

Seminararbeit

**Sensorik-gestützte Robotik-Systeme zur Automatisierung landwirtschaftlicher
Prozesse**

Nico Elsner

Studiengang: Robotik

Technische Hochschule Ingolstadt

20. Juni 2023

Erstprüfer: Prof. Dr. Christian Pfitzner

Abgabedatum: 20.06.2023

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Einführung in das Thema der Arbeit	2
2 Systeme	3
2.1 Drohnen	3
2.2 Schienensysteme	4
2.3 Roboterfahrzeuge	5
3 Sensorik	7
3.1 Temperatursensor	7
3.2 Bodenfeuchtigkeitssensor	9
3.3 Nahinfrarotspektroskopie	10
4 Anwendungen in der Landwirtschaft	12
4.1 Saat und Ernte	12
4.2 Tierpflege	13
4.3 Bewässerung	14
4.4 Schädlingsbekämpfung	15
5 Künstliche Intelligenz	17
6 Fazit	18

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

In den vergangenen Jahrzehnten entwickelte sich durch das steigende Bevölkerungswachstum ein weltweiter Mangel an Ressourcen, vor allem an Nahrungsmitteln.

Die Folge hiervon sind Massentierhaltung, Monokulturen und Gewächshausplantagen. Der Trend geht zur Perfektion der Erträge, bei möglichst geringem Aufwand. Dabei wird der Fokus darauf gelegt, die vorhandene Fläche optimal zu nutzen, um viele Lebensmittel auf geringem Raum zu produzieren. Dabei wird außerdem darauf geachtet, den Ertrag der vorhandenen Pflanzen zu maximieren. Dies kann durch eine intelligente Bewässerung, die Optimierung der Temperaturbedingungen, sowie eine effiziente Bekämpfung von Unkraut und Schädlingen realisiert werden. Dabei spielen Sensoren, zur Überwachung der Felder eine große Rolle. Aus den Sensordaten können Robotersysteme erkennen, an welcher Stelle eine Aktion zur Verbesserung Pflanzenbedingungen und damit der Maximierung des Ertrags erforderlich ist. Ähnlich verhält es sich auch bei der Tierzucht, wobei Roboter hierbei auch zum Wohl der Tiere durch Futterverpflegung und Stallreinigung beigetragen wird.

Auch in anderen Bereichen ist die Frage nach schnellen, zuverlässigen Massenproduktionen bereits seit mehreren Jahrzehnten diskutiert.

Vor allem die Automobilindustrie hat bereits früh begonnen sich mit Automatisierung zu beschäftigen. Erste Ansätze gab es hier bereits 1913[1] durch Henry Ford, welcher die ersten Autos auf dem Fließband zusammenbauen ließ. Dieses System wurde über die Jahrzehnte soweit ausgebaut, dass heutzutage bereits viele Industrieroboter die Bandarbeit nahezu komplett autonom erledigen.

Jedoch gibt es auch in der Landwirtschaft bereits Ansätze, um die Arbeit zu industrialisieren. In der folgenden Arbeit werden die fundamentalen Grundlagen für eine effiziente Nutzung von sensorbasierten Robotersystemen erläutert. Dabei wird auf bereits existierende Systeme aufgezeigt, die benötigte Sensorik erläutert, sowie auf gesellschaftliche und technische Herausforderungen eingegangen.

1.2 Einführung in das Thema der Arbeit

In der Landwirtschaft gibt es viele wiederkehrende Prozesse, die sich hervorragend für die Automatisierung mittels sensorbasierter Robotik eignen. Diese Technologie ermöglicht es, Aufgaben wie das Pflanzen, Bewässern, Düngen und Ernten von Feldern effizienter und präziser durchzuführen. Ein großer Vorteil der Landwirtschaft ist, dass Felder, Äcker und andere landwirtschaftliche Flächen feste Ortspunkte haben, wodurch die Verwendung globaler GPS-Koordinaten eine präzise Navigation und Steuerung von Robotern ermöglicht.

Die Grundlage für die Automatisierung in der Landwirtschaft bilden verschiedene Sensoren. Zum Beispiel können Kameras eingesetzt werden, um das Wachstum von Pflanzen zu überwachen, Schädlinge zu erkennen oder den Reifegrad von Früchten zu bestimmen. Bodensensoren können wichtige Informationen wie Feuchtigkeitsgehalt, pH-Wert und Nährstoffgehalt des Bodens liefern, um eine optimale Bewässerung und Düngung zu gewährleisten. Darüber hinaus können Wetterdaten und Umgebungssensoren genutzt werden, um Entscheidungen über Bewässerung, Schädlingsbekämpfung und andere landwirtschaftliche Maßnahmen zu treffen.

Es gibt bereits einige spannende Beispiele für sensorbasierte Robotersysteme in der Landwirtschaft. Autonome Traktoren sind in der Lage, sich selbstständig auf den Feldern zu bewegen und verschiedene Aufgaben wie das Pflügen, Säen und Ernten zu erledigen. Drohnen können mit Kameras ausgestattet werden, um große landwirtschaftliche Flächen zu überwachen und Anomalien wie Schädlingsbefall oder Trockenheit frühzeitig zu erkennen. Roboter zur Unkrautbekämpfung können mithilfe von Bilderkennungstechnologien Unkräuter von Nutzpflanzen unterscheiden und gezielt bekämpfen.

Um den Einsatz von sensorbasierter Robotik in der Landwirtschaft weiter voranzutreiben, ist eine Skalierung auf Industriegröße von großer Bedeutung. Dies beinhaltet die Entwicklung robuster und zuverlässiger Robotersysteme, die den Anforderungen und Herausforderungen des landwirtschaftlichen Umfelds gerecht werden. Die Integration von Datenanalyse und KI-Algorithmen ermöglicht es den Robotern, Muster zu erkennen, Entscheidungen zu treffen und sich an veränderte Bedingungen anzupassen.

