

Masterarbeit

AUTOMATISIERTE HÜHNER- UND LEGELEISTUNGSERKENNUNG

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Ing. Kurt Lederer, BSc

1710322006

betreut und begutachtet von
FH-Prof. Dipl.-Ing. Dieter Lutzmayr

Graz, im Jänner 2019

Kurt Lederer

Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

A handwritten signature in blue ink, reading "Kurt Dedering", is written over a horizontal dotted line.

Unterschrift

DANKSAGUNG

Bei der Erarbeitung der vorliegenden Masterarbeit haben mich viele Personen begleitet und unterstützt. Dafür möchte ich mich ganz herzlich bedanken.

Vorab möchte ich meiner Familie danken, die mich in meinen Vorhaben immer unterstützt. Ebenfalls für die Unterstützung danke ich der Firma MVTec Software GmbH und der Firma IDS Imaging Development Systems GmbH, die mir die Bildverarbeitungssoftware HALCON für den Zeitraum dieser Arbeit kostenlos zur Verfügung gestellt haben. Ein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Herrn FH-Prof. Dipl.-Ing. Dieter Lutzmayr, der mit sehr viel Engagement, guten Ideen und wertvollen Tipps meine Masterarbeit betreut hat.

KURZFASSUNG

Der Trend der Zeit zeigt eine stetige Weiterentwicklung in der Legehennenhaltung. Diese ist mit Herausforderungen verbunden, die der Landwirt zu bewältigen hat, um den wirtschaftlichen Erfolg seines Betriebes nachhaltig zu sichern. Hierzu zählt einerseits die Effizienzsteigerung des Betriebes durch die Überwachung der Legeleistung, sowie den Schutz der Legehennen vor Raubtieren.

Diese wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit der Evaluierung verschiedener Konzepte für eine automatisierte Erfassung der Legeleistung und Zutrittsüberwachung bei geschlossener Auslauföffnung, um das Huhn vor Raubtieren zu schützen. Zunächst werden Methoden zur Identifikation von Legehennen erläutert und auf deren Eignung geprüft. Diese basieren auf zwei grundlegenden Technologien. Mit Hilfe der RFID (Radio Frequency Identification) Technologie, als auch mittels Bildverarbeitung werden die Legehennen identifiziert. Daraus folgend werden Konzepte zur Realisierung erarbeitet und bewertet. Nach Auswahl geeigneter Konzepte werden diese in einem Versuchsaufbau getestet. Bei der Umsetzung mittels RFID wird ein System im Frequenzbereich von 125 kHz gewählt. Im Bereich der Bildverarbeitung wird die Umsetzung mit der Entwicklungsumgebung HDevelop von HALCON realisiert.

Das Ergebnis der Versuchsaufbauten zeigen mögliche Lösungswege auf und machen die Schwierigkeiten und Herausforderungen der Technologien sichtbar.

ABSTRACT

The husbandry of layers is a field which shows continuous development. This development is associated with several challenges farmers have to deal with, in order to ensure long-term economic success of their businesses. On the one hand this includes increasing efficiency of the farm by monitoring the laying performance and on the other hand protection of the layers against predators.

This thesis deals with the evaluation of various concepts for the automated recording of the laying performance, as well as the automated access control of the closed outlet to prevent the threat of potential predators.

First, methods for the identification of the layers are being explained and examined for their suitability. These methods are based on two fundamental technologies. With the help of RFID (Radio Frequency Identification) technology, as well as by the means of machine vision, the layers are identified.

Second, as a result, concepts for realization are being developed and evaluated. Based on the evaluation, suitable concepts are selected and checked in a test environment. The implementation by means of RFID, a system with frequency range of 125 kHz is selected. In the area of machine vision, implementation is realized with the development environment HDevelop from HALCON.

The verification of the test setups provides an overview of possible solutions and makes complexities and challenges of the technologies visible.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Aufgabenstellung	1
1.3	Ziel der Arbeit.....	1
1.4	Umfeld.....	2
2	Identifikation von Hühnern und Eiern	3
2.1	Unterscheidungsmerkmale von Hennen	3
2.1.1	Das Gefieder.....	3
2.1.2	Kehllappen und Kamm	4
2.2	Das Ei	5
2.3	Herkömmliche Identifikationsverfahren	5
2.3.1	Kükenmarke / Flügelmarke.....	5
2.3.2	Kennzeichnungsringe	6
2.3.3	Zuordnung des Eis durch Fallnestkontrolle	6
2.4	Automatische Identifikationsverfahren.....	7
2.4.1	Identifikationsmerkmale	7
2.4.1.1	Natürliche Identifikationsmerkmale	8
2.4.1.2	Künstliche Identifikationsmerkmale	9
2.4.2	Identifikation mittels RFID.....	9
2.4.2.1	Komponenten eines RFID-Systems	9
2.4.2.2	Frequenzbereiche und deren Besonderheiten.....	10
2.4.2.3	Arbeitsweise	12
2.4.2.4	Transpondertypen	13
2.4.2.5	Tieridentifikation	14
2.4.3	Identifikation mittels Bildverarbeitung	14
2.4.3.1	Kamera	15
2.4.3.2	Beleuchtungstechnik	17
2.4.3.3	Einsatzmöglichkeiten.....	21
2.4.4	Identifikation mittels optischer Codierung.....	21
2.4.4.1	Optical Character Recognition	21
2.4.4.2	1D- und 2D-Codes.....	22
2.4.5	Identifikation des Eis durch Eigenschaften	25
3	Recherche und Auswahl geeigneter Konzepte.....	26
3.1	Konzepte mittels RFID.....	26
3.1.1	Auswahl der geeigneten RFID-Frequenz	26
3.1.2	Auswahl der geeigneten Transponderposition am Huhn	29
3.1.2.1	Transponder als Injektat.....	30
3.1.2.2	Flügelmarke mit integriertem Transponder	30
3.1.2.3	Geflügelring mit integriertem Transponder.....	31

3.1.2.4	Gegenüberstellung der Transponderpositionen	31
3.1.2.5	Fazit	31
3.1.3	Konzept der Zutrittsüberwachung mittels RFID	31
3.1.3.1	Positionsverfolgung mittels Lichtschranke	32
3.1.3.2	Positionsverfolgung durch zwei RFID-Lesegeräte	33
3.1.3.3	Gegenüberstellung der Konzepte.....	34
3.1.3.4	Fazit	34
3.1.4	Konzept zur Ermittlung der Legeleistung mittels RFID.....	34
3.1.4.1	Konzept zur Identifikation der Legehenne.....	35
3.1.4.2	Erkennung des gelegten Eis	36
3.1.4.3	Gegenüberstellung der Konzepte.....	37
3.1.4.4	Fazit	37
3.2	Konzepte mittels Bildverarbeitung	37
3.2.1	Konzepte zur Identifikation der Legehenne	37
3.2.1.1	Federkleid	37
3.2.1.2	Kamm	37
3.2.1.3	Künstliche Identifikationsmerkmale	38
3.2.1.4	Vergleich der Konzepte	39
3.2.1.5	Fazit	40
3.2.2	Kamera	40
3.2.2.1	Webcam – Besteker FHD1536P	40
3.2.2.2	Basler acA1300-60gmNIR GigE.....	41
3.2.3	Konzepte zur Positionierung der Kamera.....	42
3.2.3.1	Zutrittsüberwachung	42
3.2.3.2	Legeleistung	43
3.2.4	Auswahl der geeigneten Beleuchtung	46
3.2.4.1	Tunnel.....	46
3.2.4.2	Nest	46
3.2.5	Bildverarbeitungssoftware - HALCON	47
4	Versuche	48
4.1	Umsetzung mittels RFID.....	48
4.1.1	RFID-Komponenten.....	48
4.1.1.1	Geflügelring	49
4.1.1.2	Lesegerät.....	49
4.1.2	Umsetzung der Zutrittsüberwachung.....	50
4.1.2.1	Tunnel mit Durchgangsantenne	50
4.1.2.2	Tunnel mit horizontal angeordneter Leseantenne.....	55
4.1.3	Erfassung der Legeleistung.....	60
4.1.4	Software.....	63
4.1.4.1	Umsetzung der Zutrittsüberwachung	63
4.1.4.2	Ermittlung der Legeleistung.....	64
4.2	Umsetzung mittels Bildverarbeitung	66

4.2.1	Umsetzung der Zutrittsüberwachung.....	67
4.2.1.1	Positionierung der Kamera.....	67
4.2.1.2	Beleuchtung.....	68
4.2.1.3	Bildverarbeitung mit HALCON.....	69
4.2.1.4	Fazit.....	70
4.2.2	Erfassung der Legeleistung.....	70
4.2.2.1	Positionierung der Kamera.....	71
4.2.2.2	Beleuchtung.....	71
4.2.2.3	Bildverarbeitung mit HALCON.....	72
4.2.3	Verschmutzung der Hühnermarke.....	81
5	Ergebnisse und Ausblick.....	82
5.1	Ergebnisse.....	82
5.1.1	Umsetzung mittels RFID.....	82
5.1.1.1	Umsetzung der Zutrittsüberwachung.....	82
5.1.1.2	Erfassen der Legeleistung.....	83
5.1.2	Umsetzung mittels Bildverarbeitung.....	83
5.1.2.1	Umsetzung der Zutrittsüberwachung.....	83
5.1.2.2	Erfassung der Legeleistung.....	83
5.2	Ausblick.....	84
	Literaturverzeichnis.....	85
	Abbildungsverzeichnis.....	87
	Tabellenverzeichnis.....	91
	Abkürzungsverzeichnis.....	93

1 EINLEITUNG

Dieses Kapitel dient einfürend zur Beschreibung der Ausgangssituation und der Aufgabenstellung dieser Masterarbeit. Anschließend wird auf die Ziele und das Umfeld eingegangen.

1.1 Ausgangssituation

Die Familie Lederer besitzt einen landwirtschaftlichen Betrieb und plant bis Ende des Jahres 2018 die Anschaffung von ca. 100 Legehennen. Diese sollen als Freilandhennen in einem fahrbaren Freilandhühnerstall gehalten werden. Die Hühner können am Tag den Stall verlassen und finden darin bei Nacht Schutz vor Raubtieren. Der Hühnerstall selbst ist mit Sitzstangen, Legenestern sowie einem Futter- und Wasserautomaten ausgestattet. Da der Hühnerstall mobil ist, können die Hennen auf einfachste Weise zu neuen Weideplätzen transportiert werden. Um die Legehennenhaltung zu optimieren ergibt sich nachfolgende Aufgabenstellung und Zielsetzung für diese Arbeit.

1.2 Aufgabenstellung

Aufgabenstellung ist die Erarbeitung von Konzepten sowie die praktische Umsetzung eines automatisierten Erfassungssystems im Bereich der Legehennenhaltung. Das System soll zu jeder Zeit erkennen, wie viele Hühner sich im Stall befinden damit der Landwirt informiert ist, wenn sich nach Schließung der Auslauföffnung ein Huhn außerhalb des Stalls befindet. Hierbei soll auch untersucht werden, wie ein Huhn, das sich außerhalb des geschlossenen Stalls befindet, automatisch Zutritt bekommt, ohne dass Raubtiere in den Stall gelangen. Ein wesentlicher wirtschaftlicher Faktor ist die Aufzeichnung der Legeleistung je Huhn. Dadurch soll es möglich sein, Rückschlüsse auf das Legeverhalten der Tiere zu ziehen, um Hennen zu identifizieren die das Legenest nicht aufsuchen oder nur wenig Eier legen. Durch die frühzeitige Aussortierung der Hennen kann anhand des eingesparten Futtermittels der Betrieb effizienter geführt werden. Da ein Legenest von mehreren Hennen benützt wird, muss das System die Hennen unterscheiden können.

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel ist die Konzeptionierung eines Systems und die anschließende Überprüfung durch Feldtest, das die Anforderungen eines solchen Hühnerstalls erfüllt. Das System ist für den Schutz der Hühner zuständig und soll die Legeleistung eines jeden Huhns erfassen.

Im theoretischen Teil sollen folgende Themen untersucht werden:

- Wie kann dem Huhn bei geschlossenem Stall Zutritt gewährt werden, ohne dass Raubtiere in den Stall gelangen?
- Wie kann erkannt werden, wie viele Hühner sich im Stall befinden?
- Wie kann die Legeleistung eines jeden Huhns ermittelt werden?

Im praktischen Teil der Arbeit soll der in der Theorie erarbeitete Lösungsansatz evaluiert werden, ob dieser die in der Praxis geforderten Ansprüche tatsächlich erfüllt. Die Evaluierung der Konzepte soll anhand von Versuchsaufbauten im Feld erfolgen.

1.4 Umfeld

Wie eingangs schon angedeutet wird diese wissenschaftliche Arbeit am elterlichen Betrieb durchgeführt. Für die Evaluierung der erarbeiteten Konzepte durch Versuchsaufbauten, steht der in Abbildung 1 dargestellte Freilandhühnerstall zu Verfügung.



Abbildung 1: Freilandhühnerstall, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Auslauföffnung für die Umsetzung der automatisierten Zutrittsüberwachung hat eine Größe (H x B) von 250 mm x 300 mm. Des Weiteren besitzt der Hühnerstall 10 aneinandergereihte Legenester. Anhand dieser soll die Machbarkeit zur automatisierten Erfassung der Legeleistung geprüft werden. Die Legenester besitzen die in Abbildung 2 dargestellten Abmessungen.

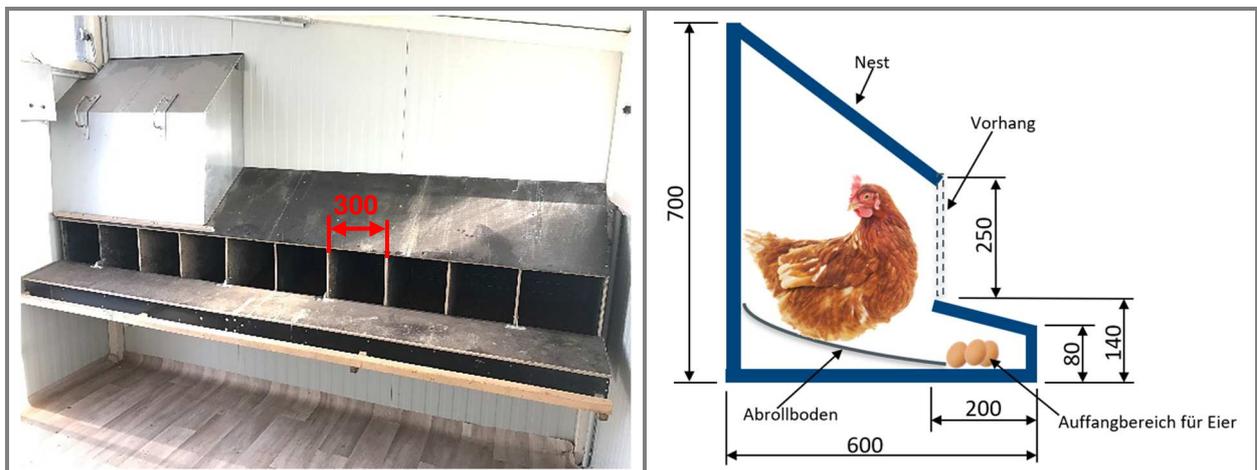


Abbildung 2: Abmessungen der Legenester (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.

2 IDENTIFIKATION VON HÜHNERN UND EIERN

Dieses Kapitel behandelt die grundlegenden Unterscheidungsmerkmale von Hühnern und gibt einen Überblick über die herkömmlichen Verfahren zur Identifikation und Ermittlung der Legeleistung. Im Anschluss werden verschiedene Identifikationssysteme betrachtet, die das Identifizieren und Erkennen von Henne und Ei automatisieren sollen, sodass keine manuelle Arbeit nötig ist.

2.1 Unterscheidungsmerkmale von Hennen

Dieses Unterkapitel befasst sich mit Unterscheidungsmerkmalen von Hühnern und soll als Anregung zur späteren Untersuchung und Merkmalsidentifikation dienen. Da es nur eine begrenzte Anzahl an geeigneter Literatur in diesem Bereich gibt, werden teilweise Merkmale behandelt, die zur Unterscheidung der Rasse dienen. Daher muss in späterer Folge geprüft werden, ob diese für die Arbeit anwendbar sind.

2.1.1 Das Gefieder

Das Gefieder eines Huhns lässt sich grob in vier unterschiedliche Arten einteilen:¹

- Konturfedern
- Dunen
- Halbdunen
- Fadenfedern

Wesentlich für das Aussehen eines Huhns sind die Konturfedern, die in Abbildung 3 dargestellt sind. Dies sind die größten Federn und bestimmen Färbung sowie Gestalt des Huhns. Die sogenannten Hakenstrahlen im oberen Teil der Federfahne besitzen feine Häkchen, während die Bogenstrahlen leicht konvex sind und sich dadurch mit den angrenzenden Hakenstrahlen wie ein Reißverschluss miteinander verzahnen.¹

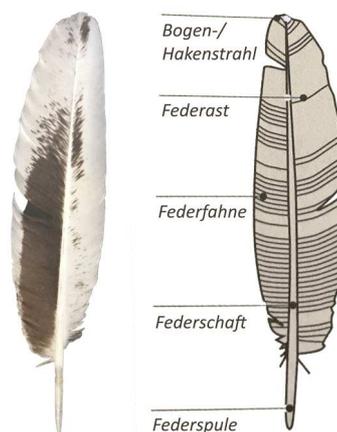


Abbildung 3: (links) Leicht beschädigte Konturfeder aus dem Flügel und (rechts) Aufbau einer Feder, Quelle: Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 42 f.

Die Feder besteht aus einem hohlen Schaft mit Seitenästen, die zusammen die Federfahne bilden. Die vom Schaft abgehenden Äste verzweigen sich in Haken- und Bogenstrahlen. Die unterschiedliche Beschaffenheit der Haken- und Bogenstrahlen definieren Struktur und Form der Feder. Bei der

¹ Vgl. Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 42 f.

sogenannten Mauser wird das Federkleid jährlich erneuert, sobald dieses abgenutzt ist. Die Dauer der Mauser hängt dabei von vielen Faktoren, wie Ernährung und Gesundheit des Huhns ab. In dieser Zeit fallen die Federn in einer bestimmten Reihenfolge, beginnend am Kopf, anschließend am Hals, am Körper und letztendlich an Schwanz und Flügeln aus.¹

2.1.2 Kehllappen und Kamm

Abhängig von der Rasse gibt es Kämmen und Kehllappen in verschiedenen Formen, Größen und Farben. Mit dem Alter des Huhns ändert sich auch die Farbe des Kamms. Ein leuchtend roter oder rosa Kamm bei einer Junghenne deutet darauf hin, dass sie wahrscheinlich bald mit dem Eierlegen beginnt. Der typische Einfachkamm, wie in Abbildung 4 dargestellt, bildet eine gerade Linie vom Vorder- zum Hinterkopf.²

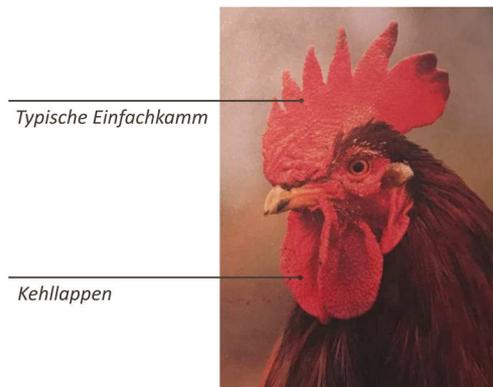


Abbildung 4: Kehllappen und Kamm, Quelle: Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 44.

Er besteht aus fünf bis sechs Kammzacken und läuft in einer dickeren Kammfahne aus. Die beiden Kehllappen sind links und rechts vom Schnabel angeordnet und bestehen gewöhnlich aus einem einzelnen Lappen. Bei Hühnerrassen mit Rosenkamm sind die Lappen zweigeteilt. Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt eine Übersicht verschiedener Kehllappen und Kammformen.²

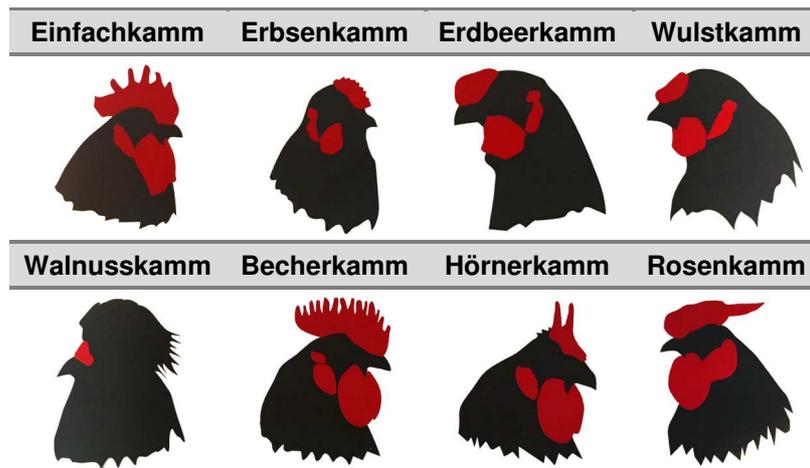


Abbildung 5: Kehllappen und Kammformen von Hühnerrassen, Quelle: Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 44 f (leicht modifiziert).

² Vgl. Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 44.

2.2 Das Ei

Um die Legeleistung von Hühnern ermitteln zu können, ist es notwendig, das gelegte Ei im Nest erfassen zu können. Dabei muss das Ei dem Huhn zugeordnet werden können. Dies kann auf mehrere Arten erfolgen und soll in dieser Arbeit behandelt werden.

Hühner gehören zur Familie der Vögel und weisen eine ovale Eiform auf. Geometrisch wird diese Form als Ovoid bezeichnet. Bei dieser Form des Eis liegt die breiteste Stelle nicht mehr in der Mitte der Längsachse, wodurch das Ei eine runde und eine spitzte Seite hat.³ Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt die typische Eiform eines Legehuhns.



Abbildung 6: Typische Eiform einer Henne, Quelle: Eigene Darstellung.

Abhängig von der Hühnerrasse kann die Farbe des Eis beispielsweise braun (Abbildung 6), weiß oder sogar grün sein.

2.3 Herkömmliche Identifikationsverfahren

In diesem Unterkapitel wird auf die aktuellen Verfahren eingegangen, welche für die Identifikation und Zuordnung von Tier und Ei eingesetzt werden. Diese Methoden werden hauptsächlich in der Hühnerzucht verwendet, können aber auch für die in dieser Arbeit definierte Zielsetzung zum Teil eingesetzt werden.

2.3.1 Kükenmarke / Flügelmarke

Jungtiere werden durch eine sogenannte Kükenmarke gekennzeichnet. Wie in Abbildung 7 dargestellt, wird die Marke in die Hautfalte des Flügels geklippt.⁴



Abbildung 7: Korrekter Sitz der Kükenmarke, Quelle: Stricker (o.J.), Online-Quelle [15.08.2018].

³ Vgl. Schläpfer (2012), Online-Quelle [08.28.2018], S. 3.

⁴ Vgl. Horst Stengel & Sohn e.K. (o.J.), Online-Quelle [15.08.2018].

einen Mechanismus daran gehindert, das Nest eigenständig zu verlassen. Nur so kann das Ei dem Huhn eindeutig zugeordnet werden. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass Hennen nicht zu lange im Fallnest verweilen müssen, da sie ansonsten das Nest nicht mehr zum Legen aufsuchen. Das weitverbreitetste und einfachste Fallnest ist das sogenannte Klappfallnest, welches in Abbildung 10 dargestellt ist.⁶



Abbildung 10: Klappfallnest, Quelle: Günther (2016), Online-Quelle [15.08.2018].

2.4 Automatische Identifikationsverfahren

Um Henne und Ei automatisch und eindeutig identifizieren zu können, bedarf es sogenannter automatischer Identifikationsverfahren. Dieses Unterkapitel beschreibt die Grundlagen verschiedenster Identifikationsverfahren und liefert das Basiswissen für die anschließende Umsetzung sowie Bewertung ausgewählter Systeme zur Identifizierung von Henne und Ei.

Unterschiedliche Aufgabenstellungen führen zu verschiedenen Anforderungen an die Identifikationstechnologie. Für die Auswahl der geeigneten Technologie sind folgende Anforderungen entscheidend:⁷

- Sicherstellen der Lesesicherheit
- Berücksichtigung der Lesegeschwindigkeit in der geplanten Anwendung
- Vorhandensein genügend ausreichender Identifikationsmerkmale
- Je nach Einsatzgebiet adaptierbarer Leseabstand
- Sicherstellen der Kompatibilität mit anderen Teilnehmern
- Kosteneffizienz des Systems

2.4.1 Identifikationsmerkmale

Identifikationsmerkmale werden benötigt, um Gegenstände oder Objekte eindeutig identifizieren zu können. Abhängig vom Einsatz muss geprüft werden, welche Merkmale erkannt werden müssen. Sind ein, oder mehrere Eigenschaften zu erkennen, können auch andere Identifikationsmerkmale herangezogen werden, als sei das Objekt selbst eindeutig zu identifizieren. Durch die Identifizierung nach Eigenschaften

⁶ Vgl. Richter/Juhre (o.J.), S. 3 ff.

⁷ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 9.

kann es zu Klassifizierung sowie Sortierung der Objekte kommen. Eigenschaften von Objekten können sein:⁸

- Höhe
- Breite
- Länge
- Gewicht
- Volumen
- Farbe
- Temperatur
- Werkstoff
- Verpackungsmaterial

2.4.1.1 Natürliche Identifikationsmerkmale

Zu den natürlichen Identifikationsmerkmalen gehören die biometrischen Verfahren. Unter Biometrie wird die Vermessung von Individuen durch quantitative Identifikationsmerkmale verstanden. Die Merkmale werden als digitales Muster gesichert und dienen der Identifikation oder Authentifikation. Bei der Authentifikation handelt es sich um eine Prüfung, ob das Individuum einer bestimmten Gruppe zugeordnet ist. Wird eine eindeutige Erkennung eines Individuums angestrebt, spricht man von Identifikation. Beide Verfahren arbeiten mit dem Prinzip des Vergleichs des neu erfassten Musters mit dem gesicherten Referenzmuster. Durch Vergleich der Ähnlichkeiten mit dem Referenzmuster wird entschieden, ob die Übereinstimmung ausreichend ist. Nachteil biometrischer Verfahren ist die große Menge an Daten die verarbeitet werden müssen. Zu den natürlichen Identifikationsmerkmalen von Individuen gehören beispielsweise:⁹

- Finger (*Fingerabdruckscan*)
- Gesicht (*Gesichtserkennung*)
- DNA – Desoxyribonukleinsäure
(*Scan des "genetischen Fingerabdrucks"*)
- Körpergröße (*Vermessung*)
- Retina
(*Netzhautscan, Augenhintergrundscan*)
- Regenbogenhaut (*Iris Scan*)
- Stimme (*Stimmprofilanalyse*)
- Schrift und Unterschrift
(*Schriftprobenauswertung*)

Zur Erkennung des Huhns muss in diesem Fall geprüft werden ob, Form, Farbe oder Musterung des Federkleides zur Identifikation ausreichend sind. Die Unterscheidung der Kämme könnte ein weiteres Merkmal sein. Eier können beispielsweise durch eine Gewichtsmessung erkannt werden.

⁸ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 9.

⁹ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 11 f.

2.4.1.2 Künstliche Identifikationsmerkmale

Künstliche Identifikationsmerkmale sind symbolische Merkmale, die an Gegenständen oder Objekten angebracht werden, um diese identifizieren zu können. Die Merkmale können sowohl alphanumerische Merkmale, wie Klarschrift und Sonderzeichen sein, sowie Punkt- und Strichmuster als auch bildhafte Darstellungen. Eine weitere Art von künstlichen Identifikationsmerkmalen ist das Anbringen von elektronischen Mikrosystemen, deren Funktion es ist, auf die darin abgelegten Daten zuzugreifen. Zu dieser Form der Identifikation gehört das Kennzeichnen von Objekten mittels Radio Frequency Identification (RFID).¹⁰

Zu den künstlichen Identifikationsmerkmalen gehören beispielsweise:

- 1D- und 2D-Codes
- Lochstreifenkarte
- Magnetkarte
- RFID-Transponder

Ist eine natürliche Identifikation des Tieres nicht möglich, kann auf künstliche Identifikationsmerkmale zurückgegriffen werden. Beispiel hierfür sind die in Abschnitt 2.3.1 erwähnten Flügelmarken, die mit 1D- oder 2D-Codes versehen werden können.

2.4.2 Identifikation mittels RFID

Die RFID-Technologie hat sich heute in vielen Bereichen der automatischen Identifikation (AutoID) etabliert und gewinnt immer mehr an Bedeutung. Im Bereich der Tiermedizin und Tierhaltung wird diese Technologie seit längerem zur eindeutigen Kennzeichnung eingesetzt.¹¹

2.4.2.1 Komponenten eines RFID-Systems

Ein RFID-System nutzt Radiowellen zum Übertragen von Daten und besteht aus zwei Einheiten. Einerseits aus dem Transponder, der am Objekt bzw. am Tier angebracht wird und andererseits aus dem Lesegerät. Das Lesegerät kann je nach eingesetzter Technologie auch als Leseschreibeinheit fungieren und nicht nur Daten vom Transponder auslesen, sondern auch zur Programmierung des Transponders dienen. Wie in Abbildung 11 dargestellt, bestehen beide Einheiten des Systems aus einer Antenne zum Senden und Empfangen der Signale sowie aus einem Chip zum Verarbeiten der Daten. Üblicherweise besitzt das RFID-System eine zusätzliche Schnittstelle, die mit einem Computer oder anderen Geräten verbunden werden kann.¹²

¹⁰ Vgl. Hippenmeyer/Moosmann (2016), S. 21.

¹¹ Vgl. Hippenmeyer/Moosmann (2016), S. 57.

¹² Vgl. Kern (2007), S. 33 f.

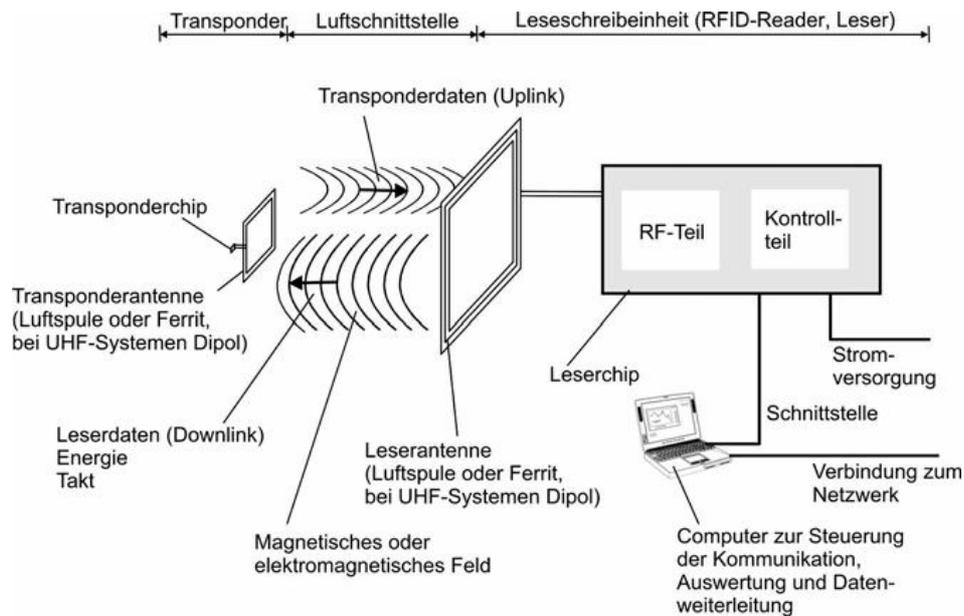


Abbildung 11: Komponenten eines RFID-Systems, Quelle: Kern (2007), S. 34.

2.4.2.2 Frequenzbereiche und deren Besonderheiten

Zur Kommunikation zwischen Transponder und Lesegerät nutzen RFID-Systeme je nach eingesetzter Technologie unterschiedliche Betriebsfrequenzen. Der Frequenzbereich erstreckt sich von einige Kilohertz bis in den Mikrowellenbereich.¹³

Abhängig vom Einsatzgebiet und der daraus resultierenden Einflussfaktoren, spielt die Auswahl der geeigneten Betriebsfrequenz eine große Rolle. Grund dafür sind die verschiedenen Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen. Hinzu kommt, dass die Betriebsfrequenzen der RFID-Systeme im selben Bereich wie Radiosender und andere Funkanlagen arbeiten. Aus diesem Grund sind die Frequenzbereiche auch staatlich geregelt.¹⁴

Die Frequenzen können grundsätzlich in folgende Bereiche gegliedert werden:¹⁵

- 30 kHz bis 300 kHz: Niedrige Frequenz (Low Frequency, LF)
- 3 MHz bis 30 MHz: Mittlere Frequenz (High Frequency, HF)
- 300 MHz bis 3 GHz: Hohe Frequenz (Ultra High Frequency, UHF)
- > 3 GHz: Mikrowelle (Super High Frequency, SHF)

Die Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der in Europa zugelassenen Frequenzen, Frequenzbänder, mögliche Reichweiten sowie deren Eigenschaften. Die angeführten Reichweiten sind theoretischer Natur und stark abhängig von verschiedenen Faktoren. Beispielsweise kann der Aufbau der Antennen, Störsignale und andere Umgebungseinflüsse die Reichweite beeinträchtigen.¹⁶

¹³ Vgl. Finkenzeller (2015), S. 24.

¹⁴ Vgl. Kern (2007), S. 41.

¹⁵ Vgl. Finkenzeller (2015), S. 15.

¹⁶ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 106 f.

	125 kHz	13,56 kHz	868 MHz	2,45 MHz
Wellenlänge	2400 m	22 m	0,35 m	0,12 m
Energieübertragung	induktive Kopplung Nahfeld	induktive Kopplung Nahfeld	elektromagnetische Welle	elektromagnetische Welle
Besonderheiten	auf Metall lesbar	durch Dielektrikum lesbar	Reflektion an Metalloberflächen	Reflektion an Metalloberflächen
Reichweite	1 m	3 m	10 m	> 10 m
Bandbreite (EU)	5 kHz	14 kHz	3 MHz	9 MHz

Tabelle 1: Vergleich der in Europa zugelassenen RFID-Frequenzen, Quelle: Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 106 (leicht modifiziert).

Der in Tabelle 1 nicht angeführte Frequenzbereich von 433 MHz hat nur geringe Bedeutung für RFID-Systeme, da in diesem Bereich sehr viele andere Funkssysteme bzw. Geräte genutzt werden.¹⁷

Abhängig von der Betriebsfrequenz besitzen RFID-Systeme unterschiedliche Besonderheiten. Systeme, die im LF-Bereich arbeiten, durchdringen Wasser und andere geringleitende Materialien deutlich besser als jene mit höherer Arbeitsfrequenz. Beim Durchdringen dieser Materialien ist die Dämpfung bei 100 kHz um den Faktor 100.000 niedriger als bei 1 GHz. Aus diesem Grund werden niederfrequente Systeme gerne in der Tierkennzeichnung eingesetzt. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz eines speziellen Transponders (Bolus), der in den Vormagen von Rindern platziert wird und mit einer Frequenz < 135 kHz arbeitet. RFID-Systeme mit zunehmender Frequenz weisen hingegen eine höhere Reichweite auf. Ein Vorteil hochfrequenter Systeme ist die geringere Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störfeldern, die beispielsweise durch Elektromotoren entstehen können. Aus diesem Grund werden im Bereich von Industrieanlagen RFID-Systeme im höheren Frequenzbereich eingesetzt.¹⁸

Mit steigender Frequenz nimmt auch die Datenübertragungsrate zu. Bei Tiertranspondern, die im LF-Bereich arbeiten, wird für gewöhnlich aufgrund der geringen Übertragungsrate auf die Programmierbarkeit verzichtet. Der Transponder besitzt nur eine eindeutige Identifikationsnummer (Unique Identifier, UID) von 32 oder 64 Bit, die beim Vorbeibewegen des Tieres an der Leseantenne in relativ kurzer Zeit ausgelesen werden kann.¹⁹

¹⁷ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 106 f.

¹⁸ Vgl. Finkenzeller (2015), S. 30.

¹⁹ Vgl. Kern (2007), S. 42 f.

Übliche Übertragungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Betriebsfrequenz sind:²⁰

- 125 kHz bis 135 kHz: 4 kBit/s
- 13,56 MHz: 26 kBit/s
- 433 MHz und 868 MHz: 40 kBit/s
- 2,45 GHz: 320 kBit/s

Nachteile im Frequenzbereich von UHF und SHF können durch Reflexionen entstehen. In Abhängigkeit von der Materialbeschaffenheit und Oberfläche von Objekten können Reflexionen entstehen, die zu Energieverlusten führen und das Auslesen des Transponders unmöglich machen. Auch die Orientierung des Transponders zur Leseantenne spielt eine Rolle. Je höher der Frequenzbereich, desto wichtiger ist die Orientierung zur Leseantenne. Des Weiteren ändert sich die Bauweise der Antenne mit dem Frequenzbereich. Antennen für LF Transponder bestehen vorwiegend aus einem Ferritkern mit einer Kupferspule und bei HF Transpondern aus einer Luftspule. Bei UHF und SHF Systemen werden Dipolantennen eingesetzt. Die Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Besonderheiten von RFID-Systemen in Abhängigkeit der Frequenzbereiche.²¹

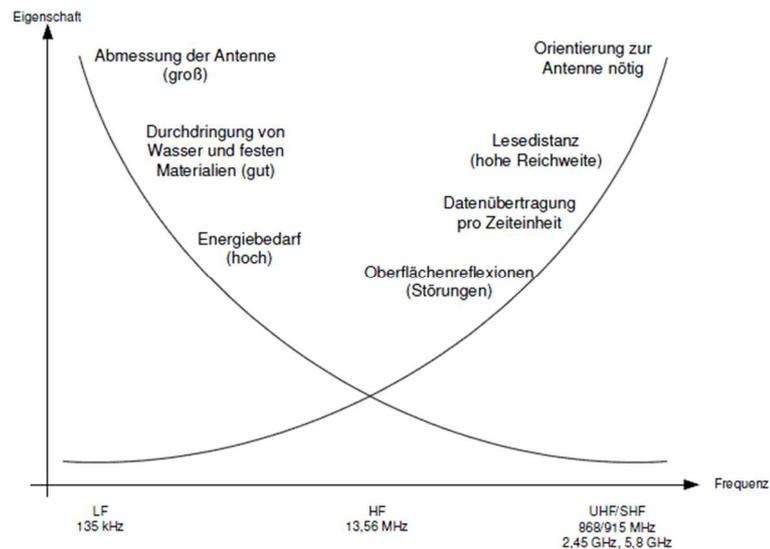


Abbildung 12: Besonderheiten von RFID-Systemen in Abhängigkeit der Frequenzbereiche, Quelle: Kern (2007), S. 41 (leicht modifiziert).

