

Berner Fachhochschule
Fachbereich Wirtschaft

Bachelor Thesis

Automatische Analyse von Kamerabildern zur Prognose des Geburtszeitpunkts von Kälbern

Identifikation von merkmalsbezogenen
Schwellwerten und Anwendung erprobter
Softwarebibliotheken zwecks automatischer
Analyse von Bildern bei der Geburt von Kälbern

Dominique Müller

Studiengang Wirtschaftsinformatik
Matrikelnummer 17-263-625

Erstgutachter: Prof. Dr. Patrizio Collovà
Zweitgutachter: Dr. Klaus-Georg Deck

Bern, 22. Mai 2020

Management Summary

Auf dem Bauernhof des Arbeitgebers gebären Kühe einmal pro Jahr. Bei 15 Kühen bedeutet dies mehr als eine Geburt pro Monat ([Müller 2019](#)). Diese ist ein kritisches Ereignis für Kuh und Kalb. **Dystokie** ist die Todesursache von 50 bis 66 Prozent der Geburten mit tödlichem Ausmass. Dies hat einerseits wirtschaftliche Konsequenzen ([Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015](#), S. 1) und ist andererseits oftmals Auslöser für nachfolgende Krankheiten ([Lange et al. 2017](#), S. 1). Optimales Management und Überwachung vermindern die Eintrittswahrscheinlichkeit von Dystokie ([Lange et al. 2017](#), S. 1).

Im Rahmen einer Domänenanalyse werden zur Gewinnung von Expertenwissen die wesentlichen Merkmale eines Bildes identifiziert, welche für Prognose und computergetriebene Analyse des Geburtsverlaufs von Kälbern von Bedeutung sind. Zur Definition solcher Merkmale führt der Autor Interviews mit Fachleuten durch und betreibt Literaturrecherche. Zudem wird ein umfassendes System modelliert, welches sowohl die automatische Analyse von Kamerabildern als auch die Benachrichtigung der Stakeholder ermöglicht. Weiter erlaubt das modellierte System die Erfassung von medizinischen Daten von Kuh und Kalb.

Der Kern des modellierten Systems wird in der Programmiersprache Python mithilfe der Software-Library OpenCV zur Bildverarbeitung implementiert. Das Ergebnis ist ein flexibles und konfigurierbares System, welches die automatische Analyse von Kamerabildern bei der Geburt von Kälbern ermöglicht. Dabei wird der Fokus auf die Erkennung der Seitenlage gesetzt. Die Software ist modellgetrieben entwickelt und die erstellten Modelle, welche in UML-Notation erfasst sind, dienen als Dokumentation der Lösung.

Die Resultate der Bildanalyse können die Implementierung eines Systems mit Machine Learning unterstützen. Das entwickelte System kann jedes Bild der Trainingsdaten mit einem oder mehreren «Tags»markieren. So kann das entwickelte System als Grundlage für ein noch präziseres System dienen.

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	ii
1 Ausgangslage	1
1.1 Beschreibung der Situation	1
1.2 Bedarf	3
1.3 Ziele	5
2 Methodisches Vorgehen	7
2.1 Lösungsansatz	8
2.2 Zielerreichung	9
3 Domänenanalyse	10
3.1 Literaturrecherche	10
3.1.1 Grundlegende Geburtsanzeichen	10
3.1.2 Zeitliche und prädiktive Hinweise zu den Geburtsanzeichen . .	11
3.1.3 Weiterführende Geburtsanzeichen	12
3.1.4 Ablauf einer normalen Geburt	13
3.2 Erkenntnisse aus den Interviews	17
3.2.1 Kernaussagen aus Interviews	18
3.2.2 Codierung von Domänenwissen aus Interviews	19
3.3 Bildmaterial aus ersten Tests	24
3.4 Domänenmodell	27
3.4.1 Value-Object-Bibliothek	27
3.4.2 Legende zu den Diagrammen	27
3.4.3 Domänenmodell Geburt	28
3.4.4 Allgemeine Bibliothek an Value Objects	29
3.4.5 Bibliothek an Value Objects zur Konfiguration und zum Ver- sand von Nachrichten	31

Inhaltsverzeichnis

4 Lösung	32
4.1 Codierung von Domänenwissen	32
4.2 Modellierung der Lösung	34
4.2.1 Modell Image Analysis	35
4.2.2 Modell Message-Configuration und Message-Posting	36
4.3 Umsetzung in Entwicklung	37
4.3.1 Detektierung von unwichtigen Bereichen im Bild	38
4.3.2 Detektierung von wichtigen Bereichen im Bild	50
4.3.3 Erkennung einer seitlich liegenden Kuh	55
5 Resultate	68
6 Ausblick	75
7 Selbstreflexion	77
Selbstständigkeitserklärung	78
Anhang	85
1 Dokumentation zum entwickelten System	88
1.1 Entwicklungsplattform	88
1.2 Softwarekomponenten	88
1.3 Installation von OpenCV und Softwaremodulen	88
2 Mindmap als Entwurf für Modellierung der Domäne	93

1 Ausgangslage

1.1 Beschreibung der Situation

In den letzten Jahren ist die Landwirtschaft zunehmend unter Druck geraten. Der Primärsektor verliert an volkswirtschaftlicher Bedeutung ([Hofer 2010](#), S. 1 f.). Sowohl der Anteil an Beschäftigten als auch die landwirtschaftliche Nutzfläche sinkt ([Hofer 2010](#), S. 2) und Preise für Agrarprodukte sind stark unter Druck ([Hofer 2010](#), S. 11). Daraus entsteht ein tiefgreifender Strukturwandel ([Hofer 2010](#), S. 11 f.). Zahlreiche Landwirte gehen Nebentätigkeiten nach, um zusätzliches Einkommen zu generieren ([Hofer 2010](#), S. 6). Deshalb stellen sowohl die Maximierung des landwirtschaftlichen Einkommens als auch die Ermöglichung der Nutzung von Nebenerwerbsquellen besondere Herausforderungen in der Landwirtschaft dar ([Stefan et al. 2003](#), S. 8). Für selbstständige Landwirte ist es nicht einfach, einem Nebenerwerb nachzugehen.