Die Einführung von sensorbasierter Robotik und künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft hat das Potenzial, die Produktivität zu steigern, die Ressourceneffizienz zu verbessern und den Arbeitsaufwand für Landwirte zu verringern. Durch präzise und zielgerichtete Maßnahmen können Ressourcen wie Wasser, Düngemittel und Pestizide reduziert werden, was zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft beiträgt. Zudem ermöglicht die Automatisierung den Landwirten, sich auf strategische Aufgaben wie die Planung und Analyse zu konzentrieren, anstatt sich ausschließlich mit wiederkehrenden Aufgaben zu beschäftigen.

2 Systeme

2.1 Drohnen

In der Landwirtschaft geht es häufig darum, Sachen (Flüssigkeiten, Samen, etc.) auf dem Feld auszubringen. Auf die herkömmliche Art macht das ein Bauer, mithilfe eines Traktors. Je nach Aufgabe und Feldgröße benötigt ein Landwirt hierfür mehrere kostbare Stunden. Die Ausbringung von Flüssigkeiten wäre ein typischer Anwendungsfall für eine Drohne.



Abbildung 2.1: Sprühdrohne beim Aufbringen von Pestiziden [2]

Die Drohne in Abbildung 2.1 kann hierbei aus geringer Höhe die entsprechenden Flüssigkeiten über eine Düse ausbringen. Das kann durch Routenplanung komplett automatisiert passieren. Lediglich ein Flüssigkeitstank ist hier benötigt, welcher jedoch innerhalb weniger Minuten vom Landwirt an einer fest vorgegebenen Stelle platziert werden kann. Somit hat die Drohne einen festen Bezugspunkt für das Auffüllen der Flüssigkeit, ähnlich einer Ladestation eines Rasenmähers. Ein zusätzliches weit verbreitetes Einsatzgebiet von Drohnen im Allgemeinen ist die Überwachung: Auf den Feldern wird dies häufig in Kombination mit Wärmebildkameras dazu verwendet, Tiere in den Feldern aufzuspüren. (Abbildung 2.2) Durch die Möglichkeit, das Feld aus großen Höhen zu beobachten ermöglicht es dem Farmer, Rehe, Wildschweine und andere Schädlinge schnell und effektiv in seinem Feld aufzuspüren.

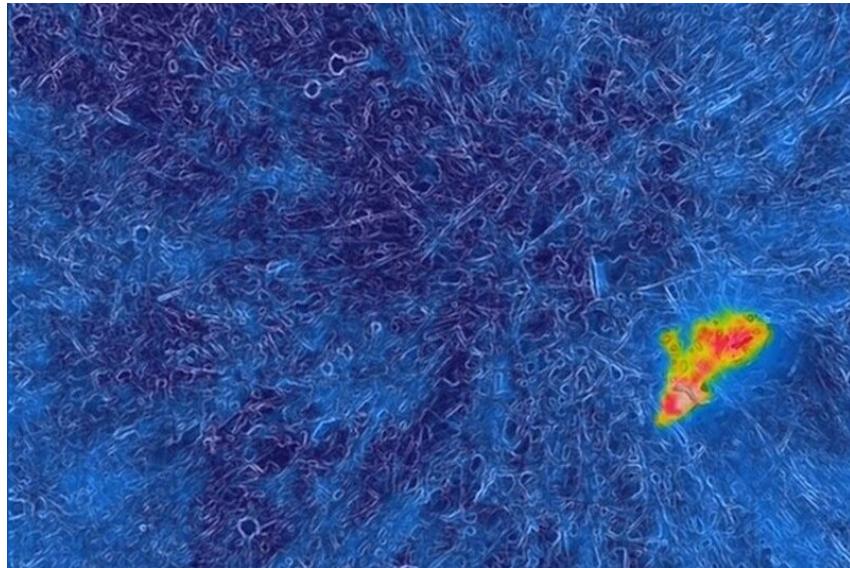


Abbildung 2.2: Wärmebild eines Rehs [3]

2.2 Schienensysteme

Unter Landwirtschaft zählen jedoch nicht nur klassische wie Äcker, Maisfelder, Getreidefelder, sondern unter anderem auch Gewächshäuser. Auch in Gewächshäusern gibt es viele Aufgaben, welche durch Sensoren ersetzt, bzw. sogar verbessert werden können. Der große Vorteil in Gewächshäusern ist die statische Umgebung. Gemeint ist hiermit die festen Punkte, an welchen die Pflanzen wachsen. Dies ermöglicht dem Robotersystem eine ähnliche Arbeitsumgebung wie in einem Warenhaus in welchem die Systeme bestimmte Positionen und Höhen anzufahren. Durch diese festen Bewegungspunkte ergibt sich die Möglichkeit eines Schienensystems, welches bereits in den vorher erwähnten Warenhäusern seinen Einsatz findet. Hier gibt es bereits ein bekanntes Beispiel aus der Heimbeet-Szene:



Abbildung 2.3: FarmBot [4]

2 Systeme

Der Farmbot(Abbildung 2.3) ist ein Schienensystem, was von der Mechanik stark an einen 3D-Drucker erinnert. Verkauft wird hierbei von dem Unternehmen nur die Hardware, sprich Schienen, Motoren, Adapter, Verkabelung und ein Raspberry Pi für die Software.

Die Software ist open-source, also frei im Internet für alle zugänglich, was mehrere Vorteile mit sich bringt:

Die Software wird von jedem User gedownloaded und eventuell umgeschrieben. Das bedeutet die Software wird kontinuierlich Probe gelesen. Außerdem können User die Software verändern und anpassen, etwaige Fehler beheben oder Performance-Verbesserungen vornehmen.