2.4.2.3 Arbeitsweise

Die Kommunikation zwischen Transponder und Lesegerät erfolgt berührungslos. Die Übermittlung der Daten kann je nach Technologie über eine kapazitive Kopplung mittels elektrischem Feld, durch eine induktive Kopplung mittels magnetischem Feld oder durch das sogenannte Backscatter Verfahren mittels elektromagnetischem Feld übertragen werden. Die nachfolgende Abbildung 13 gibt einen Überblick über die verschiedenen Übertragungsverfahren sowie deren Frequenzbereich der Transponder.²²

²⁰ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 107.

²¹ Vgl. Kern (2007), S. 42 f.

²² Vgl. Kern (2007), S. 47 ff.

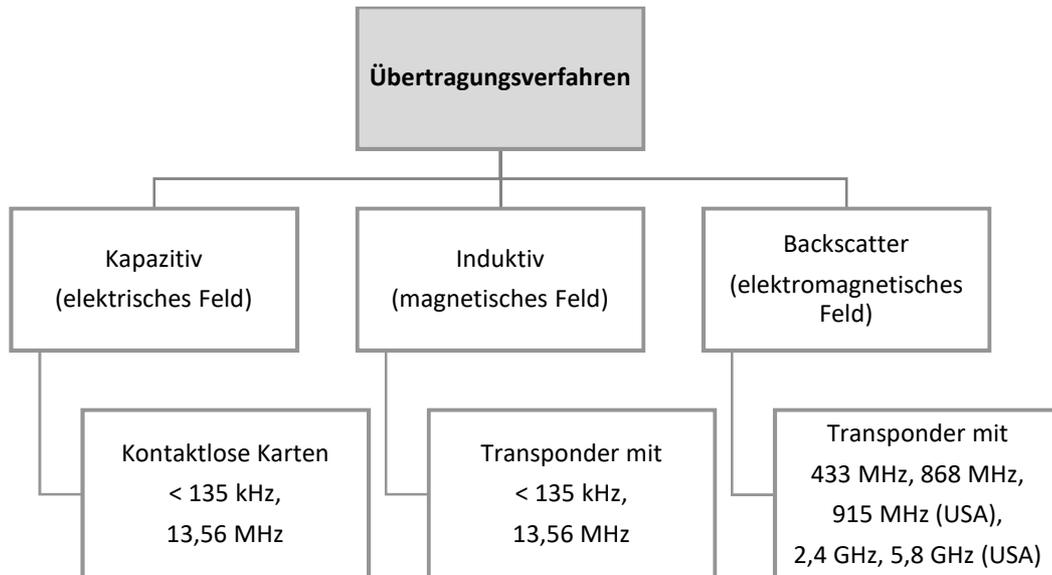


Abbildung 13: Übertragungsverfahren von RFID-Systemen, Quelle: Kern (2007), S. 48 (leicht modifiziert).

Bei der kapazitiven Kopplung erfolgt die Übertragung durch einen Plattenkondensator, bei dem sich das entstehende elektrische Feld zwischen den beiden Platten ändert. Aus dem sich ändernden Feld können die Daten decodiert werden. Systeme mit induktiver Kopplung arbeiten mit dem wechselnden magnetischen Feld und basieren auf dem gleichen Prinzip wie die Kopplung von zwei Spulen bei einem Transformator. Die Antenne des Lesegerätes induziert eine Spannung in die Antenne des Transponders. Ein Transponder, der sich im Feld des Lesegerätes befindet, entzieht dem magnetischen Wechselfeld Energie. Der Entzug der Energie kann vom Lesegerät als Änderung der Impedanz wahrgenommen werden. Der Transponder kann durch Zu- und Wegschalten eines Widerstandes die Entnahme der Energie beeinflussen und so ein Signal erzeugen, das vom Lesegerät dekodiert werden kann. Diese Art der Kommunikation wird als Lastmodulation bezeichnet. Beim Backscattering Verfahren werden elektromagnetische Wellen vom Transponder nicht zurückgesendet, sondern die vom Lesegerät ausgesendeten Wellen reflektiert. Die Datenübertragung erfolgt dadurch, dass die Rückstrahlungseigenschaften des Transponders geändert werden. Steht der Transponder in Resonanz mit dem Lesegerät, bedeutet dies eine sehr hohe Reflexion der ausgesendeten elektromagnetischen Wellen. Durch Zu- und Wegschalten eines Lastwiderstandes kann der Transponder seine Rückstrahlungseigenschaften verändern.²³

2.4.2.4 Transpondertypen

Transponder werden nach der Art ihrer Energieversorgung in aktive und passive Transponder eingeteilt.

Passive Transponder verfügen über keine eigene Energieversorgung und beziehen ihre Energie aus dem vom Lesegerät erzeugten Wechselfeld zur Kommunikation. Befindet sich der Transponder im Kommunikationsbereich des Lesegerätes, induziert das ausgestrahlte Wechselfeld eine Spannung in die Antenne des Transponders und versorgt diesen mit Energie.²⁴

²³ Vgl. Kern (2007), S. 47 ff.

²⁴ Vgl. Finkenzeller (2015), S. 25 f.

Aktive Transponder sind mit einer eigenen Energieversorgung in Form einer Batterie oder sonstiges ausgestattet. Somit wird das ausgestrahlte Wechselfeld des Lesegerätes nicht mehr zur Versorgung des Transponders benötigt und dient rein der Kommunikation. Dadurch kann das Feld des Lesegerätes schwächer sein, was unter Umständen zu einer höheren Kommunikationsreichweite führen kann, solange der Transponder noch in der Lage ist, das Signal zu detektieren.²⁵

2.4.2.5 Tieridentifikation

Die Identifikation mittels RFID in der Nutztierhaltung hat schon lange Einzug gehalten. Vorteil dieser Technologie ist die Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen, wie z.B. Schmutz. Es stehen verschiedene Transponderbauformen zur Verfügung, die je nach Tierart eingesetzt werden. Diese arbeiten vorwiegend im LF-Frequenzbereich. Zur Kennzeichnung von Geflügel werden zurzeit injizierbare Transponder und sogenannte Geflügelringe angeboten.

Injizierbare Transponder, wie in Abbildung 14 dargestellt, sind Glastransponder in der Länge von 12, 24 und 32 mm und können an verschiedenen Stellen des Tierkörpers appliziert werden. Nachteil dieser Kennzeichnungsmethode ist die aufwändige Entnahme des Injektats bei der Schlachtung.²⁶

Geflügelringe hingegen werden am Bein des Huhns befestigt und können auf einfache Weise wieder entfernt werden. Die Ringe selbst beinhalten den Transponder zur Identifizierung des Tieres. Die Abbildung 15 zeigt einen solchen Transponder.



Abbildung 14: Injizierbarer Transponder, Quelle: L-mobile solutions GmbH & Co. KG (2018), Online-Quelle [29.08.2018].



Abbildung 15: Geflügelring mit Transponder, Quelle: RFIDSolutions e.K. (2018), Online-Quelle [12.11.2018].

2.4.3 Identifikation mittels Bildverarbeitung

Die Bildverarbeitung hat sich in den letzten Jahren zu einer der Schlüsseltechnologien in der Objektidentifikation entwickelt. Mit Hilfe von Bildverarbeitungssystemen soll die Identifikation von Huhn und Ei ermöglicht werden. In diesem Abschnitt wird auf den Aufbau und die grundlegende Funktionsweise eines Bildverarbeitungssystems eingegangen, sowie Grundkenntnisse, die zu beachten sind, erläutert.

Durch die Bildverarbeitung können Oberflächeninspektionen von Objekten, Objektidentifikationen und Klassifizierungen sowie die Lagebestimmung und Vermessung von Objekten durchgeführt werden. Der Einsatz solcher Systeme ist meist dann sinnvoll, wenn die Erkennungsgeschwindigkeit und Genauigkeit

²⁵ Vgl. Finkenzeller (2015), S. 25 f.

²⁶ Vgl. Kern (2007), S. 104 ff.

sowie die Objektivität des Erkennens von großer Bedeutung sind. Die Abbildung 16 zeigt einen typischen Aufbau eines Bildverarbeitungssystems.²⁷

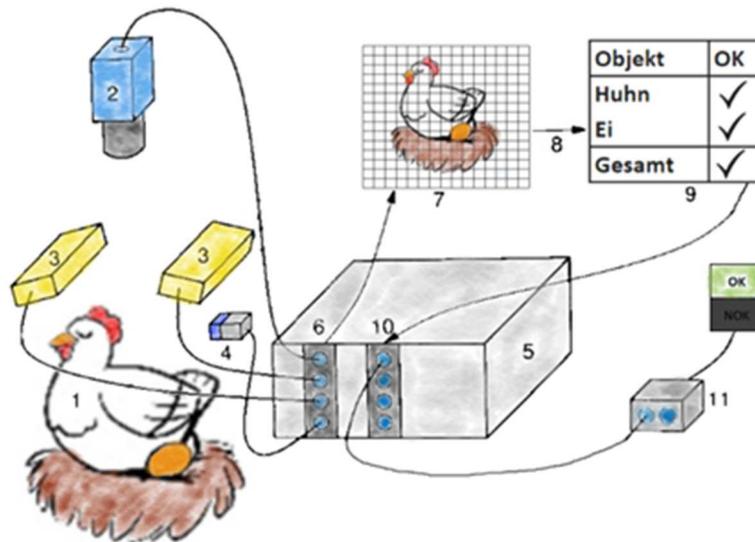


Abbildung 16: Komponenten eines Bildverarbeitungssystems, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Objekt (1), in diesem Fall Huhn und Ei, wird mit einer für die Anwendung geeigneten Beleuchtung (3) entsprechend bestrahlt. Mittels einer Kamera (2) wird das beleuchtete Objekt erfasst und über eine Schnittstelle (6) an den Computer (5) gesendet. Der Gerätetreiber (7) der Schnittstelle setzt das empfangene Bild zur Verarbeitung im Speicher des Computers zusammen. Bei dem Computer kann es sich um einen Standard Industrie-PC handeln oder um einen Computer, der direkt in der Kamera selbst implementiert ist. Eine Kamera, die den Computer schon eingebaut hat, wird auch als intelligente Kamera bezeichnet. Die Bildverarbeitungssoftware (8) überprüft das empfangene Bild und wertet die Daten entsprechend aus. Das Ergebnis der Auswertung wird zurückgegeben (9) und kann beispielsweise über eine Ein-/ Ausgabeschnittstelle (10), an eine Steuerung (11) weitergeleitet werden. Die Steuerung kann eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) oder eine andere dafür geeignete Steuerung sein. Diese führt wiederum abhängig vom Ergebnis der Auswertung eine Aktion aus. Speziell bei industriellen Anlagen wird das Objekt meist mechanisch mittels Förderband an der Kamera vorbeibewegt. Bei dieser Anwendung kann ein photoelektrischer Sensor (4) eingesetzt werden, der die Bilderfassung auslöst.²⁸

2.4.3.1 Kamera

Aufgabe der Kamera ist es, ein Bild des Objekts zu erzeugen, das zur Bildverarbeitung genutzt werden kann. Wichtigster Bestandteil einer Kamera ist der digitale Sensor. Dabei werden folgende Sensortechnologien unterschieden:²⁹

- Ladungsgekoppeltes Bauteil (Charge Coupled Device, CCD)
- Komplementär Metalloxid-Halbleiter (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS)

²⁷ Vgl. Hesse/Schnell (2014), S. 365.

²⁸ Vgl. Steger/Ulrich/Wiedemann (2018), S. 1 ff.

²⁹ Vgl. Steger/Ulrich/Wiedemann (2018), S. 41.

CCD-Sensoren werden hauptsächlich als Flächensensoren in CCD-Chip Bauart angeboten. Ein Chip besitzt eine Vielzahl an aneinandergereihten Fotoelementen. Die Anzahl dieser Elemente, z.B.: 752 x 562 Bildelemente, werden als Pixel bezeichnet. Die Abbildung 17 zeigt den prinzipiellen Aufbau der CCD-Technologie.³⁰

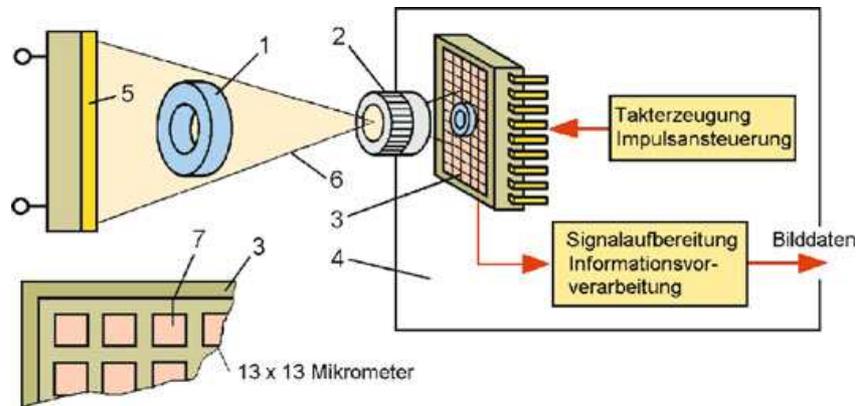


Abbildung 17: Funktionsweise der CCD-Aufnahmetechnik, Quelle: Hesse/Schnell (2014), S. 369.

Das Objekt (1) wird mit Hilfe einer Lichtquelle (5) entsprechend beleuchtet. Über eine Optik (2) wird das im Sichtbereich (6) befindliche Objekt (1) auf den Bildelementen (7) des CCD-Chips (3) abgebildet. Das auf die Fotoelemente einfallende Licht erzeugt proportional zur Lichtintensität Ladungsträgerpaare, die über die Zeit aufsummiert werden. Die elektrischen Ladungen der einzelnen Fotodioden werden in regelmäßigen Zeitabständen ausgelesen und in Reihe über ein analoges CCD-Schieberegister an den Ausgangsverstärker weitergeleitet. Im Ausgangsverstärker werden die Ladungen in analoge Spannungen umgewandelt, die am Ausgang des Sensors zur Verfügung stehen.³⁰

Bei **CMOS-Sensoren** werden, im Gegensatz zu den CCD-Sensoren, die Ladungspakete direkt bei den Fotoelementen abgeholt. Ein Schieberegister ist nicht nötig. Diese Sensoren zeichnen sich durch eine hohe Dynamik, geringen Leistungsbedarf und hohe Temperaturstabilität aus. CMOS-Sensoren haben gegenüber CCD-Sensoren auch den Vorteil, dass es nicht zum sogenannten Blooming kommen kann. Bei zu intensivem und langem Lichteinfall einzelner Fotoelemente kann es zur Sättigung dieser führen. Die gesättigten Elemente können ihre Ladung nicht mehr vollständig halten und geben diese an benachbarte, korrekt belichtete Fotoelemente ab. Dieser Effekt kann bei CMOS-Sensoren nicht auftreten, da die Ladung direkt bei den einzelnen Fotoelementen abgenommen wird.³⁰

³⁰ Vgl. Hesse/Schnell (2014), S. 367 ff.

Die Qualität der CCD- und der CMOS-Technologie ist vergleichbar. Die Tabelle 2 soll eine grobe Übersicht der Haupteigenschaften der beiden Technologien geben.

Prinzip	CCD	CMOS
Pixelsignal	Ladungen	Spannungen
Arbeitsweise	Integrierend	Proportional
Rauschpegel	Gering	Mittel
Gleichförmigkeit	Hoch	Gering
Geschwindigkeit	Mittel	Hoch
Kosten	Mittel	Gering

Tabelle 2: Gegenüberstellung von CCD- und CMOS-Sensoren, Quelle: Hesse/Schnell (2014), S. 371.

Die Auflösung eines Bildes wird durch die Anzahl der Zeilen m und die Anzahl der Fotoelemente n je Zeile bestimmt. Mit steigender Auflösung steigt auch die Anzahl der Elemente, die zur Auswertung des Bildes zur Verfügung stehen. Abhängig davon, ob es sich um ein Schwarz-Weiß-, Grau- oder Farbbild handelt, muss das Bild entsprechend digitalisiert werden. Die Abbildung 18 zeigt ein Beispiel zur Digitalisierung in Schwarz-Weiß-Darstellung.³¹

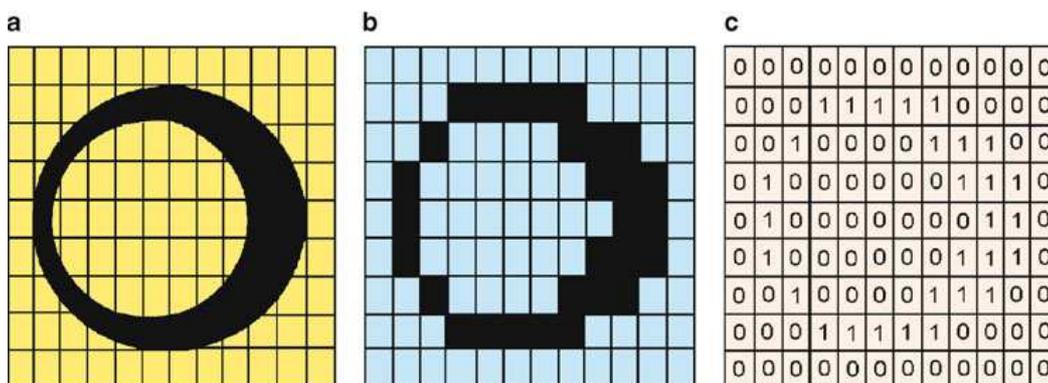


Abbildung 18: Digitalisierung in Schwarz-Weiß-Darstellung. (a) reales Objekt, (b) gerastertes Objekt, (c) digitalisiertes Objekt; Quelle: Hesse/Schnell (2014), S. 370.

Abhängig von der Darstellung müssen entsprechend große Datenmengen gespeichert werden. Die Schwarz-Weiß-Darstellung ist die einfachste Form und benötigt je Fotoelement eine 1-Bit Zahl (0 steht für Weiß, 1 steht für Schwarz). Zur Darstellung in Graustufen benötigt man eine 8-Bit Zahl, die eine Unterteilung von 256 Graustufen zulässt und der Unterscheidungsfähigkeit des menschlichen Auges entspricht. Für ein Farbbild benötigt man hingegen eine 24-Bit Zahl.³¹

2.4.3.2 Beleuchtungstechnik

Hauptaufgabe der Beleuchtung ist es, wichtige Merkmale von Objekten so gut wie möglich sichtbar zu machen. Eine wichtige Rolle in der Beleuchtung spielt die spektrale Abstimmung von Licht auf das Objekt. Der Einsatz von monochromem Licht kann beispielsweise den Kontrast bestimmter Merkmale von farbigen

³¹ Vgl. Hesse/Schnell (2014), S. 370 f.

Objekten hervorheben. Darüber hinaus kann die Sichtbarkeit von Objekten, über den Beleuchtungswinkel mit dem das Objekt angestrahlt wird, verbessert werden.³²

Typen von Lichtquellen

In der Bildverarbeitung werden vorwiegend folgende Lichtquellen eingesetzt:³²

- Glühlampen
- Xenon-Lampen
- Leuchtstofflampen
- Leuchtdioden (Light Emitting Diode, LED)

LEDs haben viele praktische Vorteile, weshalb sie derzeit die primäre Beleuchtungstechnologie in der Bildverarbeitung sind.

Elektromagnetische Strahlung

Licht ist eine elektromagnetische Strahlung eines bestimmten Wellenlängenbereichs. Die nachfolgende Tabelle 3 gibt einen Überblick über den relevanten Wellenlängenbereich für die Bildverarbeitung.

Bereich	Name	Abkürzung	Wellenlänge λ
Ultraviolett	Extremes UV		1 nm - 100 nm
	Vakuum UV	UV-C	100 nm - 190 nm
	Fernes UV		190 nm - 280 nm
	Mittleres UV	UV-B	280 nm - 315 nm
	Nahes UV	UV-A	315 nm - 380 nm
Sichtbarer Bereich	Blau-Violett		380 nm - 430 nm
	Blau		430 nm - 480 nm
	Grün-Blau		480 nm - 490 nm
	Blau-Grün		490 nm - 510 nm
	Grün		510 nm - 530 nm
	Gelb-Grün		530 nm - 570 nm
	Gelb		570 nm - 580 nm
	Orange		580 nm - 600 nm
	Rot		600nm - 720 nm
	Rot-Violett		720 nm - 780 nm
Infrarot	Nahes Infrarot	IR-A	780 nm - 1,4 μm
		IR-B	1,4 μm - 3 μm
	Mittleres Infrarot		3 μm - 50 μm
	Fernes Infrarot	IR-C	50 μm - 1 mm

Tabelle 3: Einteilung der elektromagnetischen Strahlung, Quelle: Steger/Ulrich/Wiedemann (2018), S. 6 (leicht modifiziert).

Der für den Menschen sichtbare Wellenlängenbereich liegt zwischen 380 nm und 780 nm. Elektromagnetische Strahlung mit kürzeren Wellenlängen wird als ultraviolette (UV) Strahlung bezeichnet, gefolgt von Röntgen- und Gammastrahlen. Wellenlängen, die länger als der sichtbare Bereich sind, werden

³² Vgl. Steger/Ulrich/Wiedemann (2018), S. 5 ff.

als infrarote (IR) Strahlung bezeichnet. Elektromagnetische Strahlung mit noch längeren Wellenlängen sind Mikrowellen und Radiowellen.³³

Die Lichtfarbe, mit dem das Objekt beleuchtet wird, kann entscheidend für die Bildverarbeitung sein. Die Farbe spielt nicht nur beim Einsatz einer Farbkamera eine Rolle, sondern kann bei monochromen Aufnahmen farbiger Objekte für die Anwendung günstige Effekte erzielen. Mit kurzwelligem Licht können feine Strukturen besser dargestellt werden und mit langwelligem Licht können störende Muster ausgeblendet werden. Die Abbildung 19 zeigt einen Farbbalken, der mit unterschiedlichen Wellenlängen beleuchtet wird.³⁴

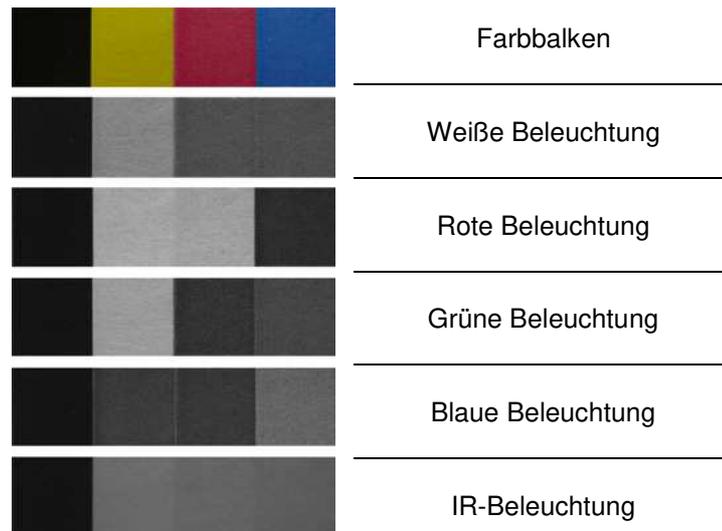


Abbildung 19: Farbbalken beleuchtet mit verschiedenen Wellenlängen, Quelle: LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 11 (leicht modifiziert).

Die unterschiedliche Darstellung der Farbbalken unter Abhängigkeit der Beleuchtungsfarbe kommt daher, dass farbige Objekte bestimmte Wellenlängen absorbieren und andere wiederum reflektieren. Durch die reflektierten Wellenlängen erhält das Objekt seine Farbe, mit der es wahrgenommen wird. Fehlen nun bestimmte Wellenlängen, kann das Objekt nicht richtig dargestellt werden.³⁵

Beleuchtungsarten

Neben der Auswahl der richtigen Lichtfarbe spielt die Beleuchtungsgeometrie und der Winkel zum Objekt eine wichtige Rolle. Je nach Anordnung kann das zu erfassende Objekt unterschiedlich von der Kamera dargestellt werden. Man unterscheidet zwei Beleuchtungsarten:³⁶

- Auflichtbeleuchtung
- Durchlichtbeleuchtung

³³ Vgl. Steger/Ulrich/Wiedemann (2018), S. 5 f.

³⁴ Vgl. LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 11.

³⁵ Vgl. LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 13.

³⁶ Vgl. LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 1.

Bei der **Auflichtbeleuchtung** wird das Objekt von oben, also aus der Richtung der Kamera beleuchtet. Zu dieser Beleuchtungsart gehört die partielle Hellfeldbeleuchtung, sie ist die am häufigsten eingesetzte Beleuchtungstechnik. Die Abbildung 20 zeigt verschiedene Varianten der partiellen Hellfeldbeleuchtung. Das Objekt wird mit einer Ringbeleuchtung, die um die Kamera angeordnet ist, beleuchtet oder leicht schräg zur Kamera mit einer Flächen- oder Spotbeleuchtung bestrahlt.³⁷

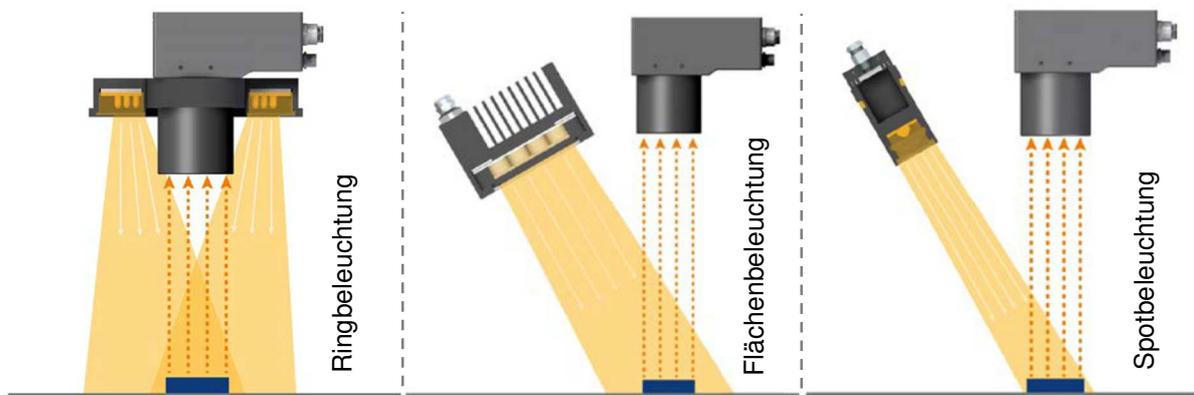


Abbildung 20: Varianten der partiellen Hellfeldbeleuchtung, Quelle: LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 3 (leicht modifiziert).

Ziel dieser Beleuchtungstechnik ist es, das Objekt möglichst homogen und kräftig auszuleuchten. Einsatzgebiet ist beispielsweise die Aufdruckkontrolle und Lageerkennung von Objekten. Weniger geeignet ist diese Beleuchtung für das Erkennen von Kanten und Unebenheiten.³⁷

Mit Hilfe der **Durchlichtbeleuchtung** wird das Objekt von hinten beleuchtet, um so die Konturen des Objektes besser darstellen zu können. Durch diese Beleuchtungsart entsteht ein Schattenbild, das das Objekt als schwarze Fläche auf einem weißen Hintergrund darstellt. Die Durchlichtbeleuchtung findet beispielsweise Anwendung in der Konturprüfung und Anwesenheitskontrolle von Objekten.³⁸

Spektrale Empfindlichkeit und Wirkung von Lichtfarben bei Hühnern

Bei der Auswahl der Beleuchtungstechnik muss neben der optimalen Darstellung der Objekte auch auf das Wohlbefinden der Tiere geachtet werden. Um Unruhe im Stall zu vermeiden, ist es notwendig je nach Anwendung, das Licht auf die Tiere entsprechend abzustimmen.

Im Gegensatz zum Menschen sehen Vögel auch im ultravioletten Wellenlängenbereich. Der für den Menschen sichtbare Wellenlängenbereich liegt wie schon erwähnt bei etwa 380 nm bis 780 nm. Hingegen nehmen Vögel Wellenlängen von etwa 320 nm bis 800 nm wahr, was je nach Literaturquelle geringfügig abweicht. Unter photopischen Bedingungen (Tagsehen) nehmen Hühner Licht im Wellenlängenbereich von 420 nm bis 428 nm ihre Umgebung 40-mal heller wahr als der Mensch. Die nachfolgende Abbildung 21 zeigt einen Vergleich der spektralen Empfindlichkeit von Menschen und Huhn.³⁹

³⁷ Vgl. LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 3.

³⁸ Vgl. LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 7.

³⁹ Vgl. Wehlitz/Huhnstock/Schneider/Müller (2015), S. 14 ff.

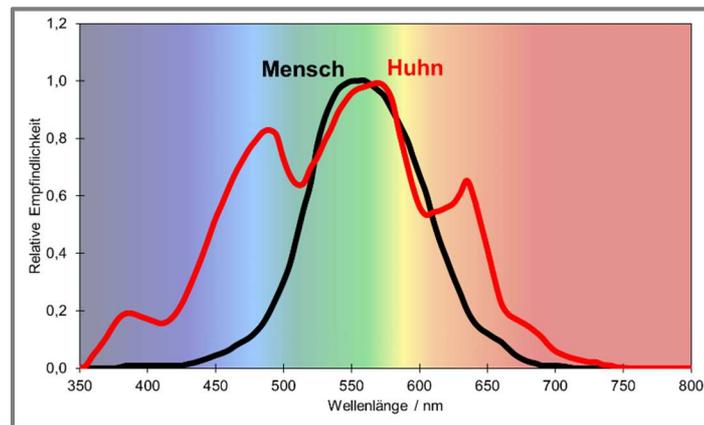


Abbildung 21: Vergleich der spektralen Empfindlichkeit von Menschen und Huhn, Quelle: Wehlitz/Huhnstock/Schneider/Müller (2015), S. 17 (leicht modifiziert).

Sowohl rote als auch blaue Lichtquellen wirken auf die Hennen beruhigend. Grüne Lichtquellen hingegen regen zum Fressen an. Des Weiteren ist zu beachten, dass die eingesetzten Leuchtmittel flackerfrei sein sollen, um Unruhe zu vermeiden. Daher sind niederfrequente Lichtquellen, wie beispielsweise Leuchtstofflampen zu vermeiden. LED-Lichtquellen sind dagegen flackerfrei.⁴⁰

Die Legenester sind so zu gestalten, dass die Tiere diese gerne aufsuchen. Daher sollten die Nester dunkel sein.⁴¹

2.4.3.3 Einsatzmöglichkeiten

Mit Hilfe der Bildverarbeitung soll geprüft werden, inwieweit die Identifikation von Huhn und Ei möglich ist. Ist eine eindeutige Unterscheidung anhand natürlicher Merkmale nicht möglich, können auch künstliche Identifikationsmerkmale herangezogen werden. Diese sind im nachfolgenden Abschnitt 2.4.4 erläutert.

2.4.4 Identifikation mittels optischer Codierung

Können Objekte nicht eindeutig anhand ihrer natürlichen Identifikationsmerkmale wie z.B. Form, Farbe, Gewicht oder Größe unterschieden werden, kommen künstliche Identifikationsmerkmale zum Einsatz. Dabei muss entschieden werden, ob diese Merkmale nur durch das Bildverarbeitungssystem oder aber auch vom Menschen interpretierbar sein sollen.

2.4.4.1 Optical Character Recognition

Durch die Verwendung von Klarschriften (Optical Character Recognition, OCR) ist es möglich, künstliche Identifikationsmerkmale zu generieren, die sowohl von Mensch als auch von Maschine gelesen werden können. Bei der Klarschrifterkennung handelt es sich um eine Mustererkennung, die versucht, in mehreren Schritten durch signifikante Merkmale wie Krümmungen, Freiräume, Schlaufen usw. ein Ergebnis zu erzielen. Dies ermöglichen speziell entwickelte Schrifttypen, die folgende Voraussetzungen erfüllen:⁴²

⁴⁰ Vgl. Landwirtschaftskammer Österreich (Hrsg.) (2018), S. 35.

⁴¹ Vgl. Deerberg/Maurer/Zeltner (2010), S. 7.

⁴² Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 17 ff.

- Die Schrift soll sowohl von Mensch als auch Maschine zuverlässig lesbar sein
- Die Zeichen müssen sich in Form und Kontrast deutlich unterscheiden

Grundsätzlich werden die beiden OCR-Schriften OCR-A und OCR-B unterschieden, welche in Abbildung 22 dargestellt sind. Der OCR-A Zeichensatz ist auf die sichere maschinelle Lesbarkeit optimiert, wogegen der OCR-B Zeichensatz an die konventionelle Schriftform angelehnt ist.⁴³

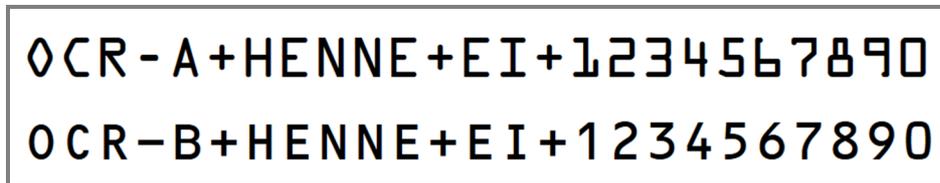


Abbildung 22: Beispiel für die OCR-Schriften OCR-A (obere Zeile) und OCR-B (untere Zeile), Quelle: Eigene Darstellung.

Ein großer Vorteil der OCR-Erkennung ist die Möglichkeit der Lesbarkeit durch den Menschen. Bei Ausfall des Systems oder nur zur Kontrolle können die Daten ohne Hilfsmittel erfasst werden. Im Falle der Identifikation von Legehennen können die Tiere durch herkömmliche Flügelmarken, wie in Abschnitt 2.3.1 beschrieben, unterschieden werden. Voraussetzung ist eine Klarschrift, die für die maschinelle Lesbarkeit geeignet ist.

2.4.4.2 1D- und 2D-Codes

Optische Codes als Datenträger werden in eindimensionale Codes (1D-Codes), auch Strichcodes genannt, und zweidimensionale Codes (2D-Codes) unterschieden. 2D-Codes werden des Weiteren in Stapelcodes und Matrixcodes untergliedert. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt eine Übersicht gängiger 1D- und 2D-Codes.⁴⁴

1D-Codes	2D-Codes	
	Stapelcodes	Matrixcodes
2/5 Interleaved	Code 16k	DataMatrix
Code 39	Code 49	MaxiCode
Code 128	Codablock	QR Code
EAN 8, EAN 13	PDF 417	
UPC A, UPC E		

Tabelle 4: Übersicht gängiger 1D- und 2D-Codes, Quelle: Eigene Darstellung.

Der **Strichcode** ist eine seit Jahren bewährte Methode zur Kennzeichnung von Objekten und besticht durch Flexibilität und geringe Kosten. Die weltweite Standardisierung von Strichcodes ermöglicht einen Einsatz in allen Bereichen der Industrie und des Handels. Je nach Anforderung und Einsatzgebiet gibt es geeignete Lösungen, die auch laufend weiterentwickelt werden.⁴⁵

⁴³ Vgl. Lenk (2000), S. 15.

⁴⁴ Vgl. Lenk (2005), S. 47.

⁴⁵ Vgl. Lenk (2000), S. 20.

Strichcodes weisen, unabhängig von den verschiedenen Familien, eine ähnliche Struktur auf. Die Abbildung 23 zeigt den allgemeinen Aufbau eines Strichcodes.⁴⁶

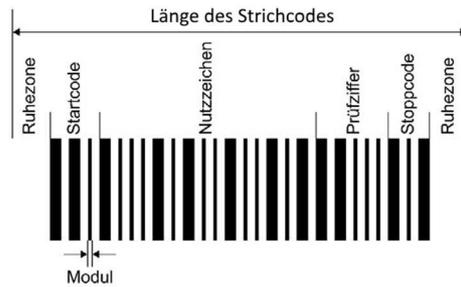


Abbildung 23: Allgemeiner Aufbau eines Strichcodes, Quelle: Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 23 (leicht modifiziert).

Dieser wird mit einer sogenannten Ruhezone, die in der Regel eine Länge von 10 Modulbreiten besitzt, umschlossen und dient der fehlerfreien Erkennung des Strichcodes. Die Modulbreite ist der im Strichcode schmalste vorkommende Balken. Gefolgt von der Ruhezone beginnt der eigentliche Strichcode mit einem Startsymbol. Anschließend werden die Nutzzeichen dargestellt, welche die eigentlichen Informationen enthalten. In den meisten Fällen besitzt der Strichcode nach den Nutzzeichen weitere Zeichen, die die Prüfziffer enthalten. Die Prüfziffer wird je nach Strichcode unterschiedlich berechnet. Beendet wird der Strichcode mit einem Stoppsymbol.⁴⁶

Es existiert eine Vielzahl an Strichcodes, die in unterschiedlichsten Anwendungen Einsatz finden. Die nachfolgende Abbildung 24 zeigt Kriterien zur Auswahl gängiger Strichcodes.