Auch der Landwirt Peter Müller geht einer Nebenerwerbstätigkeit nach und will daher im landwirtschaftlichen Betrieb¹ nach innovativen Lösungen suchen, welche der Doppelbelastung entgegenwirken ([Müller 2019](#)).

¹Standort des Betriebs: Schwellibach 50, CH-1714 Heitenried, Kanton Freiburg

1 Ausgangslage

Entwicklung der Anzahl Betriebe nach Größenklassen

Größenklasse	Anzahl Betriebe	Anzahl Betriebe	Anzahl Betriebe	Veränderung pro Jahr	Veränderung in %	Veränderung in %
	2000	2017	2018	2000 – 2018	2017 – 2018	
0 – 3 ha	8 371	5 440	5 342	-2,5	-1,8	
3 – 10 ha	18 542	9 511	9 271	-3,8	-2,5	
10 – 20 ha	24 984	15 324	14 873	-2,8	-2,9	
20 – 30 ha	11 674	10 725	10 576	-0,5	-1,4	
30 – 50 ha	5 759	7 870	7 944	1,8	0,9	
> 50 ha	1 207	2 750	2 846	4,9	3,5	
Total	70 537	51 620	50 852	-1,8	-1,5	

Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl Haupt- und Nebenerwerbsbetriebe nach Regionen ([Agrarbericht.ch n.d.](#))

Um möglichst viel Milch zu produzieren, sorgen Landwirte dafür, dass jede Kuh auf dem Bauernhof einmal pro Jahr ein Kalb gebärt. Bei 15 Kühen auf dem Bauernhof des Arbeitgebers bedeutet dies mehr als eine Geburt pro Monat ([Müller 2019](#)).

Jede Geburt, bei welcher der Landwirt abwesend ist, könnte für die Kuh und das Kalb ein lebensbedrohliches Risiko darstellen ([Müller 2019](#)).

Dieser Bezug zur Problemstellung hat der Autor im Rahmen der Case-Arbeit «Technologische Unterstützung von Landwirten bei der Geburt von Kälbern und bei der Heuernte» erarbeitet. Es wurde ein System entwickelt, welches in regelmässigen zeitlichen Abständen Kamerabilder aufnimmt und auf einer Website darstellt. Das System zeigt Kamerabilder in passender Qualität zwecks Beobachtung auf einer Website an. Ziel dieses Systems ist die automatische Unterstützung mit Benachrichtigung auf verschiedenen Kommunikationskanälen bei der Überwachung. Damit wird das Risiko bei der Geburt von Kälbern und das Risiko von Schäden an der Infrastruktur zur Heuernte reduziert.

Sowohl Dr. med. vet. Samuel Kohler², Tierarzt und Studiengangsleiter Agronomie bei der BFH (HAFL) und Prof. Dr. med. vet. Gaby Hirsbrunner³ vom Departement für klinische Veterinärmedizin der Universität Bern als auch der Auftraggeber, der

²Kontakt per E-Mail: samuel.kohler@bfh.ch

³Kontakt per E-Mail: gabriela.hirsbrunner@vetsuisse.unibe.ch

Landwirt Peter Müller⁴, sehen die Case-Arbeit als spannende Lösung mit Optimierungspotential. Zurzeit müssen die aufgenommenen Kamerabilder von Landwirten nach wie vor auf einer Website angezeigt und von Menschen interpretiert werden. Die computergetriebene, vollautomatische Verarbeitung und Analyse von Kamerabildern stellt eine sinnvolle Weiterentwicklung zur Reduzierung des Überwachungsaufwands dar.

1.2 Bedarf

Dystokie ist die Todesursache von 50 bis 66 Prozent der Kalbsgeburten mit tödlichem Ausmass. Dies hat auch wirtschaftliche Konsequenzen in Form von Kosten für die Dienstleistungen des Tierarztes, nicht verkauften Kälbern, tieferer Milchproduktion oder vorzeitiger Schlachtung. Darüber hinaus ist Dystokie schmerzvoll und beeinträchtigt das Wohlergehen der Kühne (Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015, S. 1). Die Geburt ist ein kritisches Ereignis für Kuh und Kalb und oftmals Auslöser für nachfolgende Krankheiten. Optimales Management und Überwachung der Geburt wirken diesen Risiken entgegen und vermindern die Eintrittswahrscheinlichkeit von Dystokie und Totgeburt (Lange et al. 2017, S. 1). Die Prognose des Geburtszeitpunkts unterstützt die Entscheidung, ob und wann menschliche Geburtshilfe angebracht ist. Die Unterstützung beim Abkalben bewirkt eine Verringerung der Kälbersterblichkeit und der Plazenta-Retention. Die Vorhersage des Geburtszeitpunkts ist daher sowohl für die Wirtschaftlichkeit der Tierhaltung als auch für das Wohlergehen der Tiere von Bedeutung (Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015, S. 1).