2.3 Roboterfahrzeuge

Ein weiteres weit verbreitetes Konzept sind Roboterfahrzeuge mit Reifen- oder Rollenantrieb. Diese werden hauptsächlich bei niedrig wachsenden Sorten zur Erkennung von Schädlingen oder beschädigten Pflanzen genutzt. Dies geschieht durch hochauflösende Kamerasysteme und der Verarbeitung der Ergebnisse, zum Teil mithilfe von künstlicher Intelligenz.



Abbildung 2.4: Farmdroid FD20 [5]

Der Farmdroid FD20(Abbildung 2.4) arbeitet hierbei komplett autonom und klimaneutral durch Solarpanels. Diese Solarpanels können bei guter Sonneneinstrahlung mehr als genug Energie für den Roboter liefern. Durch zwei zusätzliche Lithium-Ionen Akkus ist es möglich, dass der Farmdroid auch nach Sonnenuntergang autark weiterarbeitet, was einen Dauerbetrieb ermöglicht und damit extrem effizient ist.[6]

Die Aufgabe des modernsten Agrarroboters der Welt[7] ist die Saat und die Unkrautvernichtung.

2 Systeme

Laut Hersteller hat sich der Farmdroid bereits nach bis zu 1,5 Jahren amortisiert und arbeitet ab diesem Zeitpunkt aufgrund der Solarpanels mit extrem niedrigen Unterhaltskosten. Zudem ist der Roboter aufgrund der zwei GNSS Empfänger und eines RTK Korrektursignals, welches in der Basisstation erzeugt wird, sehr genau.[6][8]

3 Sensorik

3.1 Temperatursensor

Wichtig für das Wachstum von Pflanzen ist die Temperatur. Je nach Herkunft benötigen Pflanzen unterschiedliche Temperaturen. Um die das Absterben von Pflanzen durch falsche Temperaturen zu verhindern, benötigen Roboter zur Überprüfung Temperatursensoren. Es gibt verschiedene Arten von Temperatursensoren:

Temperatursensoren:

- *IR*

Eine der besten Möglichkeiten, Temperaturen zu messen, ist die Infrarottechnik. Sie bietet einige erhebliche Vorteile, durch die Fähigkeit zur berührungslosen Temperaturmessung. Zum einen wird der zu messende Gegenstand in keinerlei Weise beeinflusst, was zum Beispiel die Gefahr der physischen Zerstörung, durch Berühren empfindlicher Gegenstände, wie Blätter verhindert.(Abbildung 3.1) Die Entfernung zum Messpunkt ermöglicht auch, hohe Temperaturen zu messen, ohne die Infrarotsensorik durch zu hohe Temperaturen zu gefährden.

Die Bestandteile einer Infrarotkamera beinhalten eine Optik, einen Detektor, sowie die Verarbeitungselektronik. (Abbildung 3.2)

Die Optiken sind häufig Linsen aus Germanium, da diese transparent für Infrarotlicht sind. Es gibt zwei Gruppen von Detektoren. Thermische Detektoren (Bolometer und thermophile Detektoren) besitzen sensitive Flächen, welche von der Energie der infraroten Strahlung erwärmt werden. Sie sind genau und reagieren schnell, zudem arbeiten thermische Detektoren bei Raumtemperatur, es wird also keine zusätzliche Kühlelektronik benötigt. Wenn es eine noch höhere Temperaturempfindlichkeit benötigt, wobei hier von $<20\text{ mK}$ gesprochen wird, werden Quantendetektoren eingesetzt. Jedoch müssen diese gekühlt werden, da sie sonst ein hohes Eigenrauschen aufweisen.[11]

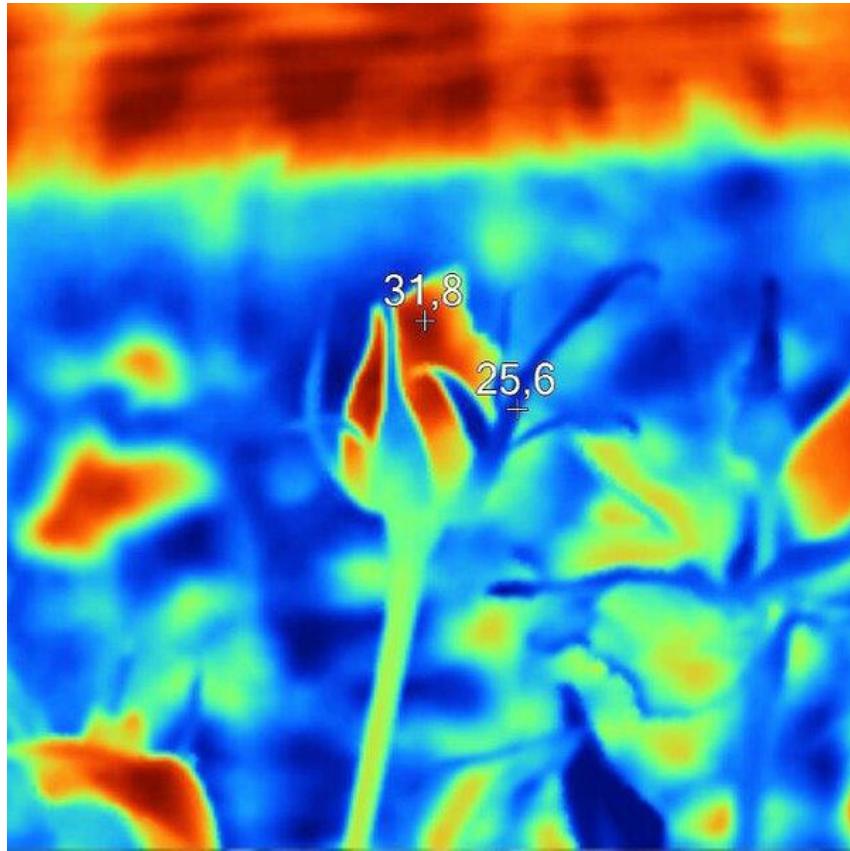


Abbildung 3.1: Infrarotaufnahme einer Pflanze [9]