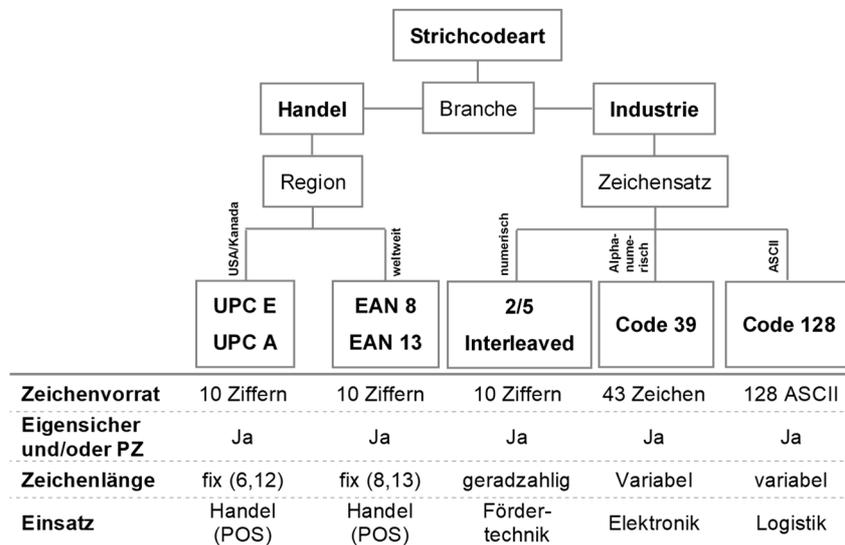


Abbildung 24: Kriterien zur Auswahl von Strichcodes, Quelle: Lenk (2005), S. 47.

Betrachtet man die in Abbildung 24 gelisteten Strichcodes und deren Kriterien hinsichtlich der Anforderungen für diese Arbeit, so sind die Strichcodes *2/5 Interleaved*, *Code 39* und *Code 128* zu bevorzugen. Geht man davon aus, dass vier Ziffern für die Anwendung ausreichend sind, was die

⁴⁶ Vgl. Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 22 f.

Identifikation von 9.999 Hühnern ermöglicht, können die genannten Strichcodes durch die variable Zeichenlänge kompakter gestaltet werden. Dies hat den Vorteil, dass ein Code weniger Platz benötigt bzw. dementsprechend größer dargestellt werden kann. Bei einem Vergleich der Codes, wie in Abbildung 25 dargestellt, ist ersichtlich, dass der Strichcode *2/5 Interleaved* denselben Dateninhalt am kompaktesten darstellen kann. Alle drei Strichcodes besitzen für den Vergleich dieselbe Modulbreite.



Abbildung 25: Größenvergleich der Strichcodes 2/5 Interleaved, Code 128 und Code 39, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch die kompakte Darstellung kann der Strichcode *2/5 Interleaved* bei wenig vorhandenem Platz eventuell größer angedruckt werden, wodurch das Lesen des Codes verbessert werden kann.

Ein **zweidimensionaler Code** besitzt im Gegensatz zum Strichcode eine zweite Informationsebene in Form der Y-Achse. Durch die zweite Ebene können im Verhältnis deutlich mehr Daten auf derselben Größe wie bei einem eindimensionalen Code abgebildet werden.⁴⁷

Die wohl bekanntesten 2D-Codes sind der DataMatrix-Code und der QR (Quick Response) Code. Diese gehören zu den Matrix-Codes und werden für diese Arbeit näher betrachtet. Beide Codes sehen sehr ähnlich aus und bestehen aus dunklen und hellen Zellen. Die Information steckt dabei in der Anordnung der Zellen innerhalb der Matrixstruktur. Wie der Strichcode benötigen der Matrixcode auch eine Ruhezone rund um den Code. Um den Code lesen zu können muss er zuerst von der Bildverarbeitungssoftware oder sonstigen Lesegeräte gefunden werden. Hierzu dient ein Suchmuster, das bei beiden Matrixcodes anders aussieht. Die nachfolgende Abbildung 26 zeigt den allgemeinen Aufbau eines QR- und DataMatrix-Code.⁴⁸

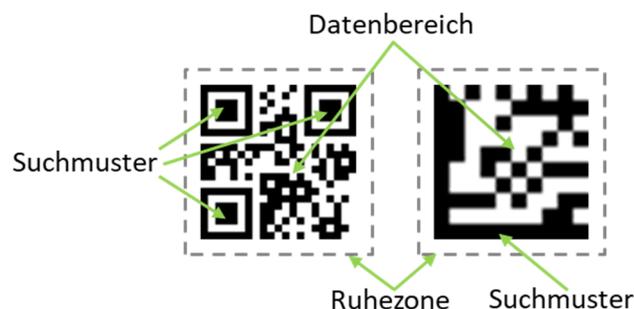


Abbildung 26: Allgemeiner Aufbau eines (links) QR Code und (rechts) DataMatrix-Code, Quelle: Eigene Darstellung.

⁴⁷ Vgl. Lenk (2005), S. 57.

⁴⁸ Vgl. Munro (2016), Online-Quelle [2018.11.24].

Die Größe des Codes ist abhängig von der Menge an Informationen, die er fassen muss. Je mehr Daten codiert werden müssen, desto mehr Zellen müssen hinzugefügt werden. Der kleinstmöglich QR Code besteht aus 21 x 21 Zellen und wächst abhängig von der Informationsgröße in Schritten von vier Zellen in jede Richtung auf maximal 177 x 177 Zellen. Hingegen startet der DataMatrix-Code mit 10 x 10 Zellen und wächst dann in Schritten von zwei Modulen in jede Richtung bis zu einem Maximum von 144 x 144 Zellen. Daher können QR-Codes bis zu 4.296 alphanumerische Zeichen speichern und DataMatrix-Codes nur 2.335 Zeichen. Des Weiteren verfügen beide Matrix Codes über Fehlerkorrekturfunktionen. Dadurch kann der Inhalt der Codes auch dann wiederhergestellt werden, wenn dieser verschmutzt oder beschädigt ist. QR-Codes bieten vier Fehlerkorrekturstufen:⁴⁹

- Stufe L (niedrig) 7 %
- Stufe M (mittel) 15 %
- Stufe Q (Quartil) 25 %
- Stufe H (hoch) 30 %

Dies bedeutet beispielsweise, dass man mit der Fehlerkorrekturstufe H einen bis zu 30 % beschädigten Code noch decodieren kann. Beim DataMatrix-Code hingegen liegt die Fehlerkorrektur generell bei etwa 33 % und damit leicht höher als beim QR-Code.⁴⁹

Geht man wie bei Strichcode davon aus, dass die Identifikation von 9.999 Hühnern ausreichend ist, so ist der DataMatrix-Code von Vorteil. Zur Codierung der Information benötigt der DataMatrix-Code nur 10 x 10 Zellen. Der QR-Code benötigt hingegen 21 x 21 Zellen. Dadurch kann der DataMatrix-Code dementsprechend größer angedruckt werden, was das Lesen erleichtern sollte. Des Weiteren bietet der DataMatrix-Code generell eine Fehlerkorrektur von etwa 33 %.

2.4.5 Identifikation des Eis durch Eigenschaften

Gerade um feststellen zu können ob das Huhn auch ein Ei gelegt hat, bedarf es der Erkennung des Eis durch Eigenschaften. Das Ei selbst kann nicht mit künstlichen Identifikationsmerkmalen versehen werden.

Eigenschaften wie Gewicht, Höhe, Breite und Länge können herangezogen werden, mit denen das Ei über messende Erfassungssysteme erkannt werden können. Eine Vielzahl an einfachen Sensoren wie beispielsweise kapazitive oder optische Schalter und Lichtgitter, bis hin zum Ultraschallsensor sowie messende Lichtschranken und Bildverarbeitungssysteme ermöglichen die Erfassung der Eier durch Eigenschaften.⁵⁰

Auf die Funktion und Arbeitsweise der Sensoren wird in diesem Abschnitt nicht näher eingegangen. Sie dienen lediglich als Anreiz für die spätere Konzeptfindung.

⁴⁹ Vgl. Munro (2016), Online-Quelle [2018.11.24].

⁵⁰ Vgl. Lenk (2000), S. 21 f.

3 RECHERCHE UND AUSWAHL GEEIGNETER KONZEPTE

Mit Hilfe der in den letzten Kapiteln erarbeiteten Identifikationsverfahren werden nun verschiedene Konzepte zur automatisierten Erfassung der Legeleistung sowie für die automatisierte Zutrittsüberwachung betrachtet und gegenübergestellt. Die geeignetsten Konzepte sollen in einem Versuchsaufbau auf deren Einsetzbarkeit geprüft werden.

3.1 Konzepte mittels RFID

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Betrachtung möglicher Konzepte auf Basis der RFID-Technologie. Zuvor wird anhand einer Nutzwertanalyse die für die Anwendung geeignete Betriebsfrequenz des RFID-Systems gewählt.

3.1.1 Auswahl der geeigneten RFID-Frequenz

Mit Hilfe der in Abschnitt 2.4.2 gewonnenen Informationen soll mittels einer Nutzwertanalyse eine objektive Entscheidung zur Auswahl der geeignetsten Betriebsfrequenz getroffen werden. Im ersten Schritt erfolgt die Erhebung der wesentlichen Leistungsparameter, wodurch anhand dieser die Systeme verglichen und bewertet werden.

Folgende Leistungsparameter zur Entscheidungsfindung werden herangezogen:

- **Datenübertragungsrate**

Je nach Einsatzgebiet muss das RFID-System eine definierte Informationsmenge über einen bestimmten Zeitraum übertragen können. Zur Identifikation der Legehenne reicht die Übertragung einer eindeutigen Identifikationsnummer aus. Dies ermöglicht eine geringe Übertragungszeit von nur wenig Informationen. Folglich wird der Energieaufwand zum Übertragen der Informationen bedeutend reduziert.

- **Lesedistanz**

Für die Auswahl eines geeigneten RFID-Systems ist die benötigte Lesereichweite zu beachten. Sie ist abhängig von der Systemleistung, der Trägerfrequenz, sowie Hindernissen zwischen Lesegerät und Transponder. Speziell für diese Anwendung ist eine Lesereichweite bis maximal 0,2 m ausreichend. Größere Lesereichweiten sind sogar unerwünscht, da es sonst zur Fehlerfassung eines Transponders kommen kann, der sich in der Nähe eines Lesegerätes befindet. Da es sich in diesem Fall um eine relativ geringe Lesereichweite handelt, und in den meisten Fällen Systeme mit höherer Reichweite gedrosselt werden können, wird dieser Parameter in der Bewertung weniger gewichtet.

- **Beeinträchtigung durch Oberflächenreflexionen**

Abhängig vom gewählten Frequenzbereich können Reflexionen an Oberflächen entstehen, die das Auslesen des Transponders erschweren. Da es in der unmittelbaren Umgebung viele metallische Oberflächen gibt, die solche Reflexionen erzeugen können, müssen diese beachtet werden.

- **Transponderorientierung zur Antenne**

Mit steigender Frequenz nimmt die Beeinflussung der Lesedistanz durch die Orientierung von Transponder zur Leseantenne zu. Da sich Hühner nur mit beschränkten Möglichkeiten definiert an der Leseantenne vorbeiführen lassen, ist die Abhängigkeit der Transponderorientierung zu beachten.

- **Abmessung der Antenne**

Die Abmessung der Antenne beeinflusst die Größe des Transponders. Je kleiner der Transponder, desto einfacher kann dieser am Huhn angebracht werden.

- **Durchdringung von Wasser und festen Materialien**

Wasser und Schmutz spielen im Bereich der Tieridentifikation eine große Rolle. Egal ob der Transponder als Injektat oder durch eine andere Methode am Huhn angebracht wird, muss die Beeinflussung der Lesbarkeit des Transponders durch Wasser und feste Materialien beachtet werden.

- **Energiebedarf**

Der Energiebedarf eines RFID-Systems sinkt mit steigender Frequenz. Dadurch kann tendenziell eine höhere Reichweite erzielt werden. Der Energiebedarf ist somit auch zu betrachten.

Aus den für die Nutzwertanalyse erhobenen Entscheidungskriterien ergibt sich die in Tabelle 5 dargestellte Übersicht der Leistungsparameter für die einzelnen RFID-Systeme.

Nr.	Kriterium	LF	HF	UHF	SHF
1	Datenübertragungsrate / KB/s	~ 4	~ 26	~ 40	~ 320
2	Lesedistanz / m	≤ 1	≤ 3	≤ 10	> 10
3	Beeinträchtigung durch Oberflächenreflexionen	gering	gering	hoch	hoch
4	Abmessung der Antenne	groß	mittel	klein	klein
5	Beeinflussung der Transponderorientierung zur Antenne	gering	gering	hoch	hoch
6	Durchdringung von Wasser und festen Materialien	sehr gut	gut	schlecht	schlecht
7	Energiebedarf	hoch	mittel	gering	gering

Tabelle 5: Leistungsparameter der RFID-Systeme, Quelle: Eigene Darstellung.

Im zweiten Schritt werden die Parameter entsprechend ihrer situationsbedingten Relevanz gewichtet. Diese Gewichtung erfolgt mittels Präferenzenmatrix, wodurch jedes Kriterium mit allen anderen verglichen und gewichtet wird. Je häufiger ein Kriterium in der direkten Gegenüberstellung gewinnt, desto höher fällt die Gewichtung aus. Diese Gewichtung wurde in Tabelle 6 durchgeführt.

Kriterium	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	Punkte	Gewichtung
Datenübertragungsrate / KB/s	1		2	3	1	5	6	1	2	9,5
Benötigte Lesedistanz / m	2			3	2	5	6	7	2	9,5
Beeinträchtigung durch Oberflächenreflexionen	3				3	5	6	3	4	19,0
Abmessung der Antenne	4					5	6	4	1	4,8
Beeinflussung der Transponderorientierung zur Antenne	5						6	5	5	23,8
Durchdringung von Wasser und festen Materialien	6							6	6	28,6
Energiebedarf	7								1	4,8
Total									100,0	

Tabelle 6: Präferenzenmatrix zur Gewichtung der Leistungsparameter, Quelle: Eigene Darstellung.

Im nächsten Schritt, der Nutzwertanalyse, erfolgt die Aufstellung und Bewertung der Kriterien in Bezug auf die Erfüllung der situationsrelevanten Leistungsparameter. Diese Bewertungskriterien sind in der Tabelle 7 festgehalten.

Nr.	Kriterium	Erfüllung									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Datenübertragungsrate / KB/s	< 10		10 - 30		30 - 50		50 - 70		> 70	
2	Benötigte Lesedistanz / m	> 10		≤ 10				≤ 5			≤ 1
3	Beeinträchtigung durch Oberflächenreflexionen	hoch				mittel				gering	
4	Abmessung der Antenne	sehr groß				groß		mittel		klein	
5	Beeinflussung der Transponderorientierung zur Antenne	hoch				mittel				gering	
6	Durchdringung von Wasser und festen Materialien	sehr schlecht				schlecht		gut		sehr gut	
7	Energiebedarf	hoch				mittel				gering	

Tabelle 7: Bewertungskriterien für die Auswahl des RFID-Systems, Quelle: Eigene Darstellung.

Im letzten Schritt erfolgt die eigentliche Bewertung auf Basis der nun gewichteten Leistungsparameter. Jedes Kriterium eines RFID-Systems wird laut Tabelle 7 je nach Erfüllung des Kriteriums mit Punkten von eins bis zehn bewertet. Eine Multiplikation der Bewertungspunkte mit der Gewichtung der Kriterien ergibt die Teilergebnisse der Leistungsparameter. Die Summe der Leistungsparameter eines jeden RFID-Systems ergibt letztendlich die Gesamtpunkteanzahl. Somit kann eine Rangordnung der Funksysteme ermittelt werden, wobei das System mit der höchsten Punkteanzahl am besten für die Anwendung geeignet ist. Die Bewertung und Rangordnung ist in Tabelle 8 durchgeführt.

			LF		HF		UHF		SHF	
Nr.	Kriterium	Gewichtung	Erfüllung		Erfüllung		Erfüllung		Erfüllung	
			E * G	E * G	E * G	E * G	E * G	E * G		
1	Datenübertragungsrate / KB/s	9,5	1	10	4	38	6	57	10	95
2	Benötigte Lesedistanz / m	9,5	10	95	7	67	4	38	2	19
3	Beeinträchtigung durch Oberflächenreflexionen	19,0	10	190	10	190	2	38	2	38
4	Abmessung der Antenne	4,8	6	29	7	33	10	48	10	48
5	Beeinflussung der Transponderorientierung zur Antenne	23,8	9	214	9	214	2	48	2	48
6	Durchdringung von Wasser und festen Materialien	28,6	10	286	8	229	3	86	3	86
7	Energiebedarf	4,8	2	10	5	24	9	43	9	43
Total		100,0	833		795		357		375	
Platzierung			1		2		4		3	

Tabelle 8: Bewertung und Rangordnung der RFID-Frequenzen, Quelle: Eigene Darstellung.

Fazit

Mit einer Eignung von mehr als 80 % stellt sich das RFID-System im LF-Bereich als optimalste Lösung für die Identifikation von Legehennen heraus. RFID-Systeme im HF-Bereich liegen nur knapp dahinter. Mit einer Eignung von weniger als 40 % erweisen sich die RFID-Systeme im UHF- und SHF-Bereich als eher untauglich. Für das weitere Vorgehen fällt die Entscheidung auf ein geeignetes RFID-System im LF-Bereich. Es ist ausreichend, das Tier über die eindeutige Transponder-ID zu identifizieren. Ein Beschreiben des Transponders ist nicht notwendig.

3.1.2 Auswahl der geeigneten Transponderposition am Huhn

Zur Identifizierung des Legehuhns mittels RFID muss eine geeignete Position zur Befestigung des Transponders am Tier gefunden werden. Die Position soll sowohl schonend für das Tier sein, als auch bestmöglich geeignet zum automatischen Auslesen der Transponder-ID sein. Aus den in Kapitel 2 erörterten Identifikationsverfahren von Hühnern kann, wie in Abbildung 27 dargestellt, auf folgende Methoden zurückgegriffen und diese gegebenenfalls adaptiert werden.

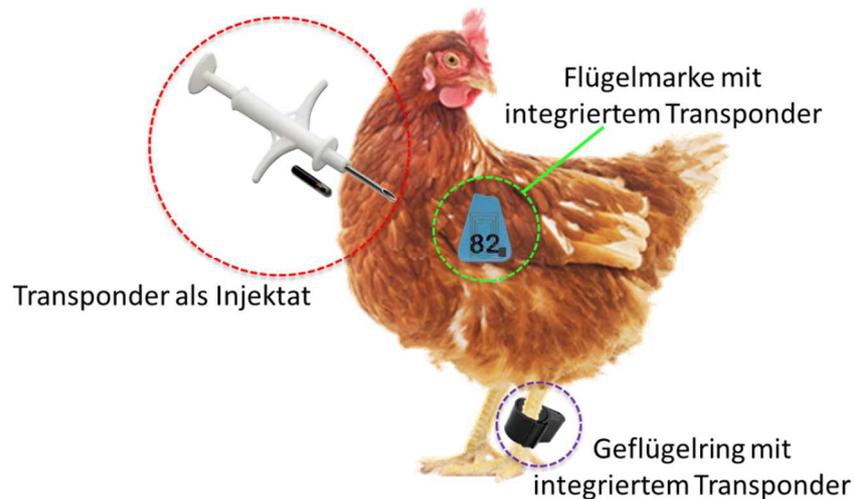


Abbildung 27: Methoden zur Identifikation von Legehennen mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.2.1 Transponder als Injektat

Vorteil eines implantierten Transponders ist der feste Sitz unter der Haut des Tieres. Somit kann der Transponder nicht ohne weiteres verloren gehen. Ein automatisiertes Erfassen und Auslesen der ID-Nummer ist möglich, da die Position des Transponders am Tier bekannt ist. Nachteil dieser Methode ist der höhere Aufwand zur Implantierung des Transponders unter die Haut. Hierfür wird eine fachkundige Person benötigt, die den Transponder korrekt positioniert. Auch die aufwändige Entnahme im Schlachthof je nach Injektionsort ist zu berücksichtigen.

3.1.2.2 Flügelmarke mit integriertem Transponder

Flügelmarken werden, wie in Abschnitt 2.3.1 erläutert, seitlich am Flügel der Henne angebracht und besitzen eine eindeutige Nummer zur Identifikation des Tieres. Die Flügelmarke kann, wie in Abbildung 28 schematisch dargestellt, durch einen RFID-Transponder erweitert werden.

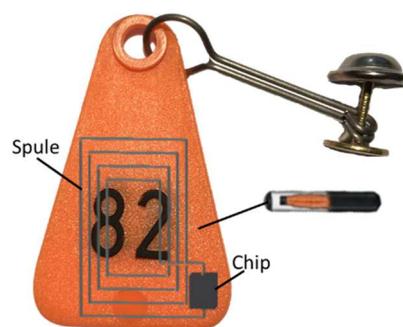


Abbildung 28: Flügelmarke mit integriertem RFID-Transponder, Quelle: Eigene Darstellung.

Um Verletzungen zu vermeiden, wird auch bei dieser Methode eine fachkundige Person benötigt, die die Flügelmarke korrekt am Tier anbringt. Zur Befestigung der Marke muss der Flügel des Tieres durchstochen werden. Die Position der Flügelmarke am Tier ist bekannt, wodurch ein automatisiertes Erfassen des Transponders gegeben ist.

3.1.2.3 Geflügelring mit integriertem Transponder

Kennzeichnungs- bzw. Geflügelringe, wie in Abschnitt 2.3.2 beschrieben, sind eine weit verbreitete Methode zur Identifikation von Hühnern. Die Identifizierung findet entweder durch einen Farbcode oder durch eine Nummer statt. Seit geraumer Zeit werden Geflügelringe mit integriertem RFID-Transponder angeboten. Großer Vorteil dieser Methode ist die einfache Anbringung des Ringes am Bein des Huhns. Durch einen Rastverschluss können die Ringe wieder entfernt werden und somit wird eine mehrmalige Weiterverwendung ermöglicht.

3.1.2.4 Gegenüberstellung der Transponderpositionen

Um die verschiedenen Transponderpositionen besser vergleichen zu können, gibt die Tabelle 9 einen Überblick über die verschiedenen Betrachtungsaspekte.

Transponderposition	Transponder als Implantat	Flügelmarke mit integriertem Transponder	Geflügelring mit integriertem Transponder
Betrachtungsaspekte			
Anbringung	Nur durch eine fachkundige Person	Nur durch eine fachkundige Person	Einfache Anbringung durch Rastverschluss
Automatisiertes Auslesen	Ja, da Position bekannt	Ja, da Position bekannt	Ja, da Position bekannt
Verfügbarkeit	Am Markt erhältlich	Eigenentwicklung	Am Markt erhältlich
Schutz gegen Verlust des Transponders	Hoch	Mittel	Mittel - niedrig
Wiederverwendbarkeit	Nein	Ja, zum Teil (neuer Klipp benötigt)	Ja
Verletzungsgefahr	Niedrig	Hoch	Niedrig
Die Farben stehen für die Gewichtung der Betrachtungsaspekte: "Vorteil", "Neutral", "Nachteil"			

Tabelle 9: Vergleich der Transponderpositionen, Quelle: Eigene Darstellung.

Gewichtet man die Betrachtungsaspekte nach den Farben und vergibt Punkte von 1 für Vorteil, 0 für neutral und -1 für Nachteil, erhält man 2 Punkte für Transponder als Implantat, 0 Punkte für Flügelmarke mit integriertem Transponder und 4 Punkte für Geflügelring mit integriertem Transponder.

3.1.2.5 Fazit

Der Geflügelring mit integriertem Transponder erweist sich als am praktikabelsten. Aufgrund der einfachen Handhabung und anderer Vorteile, wird im nächsten Kapiteln die Umsetzung mit Geflügelring verfolgt.

3.1.3 Konzept der Zutrittsüberwachung mittels RFID

Die Zutrittsüberwachung soll den Zugang, wie in Abbildung 29 dargestellt, bei geschlossener Auslauföffnung automatisiert regeln, sowie ermitteln, welches Huhn sich innerhalb oder außerhalb des Stalls befindet. Hierfür wird ein Konzept benötigt, das sowohl die Transponder-ID erfasst, als auch die Position des Huhns erkennt.

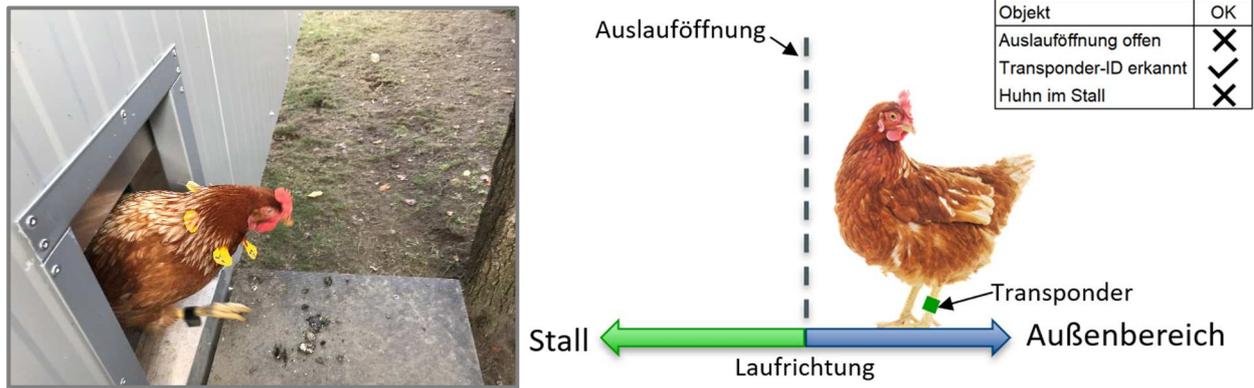


Abbildung 29: Zutrittsüberwachung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.

Sobald sich das Huhn der Auslauföffnung nähert, wird der Transponder durch das Lesegerät erfasst und das System kann die verschlossene Auslauföffnung öffnen. Damit das Huhn sicher erkannt wird, muss der Transponder so gut wie möglich mit einem definierten Abstand an der Antenne des Lesegerätes vorbeigeführt werden. Um dies zu gewährleisten, muss die Auslauföffnung durch einen Tunnel ergänzt werden, in den das Lesegerät integriert ist. Der Tunnel hat nicht nur den Zweck die Hühner an der Antenne des Lesegerätes vorbeizuführen, sondern stellt auch sicher, dass die Hühner einzeln die Auslauföffnung passieren. Somit kann es zu keiner Kollision beim Auslesen der Transponder-ID kommen. Des Weiteren muss das System erkennen, ob sich das Huhn im Stall oder im Außenbereich befindet. Hierfür gibt es mehrere Ansätze, die nachfolgend erläutert werden.

3.1.3.1 Positionsverfolgung mittels Lichtschranke

Um zu ermitteln, ob sich das Huhn innerhalb oder außerhalb des Stalls befindet, kann die Position durch zwei Reflexionslichtschranken, wie in Abbildung 30 dargestellt, ermittelt werden.

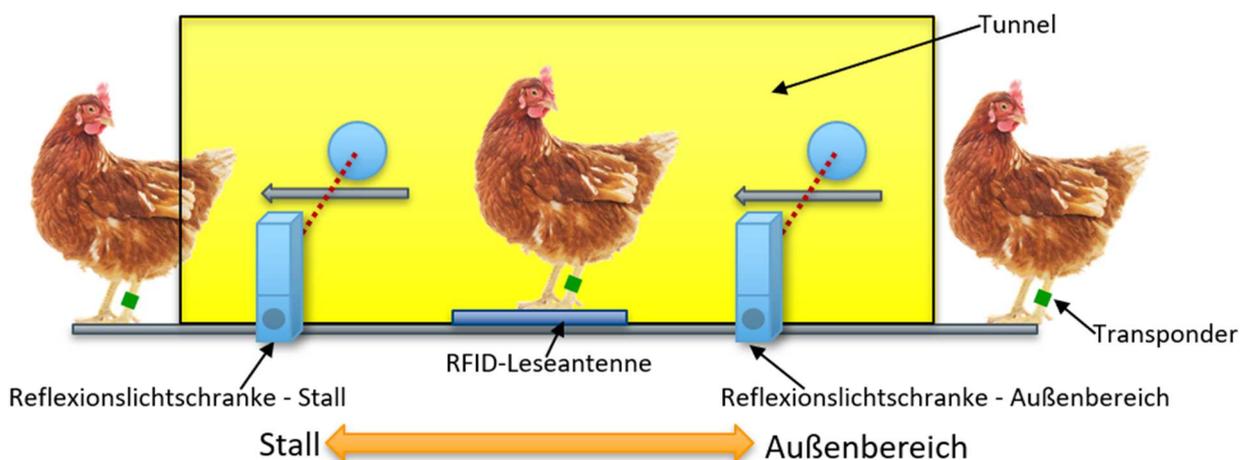


Abbildung 30: Positionsermittlung mittels Reflexionslichtschranken, Quelle: Eigene Darstellung.

Wird angenommen, dass sich das Huhn im Außenbereich befindet und in Richtung Stall bewegt, ist es vom System vorerst als im Außenbereich befindlich vermerkt. Bewegt sich das Huhn durch die erste Lichtschranke des Außenbereichs, so erkennt das System, dass sich ein Huhn vom Außenbereich der Auslauföffnung nähert. Durchquert das Tier den Tunnel, wird es zunächst vom RFID-Lesegerät identifiziert. Bis zu diesem Zeitpunkt ist das Huhn vom System noch immer als im Außenbereich befindlich vermerkt.

Erst wenn das Huhn die Lichtschranke für den Stall passiert, wird es vom System als im Stall vermerkt. Folglich verläuft die Positionsermittlung beim Verlassen des Stalls nach demselben Schema. Für diesen Ansatz der Positionsermittlung wird nur ein RFID-Lesegerät benötigt. Jedoch sind zusätzlich zum Lesegerät zwei Lichtschranken notwendig, die für die Erkennung der Fortbewegungsrichtung zuständig sind. Des Weiteren müssen Lichtschranken und Lesegerät so nah wie möglich aneinander positioniert werden. Es muss verhindert werden, dass ein nachfolgendes Huhn in den Bereich der Lichtschranke kommt, während sich ein anderes zwischen den beiden Lichtschranken befindet. Andernfalls kann es zu einer Fehlzurordnung der Hühner kommen. Hinzu kommen äußere Umwelteinflüsse wie Schmutz und Staub, die die Funktionalität der Sensoren beeinflussen und somit beachtet werden müssen.

3.1.3.2 Positionsverfolgung durch zwei RFID-Lesegeräte

Um das Huhn sicher dem Stall oder dem Außenbereich zuordnen zu können, benötigt man zwei RFID-Lesegeräte. Das Prinzip funktioniert ähnlich dem in Unterabschnitt 3.1.3.1 erläuterten Ansatz. Jedoch übernimmt hier das Lesegerät nicht nur die Funktion des Erfassens der Transponder-ID, sondern erkennt auch die Position des Huhns. Bei diesem Ansatz muss darauf geachtet werden, dass die beiden Leseantennen genügend weit voneinander positioniert sind, um ein gleichzeitiges Erfassen des Transponders zu vermeiden. Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt das Funktionsprinzip. Wird angenommen, dass sich das Huhn im Außenbereich befindet und in Richtung Stall bewegt, ist es vorerst vom System als im Außenbereich vermerkt. Passiert das Huhn die Leseantenne im Außenbereich, wird zum einen die ID des Transponders ausgelesen und zum anderen das Tier noch als im Außenbereich befindlich registriert. Befindet sich das Huhn inmitten des Tunnels zwischen den beiden Leseantennen, so ist es in einem undefinierten Bereich. Erst wenn das Tier die zweite Leseantenne für den Stall passiert, wird nochmals die ID vom Transponder ausgelesen und das Huhn dem Stall zugeordnet. Bei dieser Vorgehensweise gibt es zwei Ansätze zur Positionierung der Leseantennen.

RFID-Leseantennen als Durchgangsantenne

Bei diesem Ansatz durchquert das Huhn, wie in Abbildung 31 dargestellt, die Leseantenne.

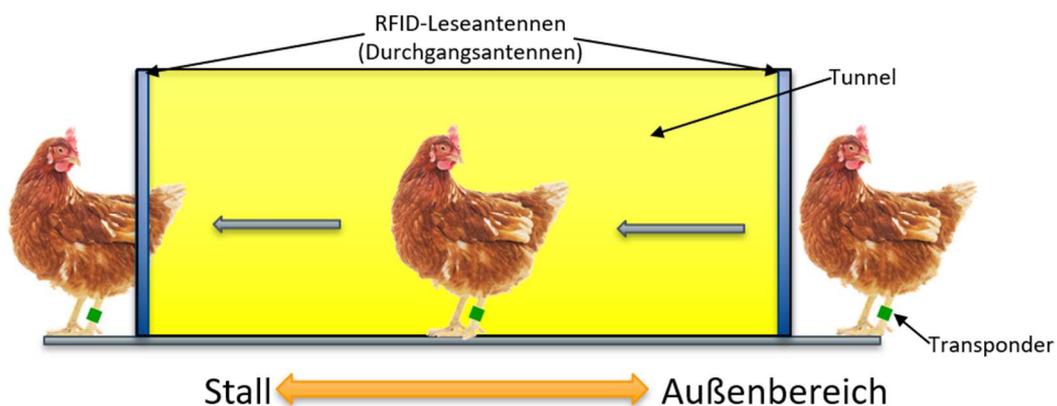


Abbildung 31: Zutrittsüberwachung mittels RFID-Durchgangsantenne, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch diese Anordnung der Antennen ist sichergestellt, dass der Transponder genügend nahe an die Antenne herangeführt wird, da das Huhn die Antenne durchqueren muss. Die Länge des Tunnels ist abhängig von der Lesereichweite der beiden Leseantennen. Diese müssen genügend weit voneinander

positioniert sein, um ein gleichzeitiges Erfassen des Transponders zu vermeiden. Nachteil dieser Variante ist die beschränkte Zeit, in der sich der Transponder in der Nähe der Antenne befindet. Sobald das Huhn die Antenne durchquert hat, bleibt nicht viel Zeit zum Auslesen des Transponders.

RFID-Leseantenne liegend positioniert

Eine weitere Möglichkeit, wie in Abbildung 32 dargestellt, ist die Antennen liegend anzuordnen.

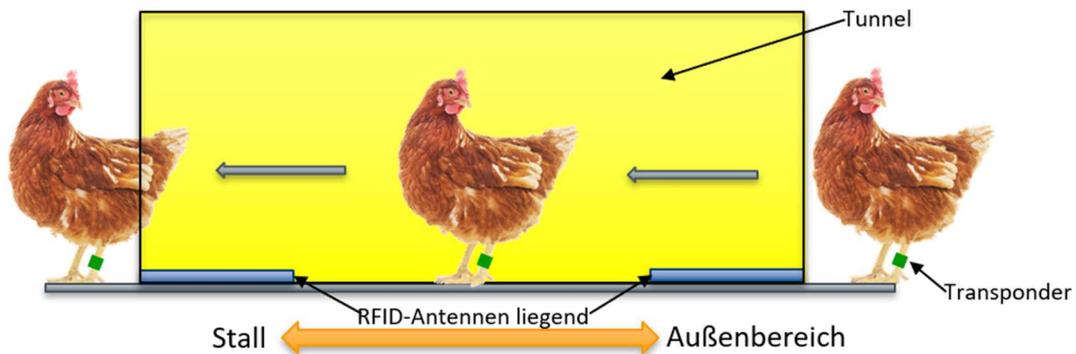


Abbildung 32: Zutrittsüberwachung mittels liegend angeordnete RFID-Antenne, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei dieser Anordnung der Antennen überquert das Huhn die Antennen. Abhängig von der Antennengröße bzw. Länge kann der Zeitraum für das Auslesen des Transponders verlängert werden. Solange das Huhn sich über der Antenne befindet, kann mit dem Transponder kommuniziert werden. Nachteil dieser Variante ist der deutlich längere Tunnel. Zusätzlich zum benötigten Mindestabstand zwischen den beiden Antennen ist dieser um die Länge der Antennen selbst zu verlängern.

3.1.3.3 Gegenüberstellung der Konzepte

Vergleicht man die beiden Konzepte, so stellt sich schnell heraus, dass das Konzept mittels zweier RFID-Lesegeräte wesentlich geeigneter ist. Die Positionsverfolgung mithilfe der Lichtschranken ist deutlich aufwendiger zu realisieren und bringt eine gewisse Unsicherheit durch äußere Umwelteinflüsse mit sich.

3.1.3.4 Fazit

Das Konzept mittels zweier RFID-Lesegeräte erweist sich als am geeignetsten. Aufgrund des kürzeren Tunnels werden die RFID-Leseantennen als Durchgangsantennen bevorzugt.

3.1.4 Konzept zur Ermittlung der Legeleistung mittels RFID

Zur Ermittlung der Legeleistung muss nicht nur das Huhn, welches über den RFID-Transponder identifiziert wird, erkannt werden, sondern auch ein im Nest abgelegtes Ei erkannt und dem Huhn zugeordnet werden. Bei den Legenestern handelt es sich, wie in Unterkapitel 1.4 bereits beschrieben, um Einzelnester, die nebeneinander angeordnet sind.