Zum heutigen Zeitpunkt gibt es diverse Lösungsansätze zur Analyse des Geburtsverlaufs. Neigungs- und Beschleunigungssensoren sollen die Schwanzhebung und Verhaltensänderungen erkennen (Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015, S. 6). Zudem können spezialisierte Wiederkäuersensoren, welche beispielsweise von der Forschungsanstalt Agroscope⁵ entwickelt werden, das Wiederkäuerverhalten der Tiere analysieren (Pahl et al. 2014, S. 2). Intelligente Bauchgürtel sind gemäss (Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015, S. 6) in der Lage, **Abdominalkontraktionen** zu detektieren. Intravaginale Sensoren erkennen einen Abfall der Körpertempe-

⁴Postadresse: Schwellibach 50, 1714 Heitenried

⁵Weitere Informationen zu Agroscope: <https://www.agroscope.admin.ch>

ratur und die Ausstossung des **Allantochorions**⁶. Zudem gibt es Vorrichtungen in der Vagina oder an den Schamlippen, welche die Ausstossung der Waden erkennen. Sämtliche Produkte funktionieren nach demselben Prinzip: Sobald ein Sensor das prädiktive Merkmal erkennt, wird dieses analysiert und eine Benachrichtigung an den Landwirten ausgelöst. So wird der Landwirt vor dem bevorstehenden Abkalben gewarnt. Die wissenschaftliche Basis der angebotenen Produkte ist jedoch oftmals mangelhaft. Diese Einschätzung von (**Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015**, S. 6) hat mehrere Ursachen. Einerseits berücksichtigen die Produkte oftmals nur eine geringe Anzahl von Parametern zur Analyse. Andererseits bringt zurzeit keines der getesteten Geräte die Möglichkeit, Dystokie oder die Notwendigkeit menschlicher Geburtsunterstützung zu erkennen. Ausserdem wurden die meisten Studien bei der Rasse Holstein^{7,8} in Milchkuhhaltung durchgeführt. Sowohl in der Sammlung von Erfahrungen bei anderen Rassen als auch anderer Haltung liegt grosses Verbeserungspotential. Dementsprechend ist die Einführung von technischen Systemen zur Sammlung von Daten bei einer grossen Anzahl von Tieren anstrebenswert. So können weitere Wissenquellen gewonnen werden, welche für die Entwicklung von erfolgreichereren Produkten nützlich sind (**Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015**, S. 6). Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Analyse von Kamerabildern während der Geburt von Kälbern der Rasse Swiss Fleckvieh^{9,10}. Dadurch kann die Arbeit einen Beitrag zum Gewinn von weiteren Erfahrungen in dieser Domäne leisten.

In der Studie von (**Ouellet et al. 2016**, S. 6) wurden 42 Kühe mit Sensoren ausgestattet, wobei acht davon die Sensoren verloren haben und durch technische Probleme mit dem Wiederkäuersensor bei zwei weiteren Kühen keine Daten zum Wiederkäuerverhalten gesammelt werden konnten. Der Einsatz von Kameras hingegen ermöglicht eine sichere Entfernung zwischen Kuh und technischer Einrichtung. Der Autor ist der Meinung, dass diese Entfernung die Ausfallsicherheit des System erhöhen kann. Um den optimalen Abstand zwischen Kamera und Tieren festzulegen, wurden die empirischen Versuche durch Angaben der Tierärzten überprüft und dementsprechend angepasst.

⁶siehe Glossar

⁷<https://www.swissherdbook.ch/unsere-rassen/holstein-red-holstein/>

⁸<https://swissgenetics.com/genetik/rassenspezifische-informationen/holstein/>

⁹<https://swissgenetics.com/genetik/rassenspezifische-informationen/swiss-fleckvieh/>

¹⁰<https://www.swissherdbook.ch/unsere-rassen/swiss-fleckvieh/>

1.3 Ziele

Wünschenswert ist nun, im Rahmen der Bachelor-Thesis ein System zu entwickeln, welches die automatische Analyse von Kamerabildern zur Prognose des Geburtszeitpunkts von Kälbern ermöglicht.

Der Aufwand für die Überwachung des Geburtsverlaufs ist auf ein Minimum reduziert, weil die Lösung vollständig digitalisiert ist.

Dieses System soll modular und erweiterbar sein und optimalerweise auch in der Lage sein, Landwirte und Tierärzte mittels direkter und gezielter Benachrichtigungen fast in Echtzeit über den Geburtsverlauf von Kälbern zu informieren. Grundlage für diese Benachrichtigung bildet die computergetriebene Analyse von Bildmaterial.

Im Rahmen der vorliegenden Bachelor-Thesis wird zwischen Projektzielen (A), betrieblichen (B) und optionalem Zielen (C) unterschieden.

Projektziele (Ziele zum Lieferergebnis)

ID	Beschreibung
A1	Das System liest Bilddateien von einem vorgegebenen Dateisystem ein.
A2	Das System bearbeitet die von der Kamera gelieferten Bilder.
A3	Das System arbeitet auf Basis von geometrischen Mustern und visuellen Merkmalen unter Berücksichtigung gegebener, konfigurierbarer Schwellwerte.
A4	Das System arbeitet aus sicherer Entfernung zu den Tieren, sodass es nicht invasiv ist.
A5	Das System ist durch anerkannte Prinzipien des Software-Engineerings so aufzubauen, dass eine beliebige technische Komponente ausgetauscht werden kann und die neue Implementierung für die restlichen Schichten keine Auswirkung hat.

Tabelle 1: Projektziele

Ziele im Betrieb

Die folgende Tabelle verdeutlicht die betrieblichen Ziele im Zusammenhang mit der Geburt von Kälbern.

ID	Beschreibung
B1	Das System reduziert den Aufwand für die manuelle Überwachung des Geburtsverlaufs dank Kamerabildern.
B2	Das System stellt sowohl für Landwirte als auch Tierärzte ein digitales Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung zur Verfügung.
B3	Das System senkt Geburtsrisiken für Kuh und Kalb. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit der Tierhaltung und das Wohlergehen der Tiere.
B4	Das System vereinfacht die Einleitung von gezielten Massnahmen zur Geburshilfe.

Tabelle 2: Betriebliche Ziele für die Überwachung bei der Geburt von Kälbern.

Optionale Ziele

Folgende Tabelle verdeutlicht die anstrebenswerten Ziele, welche einen zusätzlichen Mehrwert erschaffen sollen.

ID	Beschreibung
C1	Das System erkennt Bilder bei welchen in den nächsten 12 Stunden noch keine Geburt stattfindet und löst daraufhin eine vordefinierte, konfigurierbare Aktion aus. In einer ersten Phase handelt es sich um eine konfigurierbare Meldung, die in der Konsole der Entwicklungsumgebung ausgegeben wird.
C2	Das System ist in der Lage, Landwirte und Tierärzte mittels Benachrichtigungen als Nachricht über Kommunikationskanäle wie) SMS, b) Twitter, c) WhatsApp oder d) Mail über den Geburtsverlauf von Kälbern zu informieren.