Funktionsweise von Infrarotthermographie:

Messgegenstände mit einer Temperatur von >900 K strahlen Energie ab, die mithilfe von Wärmebildtechnik sichtbar gemacht werden kann und so als Bild, für den Menschen sichtbar dargestellt werden kann. Hierzu werden die Spektralbereiche Nahinfrarot(NIR), mittleres Infrarot (MIR) und langes Infrarot (LIR) betrachtet. Diese Spektren teilen sich in drei Teile im Bereich von 780 bis 1400 nm auf.[12]

- *Thermistoren*

Thermistoren sind Bauteile, welche ihren Widerstand bei steigender Temperatur verringern. Sie bestehen aus Keramik oder Polymeren und die Temperatur wird hierbei genau und schnell ausgegeben. Der Standardwiderstand bezieht sich bei Thermistoren immer auf 25°C . Man unterscheidet zwischen NTC und PTC, wobei sich die Buchstaben hier auf das Verhalten des Widerstands bei Wärmeänderung beziehen. Bei einem NTC sinkt der Widerstand bei steigender Temperatur, bei einem PTC wird er höher. Meist werden NTC für Temperaturmessungen verwendet.[13]

- *Thermoelemente*

Ein weiterer Sensor, welcher für die Bodentemperaturmessung verwendet wird, sind

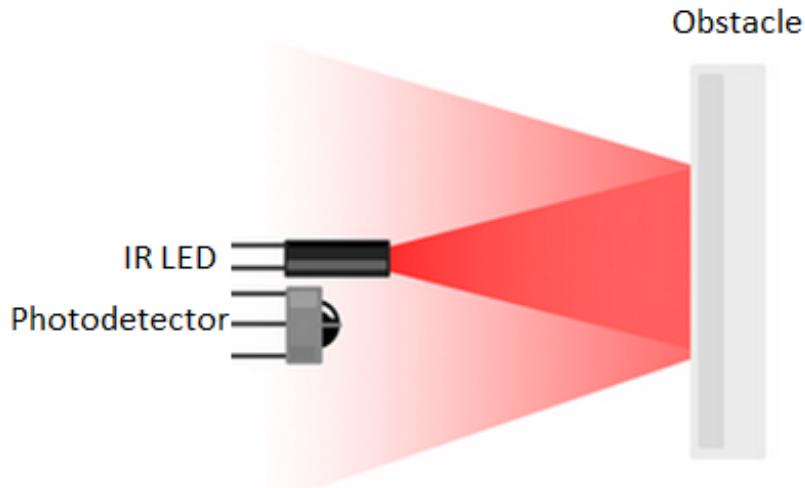


Abbildung 3.2: Aufbau eines IR-Messgeräts [10]

Thermoelemente. Grundlage dieses Sensors ist eine Verbindung zweier Drähte unterschiedlicher Materialien.

Die Funktionsweise des Sensors basiert auf thermoelektrischen Effekten. Der sogenannte Peltier-Effekt besagt hierbei, dass bei einer Verbindung von zwei, unter Strom stehenden Drähten aus unterschiedlichen Materialien ein Wärmestrom fließt. Dieser wird an der Verbindungsstelle absorbiert, was dort zu einer Temperaturveränderung des Materials führt. Der Seebeck-Effekt geht auf den Stromfluss bei einer Temperaturänderung ein. Bei der Verbindung der zwei Leiter kommt es zu einem Stromfluss, wenn an beiden Verbindungsstellen unterschiedliche Temperaturen anliegen.[14]

3.2 Bodenfeuchtigkeitssensor

Je nach Sorte brauchen Pflanzen mehr oder weniger Wasser, nicht zu viel und nicht zu wenig. Um zu wissen, ob bewässert werden soll, benötigt der Roboter Bodenfeuchtigkeitssensoren.

Feuchtigkeitssensoren:

- *kapazitive Sensoren*

Kapazitive Feuchtigkeitssensoren bestehen aus zwei Elektroden und einem Dielektrikum, in welches bei porösen Elektroden Wassermoleküle diffundieren. Dieser Prozess ist abhängig von der relativen Feuchte. Da die Permitivität von Wasser hoch ist steigt die Kapazität des Sensors, was, mithilfe eines Oszillators in eine Frequenz umgewandelt, gemessen werden kann. Kapazitive Sensoren können gut durch bestimmte

salzhaltige Lösungen kontrolliert, und bei Fehlern korrigiert werden und sollte auch bei längerem Einsatz gemacht werden.[15]

- *Leitfähigkeitssensoren*

Diese Sensoren bestehen in der Regel aus einem feuchtigkeitsempfindlichen Material, das zwischen zwei Elektroden platziert ist. Wenn Feuchtigkeit in das Material eindringt, verändert sich die elektrische Leitfähigkeit und somit auch der Widerstand. Je feuchter das Material ist, desto niedriger wird der Widerstand. Um den Feuchtigkeitsgehalt zu messen, wird eine elektrische Spannung an die Elektroden angelegt, und der resultierende Strom oder die Spannung über dem Sensor wird gemessen. Durch die Messung des Widerstands kann auf die Feuchtigkeit geschlossen werden. Dieses Signal kann dann in elektronische Schaltungen oder Mikrocontroller eingespeist und weiterverarbeitet werden.