3.1.4.1 Konzept zur Identifikation der Legehenne

Zur Identifikation der Legehenne, kann wie in Abbildung 33 dargestellt, eine Durchgangsantenne vor jedem Nest positioniert werden.

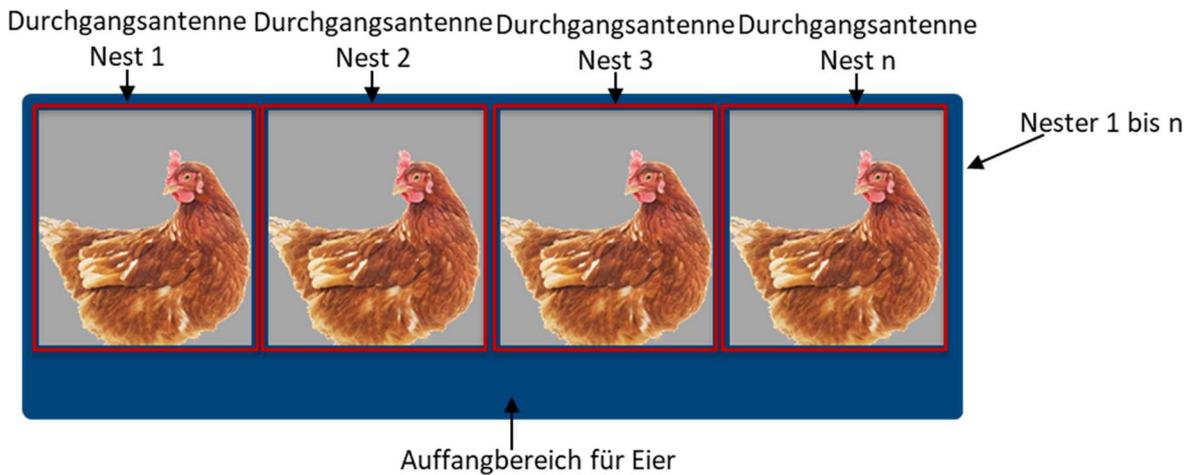


Abbildung 33: Nester mit Durchgangsantenne, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Durchgangsantenne muss so groß gewählt werden, dass das Tier ohne Einschränkungen das Nest betreten kann. Dies entspricht jedoch nahezu der Größe des Nestes selbst. Da die Nester nebeneinander angeordnet sind und somit die Antennen der einzelnen Nester sehr nahe nebeneinander liegen, ist die Gefahr einer Fehlerfassung durch sich vorbeibewegende Hühner hoch. Der Einsatz einer Durchgangsantenne, wie in Abbildung 33 dargestellt, wird somit als eher ungeeignet betrachtet.

Zur Identifikation der Legehenne mittels Transponder ist eine im Abrollboden des Nestes integrierte Antenne am geeignetsten. Die Position der Antenne ist in Abbildung 34 dargestellt. Nur das Huhn, welches sich auch im Nest aufhält, wird erkannt.

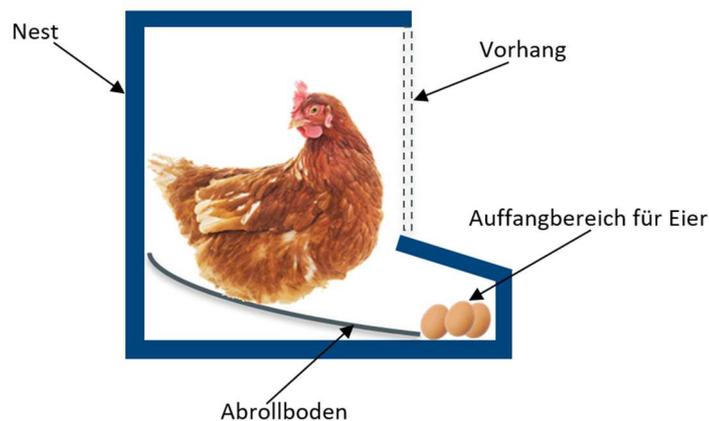


Abbildung 34: Nest mit im Abrollboden integrierte Antenne, Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Leseinheiten der Nachbarnester so wenig wie möglich zu stören, kann die Antenne im Nest kleiner ausfallen. Da sich das Huhn in der Regel sehr viel bewegt bevor es das Ei ablegt, sollte eine Detektion des Transponders beim Betreten und Verlassen des Nestes durchaus möglich sein.

3.1.4.2 Erkennung des gelegten Eis

Aufgrund des schon vorgegeben Nestaufbaus ist es naheliegend, das gelegte Ei im Auffangbereich zu erfassen. Die am geeignetsten Konzepte zur Erkennung eines gelegten Eis werden nachfolgend betrachtet.

Erkennung mittels Lichtschranke

Beim Abrollen des gelegten Eis in den Auffangbereich, kann dieses, wie in Abbildung 35 dargestellt, durch eine Lichtschranke erfasst werden. Die Lichtschranke muss so positioniert werden, dass das Huhn selbst keine Fehlerfassung verursachen kann.

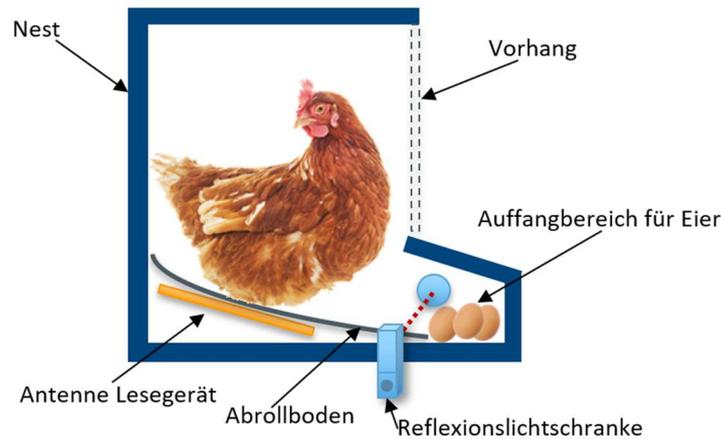


Abbildung 35: Erkennung des gelegten Eis mittels Lichtschranke, Quelle: Eigene Darstellung.

Dieses Konzept ist einfach in den schon vorgegebenen Nestaufbau zu implementieren und erfasst auf einfachste Weise das gelegte Ei. Wird das Ei erkannt, kann es über die Transponder-ID dem Huhn zugeordnet werden und somit die Legeleistung bestimmt werden.

Erkennung mittels Gewichtsmessung

Eine weitere Methode zur Erkennung des gelegten Eis ist das Erfassen über eine Gewichtsmessung. Hierzu muss wie in Abbildung 36 dargestellt, eine Waage in den Auffangbereich implementiert werden.

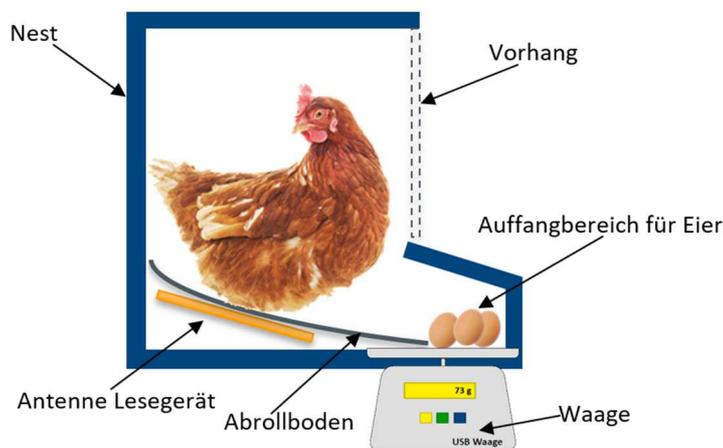


Abbildung 36: Erkennung des gelegten Eis mittels Gewichtsmessung, Quelle: Eigene Darstellung.

Da mehrere Legehennen dasselbe Nest besuchen, benötigt es eine Logik, die die Gewichts­differenz des neu gelegten Eis zu den schon auf der Waage vorhandenen Eiern ermittelt. Mit dieser Methode kann nicht nur die Legeleistung ermittelt werden, sondern das Gewicht eines jeden Eis dem Huhn zugeordnet werden.

3.1.4.3 Gegenüberstellung der Konzepte

Vergleicht man die beiden Konzepte, ist schnell ersichtlich, dass sich die Erkennung mittels Lichtschranken mit wenig Aufwand umsetzen lässt. Die Umsetzung mittels Gewichtsmessung bedarf zwar eines Mehraufwandes, hat aber den Vorteil, dass nicht nur das Ei erkannt werden kann, sondern auch das Gewicht des Eis dem Huhn zugeordnet werden kann.

3.1.4.4 Fazit

Das Konzept mittels Gewichtsmessung erweist sich für die Arbeit am geeignetsten, da auch das Gewicht des Eis erfasst werden kann. Die Gewichtsermittlung des Eis ist für die Legeleistung nicht zwingend notwendig, kann aber für später Projekte von Vorteil sein. Aufgrund dieses Mehrwertes wird im nächsten Kapitel die Umsetzung mittels Gewichtsmessung verfolgt.

3.2 Konzepte mittels Bildverarbeitung

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Betrachtung möglicher Konzepte auf Basis der Bildverarbeitungstechnologie. Diese werden miteinander verglichen und das am geeignetste für die spätere Umsetzung ausgewählt.

3.2.1 Konzepte zur Identifikation der Legehennen

Anhand der in Kapitel 2 erarbeiteten Identifikationsverfahren und Merkmale werden verschiedene Konzepte zur Identifikation von Legehennen geprüft.

3.2.1.1 Federkleid

Die Konturfedern des Huhns bestimmen, wie in Abschnitt 2.1.1 näher eingegangen, Form und Farbe des Tieres. Zur Prüfung von Identifikationsmerkmalen durch das Federkleid werden zehn Legehennen auf eindeutige Unterscheidungsmerkmale untersucht. Ziel ist es, Identifikationsmerkmale zu finden, die auch mittels einer Bildverarbeitungssoftware erkannt werden können. Nach eingehender Prüfung stellt sich heraus, dass sechs von zehn Legehennen aufgrund ihrer Färbung eindeutig unterschieden werden können. Die restlichen Hühner weisen nur geringe bis keine Unterscheidungsmerkmale auf, was die Identifikation mittels Bildverarbeitung erschwert. Die Hühner müssen von mehreren Seiten erfasst werden, damit eine Basis für die Identifikation mittels Bildverarbeitung gegeben ist. Des Weiteren nutzt sich das Federkleid im Laufe der Zeit ab und führt zur sogenannten Mauser. All diese Faktoren erschweren die Identifikation mittels Bildverarbeitung deutlich.

3.2.1.2 Kamm

Abhängig von der Hühnerrasse unterscheiden sich die Kämmen in ihrer Form, Größe und Farbe. Darauf wurde in Abschnitt 2.1.2 näher eingegangen. Um zu prüfen, ob sich der Kamm innerhalb einer Hühnerrasse zur Unterscheidung der Hühner eignet, werden zehn Legehennen auf Unterscheidungsmerkmale geprüft.

Hierzu werden die Kämme der Legehennen grafisch übereinandergelegt, um etwaige Muster erkennen zu können. Die Abbildung 37 zeigt den grafischen Vergleich von drei Kämmen.

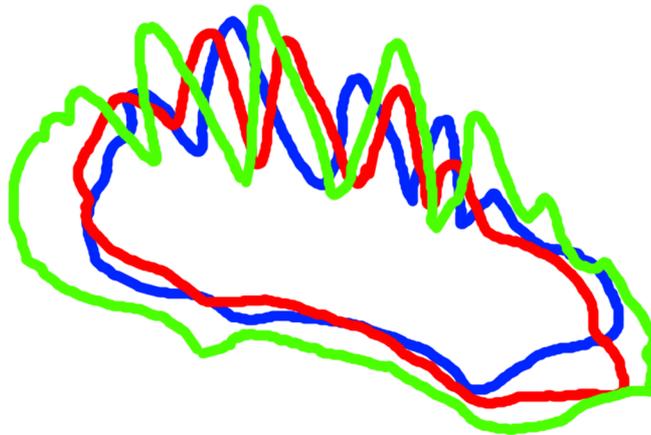


Abbildung 37: Vergleich der Kämme, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Legehennen, welche für diesen Vergleich herangezogen werden, besitzen einen typischen Einfachkamm. Die Überprüfung der Kämme lässt darauf schließen, dass sich die Kämme zwar unterscheiden, jedoch sehr viel Aufwand für die Realisierung bedeutet. Beobachtungen zeigen auch, dass Hennen die zu legen beginnen, zum Teil noch keinen voll ausgebildeten Kamm besitzen. Somit ändert sich dieser in seinem Aussehen. Des Weiteren müsste die Größe der Kämme miteinbezogen werden, was die Bildverarbeitung weiter erschwert. Andere Kammformen, wie Wulstkamm und Walnusskamm würden die Identifikation weiter erschweren, da diese Kammformen aufgrund ihrer Einfachheit nahezu keine Unterscheidungsmerkmale aufweisen. Die Identifikation der Legehennen durch den Kamm erweist sich somit als ungeeignet. Jedoch können die Hennen anhand des Kamms von anderen, Tieren wie beispielsweise einem Fuchs, unterschieden werden und ihnen der Zutritt bei geschlossenem Stall gewährt werden.

3.2.1.3 Künstliche Identifikationsmerkmale

Ein weiteres Konzept zur eindeutigen Unterscheidung der Legehennen ist die Identifikation mittels künstlicher Identifikationsmerkmale. Diese Merkmale können, wie in Unterabschnitt 2.4.1.2 näher erläutert, sowohl alphanummerische Merkmale als auch Form- oder Strichmuster sein.

Identifikation mittels Flügelmarke

Die bereits mehrmals erwähnte Flügelmarke besitzt eine eindeutige Nummer. Mit Hilfe dieser Nummer kann das Legehuhn identifiziert werden und über eine Bildverarbeitungssoftware ausgelesen werden. Die Nummer auf der Flügelmarke kann durch einen DataMatrix-Code ergänzt oder ersetzt werden, da der DataMatrix-Code für die Maschinenlesbarkeit viele Vorteile mit sich bringt. Diese werden in Unterabschnitt 2.4.4.2 näher erläutert. Die Position der Flügelmarke am Huhn ist jedoch für die Bildverarbeitung ungeeignet, da diese seitlich am Flügel des Huhns angebracht wird und bei manchen Tieren je nach Körperbau sehr tief positioniert ist.

Identifikation mittels Hühnermarke (Prototyp)

Die Flügelmarke zur Erfassung mit einem Kamerasystem wird als eher ungeeignet betrachtet, weshalb speziell für die maschinelle Identifikation mittels Bildverarbeitung ein eigens entwickelter Prototyp, in Abbildung 38 dargestellt, angedacht ist.

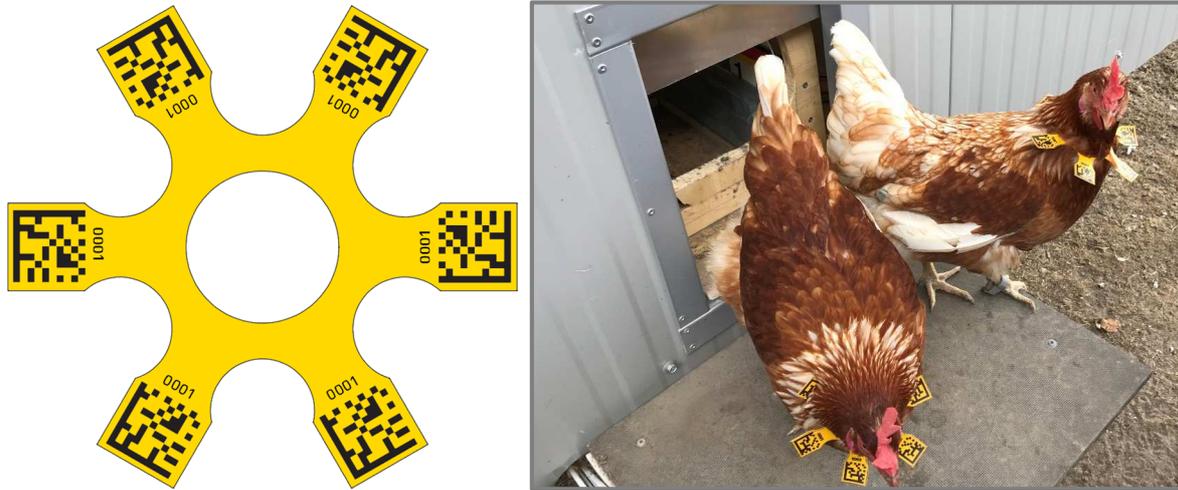


Abbildung 38: Hühnermarke (Prototyp), Quelle: Eigene Darstellung.

Die Hühnermarke wird um den Hals der Henne gelegt und besitzt sechs idente DataMatrix-Codes, welche eine eindeutige Nummer zur Identifikation der Henne beinhalten. Der DataMatrix-Code ist für die maschinelle Identifikation optimal geeignet, da dieser bis zu 33 % beschädigt sein kann und trotzdem noch lesbar ist. Um das Huhn auch ohne Lesegerät identifizieren zu können, ist die eindeutige Nummer auch als Klarschrift auf der Marke angebracht. Aufgrund des mehrfach vorhandenen DataMatrix-Codes ist eine Identifizierung mittels Bildverarbeitung auch dann möglich, wenn ein Code oder mehrere Codes durch etwaige Beschädigungen unleserlich sind. Durch die spezielle Anordnung des Codes ist dieser aus mehreren Richtungen durch eine Kamera erfassbar. Die Marke selbst besteht aus einer widerstandsfähigen 0,8 mm dicken Kunststoffplane, die sehr flexibel ist. Die spezielle Form der Hühnermarke sorgt dafür, dass sich die Federn des Huhns in die rundgeformten Freistellungen legen, wodurch der Code nicht verdeckt wird. Die innere Freistellung der Marke ist so groß gewählt, dass das Huhn durch die Marke nicht beeinträchtigt ist. Die Farbe der Hühnermarke ist gelb, da sie einen sehr guten Kontrast zum schwarzen Aufdruck darstellt und die maschinelle Lesbarkeit dadurch verbessert wird. Der Aufdruck ist mittels digitalen Tintenstrahldruckverfahren (ECO-SOLVENT Tinte) auf den Kunststoff aufgebracht. Zusätzlich ist die Marke mit einem speziellen Lack (VariColor Matt der Firma ADLER) versiegelt, um Lichtreflexionen bestmöglich zu unterdrücken. Dadurch wird die Lesbarkeit des Codes für die nachfolgende Bildverarbeitung verbessert.

3.2.1.4 Vergleich der Konzepte

Der Ansatz, Hühner durch natürliche Identifikationsmerkmale wie Federkleid und Kamm eindeutig zu unterscheiden, stellt sich als sehr aufwändig bis nicht realisierbar dar. Diese können zum Teil nur zur Erkennung des Huhns und nicht zur eindeutigen Unterscheidung herangezogen werden. Die Konzepte mittels Flügelmarke und Hühnermarke bieten den Vorteil von klar definierten Symbolen wie einer Klarschrift oder eines 2D-Codes und können maschinell deutlich einfacher verarbeitet werden.

3.2.1.5 Fazit

Die in Unterabschnitt 3.2.1.3 angeführte Hühnermarke ist speziell für die Identifikation von Legehennen mittels Bildverarbeitung ausgelegt. Sie bietet gegenüber den anderen Identifikationsmöglichkeiten viele Vorteile. Aufgrund dessen wird im nächsten Kapitel die Umsetzung mittels Hühnermarke weiterverfolgt.

3.2.2 Kamera

Eine der wichtigsten Komponenten für die Identifizierung von Objekten mittels Bildverarbeitung ist die Kamera. Da Kameras sehr kostspielig sind, stehen nachfolgende Kameras für diese Arbeit zur Verfügung.

3.2.2.1 Webcam – Besteker FHD1536P

Bei der Auswahl einer geeigneten Kamera für diese Arbeit wurde darauf geachtet, dass die Kamera einen manuell einstellbaren Fokus durch ein Objektiv besitzt. Ein automatischer Fokus birgt das Risiko, dass dieser zu langsam reagiert oder das falsche Ziel fokussiert. Des Weiteren haben Voruntersuchungen ergeben, dass die Kamera eine Bildrate von mindestens 25 fps aufweisen muss, um eine optimale Bildverarbeitung zu garantieren. Die Videoauflösung selbst ist zweitrangig, da heutige Kameras eine genügend hohe Auflösung besitzen.

Bei der ausgewählten Kamera, wie in Abbildung 39 dargestellt, handelt es sich um eine Webcam der Firma Besteker mit der Typenbezeichnung FHD1536P.



Abbildung 39: Webcam - Besteker FHD1536P, Quelle: Hdcamcorders.org (2018), Online-Quelle [11.10.2018].

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt eine Übersicht der Kameradaten.

Kameradaten	
Auflösung	Bis zu 2048 px x 1536 px (Full HD 1536P)
Bildrate	Max. 30 fps
Videoformat	H.264 / MJPG / YUY2
Objektiv	Full HD Carl Zeiss Standard 6-Element optische Glaslinse
Betrachtungswinkel	100 °
Sensor Typ	CMOS
Mono/Farbe	Farbe
Fokustyp	Manueller Fokus
Brennweite	70 mm - ∞
Blende	F/1,8
Schnittstelle	USB 2.0

Tabelle 10: Kameradaten Besteker FHD1536P, Quelle: Hdcamcorders.org (2018), Online-Quelle [11.10.2018].

3.2.2.2 Basler acA1300-60gmNIR GigE

Die in Abbildung 40 dargestellte Kamera der Firma Basler, besitzt ergänzend ein Objektiv mit der Bezeichnung Lens Ricoh FL-CC0814A-2M F1.4 f8mm 2/3".



Abbildung 40: Kamera mit Objektiv - Basler acA1300-60gmNIR GigE, Quelle: Eigene Darstellung.

Die nachfolgende Tabelle 11 zeigt eine Übersicht der technischen Daten von Kamera und Objektiv.

Daten Kamera	
Auflösung (HxV)	1280 px x 1024 px
Auflösung	1.3 MP
Bildrate	60 fps
Sensor Typ	CMOS
Sensorgroße	6,8 mm x 5,4 mm
Pixelgröße (H x V)	5,3 µm x 5,3 µm
Mono/Farbe	Mono (NIR)
Schnittstelle	GigE
Daten Objektiv	
Brennweite	8.0 mm
Blende	F1.4 - F16.0

Tabelle 11: Daten Kamera und Objektiv – Basler, Quelle: Basler AG (2018), Online-Quelle [10.11.2018].

Der Sensor dieser Kamera ist bis in den nahen Infrarotbereich optimiert, wodurch Objekte auch unter Infrarotbeleuchtung erfasst werden können. Die Abbildung 41 zeigt eine Gegenüberstellung der spektralen Empfindlichkeit von zwei vergleichbaren Kameras der Firma Basler mit und ohne optimiertem Erfassungsbereich im nahen Infrarot.

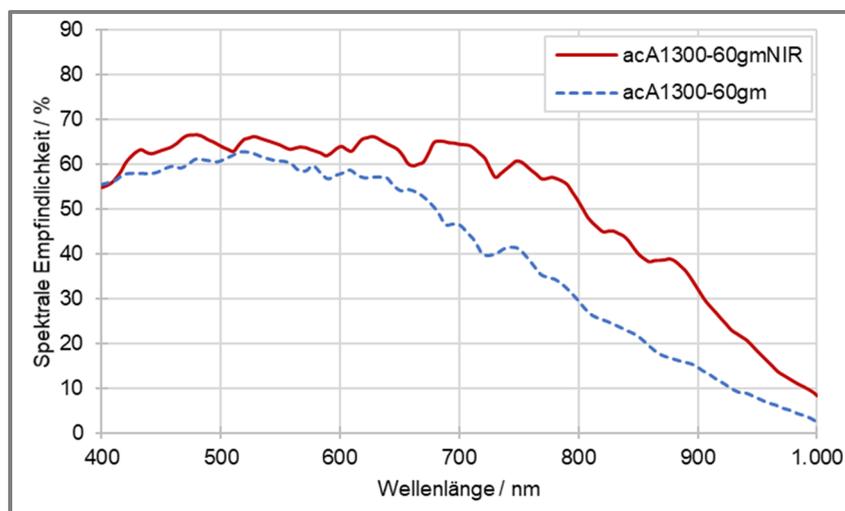


Abbildung 41: Gegenüberstellung der spektralen Kameraempfindlichkeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Ab einer Wellenlänge von ca. 650 nm (Bereich Rot) ist ein deutlicher Unterschied in der spektralen Empfindlichkeit der beiden Kameras zu erkennen. Nahes Infrarot beginnt bei einer Wellenlänge von 780 nm und endet bei 3 µm. Mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Kamera können verschiedene Lichtfarben bis in den Infrarotbereich für eine optimale Bildverarbeitung eingesetzt werden.

3.2.3 Konzepte zur Positionierung der Kamera

Um die, zuvor in Abschnitt 3.2.1 definierte Hühnermarke mit der Kamera optimal erfassen zu können, wird nun anschließend die Positionierung der Kamera betrachtet.

3.2.3.1 Zutrittsüberwachung

Passiert das Huhn die Auslauföffnung, muss die Hühnermarke durch die Kamera erfasst werden, um verfolgen zu können, welches Huhn sich im Stall oder im Außenbereich befindet. Dabei muss auch die Fortbewegungsrichtung des Huhns bekannt sein. Die Hühnermarke ist am besten zu erfassen, wenn die Kamera gegen die Laufrichtung des Huhns positioniert ist. Aus diesem Grund eignet sich die Positionierung zweier Kameras, wie in Abbildung 42 dargestellt, auf beide Seiten der Auslauföffnung.

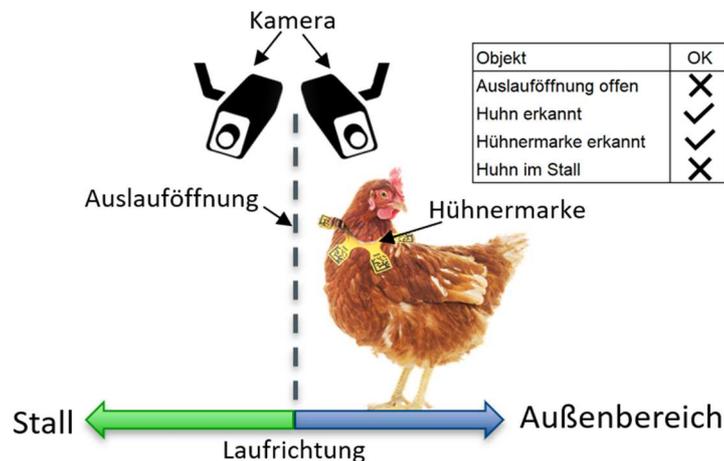


Abbildung 42: Zutrittsüberwachung mittels Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.

Ein großer Nachteil dieses Ansatzes ist die undefinierte Annäherung des Huhns zur Auslauföffnung. Das Huhn kann sich aus allen Richtungen der Auslauföffnung nähern, was das Erfassen der Hühnermarke durch die Kamera erschwert.

Einschränkung der Annäherungsrichtung durch einen Tunnel

Um das Huhn bestmöglich ausgerichtet an der Kamera vorbeizuführen, kann der Ansatz, welcher auch in Abschnitt 3.1.3 verfolgt wird, herangezogen werden. Hierfür wird die Auslauföffnung durch einen Tunnel erweitert, in dem die Kamera integriert ist. Das Huhn ist aufgrund der Tunnelführung, wie in Abbildung 43 dargestellt, zur Kamera ausgerichtet.

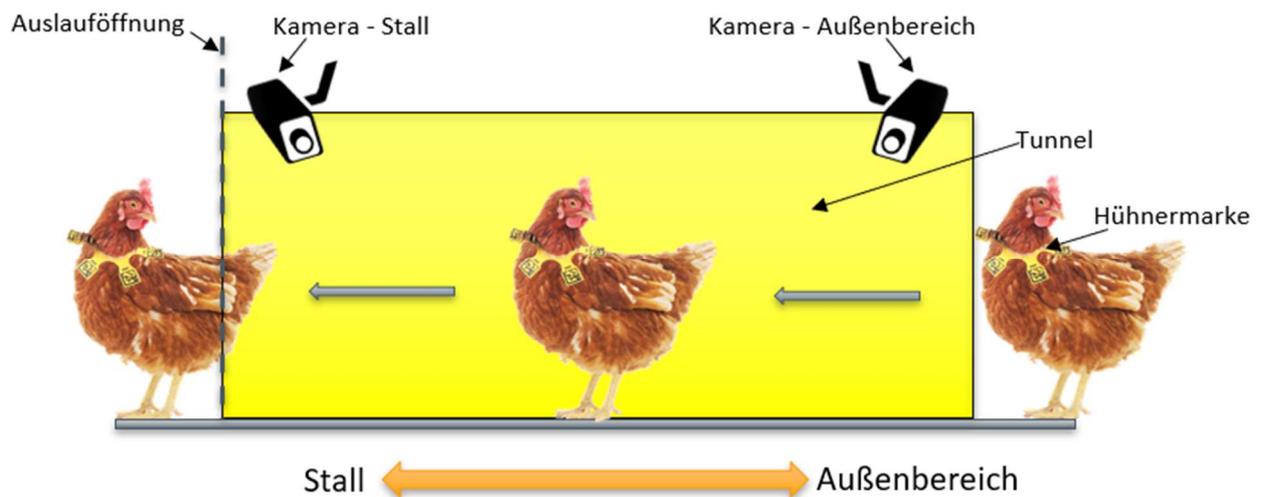


Abbildung 43: Zutrittsüberwachung mit Tunnel durch Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.

Wird angenommen, dass sich das Huhn im Außenbereich befindet und in Richtung Stall bewegt, ist es vom System vorerst als im Außenbereich befindlich vermerkt. Durchquert das Huhn den Tunnel, wird es von der Kamera, die den Zugang zum Stall überwacht, erfasst. Zugleich wird der DataMatrix-Code der Hühnermarke ausgelesen, wodurch das Huhn dem Stall zugeordnet wird. Bewegt sich das Huhn vom Stall in den Außenbereich oder ändert im Tunnel die Richtung, wird es von der Kamera für den Außenbereich erfasst und dem Außenbereich zugeordnet. Der Tunnel muss so gestaltet sein, dass das Huhn gegebenenfalls im Tunnel wenden kann. Somit ist sichergestellt, dass sich das Tier immer in Vorwärtsrichtung aus dem Tunnel bewegt und die Marke von der Kamera erfasst wird.

Fazit

Mit Hilfe von zwei Kameras kann auf einfache Weise die Fortbewegungsrichtung des Huhns festgestellt werden. Durch den Tunnel ist das Huhn und somit die Hühnermarke bestmöglich zur Kamera ausgerichtet, was die weitere Bildverarbeitung deutlich vereinfacht. Daher wird im nächsten Kapitel die Umsetzung mittels Tunnel verfolgt.

3.2.3.2 Legeleistung

Zur Ermittlung der Legeleistung mittels Bildverarbeitung, muss sowohl das Legehuhn identifiziert werden, als auch das gelegte Ei erkannt werden. Für die Umsetzung gibt es mehrere Herangehensweisen, die geeignetsten werden nachfolgend betrachtet.

Identifikation des Huhns mittels Bildverarbeitung und Erfassen des Eis durch Gewichtsmessung

Wird der Ansatz der Bildverarbeitung nur zur Identifikation des Huhns herangezogen, so besteht die Möglichkeit, wie in Abbildung 44 dargestellt, mit nur einer Kamera mehrere Legenester zu überwachen. Die Kamera muss so positioniert sein, dass die Hühnermarke entweder beim Eintritt oder beim Verlassen der Legenester erfasst wird.

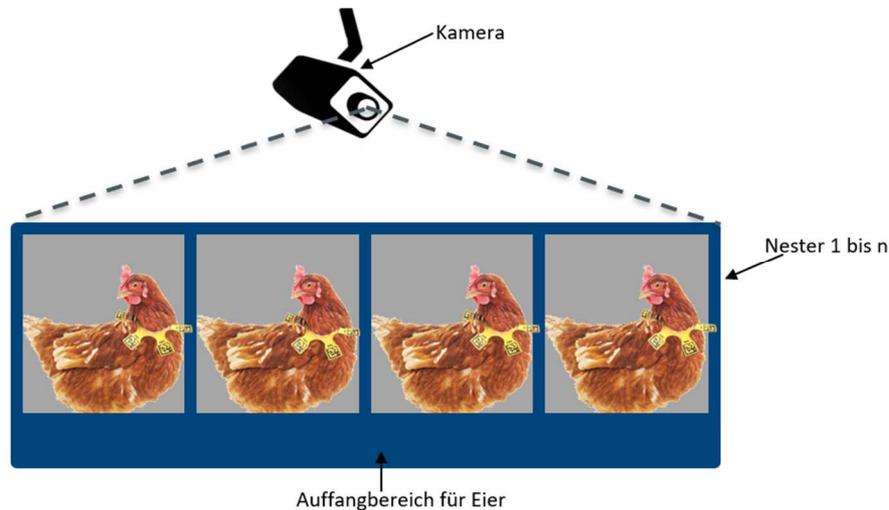


Abbildung 44: Erfassen von mehreren Nestern durch eine Kamera, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Erfassen der Marke beim Verlassen des Nestes ist geeigneter, da das Tier gerade und in Vorwärtsrichtung aus dem Nest steigt. Beim Betreten hat das Tier die Möglichkeit, sich von mehreren Seiten dem Nest zu nähern, was das Erfassen der Marke erschwert. Zu beachten ist auch, dass je mehr Nester zugleich überwacht werden, desto weiter entfernt muss die Kamera positioniert sein. Dadurch ist der zu erfassende DataMatrix-Code im Bild wesentlich kleiner dargestellt und erschwert die Bildverarbeitung. Aus diesem Grund muss geprüft werden, wie viele Nester zugleich überwacht werden können, ohne das Auslesen des Codes zu beeinträchtigen. Die Kamera ist außerhalb der Nester positioniert, wodurch es über den Tagesverlauf zu unterschiedlichen Lichtverhältnissen kommen kann. Unterschiedliche Lichtverhältnisse erschweren die Bildverarbeitung und müssen beachtet werden. Aus diesem Grund muss mehr Aufwand in die richtige Beleuchtungstechnik gesteckt werden. Zum Erfassen des Eis kann auf die Konzepte in Unterabschnitt 3.1.4.2 zurückgegriffen werden.

Identifikation des Huhns, sowie Erfassen des Eis mittels Bildverarbeitung

Ein weiteres Konzept zur Ermittlung der Legeleistung mittels Bildverarbeitung ist, wie in Abbildung 45 dargestellt, die Positionierung einer Kamera in jedem Legenest.

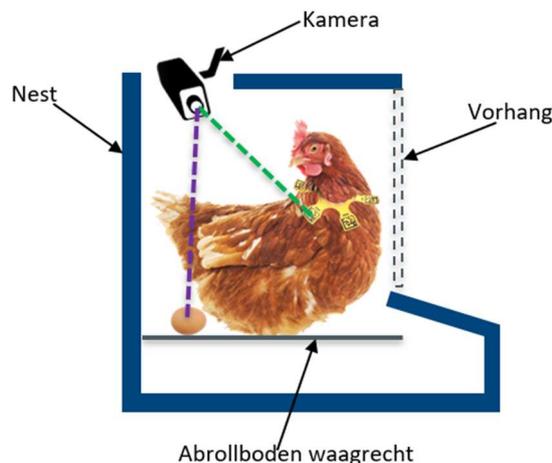


Abbildung 45: Kamera positioniert im Legenest, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit diesem Ansatz kann nicht nur das Huhn über die Kamera identifiziert werden, sondern auch das gelegte Ei erkannt werden. Um beide Objekte erfassen zu können, muss die Kamera von oben in das Nest blicken. Hierbei ist jedoch der Kamerafokus zu beachten. Die Hühnermarke und somit der DataMatrix-Code, befindet sich näher an der Kamera als das abgelegte Ei. Somit wird bei fest eingestelltem Fokus eines der beiden Objekte unscharf dargestellt. Um den DataMatrix-Code über die Bildverarbeitungssoftware sicher auslesen zu können, sollte der Kamerafokus für die Erfassung des DataMatrix-Codes optimiert sein. Das Ei im Nest sollte aufgrund der einfachen Form auch dann erkannt werden, wenn es durch die Kamera unscharf aufgenommen wird. Die Erfassung eines unscharf dargestellten Eis ist somit über die Bildverarbeitungssoftware leichter realisierbar, als das Auslesen eines unscharfen Codes. Da die Kamera direkt im Nest positioniert ist, herrschen über den Tagesverlauf annähernd gleiche Lichtverhältnisse. Diese können durch eine geeignete Beleuchtungstechnik verbessert werden. Erfahrungsgemäß rollt das gelegte Ei in den Auffangbereich für die Eier, bevor das Huhn das Nest verlassen hat. Dadurch kann das Ei von der Kamera nicht erkannt werden. Um das Ei überhaupt mit der Kamera erfassen zu können, ist es notwendig, den Abrollboden im Nest waagrecht zu stellen, damit es nicht in den Auffangbereich gelangt. Ist das Ei von der Kamera erfasst, muss es durch eine Abkippvorrichtung, oder ähnlichem, in den Auffangbereich geleitet werden. Dies ist notwendig, um das Nest für nachfolgende Hennen attraktiv zu halten.

