektion von Pilzkrankheiten*, Fachhochschule Münster, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, 2020.
- [6] S. Pengel, B. Schönberger, S. Nayak und A. Erbe, „Attenuated total reflection mid-IR-spectroscopy for electrochemical applications using a QCL,“ in *Lasers, Sources, and Related Photonic Devices*, Optical Society of America, 2012, LT6B.1. DOI: 10.1364/LACSEA.2012.LT6B.1. Adresse: <http://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=LACSEA-2012-LT6B.1>.
- [7] U. Tietze, C. Schenk und E. Gamm, *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer-Verlag GmbH, 5. Juli 2019, ISBN: 3662485532.
- [8] X. Wang, „Ultrafast, high precision gated integrator,“ Jan. 1995. Adresse: <https://www.osti.gov/biblio/10106993>.
- [9] o.V., *OPA 615 Datasheet*, Texas Instruments, 2004. Adresse: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa615.pdf?ts=1635991545590> (besucht am 04.11.2021).
- [10] C. Kölbl, A. Walter, A. Peckhaus und C. Vorholt, *Low-Cost Ferndetektionsgerät zur Früherkennung von Pilzbefällen im Weinbau*, Lampoldshausen: Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, 22. Nov. 2018.