3.3 Nahinfrarotspektroskopie

Nahinfrarotspektroskopie(NIR) verwendet Wellenlängen zwischen 780 und 2500 nm, was sich zwischen dem mittleren Infrarotbereich und dem sichtbaren Spektralbereich befindet. Die Besonderheit bei NIR ist, dass dort die Oberton-und Kombinationsschwingungen von Molekülen betrachtet werden. [16] Durch die Reaktion der Moleküle auf NIR-Strahlung, können viele Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung von Materialien gezogen werden. Bei einer Wellenlänge von 880nm kann zum Beispiel im dritten Oberton eine Reaktion von Fett in der Milch erkannt werden. [17] Diese Technologie wird in der Landwirtschaft zum Beispiel zum Überwachen von Futtermischverhältnissen verwendet, da Landwirte mithilfe von NIR, wie bereits erwähnt, den Anteil an Fett, sowie den Anteil an Proteinen bestimmen kann, ohne das Futter zu beschädigen. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Getreideernte, wobei hier der NIR-Sensor meist am Korntankrohr des Mähdreschers verbaut ist. (Abbildung 3.3)

Er dient in diesem Fall der Überwachung der Feuchtigkeit des Saatguts, um dieses vor Schimmel zu schützen.

3 Sensorik



Abbildung 3.3: NIR-Sensor am Mähdrescher [18]

4 Anwendungen in der Landwirtschaft

4.1 Saat und Ernte

Den meisten Teil des Tages verbringt der Landwirt immer noch auf dem Feld. Die einfachste Art, hinsichtlich der Feldarbeit wäre eine Automatisierung der Fahrzeuge. Das heißt ein mobiler Roboter mit Ketten- oder Reifenantrieb, würde das Feld abfahren und die Saat ausbringen und später im Jahr wieder ernten.

Hierfür muss der Roboter einige elementare Dinge können. Er muss auch bei schwierigen Bodenbedingungen gerade Linien auf dem Feld fahren können. Hierfür kann die Antriebsart angepasst, sowie die Reifen durch Ketten ersetzt werden. Eine weitere Herausforderung besteht in der Ausbringung des Saatguts in den Boden. Die einfachste Art wäre das Bohren eines Lochs, in welches das Saatkorn fällt. Ein trockener, steiniger Boden hat jedoch eine andere Beschaffenheit als ein feuchter erdiger Boden. Dafür müssen unterschiedliche Aktoren zur Verfügung stehen. Mit einem Kraftsensor kann der Roboter die Kraft messen, welche er benötigt, um in den Boden vorzudringen. Anhand dessen kann er ein Bohrgerät für die Löcher wählen. Diese verschiedenen Bohrer können zum Beispiel direkt am Roboter angebracht sein.[19] Ein weiter wichtiger, für das Sähen benötigter Sensor, ist ein Ultraschallsensor, zum Messen der Bodenentfernung. Damit können die Samen auf die exakte Tiefe in den Boden eingebracht werden.

Beim Ernten kommt es vor allem auf die Sorte an. Hierbei kommt es weniger auf die Sensörk, als auf die Aktorik an. Das liegt daran, dass alle Pflanzen bei der Ernte ziemlich gleich groß sind, innerhalb ihrer Sorte, welche im Vornherein bekannt ist. Dabei werden die Pflanzen komplett abgeschnitten. Man könnte jedoch bereits beim Erntevorgang durch eine Bildverarbeitung beschädigte, kaputte Ernte aussortieren. Hierfür wäre vor allem ein gutes Kamerasystem nötig, wobei jedoch der Kosten-Nutzen-Faktor hierbei beachtet werden sollte, da ein komplexes Kamerasystem schnell hohe Kosten verursacht.

4.2 Tierpflege

Der Großteil, neben der Feldarbeit, dreht sich bei der Landwirtschaft um den Viehbetrieb. Hier gibt es bereits einige Automatisierungen, wie zum Beispiel Melkstraßen, wo Kühe mithilfe von Melkrobotern nacheinander vollautomatisch gemolken werden. Was zudem leicht zu automatisieren ist, ist die Ernährung jeglicher Tierarten.

Man benötigt lediglich ein System, das Futter von großen Lagerbehältern zu den Ställen/Gehegen bringt. Das kann je nach Bauernhof unterschiedlich aussehen. Die einfachste Umsetzung wäre hierbei meiner Hinsicht nach ein höher gelegenes Schienensystem. Damit gibt es keine Behinderung der sonstigen Arbeit, und das komplette System kann mittels eines Mikrocontrollers , wie zum Beispiel eines Raspberries, gesteuert werden. Die herkömmlichsten Roboter gleichen jedoch herkömmlichen Futtermischwägen, welche vollautomatisiert durch die Ställe fahren. (Abbildung 4.1)



Abbildung 4.1: Futterroboter in Kuhstall [20]

Ein weiteres großes Anwendungsgebiet bei der Tierpflege sind Stallreinigungsroboter (Abbildung 4.2).

Die Roboter sind speziell für den Einsatz in Kuhställen entwickelt worden. Sie sind mit Sensoren ausgestattet, um Hindernisse zu erkennen und sicher zu navigieren. Die Reinigungsfunktionen umfassen das Entfernen von Kot und Urin, das Kehren des Bodens und sogar das Spülen der Laufflächen. Durch die regelmäßige Reinigung werden Keime und Krankheitserreger reduziert, was zu einer gesünderen Umgebung für die Kühe führt. Ein weiterer großer Vorteil von Reinigungsrobotern im Kuhstall ist der Komfort für die Kühe. Saubere Laufflächen sorgen dafür, dass



Abbildung 4.2: Reinigungsroboter in Kuhstall [21]

die Kühe sich wohler fühlen und weniger anfällig für Verletzungen oder Krankheiten sind. Durch die regelmäßige Entfernung von Kot und Urin wird zudem die Entstehung von Ammoniakgeruch reduziert, was die Atemwege der Kühe schont. Durch die automatisierte Reinigung können Landwirte ihre Zeit effizienter nutzen und sich auf andere wichtige Aufgaben konzentrieren. Zudem kann die Produktivität gesteigert werden, da die Kühe in einer sauberer Umgebung gesünder sind und bessere Milch- und Fleischleistungen erbringen können. [agrarheute]