Vergleich der Konzepte

Die Kombination aus Bildverarbeitung und Gewichtsmessung bringt den Vorteil, mehrere Nester mit nur einer Kamera überwachen zu können. Jedoch kann durch diesen Ansatz nur die Identifikation der Legehennen mittels Bildverarbeitung durchgeführt werden. Es benötigt zusätzliche Komponenten, die das Erfassen des Eis ermöglichen. Hingegen bietet der Ansatz zur Positionierung der Kamera direkt im Legenest den Vorteil, Huhn und Ei mit der Kamera zu erfassen. Es ist auch einfacher, die richtige Beleuchtung zu wählen. Das Ei muss jedoch durch eine zusätzliche Vorrichtung aus dem Nest entfernt werden.

Zum Vergleich werden die wichtigsten Betrachtungsaspekte in der Tabelle 10 gegenübergestellt und anschließend bewertet.

Kameraposition Betrachtungsaspekte	Außerhalb des Nests	Im Nest
Zusätzliche Komponenten benötigt	Ja, zum Erfassen des Eis	Ja, zum Entfernen des Eis aus dem Nest
Erfassung von Huhn und Ei mittels Bildverarbeitung möglich	Nein, Ei kann nicht erfasst werden	Ja
Aufwand für geeignete Beleuchtung	Hoch	Mittel - gering
Anforderung an die Bildverarbeitung	Abhängig von der Anzahl der zu überwachenden Nester und Größe des Data-Matrix-Codes, sowie der Beleuchtung	Gering

Die Farben stehen für die Gewichtung der Betrachtungsaspekte: "Vorteil", "Neutral", "Nachteil"

Tabelle 12: Vergleich der Kamerapositionen zur Erfassung der Legeleistung, Quelle: Eigene Darstellung.

Gewichtet man die Betrachtungsaspekte nach den Farben und vergibt Punkte von 1 für Vorteil, 0 für neutral und -1 für Nachteil, erhält man -3 Punkte für die Kamerapositionierung außerhalb des Nestes und einen Punkt für Positionierung im Nest.

Fazit

Die Positionierung der Kamera im Legenest erweist sich als am praktikabelsten. Mit diesem Ansatz kann sowohl die Henne identifiziert und das Ei erfasst werden. Aufgrund des Bewertungsergebnisses wird im nächsten Kapitel die Umsetzung der Kamerapositionierung im Nest verfolgt.

3.2.4 Auswahl der geeigneten Beleuchtung

Um die zu erfassenden Objekte und deren Merkmale so gut wie möglich sichtbar zu machen, bedarf es einer geeigneten Beleuchtung. Anhand der in dieser Arbeit zuvor ausgewählten Konzepte und Komponenten muss eine geeignete Beleuchtungstechnik gewählt werden.

3.2.4.1 Tunnel

Damit die Hühner den Tunnel gerne passieren, sollte dieser hell und freundlich gestaltet sein. Jedoch darf die Beleuchtungsstärke nicht so gewählt sein, dass die Hühner geblendet werden. Zur Ermittlung, welches Huhn sich im Stall oder im Außenbereich befindet, ist es primär wichtig, die Hühnermarke und den darauf befindlichen DataMatrix-Code zu erfassen. Dies ist nur mit einer Auflichtbeleuchtung möglich, die in Unterabschnitt 2.4.3.2 erläutert ist. Die Durchlichtbeleuchtung kann hier nicht angewendet werden, da sich diese vorwiegend für die Darstellung der Konturen von Objekten eignet. Neben der Beleuchtungsart spielt auch die Lichtfarbe eine wichtige Rolle. Hierzu eignen sich LED-Lichtquellen am besten. Diese sind Stand der Technik und sind in unterschiedlichsten Lichtfarben erhältlich. Zur Verstärkung des Kontrastes der gelben Hühnermarke mit schwarzem Aufdruck eignen sich Beleuchtungen mit den Lichtfarben, Rot, Grün, Weiß oder Infrarot am besten. Nicht geeignet ist eine Lichtfarbe im Blaubereich. Diese erzeugt, wie in Unterabschnitt 2.4.3.2 eingegangen, im Hinblick auf die Hühnermarke keinen guten Kontrast und erschwert die Bildverarbeitung.

Fazit

Für die Ausleuchtung des Tunnels wird auf eine Weißlichtbeleuchtung gesetzt, die dem Tageslicht ähnelt. Eine Farbtemperatur von ca. 4.000 Kelvin erscheint am geeignetsten, da es sich um das Tageslicht am Morgen und am Abend handelt. In diesem Zeitabschnitt passieren die Hühner für gewöhnlich den Tunnel am häufigsten, wodurch der Tunnel so angenehm wie möglich für die Hühner beleuchtet ist.

3.2.4.2 Nest

Für das Legenest gelten annähernd dieselben Anforderungen wie für den Tunnel. Jedoch sollte das Nest dunkel gehalten sein, damit es für das Huhn attraktiv ist. Dies stellt eine hohe Anforderung an die Beleuchtung und daraus resultierend an die Bildverarbeitung. Anhand der zwei zur Verfügung stehenden Kameras eignen sich nachfolgende Beleuchtungen am besten.

Rote Auflichtbeleuchtung

Für eine optimale Erfassung von Henne, Ei und Hühnermarke mittels Bildverarbeitung bedarf es einer entsprechenden Beleuchtung. Rote und blaue Lichtquellen wirken wie in Unterabschnitt 2.4.3.2 eingegangen, beruhigend auf die Hennen und sind somit im Legenest für die benötigte Beleuchtung zu bevorzugen. Da wie schon erwähnt blaue Lichtquellen für das Erfassen und Auslesen der Hühnermarke ungeeignet sind, sollte in Kombination mit der zur Verfügung stehenden Webcam eine rote Lichtquelle für die Umsetzung verwendet.

Infrarote Auflichtbeleuchtung

Hühner weisen im Infrarotbereich eine geringe spektrale Empfindlichkeit auf (siehe Unterabschnitt 2.4.3.2). Dadurch erweist sich eine Beleuchtung des Legenestes im Infrarotbereich als sehr geeignet. In Zusammenspiel mit der zur Verfügung gestellten Kamera, welche im nahen Infrarotbereich eine hohe Sensitivität aufweist, ist diese Variante zu bevorzugen.

Fazit

Neben der richtigen Objektbeleuchtung muss auch auf das Wohlbefinden der Hennen geachtet werden. Daher wird für die Beleuchtung des Nestes eine rote bzw. infrarote Lichtquelle eingesetzt. Für die Umsetzung im nächsten Kapitel werden beide zur Verfügung stehenden Kameras eingesetzt, um zu prüfen, ob es für die Bildverarbeitung merkbare Unterschiede gibt.

3.2.5 Bildverarbeitungssoftware - HALCON

Für die weitere Vorgehensweise und Umsetzung wird die Bildverarbeitungssoftware HALCON verwendet. HALCON ist eine universelle Software für die industrielle Bildverarbeitung der Firma MVTec Software GmbH. Die Software findet in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten, wie zum Beispiel Automobilbau & Robotik, Verpackungsindustrie, medizinische Bildanalyse sowie für Nahrungsmittel und im Gesundheitswesen, Einsatz. Eine integrierte Entwicklungsumgebung namens HDevelop ermöglicht eine schnelle und effektive Entwicklung von Bildverarbeitungslösungen. HDevelop besitzt eine grafische Benutzeroberfläche, mit der eigene Lösungen auf einfache Weise konfiguriert werden können. Mehr als 1.000 Beispielprogramme, die nach Themen und Kategorien sortiert sind, unterstützen die Entwicklung eigener Lösungen. HALCON besitzt eine umfangreiche Bibliothek mit mehr als 2.100 leistungsstarken Operatoren aus Programmiersprachen wie C-, C++- und .NET-Sprachen wie C# und VB.NET. Mit Hilfe eines Plugins für Visual Studio kann beispielsweise die eigene Entwicklungsumgebung weiterhin genutzt werden und der Bildverarbeitungsteil des Projektes in einer dafür optimierten Entwicklungsumgebung realisiert und importiert werden. Die Software bietet des Weiteren einen Zugriff auf verschiedene Bildeinzugsquellen. Neben einer großen Anzahl an verschiedenen industriellen Kameras, können auch Standard-Webcams eingebunden werden.⁵¹

⁵¹ Vgl. MVTec Software GmbH (2018), Online-Quelle [11.11.2018].

4 VERSUCHE

In diesem Kapitel werden die zuvor ausgewählten Konzepte zur automatisierten Erfassung der Legeleistung sowie für die automatisierte Zutrittsüberwachung durch Versuchsaufbauten getestet. Die Umsetzung findet anhand eines fahrbaren Hühnerstalls statt, der für ca. hundert Legehennen ausgelegt ist. Dieser besitzt zehn aneinandergereihte Legenester und eine Auslauföffnung, durch die die Hennen ins Freie gelangen. Um den Aufwand für die Versuchsaufbauten zur Ermittlung der Legeleistung zu reduzieren, werden vorerst nur zehn Legehennen eingestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Hennen werden nur zwei Legenester benötigt und die übrigen verschlossen. Dies hat den Vorteil, dass nur zwei Nester überwacht werden müssen. Da die Umsetzung zur Ermittlung der Legeleistung anhand zweier sehr unterschiedlicher Ansätze geprüft werden soll, wird, wie in Abbildung 46 dargestellt, in einem Nest die Umsetzung mittels RFID getestet und im zweiten Nest die Umsetzung mittels Bildverarbeitung.



Abbildung 46: Legenester, Quelle: Eigene Darstellung.

Über den beiden Nestern positioniert ist ein für die Hühner nicht zugänglicher Bereich. Dieser Bereich ist für etwaige benötigte elektronische Komponenten vorgesehen, die für die Umsetzung benötigt werden. Die Versuchsaufbauten sollen zeigen, in wie weit die ausgewählten Konzepte für die Anwendung geeignet sind.

4.1 Umsetzung mittels RFID

Dieses Unterkapitel behandelt die Umsetzung der zuvor ausgewählten Konzepte mittels RFID. Zuerst werden die benötigten Komponenten, die für die Versuche notwendig sind, definiert. Anschließend werden anhand von Versuchsaufbauten die Konzepte auf deren Tauglichkeit für die Anwendung geprüft.

4.1.1 RFID-Komponenten

Wie aus den vorherigen Kapiteln hervorgeht, wird ein RFID-System im Frequenzbereich von 125 kHz als am geeignetsten für diese Anwendung betrachtet. Für die Umsetzung mittels RFID werden nachfolgende Komponenten ausgewählt.

4.1.1.1 Geflügelring

Wie im Abschnitt 3.1.2 hervorgeht, erweist sich der Geflügelring mit integriertem Transponder als am praktikabelsten. Diese elektronischen Ringe, welche am Bein des Huhns angebracht sind werden seit einiger Zeit am Markt angeboten. Der für diese Arbeit ausgewählte Geflügelring, wird von der Firma RFIDSolutions e.K. bezogen und ist aufgrund der Ringgröße speziell für die Identifikation von Hennen ausgelegt. Der in Abbildung 47 dargestellte Geflügelring hat einen Innendurchmesser von 18 mm und besitzt einen im Ring vergossenen 125 kHz Transponder.



Abbildung 47: Geflügelring mit 125 kHz Transponder, Quelle: RFIDSolutions e.K. (2018), Online-Quelle [12.11.2018].

Der integrierte Transponder besitzt eine eindeutige Identifikationsnummer, die durch ein Lesegerät ausgelesen werden kann. In der nachfolgenden Tabelle 13, sind die technischen Daten des Transponders zusammengefasst.

Transponderdaten	
Betriebsfrequenz	125 kHz
Chip-Typ	TK4100
UID	Ja
Speicher	Nein
Material	ABS
IP-Schutzart	IP66
Ringinnendurchmesser	18 mm
Ringhöhe	18 mm

Tabelle 13: Transponderdaten, Quelle: RFIDSolutions e.K. (2018), Online-Quelle [12.11.2018].

4.1.1.2 Lesegerät

Anhand einer Internetrecherche und der Rücksprache mit einigen Herstellern von RFID-Systemen wird für die Umsetzung ein RFID-Lesegerät mit der Typenbezeichnung DXSLR30-232 der Firma RS-Systems Engineering gewählt, welches in Abbildung 48 dargestellt ist.

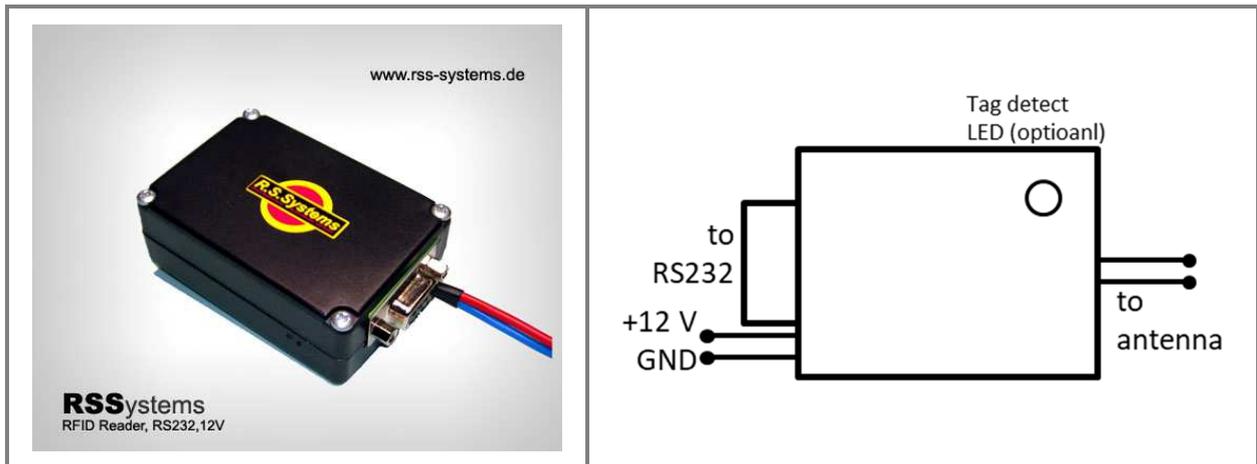


Abbildung 48: RFID-Lesegerät - Type DXSLR30-232, Quelle: RS-Systems Engineering (2018), Online-Quelle [12.11.2018].

Das Lesegerät ist für ein kontinuierliches Auslesen eines Transponders ausgelegt. Es liest somit ununterbrochen die ID des Transponders aus und sendet diese über die RS232 Schnittstelle an das dafür vorgesehene Endgerät. Für diese Arbeit wird ein handelsüblicher Computer eingesetzt, der die Daten entsprechend weiterverarbeitet. Das Gerät besitzt keine integrierte Antenne und benötigt daher zur Kommunikation mit dem Transponder eine zusätzliche Antenne. Das Lesegerät selbst wird vom Hersteller als „Long Range“ Lesegerät bezeichnet und kann abhängig vom eingesetzten Transponder eine Lesereichweite von bis zu 400 mm erreichen. Nach Rücksprache mit dem Hersteller kann die angegebene Lesereichweite in Kombination mit der für das Lesegerät angebotenen Antenne „SLR30 Strong long-ra. 30x30cm“ und einem Transponder im Scheckkartenformat erreicht werden. Da der Transponder im Geflügelring wesentlich kleiner ist, ist auch die Lesereichweite eingeschränkt und muss abhängig von der Anwendung ermittelt werden. Die nachfolgende Tabelle 14 gibt einen Überblick über die technischen Daten des Lesegerätes.

Daten Lesegerät	
Spannungsversorgung	12 VDC
Kompatible Transponder	EM4100, EM4102
Lesemodus	Kontinuierlich
Lesesyklus	0,125 s
Schnittstelle	RS232 (Baud: 4800, 8N1)

Tabelle 14: Technische Daten des RFID-Lesegeräts - Type DXSLR30-232, Quelle: RS-Systems Engineering (2018), Online-Quelle [12.11.2018].

4.1.2 Umsetzung der Zutrittsüberwachung

In diesem Abschnitt wird auf die Umsetzung der ausgewählten Konzepte für die automatisierte Zutrittsüberwachung eingegangen. Anhand von Versuchsaufbauten soll geprüft werden, inwieweit diese für die Anwendung geeignet sind.

4.1.2.1 Tunnel mit Durchgangsantenne

Damit der Transponder, wie in Abschnitt 3.1.3 dargestellt, sicher erkannt wird und die Hennen einzeln die Antennen passieren, bedarf es eines Tunnels. Um die Größe des Tunnels zu bestimmen, werden die Hennen vermessen. Anhand der Vermessungen ergibt sich der in Abbildung 49 dargestellte Tunnel für die ersten Versuche.

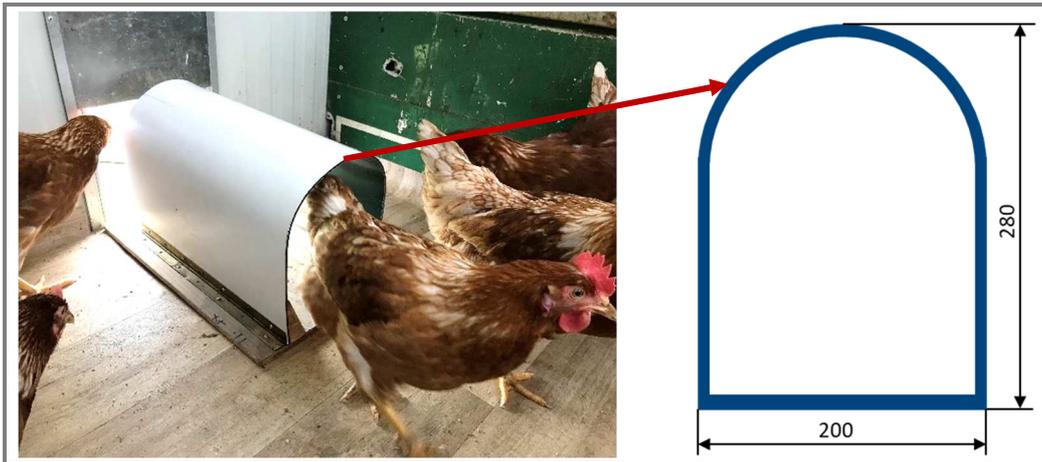


Abbildung 49: Tunnelform für Durchgangsantenne (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.

Der Tunnel besitzt eine Breite von 200 mm und ist 280 mm hoch. Für den Tunnel wird zunächst eine passende Durchgangsantenne benötigt. Diese muss mit dem zuvor genannten Lesegerät kompatibel sein. Die in Abbildung 50 dargestellte Antenne ist eigens für den Tunnel gewickelt (Eigenbau) und mit dem Lesegerät abgeglichen. Zum Schutz der Antenne sowie für eine bessere Stabilität wird diese mit einem Kunststoffband umwickelt und in einen dafür angefertigten Holzrahmen eingepasst.



Abbildung 50: Links: Gewickelte Durchgangsantenne, Rechts: Antenne eingefasst in einem Holzrahmen, Quelle: Eigene Darstellung.

Um erfassen zu können, ob sich das Huhn im Stall oder im Außenbereich befindet, bedarf es einer Antenne auf jeder Seite des Tunnels. Damit die Position des Huhns eindeutig ist, muss sichergestellt sein, dass der Transponder nicht von beiden Antennen zugleich erfasst wird. Zur Ermittlung des Mindestabstandes der beiden Antennen werden fünf Transponder herangezogen, die zwischen den beiden Antennen geführt werden. Der Abstand der Antennen wird dabei solange vergrößert bis unabhängig von der Transponderposition, dieser nur mehr von einer Antenne erfasst wird. Um zu prüfen, ob eines der beiden Lesegeräte den Transponder erfasst hat, erfolgt die Kommunikation mit den beiden Geräten über einen RS232-zu-USB-Umsetzer, der mit einem Computer verbunden ist. Über ein Terminalprogramm namens HTerm wird die ausgelesene Transponder-ID angezeigt.

Des Weiteren kann durch die Ermittlung des Mindestabstandes der Antennen festgestellt werden, dass sich die Lesedistanzen der fünf verwendeten Transponder merklich unterscheiden. Aufgrund dessen

werden insgesamt zehn Transponder herangezogen und die Lesedistanzen zur Antenne ermittelt. Die ermittelten Lesedistanzen der Transponder sind in Abbildung 51 grafisch dargestellt.

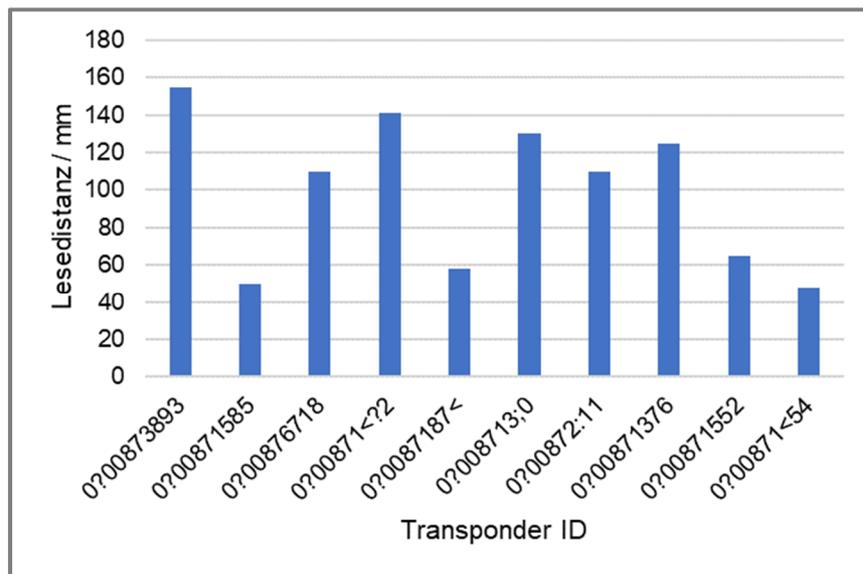


Abbildung 51: Ermittelte Lesedistanz der Geflügelringe. Geflügelring parallel zur Leseantenne ausgerichtet, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der unterschiedlichen Lesedistanzen werden die Geflügelringe genauer untersucht und Schliffbilder der vergossenen Transpondern angefertigt. Die in Abbildung 52 dargestellten Schliffbilder zeigen jedoch keinen merklichen Unterschied. Alle Transponder sind im Geflügelring nahezu gleich ausgerichtet und vergossen.



Abbildung 52: Schliffbilder von vergossenen Transpondern im Geflügelring, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Spule mit Ferritkern des integrierten Transponders hat eine Länge von ca. 10,50 mm sowie einen Durchmesser von ca. 4,30 mm.

Da sich die Lesedistanzen der Geflügelringe merklich unterscheiden und somit die Versuchsaufbauten beeinflussen, werden diese ersetzt. Aufgrund der Tatsache, dass es nur wenige Anbieter von Geflügelringen mit integriertem RFID-Transponder am europäischen Markt gibt, werden die Transponder der schon bestehenden Geflügelringe durch Glastransponder ersetzt. Zur Auswahl eines passenden Glastransponders für die Anwendung, werden die in Tabelle 15 angeführten Transponder geprüft.

Bild	Abmessungen / mm	Transponder	Anbieter
	12,00 x 2,00	EM4100	RS-Systems Engineering
	13,50 x 3,05	EM4102	AEG Identifikationssysteme GmbH

Tabelle 15: Ausgewählte Glastransponder, Quelle: Eigene Darstellung.

Untersuchungen zeigen, dass die ausgewählten Transponder untereinander nicht so stark in ihrer Lesereichweite variieren wie die Transponder im Geflügelring. Um eine Aussage treffen zu können, welcher Transponder am geeignetsten ist, wird abhängig von der Orientierung des Transponders zur Antenne die Lesedistanz ermittelt. Die nachfolgende Abbildung 53 zeigt die ermittelten Lesedistanzen der Transponder.

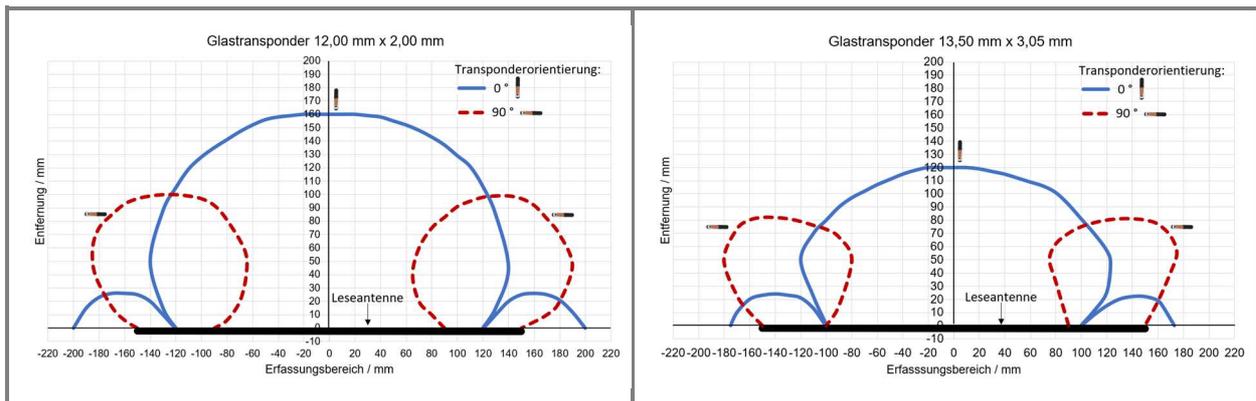


Abbildung 53: Ermittelte Lesedistanz der ausgewählten Transponder in Abhängigkeit der Orientierung zur Antenne. Verwendete Leseantenne SLR30A der Firma RS-Systems Engineering, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lesereichweite abhängig von der Transponderorientierung zur Leseantenne ist. Eine Orientierung des Transponders von 0 ° erzielt die höchste Reichweite. Bei dieser Orientierung steht die Spule des Transponders parallel zur Leseantenne. Bei einer Transponderorientierung von 90 °, kann es dazu kommen, dass der Transponder nicht erkannt wird. Die in Abbildung 53 dargestellten Lesedistanzen der beiden Glastransponder zeigen, dass der Transponder mit den Abmessungen 12,00 mm x 2,00 mm eine etwas bessere Reichweite aufweist. Die Lesedistanzen der schon vergossenen Transponder werden in der Abbildung 53 nicht dargestellt, da diese merklich variieren. Anhand der ermittelten Ergebnisse wird für die weitere Vorgehensweise der kleinere Transponder mit den Abmessungen 12,00 mm x 2,00 mm herangezogen. Dabei werden die schon vergossenen Transponder aus dem Geflügelring entfernt und der Glastransponder, wie in Abbildung 54 dargestellt, mit Kunstharz neu vergossen.



Abbildung 54: Ausrichtung des vergossenen Glastransponders im Geflügelring, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der Geflügelringe mit eingesetztem Glastransponder ergibt sich ein Mindestabstand zwischen den beiden Leseantennen von 500 mm. Zur Prüfung der Tauglichkeit des Versuchsaufbaus mittels Durchgangsantenne werden alle zehn Legehennen mit dem Geflügelring ausgestattet. Die RFID-Lesegeräte, welche an beiden Enden des Tunnels angebracht sind, werden vor der Auslauföffnung des Stalls positioniert und mit einem Computer verbunden. Die beiden Lesegeräte senden, sobald ein Huhn erfasst wird, die Transponder-ID an das Terminalprogramm HTerm. Die vom Terminalprogramm empfangenen Transponder-IDs können anschließend in ein Log-File gespeichert und entsprechend ausgewertet werden. Damit die Hühner auf natürliche Weise den Tunnel durchqueren, erfolgt die Aufzeichnung am frühen Morgen, sobald sich die Auslauföffnung öffnet und die Hühner den Stall eigenständig verlassen. Bei der in Tabelle 16 dargestellten Übersicht der erfassten Transponder, handelt es sich um eine Auswertung, bei der jedes Huhn den Tunnel einmal passiert hat.

Transponder ID	Lesegerät 1	Lesegerät 2
0419;=?>2	0	0
0419;>19=5	1	0
0419;=?84:	1	0
0419;=?:=7	0	0
0419;><37:	1	1
0419;=<<?4	0	0
0419;>1=1>	0	0
0419;=?1>6	0	1
0419;=>;>	1	1
0419;=?<1	0	0
Erfasste Transponder	40 %	30 %

Tabelle 16: Übersicht der erkannten Transponder mittels Durchgangsantennen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Auswertung der Log-Files zeigt, dass mit dem aktuellen Versuchsaufbau nicht jeder Transponder durch beide Lesegeräte zuverlässig erkannt wird. Nur zwei der zehn Hennen werden von beiden Lesegeräten erfasst. Insgesamt werden vier Hennen vom ersten Lesegerät erfasst und nur drei vom zweiten. Zwei weitere Hennen werden gar nicht erkannt.

Untersuchungen des Versuchsaufbaus zeigen, dass die Hennen den Tunnel sehr schnell durchqueren. Dadurch steht nur wenig Zeit für das Lesegerät zur Verfügung, um die ID des Transponders auszulesen. Des Weiteren ist die Orientierung des Transponders zur Antenne beim Durchqueren undefiniert. Aufgrund der Transponderausrichtung am Bein des Huhns, kommt es häufig vor, dass der Transponder eine Orientierung von 90 ° zur Antenne aufweist. Dies beeinträchtigt die Kommunikation mit dem Transponder. Zur Optimierung des Versuchsaufbaus, wird, wie in Abbildung 55 dargestellt, ein Hindernis direkt in die Durchgangsantennen integriert. Das Huhn muss somit das Hindernis übersteigen, wodurch die Ausrichtung des Transponders zur Antenne verbessert wird. Zugleich soll durch das Hindernis die Geschwindigkeit des Huhns beim Durchqueren der Antenne reduziert werden.

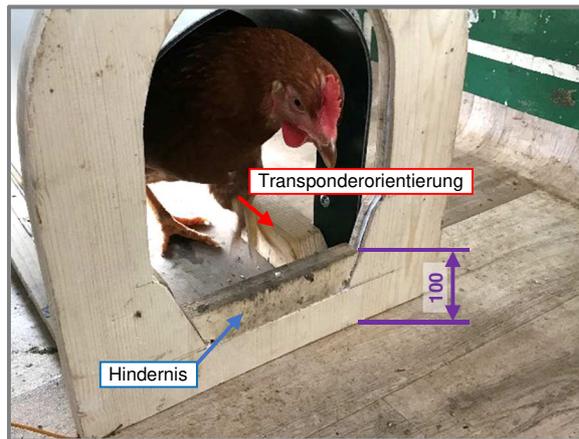


Abbildung 55: Durchgangsantenne mit Hindernis (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.

Zur Überprüfung der Erfassungssicherheit der Transponder werden die Tunneldurchgänge mittels Videoaufzeichnung dokumentiert und die Log-Datei mit den erfassten Transpondern entsprechend ausgewertet. Für eine einfachere Aufzeichnung und Auswertung der erfassten Transponder wird eine eigens für diese Arbeit entwickelte Software genutzt. Auf die Software wird in Unterabschnitt 4.1.4.1 näher eingegangen. Die Tabelle 17 zeigt die Auswertung der erfassten Transponder über einen Zeitraum von drei Tagen.

Anzahl der Hennen	Anzahl der Durchgänge	Erfasste Hennen Lesegerät 1	Erfasste Hennen Lesegerät 2	Korrekt Erfasste Durchgänge
10	72	63,9 %	66,7 %	70,8 %

Tabelle 17: Auswertung der erfassten Transponder mittels Durchgangsantenne und Hindernis, Quelle: Eigene Darstellung.

Als korrekt erfasster Durchgang wird in dieser Arbeit bezeichnet, wenn das Huhn beim Durchqueren des Tunnels letztendlich dem richtigen Bereich zugeordnet ist. Gegenüber dem ersten Versuchsaufbau ist der zweite mit integriertem Hindernis deutlich erfolgreicher. Dennoch kann nur eine korrekte Erfassung der Durchgänge von 70,8 % erreicht werden.

Untersuchungen des Versuchsaufbaus mit Hindernis lassen darauf schließen, dass die Wahrscheinlichkeit eines falsch zur Durchgangsantenne ausgerichteten Transponders reduziert ist. Dennoch treten Fälle auf, bei dem die Transponderorientierung ein Auslesen der ID unmöglich macht.

Fazit

Anhand des Versuchsaufbaus mit Durchgangsantenne kann festgestellt werden, dass die Orientierung des Transponders zur Leseantenne eine wichtige Rolle spielt. Mit der für diesen Aufbau ausgewählten Komponenten kann kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Für diesen Aufbau müsste der Transponder am Huhn um 90 ° gedreht werden. Hierfür könnte z.B. die Flügelmarke mit einem Transponder ausgestattet werden, der entsprechend zur Leseantenne ausgerichtet ist.

4.1.2.2 Tunnel mit horizontal angeordneter Leseantenne

Für den Versuchsaufbau mit liegenden Leseantennen werden dieselben Tunnelabmessungen herangezogen wie für den Tunnel mit Durchgangsantenne in Unterabschnitt 4.1.2.1. Die liegenden Antennen bieten den Vorteil, dass die Spule des im Geflügelring vergossenen Transponders parallel zur

Leseantenne ausgerichtet ist. Somit ist eine bestmögliche Orientierung zum Erfassen des Transponders gegeben.

Auslegung der Leseantennen

Anhand der in dieser Arbeit schon gewonnenen Erfahrungen muss sichergestellt werden, dass das Huhn direkt auf die Antenne des Lesegerätes tritt. Beim Auftreten rollt das Huhn das Bein ab, wodurch die Transponderspule, wie in Abbildung 56 dargestellt, zu einem bestimmten Zeitpunkt parallel zur Leseantenne ausgerichtet ist.

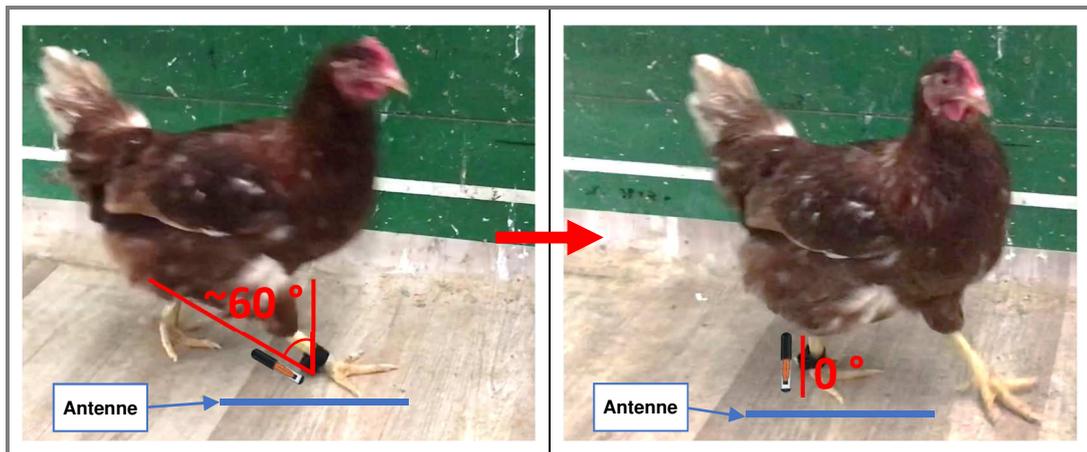


Abbildung 56: Transponderorientierung bei liegend ausgeführter Leseantenne, Quelle: Eigene Darstellung.

Um sicherzustellen, dass die Henne mit jenem Bein auf die Antenne tritt, an dem auch der Transponder befestigt ist, muss die Antenne entsprechend groß gewählt werden. Die in Abbildung 57 dargestellte Ermittlung der Schrittweite von allen zehn Legehennen ergibt eine Mindestlänge für die Leseantenne von 350 mm. Ab dieser Länge tritt das Huhn mit jedem Bein auf die Antenne und kann sie nicht übersteigen.



Abbildung 57: Ermittlung der Schrittweite von Legehennen, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der Größe und einfachen Form der benötigten Leseantenne wird für den Versuchsaufbau auf die vom Hersteller des Lesegerätes angebotene Antenne mit der Bezeichnung SLR30A zurückgegriffen. Die Antenne hat im Anlieferungszustand eine Abmessung von 300 mm x 300 mm. Aufgrund der Flexibilität der Antenne kann die Form entsprechend angepasst werden.

Versuchsaufbau

Damit der Transponder nicht von beiden Antennen zugleich erfasst werden kann, wird, wie auch beim Tunnel mit Durchgangsantenne, der Mindestabstand zwischen den beiden Leseantennen ermittelt. Dieser beträgt 350 mm und darf nicht unterschritten werden. Da die Antennen liegend im Tunnel positioniert sind, beträgt die Länge des Tunnels 1050 mm. Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt den Versuchsaufbau positioniert vor der Auslauföffnung.

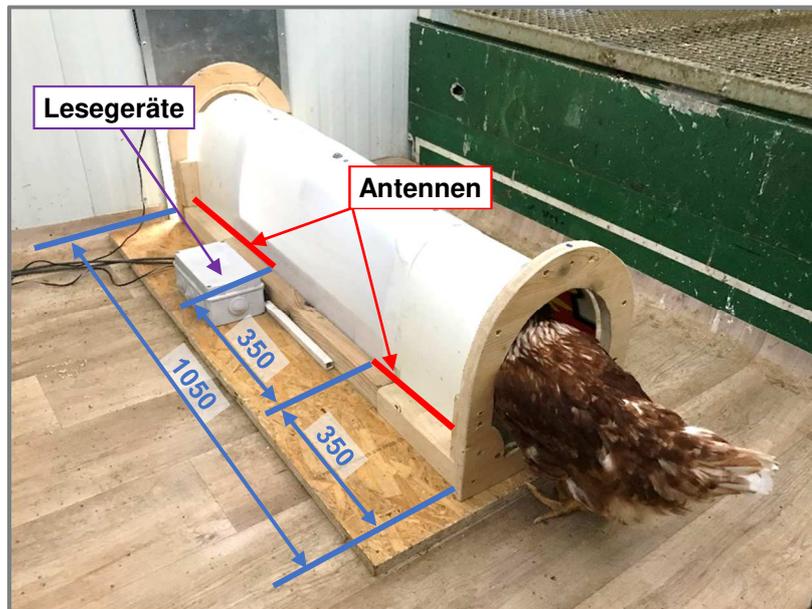


Abbildung 58: Tunnel mit liegenden RFID-Leseantennen (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.