Tabelle 3: Optionale Ziele für die Überwachung bei der Geburt von Kälbern.

2 Methodisches Vorgehen

Wie auch in der Case-Arbeit nimmt in der Anfangsphase der Bachelor-Thesis die Business Analyse eine Schlüsselrolle ein. Für die Untersuchung und Wissensgewinnung stellen sowohl per Videotelefonie durchgeführte qualitative Interviews mit Fachleuten (Veterinäre, Landwirte) als auch Literaturrecherchen die wichtigsten Methoden dar. In diesem Rahmen sind zur Gewinnung von Expertenwissen die wesentlichen Merkmale eines Bildes zu identifizieren, welche für Prognose und computergetriebene Analyse des Geburtsverlaufs von Kälbern von Bedeutung sind. Weiterhin müssen im Rahmen dieser Analyse merkmalsbezogene Muster und Schwellwerte festgelegt werden, die auf eine Geburt eines Kalbes hinweisen. Diese bestimmen, ob und zu welchem Zeitpunkt Landwirte bzw. Tierärzte über den Geburtsverlauf eines Kalbs informiert werden sollen.

Zudem werden erworbene Kenntnisse aus der Vertiefungsrichtung Business Analyse¹ aus dem Studiengang Wirtschaftsinformatik der Berner Fachhochschule angewendet. Die im Rahmen der Business Analyse gewonnenen Erkenntnisse werden mithilfe geeigneter Modelle veranschaulicht. Die Lieferobjekte sind durch die Vorgaben des Domain-Driven Designs (DDD) bestimmt². Als Ausgangspunkt und Entwurf des Domänenmodells dient das Mindmap aus Abbildung 52

Auf Basis der Business Analyse ist ein System zu entwickeln, welches digitale Bilder von Kälbern verarbeitet, analysiert und von der Ausprägung von Merkmalen unter Berücksichtigung der gegebenen Schwellwerte ausgehend entsprechende automatische Benachrichtigungen auslöst.

Tests und empirische Beobachtungen werden auf dem Bauernhof des Auftraggebers durchgeführt und das in der Case-Arbeit entwickelte System wird als Komponente zur automatischen Bildaufnahme verwendet. Da zurzeit nur eine geringe Anzahl an

¹Weitere Informationen: <https://moodle.bfh.ch/course/view.php?id=20247>

²Weitere Informationen zu DDD: (Evans 2015) und (Vernon 2016)

hochwertigen Kamerabildern von Kalbsgeburten zur Verfügung steht, ist der Einsatz von Machine Learning Algorithmen im Rahmen der Bachelor-Thesis ausgeschlossen.

Für Entwurf und Implementierung des Systems sind bewährte Methoden des Software Engineerings anzuwenden. Dabei soll Information Hiding ([Sommerville 2016](#), S. 764), Kapselung ([Deck & Neuendorf 2010](#), S. 150) und Wiederverwendung von technischen Implementierungen ([Deck & Neuendorf 2010](#), S. 140) berücksichtigt werden. Die Software ist modellgetrieben zu entwickeln und die erstellten Modelle, welche in UML-Notation erfasst sind, dienen als Dokumentation der Lösung.

Der Autor erarbeitet die Lieferergebnisse sowohl zur Implementierung als auch zur Dokumentation unter Berücksichtigung der genannten Methoden und trifft sich regelmässig mit dem Erstbetreuer, um einen Austausch zum Projektstand zu ermöglichen. Dieser berät den Autor fachlich und methodisch.

2.1 Lösungsansatz

Um die definierten Ziele zu erreichen, arbeitet der Autor mit der Programmiersprache Python (Version 3)³ und benutzt für die Bildverarbeitung die Programmbibliothek OpenCV (Version 4)⁴. Die Auswahl von Python ermöglicht den Zugriff auf eine breite Palette von Softwarebibliotheken. Die Schnittstelle zu OpenCV erlaubt in Python die Durchführung von Bildanalysen. Weitere Softwarebibliotheken bieten Lösungen zur Konfiguration und zum Versand von Nachrichten über unterschiedliche Kommunikationskanäle. Der Einsatz von OpenCV bringt den Vorteil, von einer grossen Anzahl Entwickler eingesetzt zu werden. Dies hat zur Folge, dass benötigtes Wissen zur Verfügung steht.

Diese Werkzeuge werden verwendet, um Bilder einzulesen, die identifizierten Muster zu erkennen und Merkmale auf die Erreichung der Schwellwerte zu überprüfen und anschliessend eine entsprechende, konfigurierbare Aktion auszuführen. Andere Komponenten können nach Bedarf hinzukommen.

Zusätzlich wird die Programmiersprache R (Version 3)⁵ für die Auswertung der Interviews genutzt. Die Auswahl von R bietet den Nachteil, eine zweite Programmiersprache neben Python zu verwenden. Als Vorteile bietet R eine enge Verzahnung

³Weitere Informationen: <https://www.python.org/>

⁴Weitere Informationen: <https://opencv.org/>

⁵Weitere Informationen: <https://www.r-project.org/>

mit L^AT_EX⁶ und die effiziente Möglichkeit zur Auswertung der Interviews mit automatischer Generierung der Tabellen für L^AT_EX. Der Autor gewichtet die Vorteile des Einsatzes von R stärker und entscheidet sich deshalb für den Einsatz von diesen zwei Programmiersprachen. Das typografische Satzsystem L^AT_EX wird für die Dokumentation und die Erstellung der Bachelor-Thesis verwendet.