4.3 Bewässerung

Eine weitere Anwendung, welche in der Landwirtschaft in Kombination mit Sensorik viel Einsatz findet ist Bewässerung. Vor allem durch das immer weniger werdende Grundwasser, sind Pflanzen auf eine externe Bewässerung angewiesen. [22] Bewässerung kann auf unterschiedliche Arten realisiert werden. Prinzipiell wird zwischen Flächenbewässerung und punktueller Bewässerung unterschieden. Flächenbewässerung wird meist mit Sprenglern realisiert die mittig aufgestellt werden und so die Pflanzen von oben mit Wasser versorgen. Vor allem in Gebieten mit hohen Temperaturen ist das recht ineffizient, da ein Großteil des Wassers auf der Pflanze verdunstet, bevor es aufgenommen werden kann. Ein besseres System für die Freiflächenanwendung sind Schläuche, welche in Bodennähe verlegt werden. Mit vereinzelten Löchern wird durch den Schlauch Wasser abgegeben, welches direkt vom Boden aufgenommen werden kann und unter dem Pflanzen, geschützt vor der Sonne, nicht verdunstet. Der Nachteil an Schläuchen im Freien ist die Anfälligkeit gegenüber Zerstörung durch Tiere, besonders Marder neigen dazu, Schläuche

aufzubeißen, womit eine Verluststelle im System besteht, die nur schwer bemerkt und lokalisiert werden kann. Einen weiteren Aspekt, den es zu beachten gilt, wenn Felder in freier Umgebung bewässert werden sollen, ist die dauerhafte Überwachung der Bodenfeuchtigkeit. Wenn es regnet, neigt ein bewässertes System schnell zur Überwässerung. Durch Bodenfeuchtigkeitssensoren (Kapitel 4.2) kann mithilfe eines Mikrocontrollers ein Feuchtigkeitsthreshold eingestellt werden, welcher sicherstellt, dass die Pflanzen genau die richtige Menge an Wasser bekommen. Außerdem gibt es Ansätze, zur passiven Versorgung mit Wasser, wobei versucht wird, das Optimum aus Niederschlag und Grundwasser zu nutzen. Ein Beispiel hierfür beschäftigt sich mit der Idee ein T-Stück im Boden einzusetzen. Der obere Teil des T-Stücks soll das schnelle versickern des Niederschlags verhindern, womit die Pflanzen mehr Zeit haben diesen mithilfe der Wurzeln zu verwenden. Der untere Teil des Teils reicht bis zum Grundwasser. Wie bereits vorher erwähnt, ist der Grundwasserspiegel inzwischen zu niedrig, um von den Pflanzen erreicht zu werden. Mithilfe von kleinen Röhren wird die Kapillarkraft verwendet, um Grundwasser von unten, nach oben zu den Pflanzen zu transportieren, wobei das vollkommen autonom und ohne jegliche Ansteuerung funktioniert.[22]

Nicht nur die Hardware an sich kann helfen, die Bewässerung der Landwirtschaft zu verbessern. Durch den großen Einsatz von Sensoren können immer mehr Messergebnisse gesammelt werden. Durch den Einsatz von Modellen, welche Berechnungsansätze benutzen, können die komplexen Auswirkungen von Landwirtschaft auf den Wasserkreislauf dargestellt werden. Das kann zum Beispiel dafür verwendet werden, die Interzeption zu bestimmen zu bestimmen. Die Interzeption beschreibt das Wasser, welches aufgrund der Blätterabdeckung der Pflanzen bereits vor dem erreichen des Bodens verdunstet. Mithilfe des Blattflächenindex LAI und den Interzeptionskoeffizient C_{int} kann die Interzeption durch folgende Formel berechnet werden:

$$E_{can} = \min(C_{int} * LAI, ET_{ref} * \Delta t) \quad (4.1)$$

ET_{ref} beschreibt dabei die Referenz-Evapotranspiration, welche die mögliche Grasvegetation bei ständiger Bodensättigung darstellt.[23] Mit solchen Berechnungen können Computersysteme den Wasserkreislauf und die Auswirkungen der Landwirtschaft darstellen und verbessert nutzen.

4.4 Schädlingsbekämpfung

Meist werden Schädlinge, wie Parasiten und Unkraut mithilfe von Pestiziden bekämpft. Diese werden meist unter Zuhilfenahme von Traktoren auf dem Feld ausgebracht. Ein neuerer Ansatz ist die Verteilung mit Drohnen, die wie bereits erwähnt die Flüssigkeit aus der Höhe weitflächig

auf den Feldern verteilen könnten. Jedoch ist aufgrund der Gefahr von Verwehung die maximale Flughöhe auf 2m über den Pflanzen, sowie die Geschwindigkeit auf 13km/h beschränkt.[24] Somit erübrigत sich dieser Vorteil, was jedoch bleibt ist die fehlende Bodenzerstörung durch Reifen, welche bei einer traktorbasierten Ausbringung der Fall wäre. Auch in der Atemluft lagern sich Pestizide ab, was bereits 2019 in einer Studie nachgewiesen wurde, in welcher Baumrinde untersucht wurde, wobei das Institut "TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR in 47 Proben 104 verschiedene Pestizide finden konnte.[25] Für fliegende Schädlinge wurde bereits ein Konzept für Gewächshäuser entwickelt. Dieses besteht aus einem Roboterarm, welcher mit Klebeflächen ausgestattet ist. Dieser bewegt sich über die Pflanzen, während die Insekten mit Druckluft aufgeschreckt werden und daraufhin in die Klebeflächen fliegen und dort festkleben. Der Aufbau ist in Abbildung 4.3 nochmals exemplarisch dargestellt:[26]