Damit das Huhn auch bei geschlossener Auslauföffnung in den Stall gelangen kann, müsste die Auslauföffnung inmitten des Tunnels platziert sein. Somit wäre eine Antenne im Außenbereich platziert, das den Transponder bei geschlossener Öffnung erfasst und somit das Öffnen der Auslauföffnung veranlasst. Um aufwändige Umbauarbeiten am Stall zu vermeiden, wird für die Versuche der komplette Tunnel im Stallinneren positioniert.

Eine erste Funktionsprüfung des Versuchsaufbaus am vorgesehenen Einsatzort hat eine deutliche Verschlechterung der Lesereichweite der Lesegeräte gezeigt. Zum Auslesen der Transponder-ID muss dieser bis zu 10 mm an die Leseantenne herangeführt werden. Eine Analyse des Versuchsaufbaus und dessen Umfeld hat ergeben, dass der Boden des Hühnerstalls aus Aluminiumpanelen besteht. Durch die horizontale Anordnung der Leseantennen sind diese durch die Grundplatte (Sperrholz) des Versuchsaufbaus nur 20 mm vom Metallboden entfernt. Der Metallboden beeinflusst das von der Leseantenne erzeugte elektromagnetische Feld, wodurch die Lesereichweite beeinträchtigt ist. Zur Lösung des Problems wird, wie in Abbildung 59 dargestellt, im Bereich des Versuchsaufbaus der Metallboden durch einen Holzboden ersetzt.

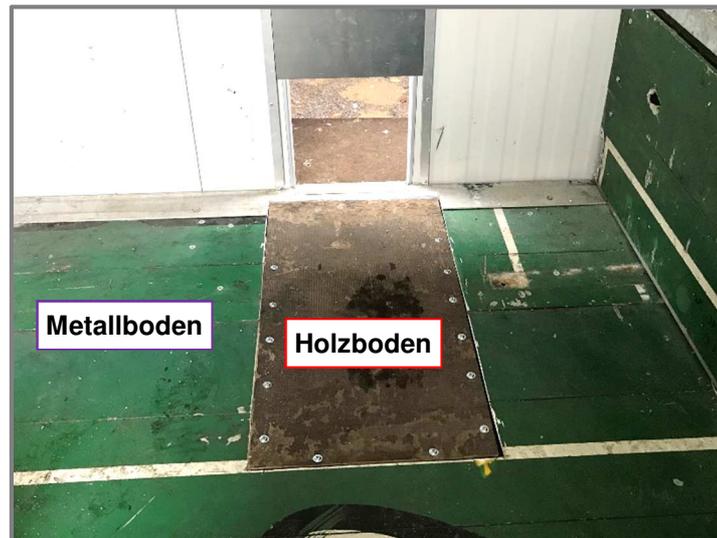


Abbildung 59: Metallboden ersetzt durch einen Holzboden, zur Verbesserung der Lesereichweite des RFID-Lesegerätes, Quelle: Eigene Darstellung.

Zur Überprüfung der Erfassungssicherheit der Transponder werden auch hier die Tunneldurchgänge mittels Videoaufzeichnung dokumentiert und die Log-Datei mit den erfassten Transpondern ausgewertet. Die nachfolgende Tabelle 18 zeigt die Auswertung der erfassten Transponder über einen Zeitraum von fünf Tagen.

Anzahl der Hennen	Anzahl der Durchgänge	Erfasste Hennen Lesegerät 1	Erfasste Hennen Lesegerät 2	Korrekt Erfasste Durchgänge
10	130	94,6 %	93,1 %	96,1 %

Tabelle 18: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei dem Versuchsaufbau mit liegender Leseantenne ist gegenüber dem Versuchsaufbau mit Durchgangsantenne und integriertem Hindernis eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Die korrekt erfassten Durchgänge sind von 70,8 % auf 96,1% gestiegen.

Untersuchungen des Versuchsaufbaus zeigen, dass das Huhn korrekt über die Antenne läuft und die Orientierung des Transponders zur Leseantenne in einem akzeptablen Bereich liegt. Beobachtungen beim Durchqueren der Hühner durch den Tunnel lassen darauf schließen, dass die Laufgeschwindigkeit der Tiere zum Teil sehr hoch ist. Dadurch besteht nur wenig Zeit für das Lesegerät, die Transponder-ID auszulesen. Um die Laufgeschwindigkeit der Hühner zu drosseln, wird vor und zwischen den beiden Leseantennen die Höhe des Tunnels durch ein Hindernis verkleinert. Die nachfolgende Abbildung 60 zeigt den Tunnel mit integriertem Hindernis zur Reduzierung der Laufgeschwindigkeit.

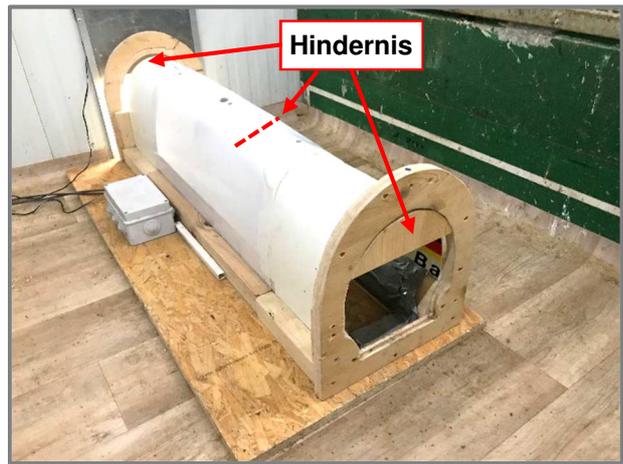


Abbildung 60: Tunnel mit reduzierter Höhe durch eingebaute Hindernisse, Quelle: Eigene Darstellung.

Die in Tabelle 19 angeführten Ergebnisse der Auswertung mit reduzierter Tunnelhöhe durch Hindernisse zeigen eine Verschlechterung der erfassten Transponder. Die Ergebnisse spiegeln einen Zeitraum von fünf Tagen wieder.

Anzahl der Hennen	Anzahl der Durchgänge	Erfasste Hennen Lesegerät 1	Erfasste Hennen Lesegerät 2	Korrekt Erfasste Durchgänge
10	120	90,8 %	90,8 %	93,3 %

Tabelle 19: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne und reduzierter Tunnelhöhe durch Hindernisse, Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Analyse des Versuchsaufbaus zeigt, dass sich die Laufgeschwindigkeit der Hennen zwar reduziert, diese aber in gebückter Haltung den Tunnel passieren. Aufgrund der geringen Tunnelhöhe durch die Hindernisse beugen die Tiere die Beine weit nach vorne. Dadurch ändert sich, wie in Abbildung 61 dargestellt, die Orientierung des Transponders zur Leseantenne, wodurch das Auslesen des Transponders beeinträchtigt wird.

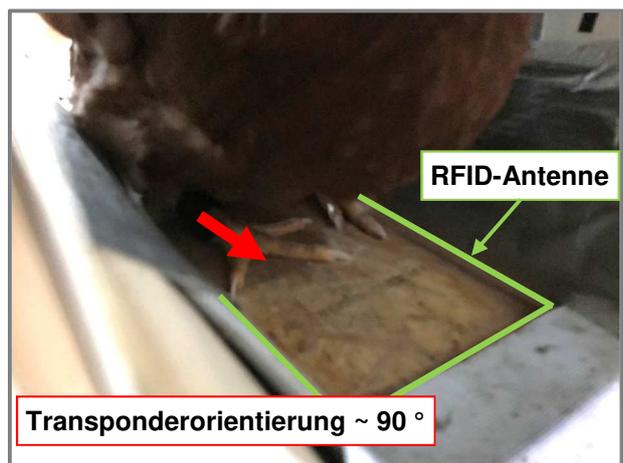


Abbildung 61: Transponderorientierung zur Leseantenne, bei gebückter Haltung des Huhns, Quelle: Eigene Darstellung.

Da die Hindernisse an der Tunneldecke das Erfassen der Transponder verschlechtern, muss ein anderer Weg gefunden werden, um die Laufgeschwindigkeit der Hennen zu reduzieren. Ein weiterer Ansatz ist die Verringerung der Laufgeschwindigkeit durch Hindernisse, die am Boden des Tunnels angebracht sind. Die Henne muss dabei, wie in Abbildung 62 dargestellt, die Hindernisse überqueren. Die Leseantennen liegen

in einer Vertiefung, wodurch das Tier aufrecht auf der Antenne steht und der Transponder bestmöglich ausgerichtet ist.

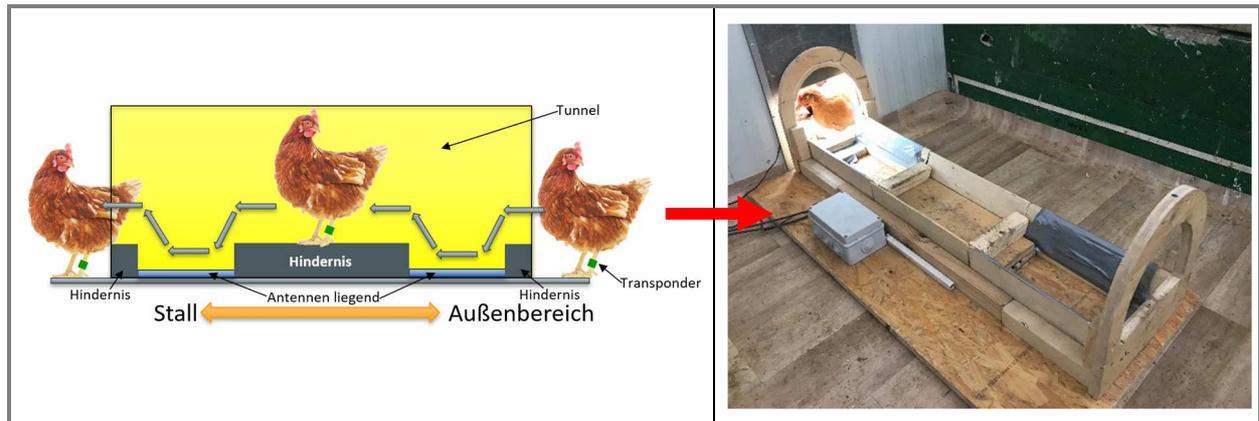


Abbildung 62: Reduzierung der Laufgeschwindigkeit durch am Boden angebrachte Hindernisse, Quelle: Eigene Darstellung.

Die in Tabelle 20 angeführten Ergebnisse der Auswertung mit Hindernissen am Tunnelboden zeigen eine deutliche Verbesserung der erfassten Transponder. Die Ergebnisse spiegeln einen Zeitraum von fünf Tagen wieder.

Anzahl der Hennen	Anzahl der Durchgänge	Erfasste Hennen Lesegerät 1	Erfasste Hennen Lesegerät 2	Korrekt Erfasste Durchgänge
10	140	99,3 %	100,0 %	100,0 %

Tabelle 20: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne und Hindernissen am Tunnelboden, Quelle: Eigene Darstellung.

Da sich dieser Versuchsaufbau als besonders stabil erweist, wird dieser für ein aussagekräftigeres Ergebnis über einen längeren Zeitraum betrieben. Das in Tabelle 21 dargestellte Ergebnis über einen Zeitraum von 22 Tagen zeigt, dass 100 % der Durchgänge korrekt erfasst wurden.

Anzahl der Hennen	Anzahl der Durchgänge	Erfasste Hennen Lesegerät 1	Erfasste Hennen Lesegerät 2	Korrekt Erfasste Durchgänge
10	616	99,8 %	99,2 %	100,0 %

Tabelle 21: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne und Hindernissen am Tunnelboden über einen Zeitraum von 22 Tagen, Quelle: Eigene Darstellung.

Fazit

Die horizontal angeordneten Leseantennen bieten in Kombination mit der Orientierung des Transponders im Geflügelring eine bestmögliche Anordnung zur Kommunikation zwischen Lesegerät und Transponder. Zu beachten ist auch die Zeit, die benötigt wird, um die Transponder-ID auszulesen. Hindernisse, die am Boden des Tunnels angebracht sind, reduzieren die Laufgeschwindigkeit der Hennen entsprechend und führen so zu einem durchaus akzeptablen Ergebnis.

4.1.3 Erfassung der Legeleistung

Für den Versuchsaufbau zur Ermittlung der Legeleistung wird das in Abschnitt 3.1.4 ausgewählte Konzept umgesetzt. Hierzu wird in den Abrollboden des Legenests die Antenne des Lesegerätes integriert und soll die im Nest befindliche Legehennen identifizieren. Mit Hilfe einer Waage, die im Auffangbereich der Eier platziert ist, soll das gelegte Ei erkannt werden. Für das Identifizieren der Henne wird dasselbe RFID-

Lesegerät verwendet wie für die Umsetzung der Zutrittsüberwachung. Damit ein gelegtes Ei automatisiert der Henne zugeordnet werden kann, wird die in Abbildung 63 dargestellte Digitalwaage der Firma DYMO eingesetzt.



Abbildung 63: Digital USB Waage - DYMO M5, Quelle: DYMO (2018), Online-Quelle [15.12.2018]

Die Digitalwaage mit der Produktbezeichnung M5 verfügt über eine USB-Schnittstelle, die eine Anbindung an den Computer ermöglicht. Somit können über eine eigens für diese Arbeit entwickelte Software Henne und Ei miteinander in Verbindung gebracht werden und die ermittelten Informationen in einer Log-Datei für weitere Auswertungen dokumentiert werden. Auf die Software wird in Unterabschnitt 4.1.4.2 näher eingegangen. In der nachfolgenden Tabelle 22, sind die technischen Daten der Waage zusammengefasst.

Technische Daten - DYMO M5	
Messbereich	4 g bis 5 kg
Gewichtsabstufung	2 g
Stromversorgung	USB oder 3 ST Alkalibatterien (AAA)
Schnittstelle	USB 2.0 Low Speed HID-Waage

Tabelle 22: Technische Daten - Digitalwaage DYMO M5, Quelle: DYMO (2018), Online-Quelle [15.12.2018]

Anzumerken ist, dass es sich um keine kalibrierte Waage handelt und diese nur zur Umsetzung des Versuchsaufbaus dient. Für den Versuchsaufbau wird das Legenest, wie in Abbildung 64 dargestellt, so modifiziert, dass die Waage in den Auffangbereich für die Eier passt. Eine für die Waage angefertigte Schale fängt die Eier auf.



Abbildung 64: Legenest mit RFID-Lesegerät und integrierter Waage, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Schale auf der Waage ist so ausgelegt, dass diese vom Abrollboden des Nests getrennt ist und das Ei trotzdem in die Schale rollen kann. Somit ist die Schale vom Nest entkoppelt und es wird nur das Gewicht der Eier in der Schale gemessen. Die für den Versuchsaufbau entwickelte Software erkennt eine Gewichtsänderung durch ein hinzukommendes Ei. Somit kann nicht nur ein gelegtes Ei erkannt werden, sondern auch das Gewicht des Eis bestimmt werden. Die Software liest zugleich ununterbrochen die ID eines im Nest befindlichen Huhns aus. Sobald ein Ei erkannt wird, ordnet die Software das Ei der zuletzt erkannten Transponder-ID (Henne) zu. Etwaiger zum Liegen kommender Schmutz auf der Waage wird von der Software erkannt und nicht als Ei gewertet.

Um die Funktionssicherheit des Versuchsaufbaus prüfen zu können, werden die Nestbesuche mittels Videoaufzeichnung dokumentiert. Die Auswertung der Log-Datei über einen Zeitraum von 27 Tagen liefert ein eindeutiges Ergebnis. Der Versuchsaufbau mit der dafür entwickelten Software erfasst jedes Ei und ordnet es der richtigen Legehennen zu. Die Tabelle 23 zeigt die Auswertung der Legeleistung anhand der Log-Datei.

Transponder-ID	Anzahl der gelegten Eier	Gewicht der gelegten Eier / g		
		MIN	MAX	AVG
0419;=?84:	6	56	60	58
0419;=?<1	7	54	62	58
0419;=<<?4	14	62	68	65
0419;=>;:>	14	56	66	63
0419;>19=5	21	56	64	60
0419;=?>2	22	54	66	58
0419;>1=1>	23	52	62	58

Tabelle 23: Auswertung der gelegten Eier mittels RFID und Gewichtsmessung über einen Zeitraum von 27 Tagen, Quelle: Eigene Darstellung.

Zu beachten ist jedoch, dass die in Tabelle 23 angeführten Ergebnisse keinen Rückschluss auf die wahre Legeleistung über den angegebenen Zeitraum zulassen. Es handelt sich um einen Versuchsaufbau, bei dem wie anfangs schon erwähnt, nur ein Nest mit diesem System ausgestattet ist. Die Hennen haben die Möglichkeit auch ein zweites Legenest aufzusuchen. Des Weiteren handelt es sich um keine kalibrierte Waage, wodurch das Gewicht der Eier abweichen kann. Der Versuchsaufbau dient nur zur Überprüfung des ausgewählten Konzepts.

Fazit

Die Identifikation der Legehennen mit der im Abrollboden integrierten Leseantenne funktioniert einwandfrei. Beobachtungen zeigen, dass, solange sich die Henne im Nest befindet, die Transponder-ID nahezu ununterbrochen vom Lesegerät erfasst wird. Auch die Erkennung des Eis über die Waage funktioniert stabil. Der Versuchsaufbau beweist somit, dass die Legeleistung mit diesem Konzept automatisiert überwacht werden kann.

4.1.4 Software

Eine eigens für diese Arbeit entwickelte Software unterstützt die Aufzeichnung und Auswertung der generierten Daten. Sie macht das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten möglich und sorgt dafür, dass der Versuchsaufbau so anwendungsnahe wie möglich arbeitet. Die Software wird mit Hilfe der Entwicklungsumgebung Visual Studio 2017 in der Programmiersprache C# umgesetzt. Auf den Programmcode wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Dieser Abschnitt soll nur einen groben Überblick über die Funktion der Software geben.

4.1.4.1 Umsetzung der Zutrittsüberwachung

Die für den Versuchsaufbau entwickelte Software empfängt die von den RFID-Lesegeräten erfassten Transponder-IDs. Sobald ein Transponder erkannt wird, weist die Software der Transponder-ID das aktuelle Datum, die Uhrzeit und das entsprechende Lesegerät zu. Durch das jeweilige Lesegerät kann festgestellt werden, ob sich das Huhn im Stall oder im Außenbereich befindet. Der Datensatz wird anschließend in eine Log-Datei für etwaige Auswertungen gespeichert. Die nachfolgende Abbildung 65 stellt den Ablauf des entwickelten Programms dar.

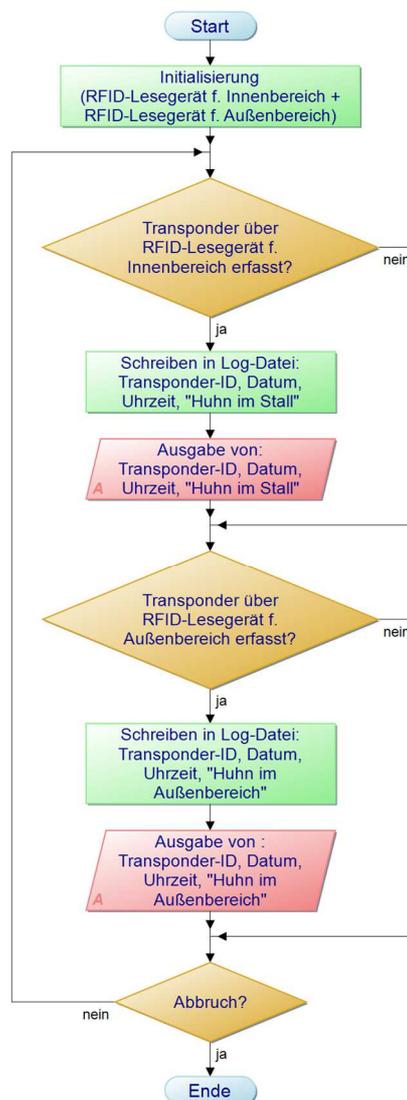


Abbildung 65: Programmablauf zur Umsetzung der Zutrittsüberwachung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.

Zusätzlich zur Log-Datei kann über die grafische Benutzeroberfläche auf einen Blick festgestellt werden, wo sich jedes Huhn aktuell aufhält. Die Software gibt auch einen Einblick auf die in der Log-Datei gespeicherten Datensätze. Die nachfolgende Abbildung 66 zeigt die Benutzeroberfläche der Software.

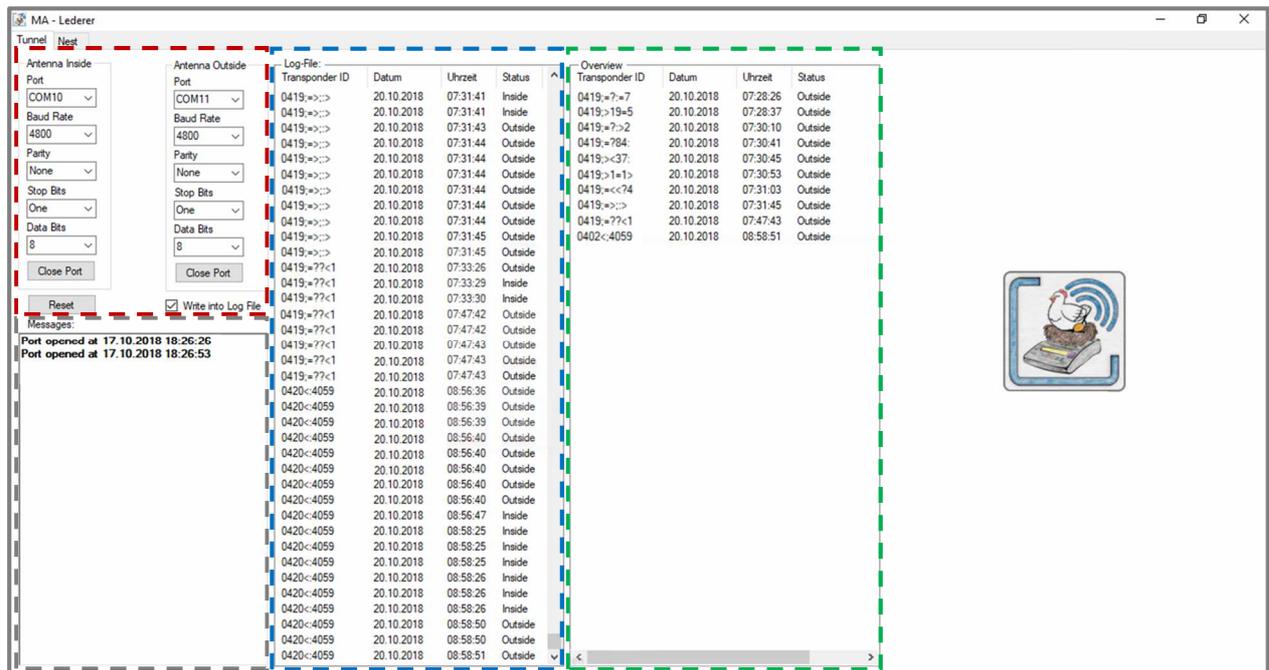


Abbildung 66: Benutzeroberfläche zur Umsetzung der Zutrittsüberwachung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.

Über den in Abbildung 66 rot markierten Bereich, werden die Einstellungen zur Kommunikation mit den RFID-Lesegeräten vorgenommen. Der grau markierte Bereich dient zur Ausgabe von Informationen und unerwarteter Fehler, die in der Entwicklungsphase der Software auftreten können. Über den in der Benutzeroberfläche blau markierten Bereich kann auf die Daten der Log-Datei Einblick genommen werden. Der grün markierte Bereich listet die aktuelle Position einer jeden Henne auf.

4.1.4.2 Ermittlung der Legeleistung

Die entwickelte Software zur Erfassung der Legeleistung macht es möglich, ein gelegtes Ei der Henne automatisiert zuweisen zu können. Die Software empfängt ununterbrochen eine vom RFID-Lesegerät erfasste Transponder-ID. Sobald eine Gewichtsänderung über die USB-Waage festgestellt wird, prüft die Software die Gewichtsänderung und stellt dadurch fest, ob ein Ei gelegt wurde. Bei der Gewichtsprüfung erfolgt eine Klassifizierung. Dabei sind folgende Gewichtsklassen für die Versuche in dieser Arbeit definiert:

- < 20 g: Fehler
- < 53 g: Klein (S)
- < 63 g: Mittel (M)
- < 73 g: Groß (L)
- ≥ 73 g: Sehr groß (XL)

Ein über die Waage ermitteltes Gewicht von weniger als 20 g wird nicht als Ei gewertet. Diese Klasse dient dazu, Gewichtsänderungen durch Schmutz oder Sonstiges erkennen zu können. Die Klassifizierung der Eier selbst ist für die Ermittlung der Legeleistung nicht zwingend notwendig, kann jedoch für zukünftige Auswertungen von Nutzen sein. Über die Transponder-ID kann anschließend das Ei dem Huhn zugeordnet

werden. Die Transponder-ID sowie das Gewicht des gelegten Eis werden anschließend in eine Log-Datei geschrieben und durch Datum, Uhrzeit und dem ermittelten Gesamtgewicht ergänzt. Die nachfolgende Abbildung 67 stellt den Ablauf des entwickelten Programms dar.

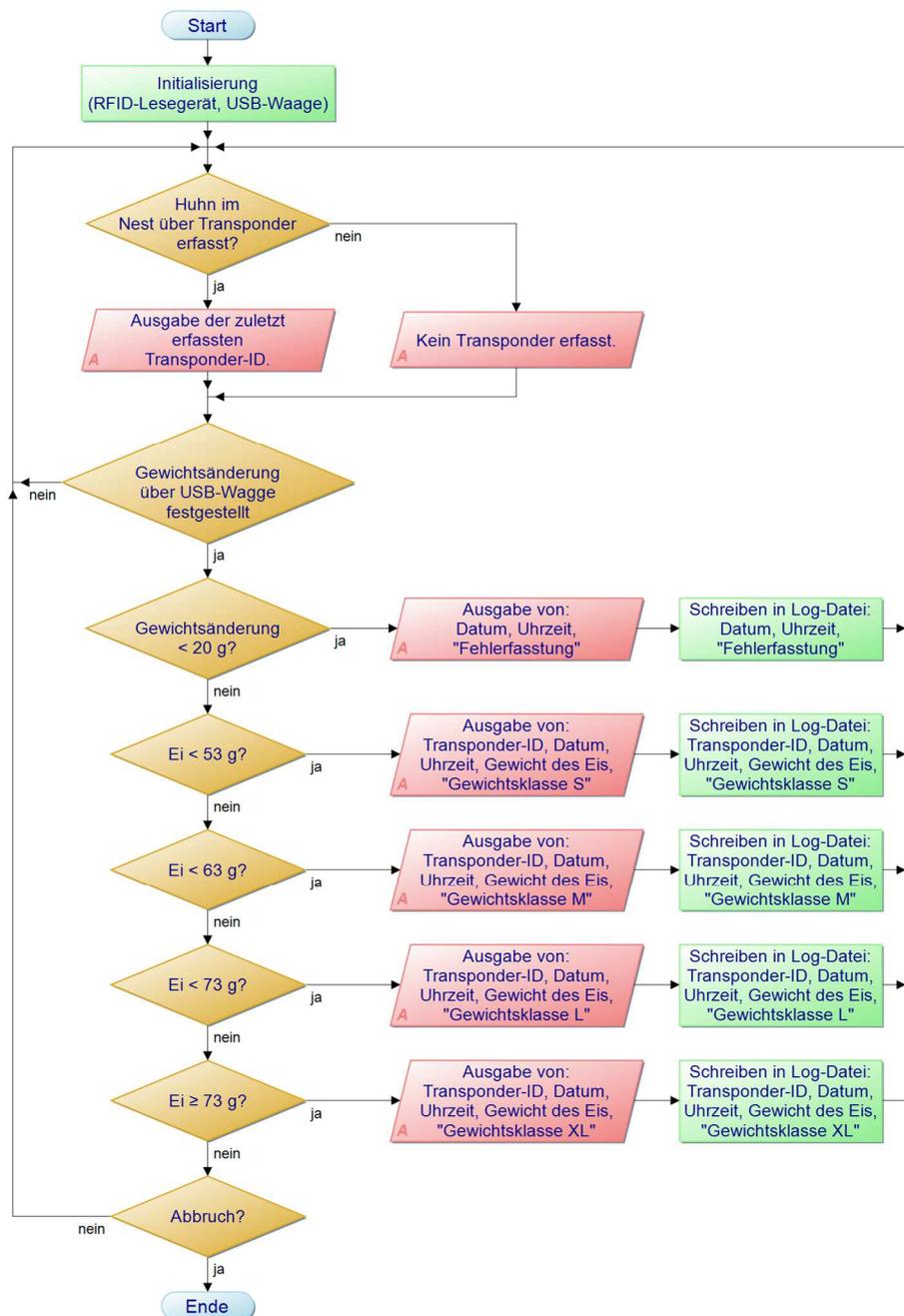


Abbildung 67: Programmablauf zur Erfassung der Legeleistung mittels RFID und Gewichtsmessung, Quelle: Eigene Darstellung.

Über die Benutzeroberfläche der Software kann auf einen Blick festgestellt werden, wann eine Henne ein Ei gelegt hat und wie schwer dieses ist. Somit kann die Legeleistung der Hennen verfolgt werden ohne Einsicht in die Log-Datei nehmen zu müssen. Des Weiteren werden alle Datensätze, die in die Log-Datei geschrieben werden, auch auf der Benutzeroberfläche angezeigt. Die nachfolgende Abbildung 68 zeigt die Benutzeroberfläche der Software.

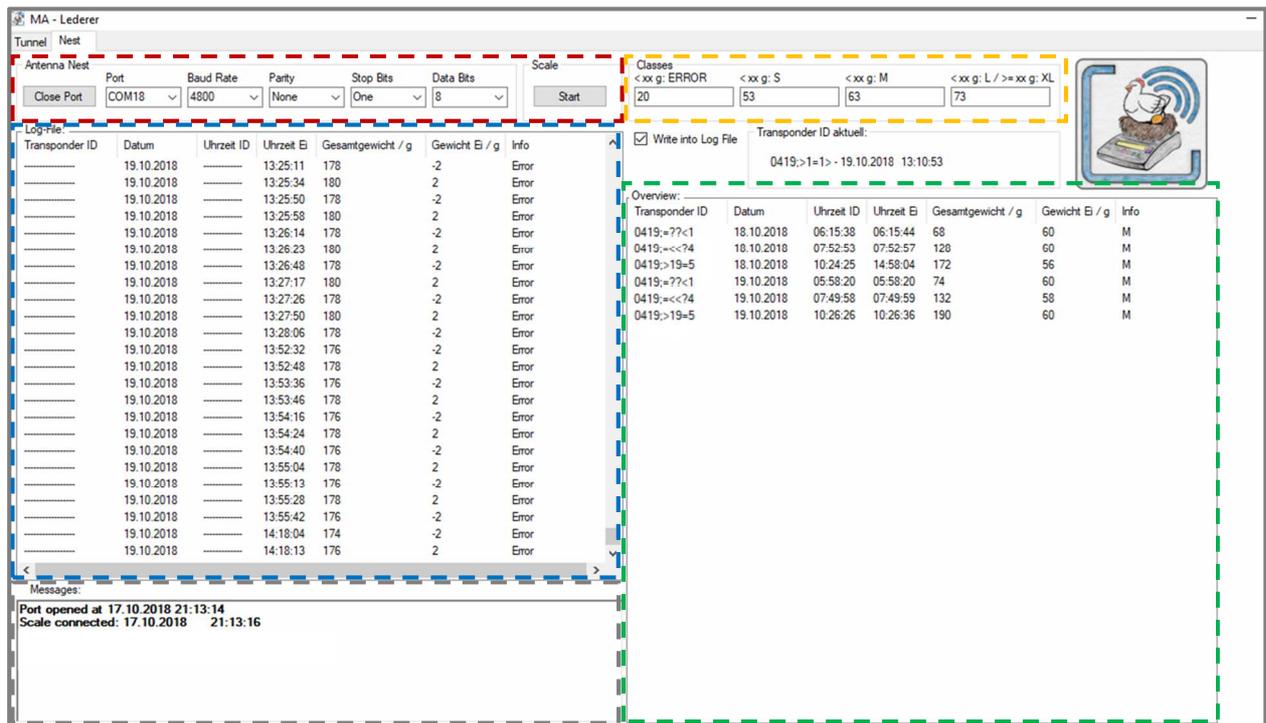


Abbildung 68: Benutzeroberfläche zur Erfassung der Legeleistung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.

Über den in Abbildung 68 rot markierten Bereich werden die Einstellungen zur Kommunikation mit dem RFID-Lesegerät vorgenommen und die Verbindung mit der USB-Waage hergestellt. Der grau markierte Bereich dient zur Ausgabe von Informationen und unerwarteter Fehler durch die Software. Über den orange markierten Bereich können die Gewichte zur Klassifizierung der Eier vorgegeben werden. Der blau markierte Bereich listet alle Daten der Log-Datei auf. Im grün markierten Bereich werden nur die ermittelten Legeleistungen der Hennen gelistet.

4.2 Umsetzung mittels Bildverarbeitung

Für die Umsetzung mittels Bildverarbeitung wird, wie schon erwähnt, die Bildverarbeitungssoftware HALCON und deren Entwicklungsumgebung HDevelop der Firma MVTec eingesetzt. Für die Versuchsaufbauten stehen die in Abschnitt 3.2.2 genannten Kameras zur Verfügung. Mit Hilfe der in Unterkapitel 3.2 erarbeiteten Konzepte zur automatisierten Erfassung der Legeleistung sowie für die automatisierte Zutrittsüberwachung wird anhand von Versuchsaufbauten die Eignung der Bildverarbeitung für diese Anwendungen geprüft. Die mit den Versuchsaufbauten erstellten Videoaufnahmen werden anschließend analysiert und mit Hilfe von HALCON ein geeignetes Programm erstellt. Unter Windows bietet HALCON die Möglichkeit das Arbeiten mit Videoaufzeichnungen im AVI-Dateiformat. Beim Einlesen der einzelnen Frames treten jedoch hin und wieder Fehler auf, die auf das verwendete AVI-Dateiformat zurückzuführen sind. Aus diesem Grund werden die Videoaufnahmen für die Bildverarbeitungssoftware mit Hilfe der kostenlosen Software SplitCam bereitgestellt. Die Software emuliert eine Webcam mit USB-Schnittstelle, die in HALCON als USB-Kamera eingebunden werden kann. Über den Emulator kann dann die Videoaufnahme abgespielt werden. Da die einzelnen Befehle in HALCON sehr mächtig sind und sehr viel bewirken, sind einige Codezeilen einzeln beschrieben.

4.2.1 Umsetzung der Zutrittsüberwachung

Für die Realisierung des Versuchsaufbaus wird der schon vorhandene Durchgangstunnel aus Unterabschnitt 4.1.2.2 herangezogen und entsprechend modifiziert. Aufgrund des ausgewählten Konzepts in Unterabschnitt 3.2.3.1 werden für die Positionsbestimmung des Huhns zwei Kameras benötigt. Eine Kamera erfasst und ordnet das Huhn dem Stall zu und die zweite Kamera ist für den Außenbereich zuständig. Da es sich um einen Versuchsaufbau zur Überprüfung des ausgewählten Konzeptes handelt, wird vorerst nur eine Kamera eingesetzt, die den Zugang in den Stall aufzeichnet. Für die Versuche wird die Webcam Besteker FHD1536P eingesetzt.

4.2.1.1 Positionierung der Kamera

Um die für die Identifikation des Huhns ausgewählte Hühnermarke mit der Kamera erfassen zu können, ist die Kamera, wie in Abbildung 69 dargestellt, mittig auf der Oberseite des Tunnels angebracht.



Abbildung 69: Kamera mittig am Tunnel angebracht, Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Analyse der Videoaufnahme zeigt, dass die Hühnermarke der Hennen beim Durchqueren des Tunnels nur bedingt erfasst werden kann. Passieren die Hennen den Tunnel vereinzelt, ist die Hühnermarke und der darauf befindliche Code deutlich ersichtlich. Schließen jedoch die Hühner beim Durchqueren des Tunnels dicht aneinander auf, kann von dieser Position, wie in Abbildung 70 ersichtlich, der DataMatrix-Code der Hühnermarke nicht ausgelesen werden. Ursache hierfür ist die tiefsitzende Hühnermarke am Hals der Henne. Der obere Teil der Hühnermarke wird zum Teil durch das Federkleid verdeckt, weshalb auch die Codes nicht ausgelesen werden können.