2.2 Zielerreichung

Der gewählte Lösungsansatz ermöglicht eine vollständige Zielerreichung. Der Einsatz von Python und OpenCV ermöglicht die Erreichung der Projektziele A1, A2, A3, und A5. Das Projektziel A4 wird durch den Einsatz eines Raspberry Pi⁷ mit integrierter Videokamera erreicht. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz der ausgewählten Technologien die Entwicklung eines Systems, welches ebenfalls die Erfüllung der betrieblichen und optionalen Ziele (B, C) ermöglicht.

Der Verzicht auf den Einsatz von Machine Learning beeinflusst die Genauigkeit der Ergebnisse, welche für die Geburtsprognose erreicht werden können. Diese Entscheidung ist aufgrund des geringen Umfangs an Bildmaterial zur Geburt von Kälbern unvermeidlich .

⁶<https://www.latex-project.org/>

⁷<https://www.raspberrypi.org/>

3 Domänenanalyse

3.1 Literaturrecherche

3.1.1 Grundlegende Geburtsanzeichen

Zahlreiche Anzeichen liefern Hinweise auf eine bevorstehende Geburt eines Kalbes. Diese Anzeichen umfassen sowohl bestimmte Positionen und Bewegungsabläufe der Kuh als auch klarer oder blutiger Scheidenausfluss (Lange et al. 2017, S. 1).

Verdächtige Bewegungsabläufe als Anzeichen für eine bevorstehende Entbindung sind wiederkehrende Schwanzhebung, häufiges Trippeln oder die Drehung des Kopfes zum Bauch hin (Lange et al. 2017, S. 1). Auch wiederholtes Aufstehen und Abliegen sind Geburtsanzeichen (Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015, S. 4). Das seitliche Liegen mit Abdominalkontraktion stellt eine verdächtige Position dar (Lange et al. 2017, S. 1).

Weitere Geburtsanzeichen können eingefallene Beckenbänder, ein Ödem am Euter, glänzende Zitzen oder tropfende Milch sein. Auch eine rote Färbung der äusseren Geschlechtsorgane mit zäher Schleimspur liefert Hinweise auf eine Entbindung (Traulsen & Tischer 2013, S. 6). Zudem weisen Hyperplasie des Euters, Schamlippenödem und Sekretion von Schleim auf eine bevorstehende Geburt hin (Streyl et al. 2011, S. 2).



Abbildung 2: Schwanzhebung

Schwanzhebung wie in Abbildung 4 von Lange et al. tritt vermehrt in den letzten 24 Stunden vor dem Kalben auf ([Lange et al. 2017, S. 1 f.](#)).

3.1.2 Zeitliche und prädiktive Hinweise zu den Geburtsanzeichen

Es ist zu beachten, dass einige Hinweise in erster Linie auf eine Entbindung innerhalb der nächsten vier Tage hinweisen (nachfolgend Vorkalbeperiode genannt), während andere Anzeichen auf eine Geburt innerhalb der nächsten 24 Stunden hinweisen. Ruhelosigkeit, wiederkehrende Schwanzhebung und die Drehung des Kopfes zum Bauch hin treten häufig 12 bis 6 Stunden vor der Geburt auf. Scheidenausfluss weist darauf hin, dass innerhalb der nächsten 6 Stunden die Geburt eintritt. ([Lange et al. 2017, S. 1](#))

Bereits durchgeführte Experimente von ([Lange et al. 2017, S. 1](#)) anhand von stündlicher Beobachtung konnten das Kalben nicht präzise vorhersagen. Demgegenüber konnte das Kalben für die nächsten 12 Stunden jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden (88.5 bis 97.1 Prozent). Mit der Information, dass eine Kuh in den nächsten 12 Stunden nicht kalben wird, können Zeit und Ressourcen bei der Überwachung optimiert werden. Daher sind auch Merkmale zu definieren, welche darauf hinweisen, dass *keine* Geburt stattfindet.

Die wichtigsten Parameter zur Prognose des Kalbens innerhalb der nächsten 12 Stunden sind Beckenbänder, Zitzenfüllung, **Aufeutern¹** und Scheiden- und Euterödeme. Diese Parameter erlauben eine genaue Vorhersage des Ausbleiben des Kalbens (**Streyl et al. 2011**, S. 4).

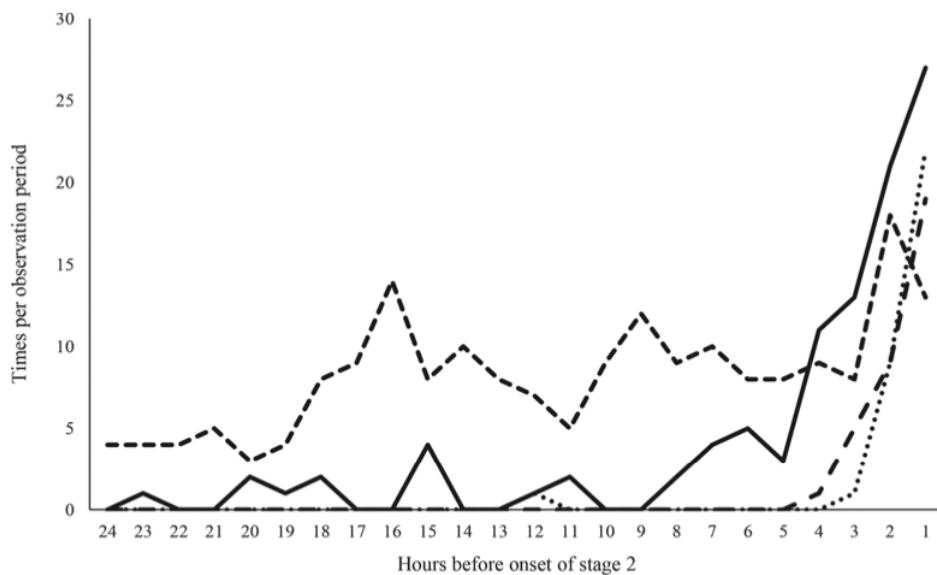


Abbildung 3: Häufigkeit von Geburtsanzeichen während den letzten 24 Stunden vor Geburtsstadium zwei (**Lange et al. 2017**, S.5).