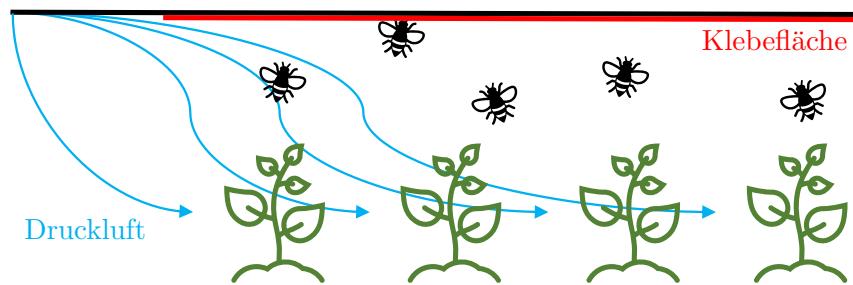


Abbildung 4.3: Roboter zur Schädlingsbekämpfung

5 Künstliche Intelligenz

Wie auch in allen Bereichen, ist auch in der Landwirtschaft gerade eine starke Entwicklung von künstlicher Intelligenz zu erkennen. Künstliche Intelligenz wird dabei verwendet, um große Datenmengen von Sensoren in der Landwirtschaft zu nutzen, um neuronale Netze zu trainieren. Meist findet KI ihren Einsatz im Bereich der Schädlingsbekämpfung oder im Ausbringen von Saat.[27] Algorithmen zur künstlichen Intelligenz werden zum Beispiel verwendet, um den Lebenszyklus einer Pflanze zu überwachen. Kontrolliert werden kann dieser Prozess über viele verschiedene Arten, zum Beispiel Drohnen, Satelliten oder Ultraleichtflugzeugen. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Start-up Taranis. Taranis benutzt Drohnen, welche mit bis zu 200 km/h extrem hochauflösende Aufnahmen von Feldern machen können. In Verbindung mithilfe von Satelliten und Flugzeugen überwachen sie so 80.000 km^2 Agrarfläche in mehreren Ländern. Diese Pflanzen werden überwacht, und der Landwirt wird sofort informiert, sobald eine Pflanze beschädigt wird. Somit kann dieser die Pflanze im Frühstadium sofort entfernen und noch zur richtigen Zeit eine Neue anpflanzen. Zudem können die Drohnenbilder mithilfe der von Tensorflow unterstützen KI durch ihre hohe Auflösung sogar Insekten und andere Schädling erkennen, bevor die Pflanzen von diesen zerstört werden. Diese Technologie wird in Zukunft noch an Bedeutung zunehmen, da bereits jetzt 20-40 % der Pflanzen durch Unkraut und ähnliches absterben. Zudem wird die Wettervorhersage immer mehr durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz verbessert. Durch die Vielzahl an Satelliten steht eine extreme Menge an Wetterdaten zur Verfügung, die regelmäßig geupdated wird. Da die Ernte äußerst anfällig gegenüber Gewitter, speziell Hagel ist, haben mehrere Projekte, wie zum Beispiel das US National Oceanic and Atmospheric Administration bereits begonnen, sich mit dem regionen- und zeitabhängigen Wetterprognosen zu befassen.[28]

6 Fazit

Zusammenfassend kann davon gesprochen werden, dass auch die Landwirtschaft von dem Um- schwung in die Automatisierung von Prozessen betroffen ist. Vor allem in dieser Branche gibt es viele gute Möglichkeiten, Systeme mithilfe von Sensoren zu überwachen und zu beeinflussen. Auch mit dem Hintergrund des Bevölkerungswachstums und der damit einhergehenden Steige- rung des Mangel an Lebensmitteln ist es besonders wichtig, jede Chance zu nutzen, die Land- wirtschaft so effizient wie möglich zu gestalten. Auch den Aspekt, der Zerstörung des fruchtbaren Boden muss beachtet werden, beim Gedanken an die Ernährung der immer größer werdenden Menschheit.[29] Systeme wie der Farmbot helfen, jeden freien Platz sinnvoll zu nutzen und ani- mieren die Menschen, auch Zuhause Pflanzen selbst zu züchten. Jedoch muss dies in einem für die Umwelt möglichst erträglichen Rahmen geschehen. Hierfür sind die Roboter eine große Hilfe, die zum Großteil, im Gegensatz zu den alten dieselbetriebenen Landmaschinen, durch elektri- sche Antriebe bewegt werden. Durch Solarmodule können diese immer weiter nahezu autark und emissionsfrei arbeiten, was eine hohe Entlastung für die Umwelt darstellt. Dass die kon- servative Landwirtschaft immer mehr Technik einsetzt, zeigt sich bereits an einigen Umfragen. Auch gesundheitlich kann die Digitalisierung der Landwirtschaft viele Vorteile bieten. Durch den Verzicht auf Pestizide, bzw. die Ausbringung durch Drohnen aus der Ferne, wird die Gesundheit der Bauern geschont, da sie die giftigen Pestizide nicht einatmen. [6]