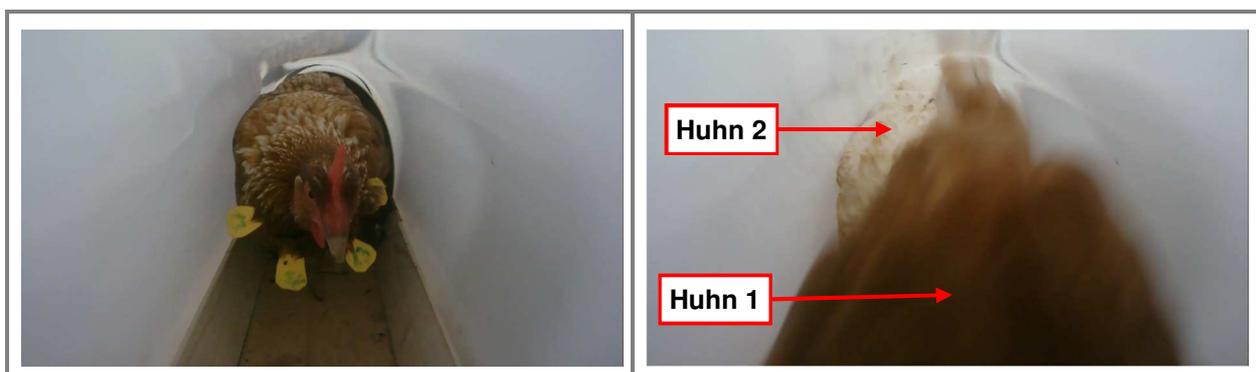


Abbildung 70: Hühnermarke erfasst von oben. Links: Marke ersichtlich. Rechts: Marke verdeckt durch Henne, Quelle: Eigene Darstellung.

Aus diesem Grund ist die Kamera in einer Höhe von 230 mm seitlich am Tunnel positioniert und mit einem Winkel von ca. 50 ° zu Boden geneigt. Aus dieser Perspektive kann zu jeder Zeit der untere Teil der Hühnermarke, welcher nicht durch das Federkleid verdeckt wird, erfasst werden. Schließen die Hennen beim Passieren des Tunnels dicht aneinander auf, kann, wie in Abbildung 71 ersichtlich, der DataMatrix-Code trotzdem noch ausgelesen werden.

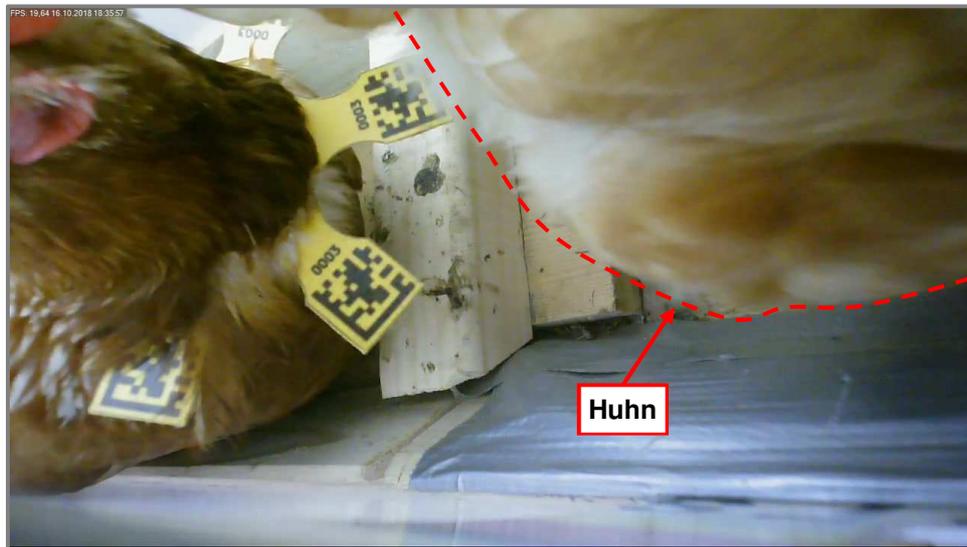


Abbildung 71: Positionierung der Kamera seitlich am Tunnel, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Kamera tiefer zu positionieren erweist sich als ungeeignet. Die Hühnermarke ist aufgrund der Haltung des Tieres immer leicht nach oben gerichtet ist. Dadurch ergibt sich auch der eingestellte Kamerawinkel.

4.2.1.2 Beleuchtung

Für die Ausleuchtung des Tunnels wird, wie in Unterabschnitt 3.2.4.1 definiert, eine LED-Lichtquelle mit einer Farbtemperatur von 4.000 K verwendet, die als Auflichtbeleuchtung eingesetzt ist. Damit die Hühnermarke bestmöglich für die Bildverarbeitung dargestellt wird, bedarf es einer homogenen Beleuchtung. Aus diesem Grund besteht die Tunnelwand aus einem diffusen Acrylglas mit einem Transmissionsgrad von ca. 70 %. Die Lichtquelle wird für die Versuche außerhalb des Tunnels mit Hilfe einer flexiblen Halterung positioniert. Durch die Halterung kann die Lichtquelle optimal ausgerichtet werden. Das diffuse Acrylglas trägt dazu bei, dass das Tunnelinnere homogen ausgeleuchtet wird. Die nachfolgende Abbildung 72 zeigt eine Bildaufnahme des Tunnelinneren mit und ohne Auflichtbeleuchtung.



Abbildung 72: Links Tunnel mit und rechts Tunnel ohne Auflichtbeleuchtung, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie ersichtlich, trägt die Beleuchtung in Kombination mit dem Acrylglas zu einer deutlich besseren Darstellung der Hühnermarke bei. Die nachfolgende Abbildung 73 zeigt den finalen Versuchsaufbau.

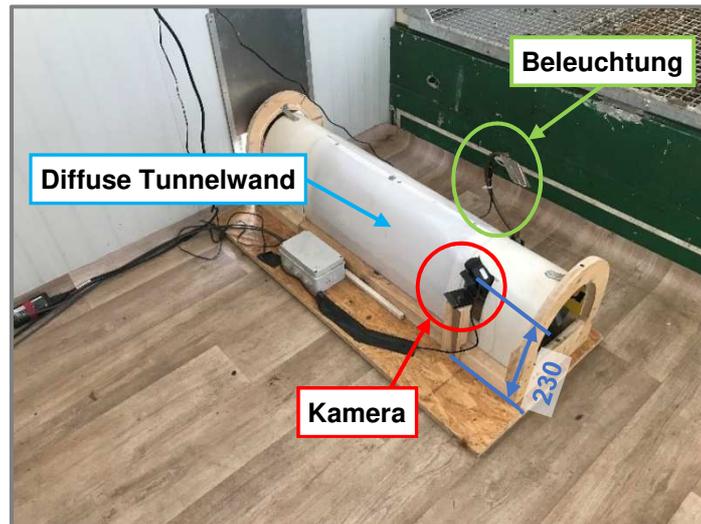


Abbildung 73: Finaler Versuchsaufbau für Zutrittsüberwachung mittels Bildverarbeitung (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.

4.2.1.3 Bildverarbeitung mit HALCON

In diesem Unterabschnitt wird in kurzen Zügen auf den Programmablauf zur Identifikation und Positionsermittlung der Legehennen eingegangen. Um feststellen zu können, welche Henne sich im Stall oder im Außenbereich befindet, muss beim Passieren des Tunnels mit Hilfe der Bildverarbeitungssoftware die ID aus dem DataMatrix-Code der Hühnermarke ausgelesen werden. Zur Vereinfachung der Bildverarbeitung werden die Bilder der Farbaufnahme durch die Software als Graustufenbilder eingelesen. Das mit der Bildverarbeitungssoftware entwickelte Programm untersucht jedes eingelesene Bild der Videoaufnahme auf einen darauf befindlichen DataMatrix-Code. Auf die verwendeten Operatoren für die Bildverarbeitung wird in diesem Unterabschnitt nicht eingegangen, da diese zum größten Teil auch für die Erfassung der Legeleistung benötigt werden und somit in Unterabschnitt 4.2.2.3 näher behandelt werden. Für die Überprüfung des Versuchsaufbaus auf dessen Eignung für die Anwendung, werden mehrere Videoaufnahmen von Durchgängen mit dem entwickelten Programm ausgewertet. Um die Funktionalität des Programms besser testen zu können, wird, sobald ein neuer Code zum ersten Mal erkannt wird, das Bild in einem neuen Fenster geöffnet. Der im Bild erkannte Code wird, dabei wie in Abbildung 74 dargestellt, grün eingerahmt und die ausgelesene ID im linken oberen Bereich des Bildes angezeigt.

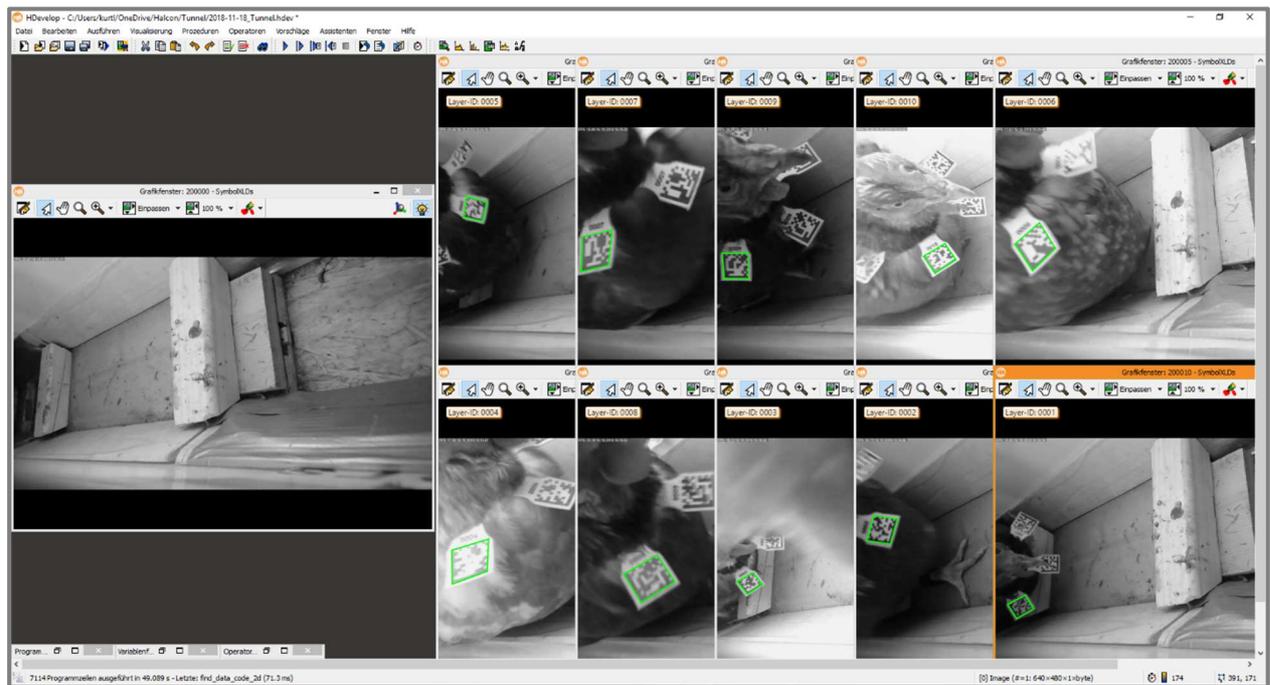


Abbildung 74: Programm für die Überprüfung des Versuchsaufbaus der Zutrittsüberwachung mittels Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Programm kann bis zu zehn Bilder nebeneinanderreihen. Durch die Aneinanderreihung können diese anschließend verglichen werden. Auswertungen der Bilder zeigen, dass der DataMatrix-Code zum Teil schon sehr früh erkannt wird, obwohl das Huhn noch weit von der Kamera entfernt ist und der Code dadurch noch sehr klein dargestellt ist. Dies spricht für ein besonders robustes Erfassen des Codes. Weitere Versuche zeigen, dass das Programm die Tunneldurchgänge bei allen Videoaufnahmen ab einer Bildrate von ca. 21 fps korrekt erfassen kann

4.2.1.4 Fazit

Durch die Neupositionierung der Kamera und einer Bildrate von mindestens 21 fps ist die Umsetzung des Versuchsaufbaus soweit erfolgreich. Anhand der Auswertung von mehreren Videoaufnahmen kann daraus geschlossen werden, dass die Bildverarbeitungssoftware sehr robust im Lesen des DataMatrix-Codes ist. Unterstützend dabei ist die Anordnung mehrerer Codes auf der Hühnermarke.

4.2.2 Erfassung der Legeleistung

Zur Erfassung der Legeleistung wird das zuvor in Unterabschnitt 3.2.3.2 ausgewählte Konzept anhand eines Versuchsaufbaus umgesetzt. Dabei soll die Kamera im Legenest positioniert werden und mittels Bildverarbeitung sowohl die Henne identifizieren als auch ein gelegtes Ei erkennen. Für den Versuchsaufbau werden beide zur Verfügung stehenden Kameras eingesetzt, um zu prüfen, ob es für die Bildverarbeitung merkbare Unterschiede gibt. Für den Versuchsaufbau wird wie definiert der Abrollboden des Nestes waagrecht ausgerichtet, um das Abrollen des Eis zu verhindern.

4.2.2.1 Positionierung der Kamera

Um sowohl die Hühnermarke als auch das Ei mit derselben Kamera erfassen zu können, bedarf es einer bestmöglichen Ausrichtung. Dazu gehört der richtige Abstand zwischen Hühnermarke und Kamera sowie zwischen Ei und Kamera. Um dies zu gewährleisten wird, wie in Abbildung 75 dargestellt, eine Öffnung in die Oberseite des Nestes geschnitten. In der Öffnung sind die beiden Kameras positioniert und so ausgerichtet, dass das gesamte Nest auf ein gelegtes Ei überblickt werden kann. Des Weiteren wird, wie in Unterabschnitt 3.2.3.2 erläutert, der Kamerafokus so eingestellt, dass die Hühnermarke mit dem darauf befindlichen DataMatrix-Code bestmöglich erfasst wird. Dafür sind die Kameras zusätzlich in einem Winkel von ca. 10° zur Eintrittsöffnung des Nestes ausgerichtet. In diesem Winkel blicken die Kameras direkt von oben auf die Hühnermarke.

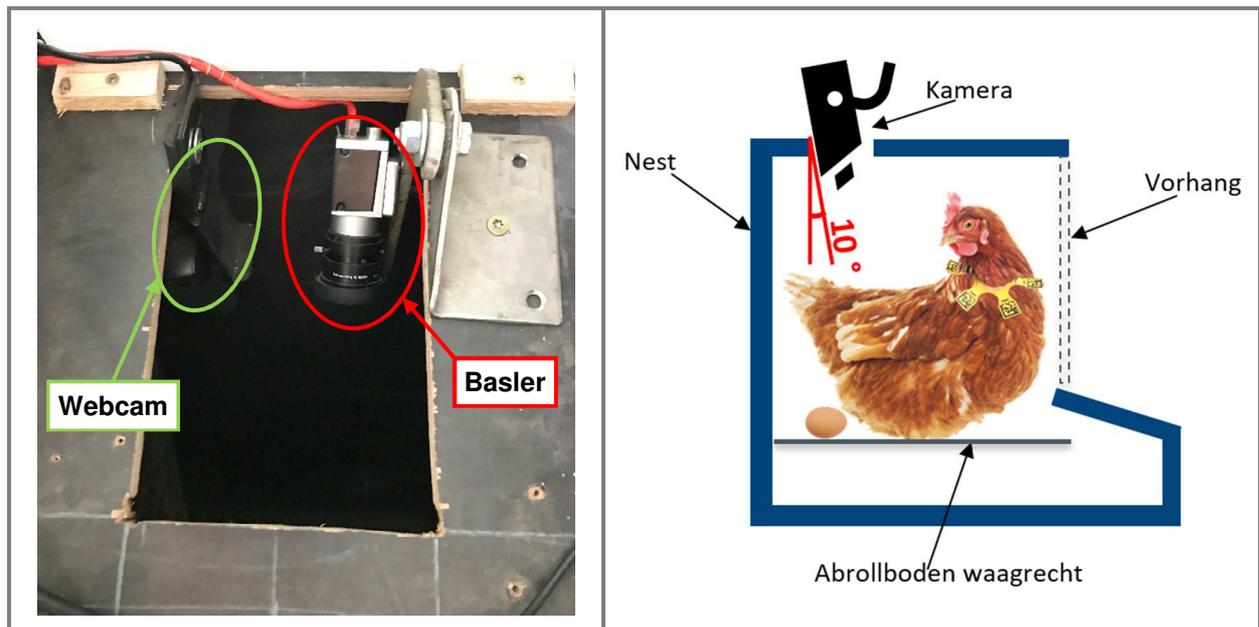


Abbildung 75: Positionierung der Kameras im Legenest, Quelle: Eigene Darstellung.

4.2.2.2 Beleuchtung

Da für den Versuchsaufbau zur Erfassung der Legeleistung beide Kameras getestet werden, werden abhängig von der eingesetzten Kamera unterschiedliche LED-Lichtquellen eingesetzt. In Kombination mit der Basler acA1300-60gmNIR GigE Kamera wird eine LED-Lichtquelle im nahen Infrarotbereich eingesetzt, die eine dominante Wellenlänge von 850 nm besitzt. Für Webcam – Besteker FHD1536P wird hingegen eine rote LED-Lichtquelle mit einer dominanten Wellenlänge von 620 nm eingesetzt. Untersuchungen zeigen, dass die Webcam nicht für den nahen Infrarotbereich ausgelegt ist. Die Lichtquelle wird wie in Abbildung 76 dargestellt, über der ausgeschnittenen Öffnung des Nestes positioniert. Ein vor der Lichtquelle positioniertes Acrylglas mit einem Transmissionsgrad von 70 % sorgt dabei für eine homogene Ausleuchtung des Legenests.

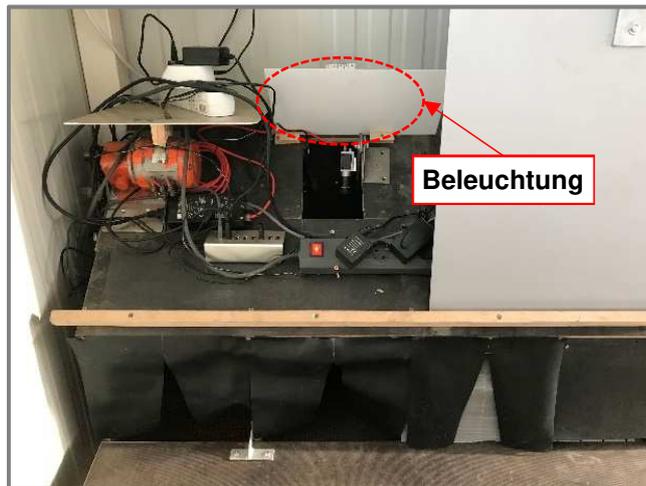


Abbildung 76: Positionierung der Beleuchtung über dem Legenest, Quelle: Eigene Darstellung.

Die nachfolgende Abbildung 77 zeigt die Ausleuchtung des Nests der roten LED-Lichtquelle ohne und mit Acrylglas.

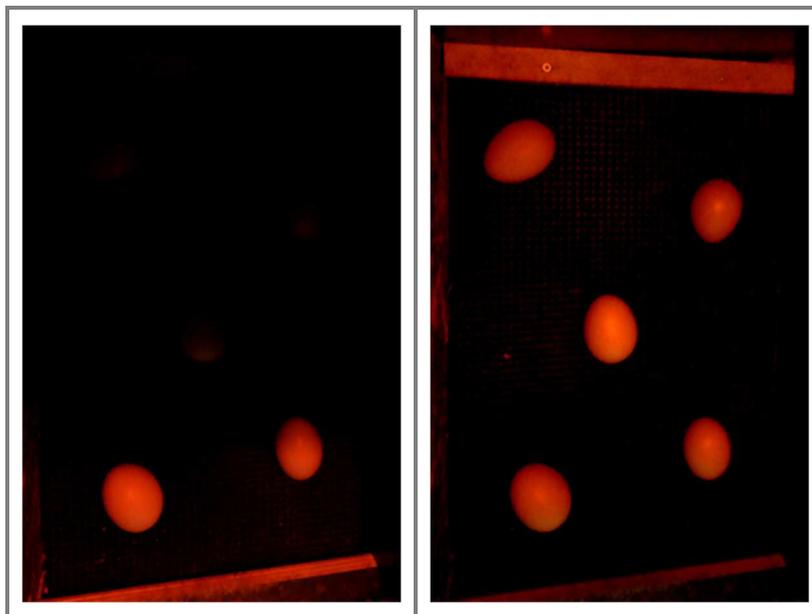


Abbildung 77: Ausleuchtung des Nests – Links: Ohne Acrylglas, Rechts: Mit Acrylglas, Quelle: Eigene Darstellung.

4.2.2.3 Bildverarbeitung mit HALCON

Für die Versuche zur Erfassung der Legeleistung mittels Bildverarbeitung soll mit Hilfe von HALCON ein geeignetes Programm entwickelt werden, um anschließend die Eignung des Versuchsaufbaus prüfen zu können. Das Programm muss eine im Nest befindliche Henne erkennen und über die Hühnermarke eindeutig identifizieren sowie ein von der Henne gelegtes Ei erfassen. Beim Eintreten der Henne in das Nest erfasst das Programm zuerst die Hühnermarke und liest die ID des darauf befindlichen DataMatrix-Codes aus. Aufgrund der Kamerapositionierung und Gestalt der Henne kann es vorkommen, dass Teile der Henne in Form und Größe einem Ei gleichen. Dies kann zu einer Fehlerkennung der Eier führen. Um die Bildverarbeitung zu erleichtern, wird erst nach einem gelegten Ei gesucht, wenn die Henne das Nest wieder verlassen hat. Die nachfolgende Abbildung 78 stellt den Ablauf des entwickelten Programms zur Erfassung der Legeleistung dar.

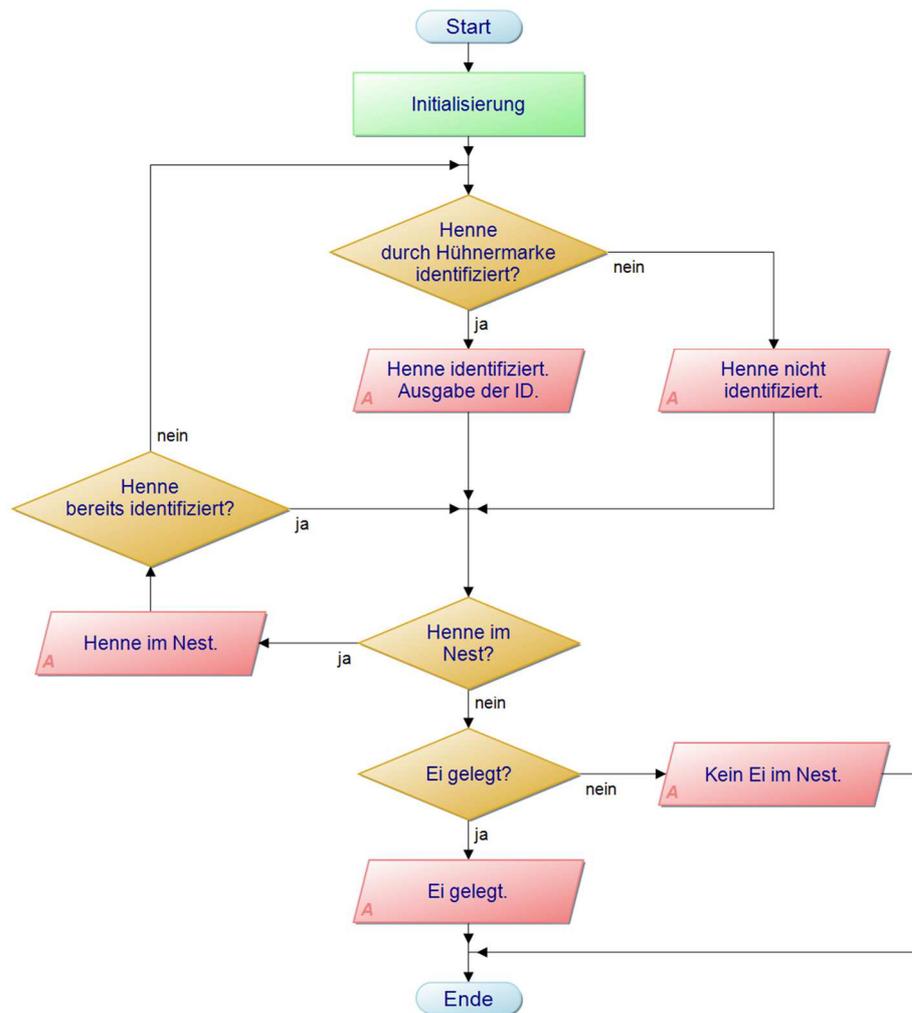


Abbildung 78: Ablaufdiagramm zur Erfassung der Legeleistung mittels Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Überprüfung des Versuchsaufbaus und des entwickelten Programms werden mehrere Videoaufnahmen von Nestbesuchen herangezogen. Die Videoaufnahmen werden dem Programm über den bereits erwähnten Kameraemulator bereitgestellt. Da die einzelnen Befehle der Programmierung in HALCON sehr mächtig sind, wird nachfolgend auf die wichtigsten Programmabschnitte eingegangen.

Initialisierung

Der erste Programmabschnitt, dargestellt in Quelltext 1 und Quelltext 2, beschreibt die Initialisierung des Programms, um auf die Kamera zugreifen zu können und das Lesen des DataMatrix-Codes zu ermöglichen.

```
1 *****
2 *Initialization*
3 *****
4 *Image acquisition - Initialization of the camera.
5 open_framegrabber ('DirectShow', 1, 1, 0, 0, 0, 0, 'default', 8, 'gray', -1,
6 'false', 'default', '[1] SplitCam Video Driver', 0, -1, AcqHandle)
7 grab_image_start (AcqHandle, -1)
8
9 *Rest all previous visualization parameters by closing the graphics window.
10 dev_close_window ()
11 *Read current image from the camera and open a new graphics window
12 *in the size of the image.
13 grab_image_async (Image, AcqHandle, -1)
14 dev_open_window_fit_image (Image, 200, 0, -1, -1, WindowHandle1)
```

Quelltext 1: Initialisierung des Programms: Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 4-6: Hier werden die Einstellung zur Einbindung und die Parametrierung der verwendeten Kamera vorgenommen. In diesem Fall wird auf den Kameraemulator mit der Gerätebezeichnung „[1] SplitCam Video Driver“ zugegriffen. Über den „AcqHandle“ kann auf die Bilder der Kamera zugegriffen werden.

Zeilen 8-13: Das von HDevelop automatisch beim Starten geöffnete Grafikkfenster wird geschlossen. Über den Operator „grab_image_async“ wird das aktuelle Bild aus der Kamera eingelesen. Anschließend wird ein neues Grafikkfenster für die Bildverarbeitung in der Größe des eingelesenen Bildes geöffnet.

```
30 *Create the data code model -> Data Matrix.
31 create_data_code_2d_model ('Data Matrix ECC 200', 32
32 ['small_modules_robustness','module_size_min'], ['high',1], DataCodeHandle)
33 *Set the parameters so that intermediate results are stored
34 *persistently and the search is done with enhanced recognition.
35 set_data_code_2d_param (DataCodeHandle, 'persistence', 1)
36 set_data_code_2d_param (DataCodeHandle, 'default_parameters',
37 'enhanced_recognition')
```

Quelltext 2: Erstellen und Parametrieren des Modells zum Lesen des DataMatrix-Codes, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 30-35: Erstellt das 2D-Datacode-Modell zum Lesen von 2D-Codes. Der Typ des 2D-Codes ist in diesem Fall „Data Matrix ECC 200“. Der Operator „set_data_code_2d_param“ in Kombination mit dem Parameter „enhanced_recognition“ führt zu einer verbesserten Erkennung von kleinen DataMatrix-Codes.

Einlesen des aktuellen Bildes von der Kamera

Der Programmabschnitt zum Einlesen der Bilder (Quelltext 3) und alle nachfolgenden Programmabschnitte zur Identifikation der Legehenne über den DataMatrix-Code (Quelltext 4), zur Erfassung des Huhns (Quelltext 5) und des Eis (Quelltext 6), befinden sich in einer Schleife und werden immer wieder vom Programm aufgerufen.

```
43 *****
44 *Read and prepare image from Camera*
45 *****
46 *Read current image from Camera
47 grab_image_async (Image, AcqHandle, -1)
48 *Brightens the image and improves the contrast of the
49 Data Matrix Code'sqrt' -> LUT (Look Up Table)
50 dev_set_lut ('sqrt')
```

Quelltext 3: Einlesen und Aufbereiten der Kamerabilder, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 46-50: Im ersten Schritt wird das aktuelle Bild der Kamera eingelesen. Da die Bilder durch das Nest sehr dunkel sind, werden diese für die weitere Verarbeitung über den Operator „dev_set_lut“ nachbearbeitet. Dabei werden mit Hilfe von Farbtabelle die Grauwerte der Bilder entsprechend transformiert. In Verbindung mit dem Parameter „sqrt“ werden die eingelesenen Bilder, wie in Abbildung 79 dargestellt, aufgehellt.

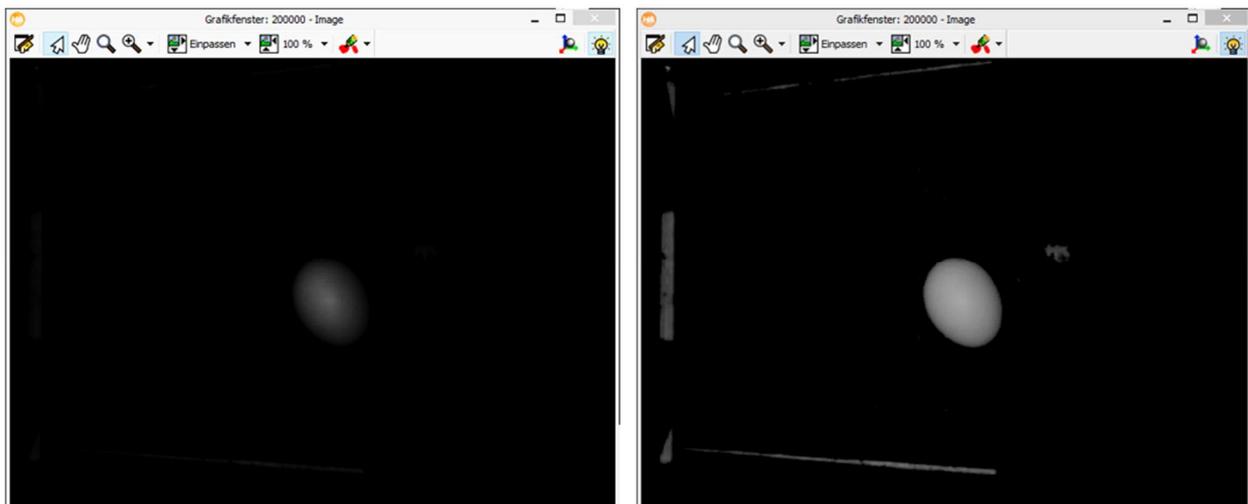


Abbildung 79: Anwendung des "dev_set_lut" Operators. Links: Originalbild; Rechts: Bild mit angewendetem Operator, Quelle: Eigene Darstellung.

Das in Abbildung 79 angeführte Beispiel zeigt eine deutlich bessere Darstellung des Eis. Die Konturen des Eis sind erkennbar, was die weitere Bildverarbeitung vereinfacht. Auch der DataMatrix-Code auf der Hühnermarke erhält dadurch einen besseren Kontrast.

Identifizierung der Legehennen über den DataMatrix-Code

Anhand der aufbereiteten Bilder, kann, wie nachfolgend in Quelltext 4 dargestellt, der DataMatrix-Code durch das Programm gelesen werden.

```
55 *****
56 * Identification of the layer via Data Matrix Code*
57 *****
58 * Find Data Matrix Code and decode it.
59 find_data_code_2d (Image, SymbolXLDs, DataCodeHandle, [], [],
   ResultHandles, DecodedDataStrings)
60 *Display the contour of the decoded Data Matrix Code.
61 dev_set_color ('green')
62 dev_display (SymbolXLDs)
63 *If Data Matrix Code is found, store decoded code into layerID.
64 if(ResultHandles!=[])
65     layerID:= DecodedDataStrings[0]
66 endif
```

Quelltext 4: Identifikation der Legehennen über den DataMatrix-Code, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeile 59: Mit Hilfe dieses Operators wird das Bild nach einem DataMatrix-Code durchsucht und gelesen. In der Variable „DecodedDataStrings“ wird der Inhalt des gelesenen Codes abgelegt.

Zeilen 60-61: Dient wie in Abbildung 80 dargestellt zur Anzeige des im Bild gefundenen Codes.



Abbildung 80: Markieren des gefundenen DataMatrix-Codes, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 61-63: Sobald ein DataMatrix-Code erkannt ist, wird die darin enthaltene ID zur Identifizierung der Henne für eine weitere Verarbeitung in die Variable „layerID“ gespeichert.

Überprüfen, ob sich eine Henne im Nest befindet

Der nachfolgende Programmabschnitt (Quelltext 5) dient zur Überprüfung, ob sich eine Henne im Nest befindet. Wie schon erklärt, wird erst nach einem gelegten Ei gesucht, wenn die Henne das Nest verlassen hat.

```
71 *****
72 *Check if a Layer is in the nest*
73 *****
74 *Generate a rectangle and use it to reduce the domain of the image.
75 gen_rectangle1 (ROI_Nest, 0, 40, 479, 639)
76 reduce_domain (Image, ROI_Nest, Nest)
77 *Display the reduced domain 'Nest' in the graphics Window.
78 dev_display(Nest)
79 *Apply a threshold to blank the background.
80 *In this case a gray value below 3 represents the background of the image.
81 threshold (Nest, Nest_wo_Background, 3, 255)
82 *Close gaps of the region
83 closing (Nest_wo_Background, StructElement, Nest_Closing)
84 *The operator connection computes all connected regions and
85 *stores the results in separate regions.
86 *Is needed to separate the layer from other regions.
87 connection (Nest_Closing, ConnectedRegions_Nest)
88 *Find the Layer.
89 *An area which is greater than 14082.6 represents the layer.
90 select_shape (ConnectedRegions_Nest, Layer, 'area', 'and', 14082, 260000)
91 *Display the contour of the layer.
92 gen_contour_region_xld (Layer, ContoursLayer, 'border')
93 dev_display(Nest)
94 dev_set_color ('red')
95 dev_display(ContoursLayer)
96 *Check if a Layer is in the nest.
97 connect_and_holes (Layer, NumLayer, x)
98 layer:= sum(NumLayer)
99 if(layer==1)
100     layerDetected:=true
101 endif
```

Quelltext 5: Überprüfen, ob sich eine Henne im Nest befindet, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 75-78: Zur Vereinfachung der weiteren Bildverarbeitung werden im ersten Schritt störende Bereiche, die außerhalb des benötigten Beobachtungsfeldes liegen, entfernt. Es wird nur der in Abbildung 81 rot eingerahmte Bereich für die weitere Verarbeitung herangezogen.



Abbildung 81: Einschränkung des Bearbeitungsbereichs, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 81-83: Mit Hilfe des Schwellwertoperators wird das Nest (Hintergrund) so gut wie möglich ausgeblendet. Der Operator benötigt einen minimalen und maximalen Grauwert. Alle Bildpunkte, deren Grauwert in der Schwellenwertbedingung liegen, werden, wie in Abbildung 82 dargestellt, umgewandelt. Des Weiteren werden mit dem Operator „closing“ ungewollt entstandene Lücken geschlossen, um die Gestalt des Huhns für eine spätere grafische Markierung zu erhalten.

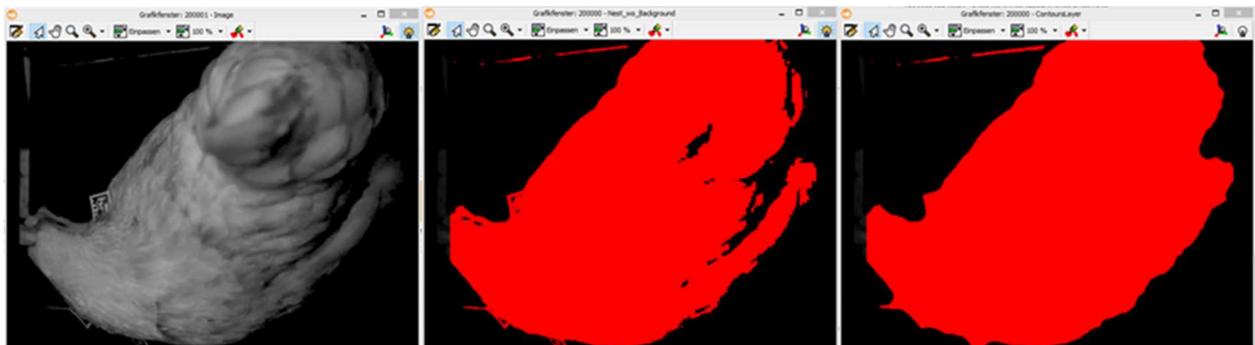


Abbildung 82: Links: Bild von Kamera; Mitte: Schwellwertoperator; Rechts: Closing-Operator, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeile 87: Das nun erhaltene Bild beinhaltet mehrere Regionen. Es werden die Henne sowie andere Regionen, die nicht zur Henne gehören, dargestellt. Durch den Operator werden die Regionen aufgesplittet.

Zeile 90: Um die störenden Regionen zu entfernen, muss nach der Henne gesucht werden. Durch den Operator wird nach der größten Region gesucht, die eine Fläche von mindestens 14082 Pixel aufweisen muss. Die nachfolgende Abbildung 83 zeigt das Ergebnis nach Entfernen der störenden Regionen.