Die Abbildung 3 von Lange et al. zeigt Schwanzhebung als durchgezogene Linie, klarer Scheidenausfluss als kurze gestrichelte Linie, blutiger Scheidenausfluss als lange gestrichelte Linie und seitliches Liegen mit Abdominalkontraktion als gepunktete Linie

3.1.3 Weiterführende Geburtsanzeichen

Die Geburt eines Kalbs wird durch die **Hypothalamus²-Hypophysen³-Nebennierenrinden-Achse** des **Fötus⁴** gesteuert. 72 Stunden vor der Geburt des Kalbs können diverse hormonelle Veränderungen beobachtet werden. Beispielsweise nimmt die

¹siehe Glossar

²siehe Glossar

³siehe Glossar

⁴siehe Glossar

fetale⁵ Produktion von Kortisol⁶ ungefähr 10 Tage vor der Geburt stark zu, was wiederum das Progesteron⁷-Östradiol⁸-Verhältnis im mütterlichen Blut beeinflusst. Auch Informationen zur Veränderung der Temperatur der äusseren Geschlechtsorgane und zum Wiederkauverhalten können für sensorbasierte Systeme einen deutlichen Mehrwert in Bezug auf die prädiktive Analyse schaffen. Ausserdem versuchen Kühe am Tag der Geburt vermehrt, sich von der Herde zu isolieren (Saint-Dizier & Chistant-Maillard 2015, S.1-4). Da die vorliegende Arbeit aber auf die Analyse von Bildern fokussiert, werden diese sozialen Merkmale in der nachfolgenden Arbeit nicht mehr thematisiert.

3.1.4 Ablauf einer normalen Geburt

Normalerweise befinden sich Kälber in der Vorderendlage. Das heisst, dass zuerst die Vorderbeine und der Kopf durch die Scham gepresst werden (Müller 2020c). Eine mögliche Fehlhaltung⁹ ist die Hinterendlage. In diesem Fall wird das Kalb mit den Hinterbeinen voran abgekalbert. Weiter stellen Kopfseitenhaltung, Rückenquerlage und gebeugte Gliedmassen ein Risiko für die Geburt dar. Bei der Rückenquerlage ist in der Regel ein Kaiserschnitt notwendig. Die übrigen Fehlhaltungen sind oftmals durch den Landwirten korrigierbar (Traulsen & Tischer 2013, S. 17, 24-26).

⁵siehe Glossar

⁶siehe Glossar

⁷siehe Glossar

⁸siehe Glossar

⁹Der zitierte Bericht «Geburtsüberwachung und Geburtshilfe beim Rind» veranschaulicht die Fehlhaltungen und mögliche Eingriffe durch Landwirte und Tierärzte.



Abbildung 4: Veranschaulichung zur Vorderendlage eines Kalbes (Traulsen & Tischer 2013, S. 17).

Eine Geburt kann in fünf Phasen eingeteilt werden: Vorbereitungsphase, Öffnungsphase, Aufweitungsphase, Austreibungsphase und Nachgeburtphasen (Traulsen & Tischer 2013, S. 6-8).

In der Vorbereitungsphase stellt sich die Kuh auf die bevorstehende Geburt ein. Deshalb treten die obengenannten Geburtsanzeichen auf. Zwei wichtige Merkmale sind eingefallene Beckenbänder oder rote Färbung der äusseren Geschlechtsorgane (Traulsen & Tischer 2013, S. 6).

Die Öffnungsphase erstreckt sich über 6 bis 16 Stunden. Der innere Muttermund öffnet sich und die Fruchtblasen treten in den Gebärmutterhals ein, damit dieser gedehnt wird. Es treten erste, leichte Wehen auf und die Kuh kann unruhig sein (Traulsen & Tischer 2013, S. 7).



Abbildung 5: Wasser- und Schleimblase

In Abbildung 5 weiten die Fruchtblasen (Wasser- und Schleimblase) bei der Öffnungsphase den Geburtsweg (**Traulsen & Tischer 2013, S. 7**).

Die Zeit vom Blasensprung bis zum Durchtreten des Kopfes wird als Aufweitungsphase bezeichnet und dauert 1 bis 6 Stunden (**Traulsen & Tischer 2013, S. 7**).



Abbildung 6: Aufweitungsphase

Die Aufweitungsphase ist in Abbildung 6 sichtbar und dauert bei Kühen im Normalfall 1 bis 3 Stunden. Bei Färsern kann dies bis zu 3 Stunden länger dauern. (Traulsen & Tischer 2013, S. 7)

Im Rahmen der Austreibungsphase sollte das Kalb in nur 5 bis 15 Minuten nach dem Durchtritt des Kopfes durch die Scham geboren sein (Traulsen & Tischer 2013, S. 8).



Abbildung 7: Austreibungsphase

In der Austreibungsphase (Abbildung 7) wird das Kalb zur Welt gebracht (Traulsen & Tischer 2013, S. 8)

Die Nachgeburtphase dauert 6 bis 12 Stunden und dabei verliert die Kuh das restliche Fruchtwasser und die Nachgeburt (Traulsen & Tischer 2013, S. 8).

3.2 Erkenntnisse aus den Interviews

Ziel der Interviews ist einerseits, die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche zu validieren und zu ergänzen. Andererseits sollen die Interviews auch Klarheit darüber bringen, wie stark die Anwesenheit oder Abwesenheit von bestimmten Eigenschaften als Hinweis für eine bevorstehende Entbindung gedeutet werden sollen.

Jedes Merkmal wird bewertet, um zu beschreiben, wie stark dessen Anwesenheit oder Abwesenheit als Indikator einer bevorstehenden Geburt dient.