Literatur

- [1] Daniel MG Raff und Lawrence H Summers. „Did Henry Ford pay efficiency wages?“ In: *Journal of Labor Economics* 5.4, Part 2 (1987), S57–S86.
- [2] DJI. *DJI und die Landwirtschaft*. URL: <https://dji-official-fe.djicdn.com/dps/92018744568392976eaed6bad09a9f1f.jpg>.
- [3] skyoptic. *Wildtiersuche und Rehkitzrettung*. URL: <https://www.skyoptik.at/wp-content/uploads/2020/06/dji-mavic-2-enterprise-dual-rehkitzrettung-und-wildtiersuche-paket28.jpg>.
- [4] farm.bot. *FarmBot Express*. 2022. URL: https://cdn.shopify.com/s/files/1/2040/0289/files/DSC00260_2400x.JPG?7677.
- [5] Wurst Alain-Xavier. *Säen und Hacken: ein Job für den Roboter*. 2020. URL: https://www.ufarevue.ch/var/site/storage/images/9/4/6/3/293649-1-ger-CH/6039497_image_1_27_i1200.jpg.
- [6] Moritz Jungwirth und Franz Handler. „Arbeitszeitbedarf und Arbeitserledigungskosten eines teilautonomen Feldroboters für die Saat und das Hacken von Biozuckerrüben“. In: *Arbeit unter einem DA-CH: Der Landwirt im 4.0-Modus* (2022), S. 147.
- [7] „Roboter auf dem Feld“. In: *Donaukurier* (2022). URL: <https://www.donaukurier.de/archiv/roboter-auf-dem-feld-6203116> (besucht am 28.03.2023).
- [8] Olivia Spykman u.a. „Wirtschaftlichkeitsbewertung eines Feldroboters auf Basis erster Erfahrungen im Praxiseinsatz“. In: *43. GIL-Jahrestagung, Resiliente Agri-Food-Systeme* (2023).
- [9] redusystems. *Messung der Pflanzentemperatur*. URL: https://www.redusystems.com/Articles/0R-000-999/image-thumb__645__image-text-brick/Measuring-crop-temperatures%20.jpeg.
- [10] python-exemplarisch. *Licht und Infrarot-Sensoren*. URL: <https://www.python-exemplarisch.ch/raspi/rgifs/ls1.png>.

Literatur

- [11] M Eng Daniel May. „Transiente Methoden der Infrarot-Thermografie zur zerstörungsfreien Fehleranalytik in der mikroelektronischen Aufbau-und Verbindungstechnik“. In: (2015).
- [12] Norbert Schuster und Valentin G Kolobrodov. *Infrarotthermographie*. John Wiley & Sons, 2004.
- [13] Ekbert Hering und Gert Schönfelder. „Temperaturmesstechnik“. In: *Sensoren in Wissenschaft und Technik: Funktionsweise und Einsatzgebiete* (2018), S. 393–419.
- [14] Frank Bernhard. „Thermoelemente“. In: *Handbuch der Technischen Temperaturmessung* (2014), S. 831–1047.
- [15] M Koch und S Tenbohlen. „Ein neues Verfahren zur Online-Feuchtemessung in Leistungstransformatoren“. In: *ETG Fachtagung „Diagnostik elektrotechnischer Betriebsmittel“*, *Fachbericht 104* (2006).
- [16] John S Shenk, Jerome J Workman und Mark O Westerhaus. „Application of NIR spectroscopy to agricultural products“. In: *Practical Spectroscopy Series 27* (2001), S. 419–474.
- [17] Haiyan Cen und Yong He. „Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality“. In: *Trends in Food Science & Technology* 18.2 (2007), S. 72–83.
- [18] agrarzeitung. *Krone kooperiert mit Zumhammer*. 2021. URL: <https://imagesrv.adition.com/banners/3437/files/00/27/cd/85/000002608517.jpg>.
- [19] Neha S Naik, Virendra V Shete und Shruti R Danve. „Precision agriculture robot for seeding function“. In: *2016 international conference on inventive computation technologies (ICICT)*. Bd. 2. IEEE. 2016, S. 1–3.
- [20] Ruhsamer Amelie. *Im Check: Kühe mit dem Roboter füttern*. URL: https://www.agrarheute.com/sites/agrarheute.com/files/styles/bildergalerie_lg_2x/public/2019-08/hetwinfoto-46474946.webp.
- [21] Mandl Johanna. *Hygiene im Kuhstall und beim Melken*. URL: https://www.fleckvieh.at/wp-content/uploads/2020/09/Spaltenroboter_agrarfoto.com_.jpg.
- [22] Qiang Liu, Noriyuki Yasufuku und Kiyoshi Omine. „Self-watering system for arid area: a method to combat desertification“. In: *Soils and foundations* 58.4 (2018), S. 838–852.
- [23] Patrick Keilholz u. a. „Bewässerung 4.0: ein möglicher Ansatz zur weiteren Optimierung der Bewässerung“. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, (ISSN: 1865-9926)*, S (2019), S. 510–517.

Literatur

- [24] „Genehmigung von Pflanzenschutzmitteln für die Anwendung mit Drohnen in Weinbau-Steillagen“. In: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* (2021). URL: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2021/2021_05_26_Fa_Drohnen.html (besucht am 11.06.2023).
- [25] Peter Clausing. „Baumrinden-Monitoring der Pestizid-Belastung über die Luft: Eine toxikologische Bewertung“. In: (2020).
- [26] Christian Höing. „Entwicklung einer Robotik-Lösung zur Schneckenbekämpfung in der Landwirtschaft“. Diss. 2020.
- [27] Svenja Mohr und Rainer Kühl. „Künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft“. In: *40. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier*. Hrsg. von Markus Gandorfer u. a. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2020, S. 193–198.
- [28] Phil Wennker und Phil Wennker. „Künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft“. In: *Künstliche Intelligenz in der Praxis: Anwendung in Unternehmen und Branchen: KI wettbewerbs- und zukunftsorientiert einsetzen* (2020), S. 141–149.
- [29] Bettina Rainer. „Der Diskurs der Überbevölkerung: zu Metaphorik und Funktion einer in Aussicht gestellten globalen Katastrophe“. Diss. 2003.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Sprühdrohne	3
2.2	Wärmebild eines Rehs	4
2.3	FarmBot	4
2.4	Farmdroid FD20	5
3.1	Infrarotaufnahme einer Pflanze	8
3.2	Aufbau eines IR-Messgeräts	9
3.3	Mähhdrescher mit NIR-Sensor	11
4.1	Futterroboter in Kuhstall	13
4.2	Reinigungsroboter in Kuhstall	14
4.3	Roboter zur Schädlingsbekämpfung	16