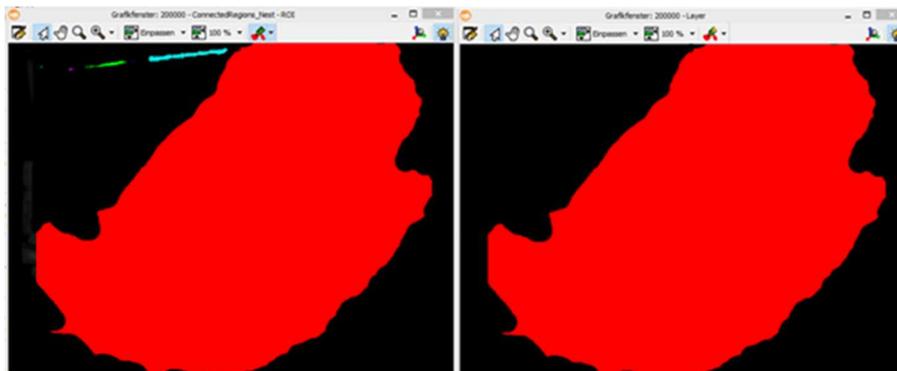


Abbildung 83: Entfernen der störenden Regionen, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 91-95: Für die grafische Darstellung wird das erkannte Huhn, wie in Abbildung 84 ersichtlich, durch eine rote Kontur markiert.

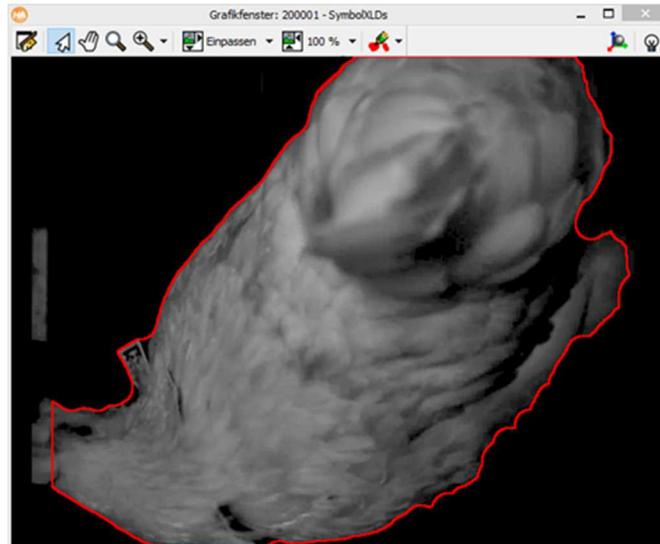


Abbildung 84 Markieren der Henne durch eine rote Kontur, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 96-101: Dient zur Abfrage, ob sich die Henne noch immer im Nest befindet. Solange diese im Nest ist, wird nicht nach einem Ei gesucht.

Überprüfen, ob sich ein Ei im Nest befindet

Zur Erkennung des gelegten Eis werden anfangs bis zum Schwellwertoperator dieselben Operatoren wie für die Erkennung des Huhns angewendet. Ausschließlich die benötigten Parameter für die Operatoren müssen entsprechend angepasst werden. Daher wird nur auf einen kleinen Teil des Programms (Quelltext 6) zur Erkennung des Eis eingegangen.

```

118 *Remove smaller areas less than 30
119 opening_circle (RegionEgg_wo_Background, RegionOpening, 30)
120 *Find the egg.
121 select_shape (RegionDilation, Eggs, 'roundness', 'and', 0.90, 1)
122 dev_display(Image)
123 dev_set_color ('gold')
124 gen_contour_region_xld (Eggs, ContoursEier, 'border')
125 *Check if an egg is in the nest.
126 connect_and_holes (Eggs, NumEggs, x)
127 if(NumEggs>=1)
128     egg:=false
129 endif
    
```

Quelltext 6: Überprüfen, ob sich ein Ei im Nest befindet, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeile 119: Nach dem Ausblenden des Hintergrunds mit Hilfe des Schwellwertoperators bleiben noch kleinere Störregionen übrig. Die Störregionen werden mit dem Operator „opening_circle“ entfernt. Alle Regionen, die kleiner sind als der angegebene Radius von 30, werden entfernt. Übrig bleibt, wie in Abbildung 85 dargestellt, das Ei.

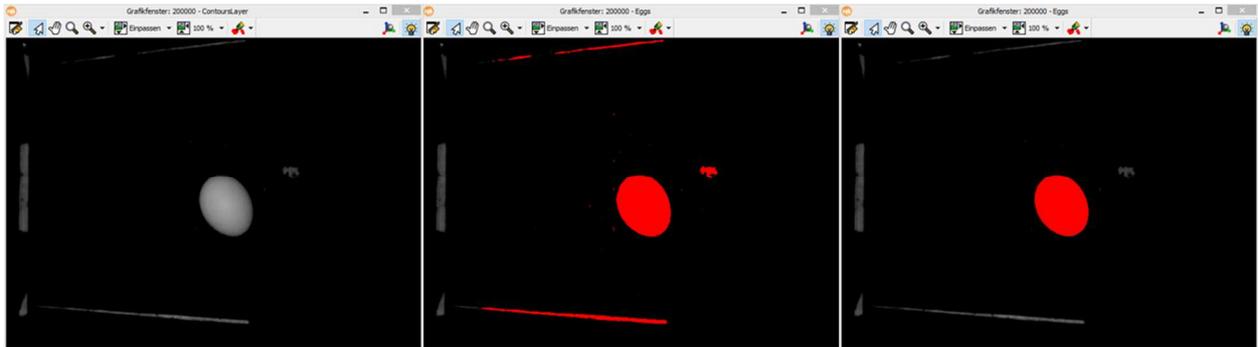


Abbildung 85: Entfernen der störenden Regionen. Links: Originalbild; Mitte: Schwellwertoperator; Rechts: „opening_circle“-Operator, Quelle: Eigene Darstellung.

Zeilen 120-124: Mit diesen Operatoren wird geprüft, ob sich ein Ei im Nest befindet. Mit dem Operator „select_shape“, in Kombination mit den Parametern „roundness“ und der Angabe einer unteren Grenze von „0.90“, wird nach einer ovalen Form gesucht, die dem Ei entspricht. Anschließend wird das gefundene Ei, wie in Abbildung 86 dargestellt, durch eine goldene Kontur markiert.

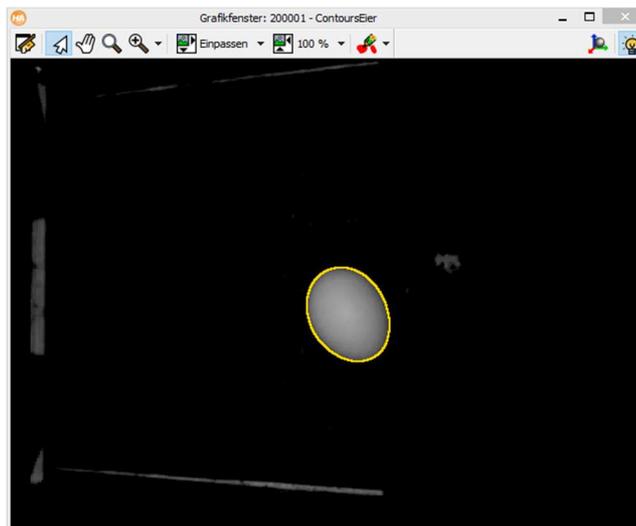


Abbildung 86: Gefundenes Ei, Quelle: Eigene Darstellung.

Grafische Visualisierung

Zusätzlich zu der schon erläuterten Visualisierung zur Darstellung der erkannten Henne, des Eis sowie des DataMatrix-Codes, werden im linken oberen Bereich des Grafikfensters weitere Informationen eingeblendet. Eine davon ist die ID des ausgelesenen DataMatrix-Codes.

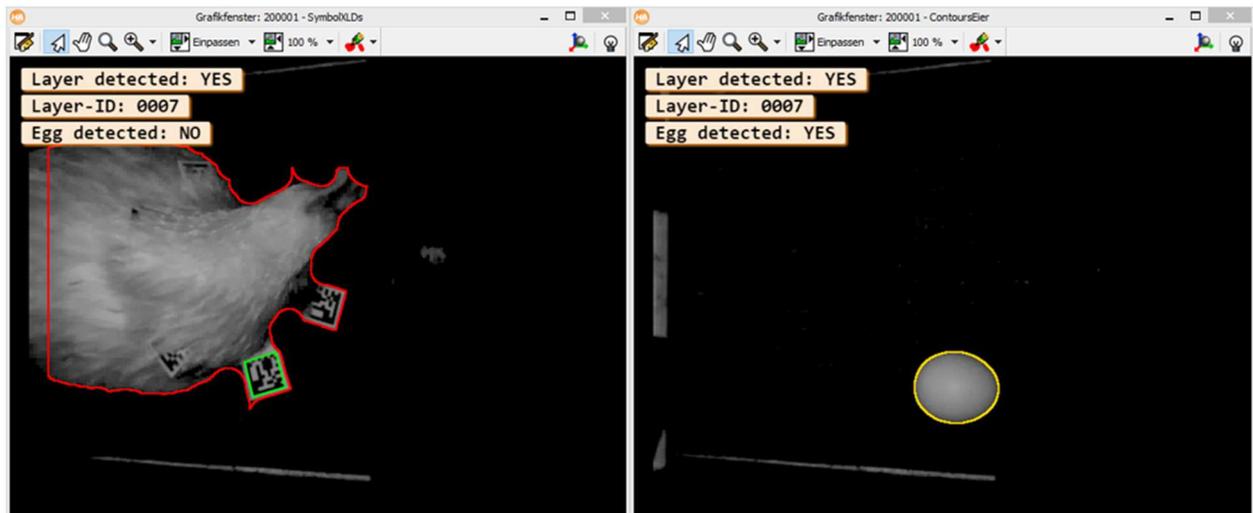


Abbildung 87: Finales Programm mit Visualisierung und Anzeige der ausgelesenen ID, Quelle: Eigene Darstellung.

Vergleich der eingesetzten Kameras

Beim Einlesen des Farbbildes der Webcam wird dieses für die weitere Bildverarbeitung in ein Graustufenbild umgewandelt. Dadurch sind die Bilder der beiden Kameras nahezu gleich. Für den Programmablauf ändert sich somit nicht viel. Es müssen lediglich ein paar Eingabeparameter der Operatoren entsprechend angepasst werden.

Fazit

Eine Auswertung von insgesamt siebzehn Nestbesuchen sowie mehrere Optimierungen der Programmparameter zeigen letztendlich ein akzeptables Ergebnis des Versuchsaufbaus. Es können die aufgezeichneten Nestbesuche durch das entwickelte Programm ohne Fehler automatisiert ausgewertet werden.

4.2.3 Verschmutzung der Hühnermarke

Anders als erwartet zeigen Beobachtungen über einen längeren Zeitraum, dass die Hühnermarke nicht stark verschmutzt wird und der DataMatrix-Code für die Bildverarbeitungssoftware leserlich bleibt. Grobe Verschmutzung der Hühnermarke tritt nur dann ein, wenn es geregnet hat. Durch den mehrfach vorhandenen Code auf der Marke bleibt das Risiko jedoch gering die Henne nicht identifizieren zu können. Da die Hennen des Öfteren ein Staubbad nehmen um sich zu reinigen, wird die Hühnermarke automatisch von Schmutz befreit.

5 ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Abschließend werden nochmals die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick für weitere Vorgehensweisen formuliert.

5.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden nach den eingesetzten automatischen Identifikationsverfahren gegliedert.

5.1.1 Umsetzung mittels RFID

Anhand der in dieser Arbeit gewonnen Informationen zeigt sich mittels Nutzwertanalyse, dass ein RFID-System im LF-Bereich die geeignetste Lösung für die Identifikation der Legehennen ist. Dabei erweist sich der Geflügelring mit integriertem Transponder als am praktikabelsten. Im Gegensatz zur Flügelmarke mit integriertem Transponder oder injizierbare Transponder besticht der Geflügelring durch seine einfache Handhabung und kann ohne einschlägige Fachkenntnisse am Tier angebracht werden. Bei der Umsetzung der Versuchsaufbauten musste festgestellt werden, dass trotz spezifizierter Kompatibilität nicht jeder Transponder gleich gut auf das ausgewählte RFID-Lesegerät abgestimmt ist. Aus diesem Grund war es notwendig den im Geflügelring integrierten Transponder durch einen Glastransponder zu ersetzen, der mit dem Lesegerät besser abgestimmt ist.

5.1.1.1 Umsetzung der Zutrittsüberwachung

Anhand zweier im Tunnel integrierten RFID-Lesegeräte ist es möglich herauszufinden, welches Huhn sich innerhalb oder außerhalb des Stalls befindet. Durch das Erfassen des Transponders kann das automatisierte Öffnen der geschlossenen Auslauföffnung ermöglicht werden.

Untersuchungen verschiedener Versuchsaufbauten zeigen, dass die Auslesesicherheit der Transponder deutlich von der Orientierung des Transponders zur Leseantenne und von der Laufgeschwindigkeit der Henne abhängt. Eine Orientierung des Transponders parallel zur Leseantenne ermöglicht eine bestmögliche Kommunikation. Das Konzept bei dem die Antenne des Lesegerätes als Durchgangsantenne eingesetzt wird, erweist sich in Kombination mit dem Geflügelring als ungeeignet. Die Transponderorientierung beim Durchqueren der Leseantenne ist abhängig von der Bewegung des Huhns und kann nur begrenzt beeinflusst werden. Der Versuchsaufbau mit horizontal angeordneter Leseantenne zeigt gegenüber dem Versuchsaufbau mit Durchgangsantenne eine deutliche Verbesserung der Auslesesicherheit und führt zu einem durchaus akzeptablen Ergebnis. Grund hierfür ist die optimale Transponderausrichtung zur Leseantenne. Sobald das Huhn auf die Antenne tritt, rollt das Huhn das Bein mit dem Geflügelring ab, wodurch die Transponderspule, zu einem bestimmten Zeitpunkt parallel zur Leseantenne ausgerichtet ist. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit der Tiere kann durch integrierte Hindernisse im Tunnel entsprechend reduziert werden, um die benötigte Zeit zum Auslesen der Transponder-ID sicherzustellen.

5.1.1.2 Erfassen der Legeleistung

Die Identifikation der Legehennen mit der im Abrollboden integrierten Leseantenne funktioniert einwandfrei. Durchgeführte Auswertungen zeigen, dass, solange sich die Henne im Nest befindet, die Transponder-ID nahezu ununterbrochen vom Lesegerät erfasst wird. Auch die Erkennung des Eis über die Waage funktioniert stabil. Der Versuchsaufbau beweist somit, dass die Legeleistung mit diesem Konzept automatisiert überwacht werden kann.

5.1.2 Umsetzung mittels Bildverarbeitung

Anhand der Recherchen und Voruntersuchungen kann festgehalten werden, dass eine automatisierte Identifikation der Legehennen anhand von natürlichen Identifikationsmerkmalen wie Kamm oder Federkleid nahezu unmöglich ist und den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Die Verwendung der Flügelmarke mit aufgedruckter Identifikationsnummer oder 1D- bzw. 2D-Code ist eine mögliche Methode zur automatisierten Identifizierung der Hennen, wird aber aufgrund der seitlichen Positionierung am Tier als eher ungeeignet für die Bildverarbeitung eingestuft. Resultierend daraus ist die eigens für diese Arbeit entwickelte Flügelmarke bestmöglich für die automatisierte Identifikation ausgelegt und bietet durch mehrere an der Marke angebrachte DataMatrix-Codes eine hohe Identifikationssicherheit der Henne. Ist ein Code unleserlich, kann das Tier dennoch durch die zusätzlichen Codes identifiziert werden.

5.1.2.1 Umsetzung der Zutrittsüberwachung

Mit Hilfe von zwei am Tunnel angebrachten Kameras ist eine einfache Positionserfassung der Hennen möglich. Durch die Identifizierung des Huhns anhand der Marke kann das automatisierte Öffnen der geschlossenen Auslauföffnung ermöglicht werden. Die Positionierung der Kamera mittig auf der Oberseite des Tunnels stellt sich als ungeeignet dar. Schließen die Hühner beim Durchqueren des Tunnels dicht aneinander auf, so kann von dieser Position aus die Hühnermarke nicht erfasst werden. Ursache hierfür ist die tiefsitzende Hühnermarke am Hals der Henne. Durch eine Neupositionierung der Kamera seitlich am Tunnel kann die Marke auch dann gelesen werden, wenn die Tiere dicht aneinander aufschließen. Untersuchungen mit Hilfe der Bildverarbeitungssoftware HALCON zeigen, dass eine Bildrate von ca. 21 fps notwendig ist, um den DataMatrix-Code auf der Hühnermarke sicher zu erfassen.

5.1.2.2 Erfassung der Legeleistung

Die Positionierung der Kamera im Nest bietet nicht nur den Vorteil, dass sowohl die Henne und das Ei über die Kamera erfasst werden kann, sondern es herrschen auch konstante Lichtverhältnisse, welche die Bildverarbeitung vereinfacht. Versuche zeigen das beide für diese Arbeit zur Verfügung stehenden Kameras für die Erfassung der Legeleistung eingesetzt werden können. Jedoch ist die Kamera, welche für den nahen Infrarotbereich ausgelegt ist zu bevorzugen, da das Legenest dunkel gestaltet sein soll und die Hühner ähnlich wie der Mensch eine sehr geringe spektrale Empfindlichkeit im nahen Infrarotbereich aufweisen. Das mit Hilfe von HALCON entwickelte Programm sowie mehrere Optimierungen der Programmparameter zeigen letztendlich ein akzeptables Ergebnis des Versuchsaufbaus. Es können die aufgezeichneten Nestbesuche durch das Programm ohne Fehler automatisiert ausgewertet werden.

5.2 Ausblick

Die stetige Automatisierung und Verbesserung von Prozessen in der Landwirtschaft sind zwingend notwendig, um den wirtschaftlichen Erfolg des Betriebes nachhaltig zu sichern. Gerade in der Tierhaltung gibt es immer neue Herausforderungen, die zu bewältigen sind. Diese Arbeit spiegelt nur einen sehr kleinen Teil wieder und soll zeigen wie man die Legehennenhaltung weiter optimieren kann.

In Zusammenhang mit der Arbeit wäre weiterführend die Überprüfung der Versuchsaufbauten durch eine größere Anzahl von Legehennen über einen längeren Zeitraum interessant. Dadurch könnte eine bessere Aussage über die Robustheit der Systeme getroffen werden und entsprechend weiterentwickelt werden. Bei den Versuchsaufbauten mittels RFID erfolgt die Auswertung der gesammelten Daten anhand der Log-Datei mit Hilfe von Microsoft Excel. Zur Ermittlung der Legeleistung sollte die Software noch um eine grafische Auswertung ergänzt werden. Besonders im Bereich der Bildverarbeitung können noch einige Optimierungen vorgenommen werden. Hier kann beispielsweise das Abrollen des gelegten Eis in den Auffangbereich realisiert werden, um das Nest für nachfolgende Hühner attraktiv zu halten. Des Weiteren könnte über die Bildverarbeitungssoftware das Ei vermessen werden, um auf das Gewicht rückschließen zu können. Das mit Hilfe von HALCON entwickelte Programm kann durch kleine Änderungen beispielsweise in Visual Studio eingebunden werden, um die Versuchsaufbauten auf einfache Weise weiter zu automatisieren.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (13)

- Landwirtschaftskammer Österreich (Hrsg.) (2018): *Legehennenhaltung*, 2 Auflage, Wien
- Barber, Joseph; Daly, Janet; Rutland, Catrin; Hauber, Mark; Cawthray, Andy (2013): *Das Huhn: Geschichte, Biologie, Rassen*, 1 Auflage, Haupt
- Deerberg, Friedhelm; Maurer, Veronika; Zeltner, Esther (2010): *Freilandhaltung von Legehennen*
- Finkenzeller, Klaus (2015): *RFID-Handbuch*, 7 Auflage, Carl Hanser Verlag München, München
- Hesse, Stefan; Schnell, Gerhard (2014): *Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation*, 6 Auflage, Springer Vieweg, Plauen, Deutschland
- Hippenmeyer, Heinrich; Moosmann, Thomas (2016): *Automatische Identifikation für Industrie 4.0*, Springer-Verlag GmbH Deutschland, Freiamt / Buchenbach, Deutschland
- Hompel, Michael ten; Büchter, Hubert; Franzke, Ulrich (2008): *Identifikationssysteme und Automatisierung*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Dortmund
- Kern, Christian (2007): *Anwendung von RFID-Systemen*, 2 Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alpnach-Dorf, Schweiz
- Lenk, Bernhard (2005): *Einführung in die Identifikation*, 1 Auflage, Monika Lenk Fachbuchverlag, Kirchheim
- Lenk, Bernhard (2000): *Handbuch der automatischen Identifikation*, 1 Auflage, Monika Lenk Fachbuchverlag, Kirchheim
- Richter, Max; Juhre, Fritz (o.J.): *Fallnester*, Albrecht Philler Verlag Minden, Westfalen
- Steger, Carsten; Ulrich, Markus; Wiedemann, Christian (2018): *Machine Vision Algorithms and Applications*, 2 Auflage, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, München
- Wehlitz, Romi; Huhnstock, Christin; Schneider, Andrea; Müller, Ulf (2015): *Beleuchtungskörper in der Legehennenhaltung*, Dresden

Online-Quellen (13)

- Horst Stengel & Sohn e.K. (o.J.): *Horst Stengel & Sohn e.K.*
<https://www.stengel-fussring.com/kueckenkennzeichnung/> [Stand: 15.08.2018]
- LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016): *iiM AG measurement + engineering*
<http://www.iimag.de/lumimax/wissenswertes/pdf/Wissensreihe%20LUMIMAX%20LED%20Beleuchtungstechnik.pdf> [Stand: 27.08.2018]
- L-mobile solutions GmbH & Co. KG (2018): *L-mobile solutions GmbH & Co. KG*
<https://rfid-finder.com/rfid-anwendungsbereiche/rfid-tag-tieridentifikation/> [Stand: 29.08.2018]

Literaturverzeichnis

Hdcamcorders.org (2018): *Hdcamcorders*

https://recording.hdcamcorders.org/besteker-webcam.html?product_id=5HfXUEH6KP_WRw [Stand: 11.10.2018]

Basler AG (2018): *Basler AG*

<https://www.baslerweb.com> [Stand: 10.11.2018]

MVTec Software GmbH (2018): *MVTec Software GmbH*

<https://www.mvtec.com/> [Stand: 11.11.2018]

RFIDSolutions e.K. (2018): *RFIDSolutions e.K.*

<https://www.rfidsolutions.de/rfid-produkte/transponder/89/taubenring---gefluegelring--lf-/> [Stand: 12.11.2018]

RS-Systems Engineering (2018): *RS-Systems Engineering*

<http://www.rss-systems.de/shop/rfid-systeme/rfid-systeme-125khz/reader/slr30-232-reader.php> [Stand: 12.11.2018]

DYMO (2018): *DYMO*

<http://www.dymo.com/de-DE/m5lb-digital-postal-scale> [Stand: 15.12.2018]

Günther, Inga (2016): *Ökologische Tierzucht gGmbH*

<https://www.oekotierzucht.de/ueber-uns/> [Stand: 15.08.2018]

Munro, Trent (2016):

<https://blog.matthews.com.au/datamatrix-and-qr-codes-why-2d-codes-are-still-relevant-in-2016/> [Stand: 2018.11.24]

Schläpfer, Kurt (2012): <http://www.natureier.ch/>

http://www.natureier.ch/pdf/Ool_Berechnungen.pdf [Stand: 08.28.2018]

Stricker, Katrin (o.J.): *Initiative zur Erhaltung alter Geflügelrassen eV*

<https://www.erhaltungszucht-gefluegel.de/index.php?id=36> [Stand: 15.08.2018]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Freilandhühnerstall, Quelle: Eigene Darstellung.....	2
Abbildung 2: Abmessungen der Legenester (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.	2
Abbildung 3: (links) Leicht beschädigte Konturfeder aus dem Flügel und (rechts) Aufbau einer Feder, Quelle: Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 42 f.....	3
Abbildung 4: Kehllappen und Kamm, Quelle: Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 44.....	4
Abbildung 5: Kehllappen und Kammformen von Hühnerrassen, Quelle: Barber/Daly/Rutland/Hauber/Cawthray (2013), S. 44 f (leicht modifiziert).....	4
Abbildung 6: Typische Eiform einer Henne, Quelle: Eigene Darstellung.....	5
Abbildung 7: Korrekter Sitz der Kükenmarke, Quelle: Stricker (o.J.), Online-Quelle [15.08.2018].....	5
Abbildung 8: Links: Flügelmarke am Huhn, Quelle: Günther (2016), Online-Quelle [15.08.2018]. Rechts: Flügelmarke, Quelle: Eigene Darstellung.....	6
Abbildung 9: (Links) Varianten an Kennzeichnungsringen, Quelle: Horst Stengel & Sohn e.K. (o.J.), Online-Quelle [15.08.2018]. (Rechts) Kennzeichnungsring befestigt am Bein des Huhns, Quelle: Eigene Darstellung.	6
Abbildung 10: Klappfallnest, Quelle: Günther (2016), Online-Quelle [15.08.2018].....	7
Abbildung 11: Komponenten eines RFID-Systems, Quelle: Kern (2007), S. 34.....	10
Abbildung 12: Besonderheiten von RFID-Systemen in Abhängigkeit der Frequenzbereiche, Quelle: Kern (2007), S. 41 (leicht modifiziert).	12
Abbildung 13: Übertragungsverfahren von RFID-Systemen, Quelle: Kern (2007), S. 48 (leicht modifiziert).	13
Abbildung 14: Injizierbarer Transponder, Quelle: L-mobile solutions GmbH & Co. KG (2018), Online- Quelle [29.08.2018].	14
Abbildung 15: Geflügelring mit Transponder, Quelle: RFIDSolutions e.K. (2018), Online-Quelle [12.11.2018].....	14
Abbildung 16: Komponenten eines Bildverarbeitungssystems, Quelle: Eigene Darstellung.	15
Abbildung 17: Funktionsweise der CCD-Aufnahmetechnik, Quelle: Hesse/Schnell (2014), S. 369.....	16
Abbildung 18: Digitalisierung in Schwarz-Weiß-Darstellung. (a) reales Objekt, (b) gerastertes Objekt, (c) digitalisiertes Objekt; Quelle: Hesse/Schnell (2014), S. 370.....	17
Abbildung 19: Farbbalken beleuchtet mit verschiedenen Wellenlängen, Quelle: LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 11 (leicht modifiziert).....	19
Abbildung 20: Varianten der partiellen Hellfeldbeleuchtung, Quelle: LUMIMAX® Wissensreihe Team (2016), Online-Quelle [27.08.2018], S. 3 (leicht modifiziert).	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 21: Vergleich der spektralen Empfindlichkeit von Menschen und Huhn, Quelle: Wehlitz/Huhnstock/Schneider/Müller (2015), S. 17 (leicht modifiziert).	21
Abbildung 22: Beispiel für die OCR-Schriften OCR-A (obere Zeile) und OCR-B (untere Zeile), Quelle: Eigene Darstellung.	22
Abbildung 23: Allgemeiner Aufbau eines Strichcodes, Quelle: Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 23 (leicht modifiziert).	23
Abbildung 24: Kriterien zur Auswahl von Strichcodes, Quelle: Lenk (2005), S. 47.	23
Abbildung 25: Größenvergleich der Strichcodes 2/5 Interleaved, Code 128 und Code 39, Quelle: Eigene Darstellung.	24
Abbildung 26: Allgemeiner Aufbau eines (links) QR Code und (rechts) DataMatrix-Code, Quelle: Eigene Darstellung.	24
Abbildung 27: Methoden zur Identifikation von Legehennen mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung. ...	30
Abbildung 28: Flügelmarke mit integriertem RFID-Transponder, Quelle: Eigene Darstellung.	30
Abbildung 29: Zutrittsüberwachung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.	32
Abbildung 30: Positionsermittlung mittels Reflexionslichtschranken, Quelle: Eigene Darstellung.	32
Abbildung 31: Zutrittsüberwachung mittels RFID-Durchgangsantenne, Quelle: Eigene Darstellung.	33
Abbildung 32: Zutrittsüberwachung mittels liegend angeordnete RFID-Antenne, Quelle: Eigene Darstellung.	34
Abbildung 33: Nester mit Durchgangsantenne, Quelle: Eigene Darstellung.	35
Abbildung 34: Nest mit im Abrollboden integrierte Antenne, Quelle: Eigene Darstellung.	35
Abbildung 35: Erkennung des gelegten Eis mittels Lichtschranke, Quelle: Eigene Darstellung.	36
Abbildung 36: Erkennung des gelegten Eis mittels Gewichtsmessung, Quelle: Eigene Darstellung.	36
Abbildung 37: Vergleich der Kämmen, Quelle: Eigene Darstellung.	38
Abbildung 38: Hühnermarke (Prototyp), Quelle: Eigene Darstellung.	39
Abbildung 39: Webcam - Besteker FHD1536P, Quelle: Hdcamcorders.org (2018), Online-Quelle [11.10.2018].	40
Abbildung 40: Kamera mit Objektiv - Basler acA1300-60gmNIR GigE, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Abbildung 41: Gegenüberstellung der spektralen Kameraempfindlichkeit, Quelle: Eigene Darstellung. ...	41
Abbildung 42: Zutrittsüberwachung mittels Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.	42
Abbildung 43: Zutrittsüberwachung mit Tunnel durch Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.	43
Abbildung 44: Erfassen von mehreren Nestern durch eine Kamera, Quelle: Eigene Darstellung.	44
Abbildung 45: Kamera positioniert im Legenest, Quelle: Eigene Darstellung.	44
Abbildung 46: Legenester, Quelle: Eigene Darstellung.	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 47: Geflügelring mit 125 kHz Transponder, Quelle: RFIDSolutions e.K. (2018), Online-Quelle [12.11.2018].....	49
Abbildung 48: RFID-Lesegerät - Type DXSLR30-232, Quelle: RS-Systems Engineering (2018), Online-Quelle [12.11.2018].	50
Abbildung 49: Tunnelform für Durchgangsantenne (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Abbildung 50: Links: Gewickelte Durchgangsantenne, Rechts: Antenne eingefasst in einem Holzrahmen, Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Abbildung 51: Ermittelte Lesedistanz der Geflügelringe. Geflügelring parallel zur Leseantenne ausgerichtet, Quelle: Eigene Darstellung.....	52
Abbildung 52: Schliffbilder von vergossenen Transpondern im Geflügelring, Quelle: Eigene Darstellung.	52
Abbildung 53: Ermittelte Lesedistanz der ausgewählten Transponder in Abhängigkeit der Orientierung zur Antenne. Verwendete Leseantenne SLR30A der Firma RS-Systems Engineering, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Abbildung 54: Ausrichtung des vergossenen Glastransponders im Geflügelring, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Abbildung 55: Durchgangsantenne mit Hindernis (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.	55
Abbildung 56: Transponderorientierung bei liegend ausgeführter Leseantenne, Quelle: Eigene Darstellung.	56
Abbildung 57: Ermittlung der Schrittweite von Legehennen, Quelle: Eigene Darstellung.	56
Abbildung 58: Tunnel mit liegenden RFID-Leseantennen (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.....	57
Abbildung 59: Metallboden ersetzt durch einen Holzboden, zur Verbesserung der Lesereichweite des RFID-Lesegerätes, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abbildung 60: Tunnel mit reduzierter Höhe durch eingebaute Hindernisse, Quelle: Eigene Darstellung...	59
Abbildung 61: Transponderorientierung zur Leseantenne, bei gebückter Haltung des Huhns, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abbildung 62: Reduzierung der Laufgeschwindigkeit durch am Boden angebrachte Hindernisse, Quelle: Eigene Darstellung.	60
Abbildung 63: Digital USB Waage - DYMO M5, Quelle: DYMO (2018), Online-Quelle [15.12.2018]	61
Abbildung 64: Legenest mit RFID-Lesegerät und integrierter Waage, Quelle: Eigene Darstellung.	61
Abbildung 65: Programmablauf zur Umsetzung der Zutrittsüberwachung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.	63
Abbildung 66: Benutzeroberfläche zur Umsetzung der Zutrittsüberwachung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 67: Programmablauf zur Erfassung der Legeleistung mittels RFID und Gewichtsmessung, Quelle: Eigene Darstellung.....	65
Abbildung 68: Benutzeroberfläche zur Erfassung der Legeleistung mittels RFID, Quelle: Eigene Darstellung.	66
Abbildung 69: Kamera mittig am Tunnel angebracht, Quelle: Eigene Darstellung.	67
Abbildung 70: Hühnermarke erfasst von oben. Links: Marke ersichtlich. Rechts: Marke verdeckt durch Henne, Quelle: Eigene Darstellung.	67
Abbildung 71: Positionierung der Kamera seitlich am Tunnel, Quelle: Eigene Darstellung.	68
Abbildung 72: Links Tunnel mit und rechts Tunnel ohne Auflichtbeleuchtung, Quelle: Eigene Darstellung.	68
Abbildung 73: Finaler Versuchsaufbau für Zutrittsüberwachung mittels Bildverarbeitung (Maße in mm), Quelle: Eigene Darstellung.....	69
Abbildung 74: Programm für die Überprüfung des Versuchsaufbaus der Zutrittsüberwachung mittels Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.....	70
Abbildung 75: Positionierung der Kameras im Legenest, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Abbildung 76: Positionierung der Beleuchtung über dem Legenest, Quelle: Eigene Darstellung.	72
Abbildung 77: Ausleuchtung des Nests – Links: Ohne Acrylglas, Rechts: Mit Acrylglas, Quelle: Eigene Darstellung.	72
Abbildung 78: Ablaufdiagramm zur Erfassung der Legeleistung mittels Bildverarbeitung, Quelle: Eigene Darstellung.	73
Abbildung 79: Anwendung des "dev_set_lut" Operators. Links: Originalbild; Rechts: Bild mit angewendetem Operator, Quelle: Eigene Darstellung.....	75
Abbildung 80: Markieren des gefundenen DataMatrix-Codes, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Abbildung 81: Einschränkung des Bearbeitungsbereichs, Quelle: Eigene Darstellung.....	78
Abbildung 82: Links: Bild von Kamera; Mitte: Schwellwertoperator; Rechts: Closing-Operator, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Abbildung 83: Entfernen der störenden Regionen, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Abbildung 84 Markieren der Henne durch eine rote Kontur, Quelle: Eigene Darstellung.....	79
Abbildung 85: Entfernen der störenden Regionen. Links: Originalbild; Mitte: Schwellwertoperator; Rechts: „opening_circle“-Operator, Quelle: Eigene Darstellung.	80
Abbildung 86: Gefundenes Ei, Quelle: Eigene Darstellung.....	80
Abbildung 87: Finales Programm mit Visualisierung und Anzeige der ausgelesenen ID, Quelle: Eigene Darstellung.	81

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vergleich der in Europa zugelassenen RFID-Frequenzen, Quelle: Hompel/Büchter/Franzke (2008), S. 106 (leicht modifiziert).	11
Tabelle 2: Gegenüberstellung von CCD- und CMOS-Sensoren, Quelle: Hesse/Schnell (2014), S. 371. .	17
Tabelle 3: Einteilung der elektromagnetischen Strahlung, Quelle: Steger/Ulrich/Wiedemann (2018), S. 6 (leicht modifiziert).	18
Tabelle 4: Übersicht gängiger 1D- und 2D-Codes, Quelle: Eigene Darstellung.	22
Tabelle 5: Leistungsparameter der RFID-Systeme, Quelle: Eigene Darstellung.	27
Tabelle 6: Präferenzenmatrix zur Gewichtung der Leistungsparameter, Quelle: Eigene Darstellung.	28
Tabelle 7: Bewertungskriterien für die Auswahl des RFID-Systems, Quelle: Eigene Darstellung.	28
Tabelle 8: Bewertung und Rangordnung der RFID-Frequenzen, Quelle: Eigene Darstellung.	29
Tabelle 9: Vergleich der Transponderpositionen, Quelle: Eigene Darstellung.	31
Tabelle 10: Kameradaten Besteker FHD1536P, Quelle: Hdcamcorders.org (2018), Online-Quelle [11.10.2018].	40
Tabelle 11: Daten Kamera und Objektiv – Basler, Quelle: Basler AG (2018), Online-Quelle [10.11.2018].	41
Tabelle 12: Vergleich der Kamerapositionen zur Erfassung der Legeleistung, Quelle: Eigene Darstellung.	45
Tabelle 13: Transponderdaten, Quelle: RFIDSolutions e.K. (2018), Online-Quelle [12.11.2018].	49
Tabelle 14: Technische Daten des RFID-Lesegeräts - Type DXSLR30-232, Quelle: RS-Systems Engineering (2018), Online-Quelle [12.11.2018].	50
Tabelle 15: Ausgewählte Glasransponder, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Tabelle 16: Übersicht der erkannten Transponder mittels Durchgangsantennen, Quelle: Eigene Darstellung.	54
Tabelle 17: Auswertung der erfassten Transponder mittels Durchgangsantenne und Hindernis, Quelle: Eigene Darstellung.	55
Tabelle 18: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Tabelle 19: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne und reduzierter Tunnelhöhe durch Hindernisse, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Tabelle 20: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne und Hindernissen am Tunnelboden, Quelle: Eigene Darstellung.	60
Tabelle 21: Auswertung der erfassten Transponder mittels horizontal angeordneter Leseantenne und Hindernissen am Tunnelboden über einen Zeitraum von 22 Tagen, Quelle: Eigene Darstellung.	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 22: Technische Daten - Digitalwaage DYMO M5, Quelle: DYMO (2018), Online-Quelle [15.12.2018].....	61
Tabelle 23: Auswertung der gelegten Eier mittels RFID und Gewichtsmessung über einen Zeitraum von 27 Tagen, Quelle: Eigene Darstellung.	62

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AutoID	Automatische Identifikation
RFID	Radio Frequency Identification
LF	Low Frequency
HF	High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
SHF	Super High Frequency
UID	Unique Identifier / Eindeutige Identifikationsnummer
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
OCR	Optical Character Recognition