3.2.1 Kernaussagen aus Interviews

Gemäss Interview mit Dr. med. vet. Samuel Kohler ([Kohler 2020](#)) sind viele der Merkmale, die für Geburtsprognosen untersucht werden, eine direkte Folge von erhöhtem Östrogenspiegel. Dies bestätigt, dass die in der Literaturrecherche identifizierten Merkmale wie beispielsweise Scheidenausfluss von einer entsprechenden Software als Geburtsanzeichen gedeutet werden dürfen (*ibid.*). Die alleinige Anwesenheit eines Merkmals reicht jedoch bis auf wenige Ausnahmen nicht aus, um eine Geburt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu prognostizieren. Zudem ist es gemäss Dr. med. vet. Samuel Kohler nicht möglich, aufgrund einer wissenschaftlicher Grundlage Kombinationen von Merkmalen mit entsprechenden Schwellwerten zu nennen, welche mit ausreichender Wahrscheinlichkeit auf eine Geburt hinweisen und dementsprechend eine Benachrichtigung auslösen müssen.

Eine Geburt ist physiologisch betrachtet auch ohne viele der Merkmale wie rötliche Färbung der äusseren Geschlechtsorgane und auch ohne Scheidenausfluss möglich. Demzufolge kann die Abwesenheit der meisten Merkmale nicht verwendet werden, um eine anstehende Geburt in den nächsten Stunden mit Sicherheit auszuschliessen ([Kohler 2020](#)).

Besonders wichtig für die vorliegende Arbeit sind jedoch die prädiktiven Merkmale, die immer eine Benachrichtigung auslösen müssen. Einerseits ist dies die Seitenlage mit gestreckten Beinen und andererseits die Anwesenheit der Wasser- oder Schleimblase. Dabei ist die Unterscheidung zwischen Wasserblase und Schleimblase nicht von Bedeutung. Unabhängig davon, welche Blase sichtbar ist, muss das System eine Benachrichtigung auslösen ([Kohler 2020](#)).

Die Erkenntnisse aus dem Interview mit Dr. med. vet. Gaby Hirsbrunner ([Hirsbrunner 2020](#)) stützen die Kernaussagen aus dem Interview mit Dr. med. vet. Samuel Kohler und das gewonnene Wissen aus der Literaturrecherche. Seitenlage und Sichtbarkeit der Wasser- oder Schleimblase gehören erneut zu den wichtigsten Geburtsanzeichen, die auf Bildern erfasst werden können. Dies bestätigt die Meinung, dass jedes dieser Merkmale auch ohne die Anwesenheit von weiteren Geburtsanzeichen eine Benachrichtigung an den Landwirten auslösen soll. Zudem bestätigt Dr. med. vet. Gaby Hirsbrunner die Meinung, dass die Abwesenheit der meisten Merkmale nicht in die Geburtsprognose einfließen sollte.

Die Aussagen von Dr. med. vet. Gaby Hirsbrunner verfeinern das Domänenwissen, indem die Merkmale Seitenlage für Anbdindehaltung und Freilauf getrennt bewertet

werden. Gemäss (Hirsbrunner 2020) ist bei Anbindehaltung seitliches Liegen fast nur bei einer anstehenden Geburt zu beobachten (*Bewertung* = 9). Bei der Haltung in Freilauf kann dies durchaus häufiger geschehen und ist dementsprechend auch ein schwächerer Indikator für eine anstehende Geburt (*Bewertung* = 4).

Zudem sind weitere Erkenntnisse zur Erkennung von erschwerter Geburt für die vorliegende Arbeit besonders wertvoll. Blutiger Scheidenausfluss soll unbedingt als alarmierendes Zeichen interpretiert werden. Auch häufiges Trippeln kann als Symptom einer Verdrehung der Gebärmutter (Überwurf) auftreten. Sowohl blutiger Scheidenausfluss als auch häufiges Trippeln müssen daher eine Benachrichtigung auslösen (Hirsbrunner 2020).

Das beschriebene System muss für einen zweckmässigen Einsatz in der Landwirtschaft und im Veterinärwesen zuverlässig, kostengünstig und einfach in der Handhabung sein (Hirsbrunner 2020). Um möglichst viele visuelle Hinweise zu den Merkmalen zu erfassen, ist die Kamera hinter der Kuh zu platzieren (Hirsbrunner 2020, Kohler 2020). Zudem soll die Kamera einen möglichst breiten Blickwinkel abdecken, damit die Kuh nicht aus dem Sichtfeld verschwindet Müller (2020c). Da laut der Meinung der Experten die Festlegung von Schwellwerten und Dimensionen während der Aufnahme nicht möglich ist (Hirsbrunner 2020, Kohler 2020), besteht der Benachrichtigungstext aus dem Namen des auftretenden Merkmals und einer zeitlichen Angabe.

3.2.2 Codierung von Domänenwissen aus Interviews

In Tabelle 4 wird Domänenwissen von Prof. Dr. med. vet. Samuel Kohler und Dr. med. vet. Gaby Hirsbrunner codiert. Dieses wurde bei Interviews per Videotelefonie erhoben. Beide befragte Personen haben die An- und Abwesenheit von Merkmalen in Bezug auf die Stärke des Hinweises auf eine bevorstehende Geburt bewertet

Die Tabelle 4 besteht nebst der Aufzählung von Merkmalen aus den drei Spaltengruppen «Anwesenheit», «Abwesenheit» und «Mittelwert» (horizontale Beschriftung). Die Gruppen «Anwesenheit» und «Abwesenheit» repräsentieren dabei die Rohdaten, welche auf der Durchführung von Interviews basieren. Die Spalten der Gruppe «Mittelwert» entsprechen jeweils dem gewichteten Mittelwert der Rohdaten aus den vorgelagerten Spaltengruppen.

3 Domänenanalyse

Für die gesammelten Daten zur An- und Abwesenheit von Merkmalen sind je vier Spalten vorhanden. Eine Spalte repräsentiert jeweils die Bewertungen der Tierärzte und eine weitere Spalte entspricht der Gewichtung dieser Bewertung. In Klammer sind die Initialen des Interviewten angegeben, also SK für Prof. Dr. med. vet. Samuel Kohler und GH für Dr. med. vet. Gaby Hirsbrunner.

Während der Durchführung der Interviews hatten die ExpertInnen die Möglichkeit, weitere Geburtsmerkmale hinzuzufügen und zu bewerten. Deshalb haben nicht beide Veterinäre sämtliche Merkmale bewertet. Falls einer davon die Anwesenheit oder Abwesenheit eines Merkmals nicht bewertet hat, ist dies mit *Bewertung* = 99 codiert. Diese Bewertung wird dementsprechend nicht gewichtet, also *Gewichtung* = 0.

Der gewichtete Mittelwert der Bewertung von An- und Abwesenheit dieser Merkmale dient als integraler Bestandteil des zu entwickelnden Systems. Dieses muss das gewonnene Domänenwissen einsetzen, um Kamerabilder mit Abkalbung von Kamerabildern ohne Abkalbung zu unterscheiden.

Merkmal	Anwesenheit				Abwesenheit				Mittelwert	
	Bewertung SK	Gewichtung SK	Bewertung GH	Gewichtung GH	Bewertung SK	Gewichtung SK	Bewertung GH	Gewichtung GH	Anwesenheit	Abwesenheit
Wiederkehrende Schwanzhebung	3	1	6	1	-2	1	0	1	4.5	-1.0
Wiederholtes Aufstehen und Abliegen	9	1	6	1	-2	1	0	1	7.5	-1.0
Häufiges hin-und-her-Treten (Trippeln)	7	1	2	1	-2	1	0	1	4.5	-1.0
Drehung des Kopfes zum Bauch hin	8	1	8	1	-7	1	0	1	8.0	-3.5
Rote Färbung der äusseren Geschlechtsorgane	4	1	0	1	-2	1	0	1	2.0	-1.0
Blutiger Scheidenausfluss	3	1	1	1	-2	1	0	1	2.0	-1.0
Klarer Scheidenausfluss	3	1	1	1	-2	1	0	1	2.0	-1.0
Eingefallene Beckenbänder	9	1	10	1	-8	1	-7	1	9.5	-7.5
Euterödem	2	1	7	1	-1	1	-9	1	4.5	-5.0
Glänzende Zitzen	4	1	8	1	-2	1	-9	1	6.0	-5.5
Tropfende Milch	6	1	2	1	-2	1	0	1	4.0	-1.0
Hyperplasie des Euters	1	1	6	1	-1	1	0	1	3.5	-0.5
Schleimsekretion	8	1	6	1	-2	1	0	1	7.0	-1.0
Schamlippenödem	6	1	7	1	-8	1	0	1	6.5	-4.0
Seitliches Liegen	8	1	99	0	99	0	0	1	8.0	0.0
Seitliches Liegen bei Anbindehaltung (nur GH)	99	0	9	1	99	0	99	0	9.0	0.0
Seitliches Liegen bei Freilauf (nur GH)	99	0	4	1	99	0	99	0	4.0	0.0
Seitliches Liegen mit Abdominalkontraktion	10	1	10	1	-7	1	0	1	10.0	-3.5
Wasser- und Schleimblase	99	0	10	1	99	0	0	1	10.0	0.0

Tabelle 4: Bewertung der Anwesenheit und Abwesenheit von Merkmalen als Indikator einer bevorstehenden Geburt.

Merkmal	Häufigkeit	Vorbereitungsphase (4 Tage)	Vorbereitungsphase (24h)	Öffnungsphase	Aufweitungsphase	Austreibungsphase	Nachgeburtsphase
Wiederkehrende Schwanzhebung	häufig	✓	✓				
Wiederholtes Aufstehen und Abliegen	häufig	✓	✓				
Häufiges hin-und-her-Treten (Trippeln)	häufig	✓	✓				
Drehung des Kopfes zum Bauch hin	immer	✓	✓				
Rote Färbung der äusseren Geschlechtsorgane	häufig		✓	✓			
Blutiger Scheidenausfluss	häufig		✓	✓			
Klarer Scheidenausfluss	häufig		✓	✓			
Eingefallene Beckenbänder	immer	✓	✓				
Euterödem	häufig	✓	✓				
Glänzende Zitzen	häufig	✓	✓				
Tropfende Milch	selten-häufig	✓	✓				
Hyperplasie des Euters	immer	✓					
Schleimsekretion	häufig		✓	✓			
Schamlippenödem	immer	✓	✓				
Seitliches Liegen mit Abdominalkontraktion	immer			✓	✓	✓	

Tabelle 5: Zuordnung von Merkmalen zu Geburtsphasen und Bewertung der Häufigkeiten von Merkmalen (Samuel Kohler)

Merkmal	Häufigkeit	Vorbereitungsphase (4 Tage)		Vorbereitungsphase (24h)	Eröffnungsphase	Austreibungsphase	Nachgeburtspause
		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wiederkehrende Schwanzhebung	häufig		✓	✓			
Wiederholtes Aufstehen und Abliegen	häufig			✓			
Häufiges hin-und-her-Treten (Trippeln)	selten	✓	✓				
Drehung des Kopfes zum Bauch hin	häufig					✓	
Rote Färbung der äusseren Geschlechtsorgane	nicht zutreffend						
Blutiger Scheidenausfluss	nicht zutreffend						
Klarer Scheidenausfluss	immer	✓					
Eingefallene Beckenbänder	immer	✓	✓				
Euterödem	selten	✓	✓				
Glänzende Zitzen	häufig		✓	✓			
Tropfende Milch	häufig		✓	✓	✓		
Hyperplasie des Euters	immer	✓	✓				
Schleimsekretion	immer	✓					
Schamlippenödem	häufig	✓	✓				
Seitliches Liegen ohne Abdominalkontraktion	häufig					✓	
Seitliches Liegen mit Abdominalkontraktion	immer					✓	
Wasserblase	immer			✓			
Schleimblase	immer					✓	

Tabelle 6: Zuordnung von Merkmalen zu Geburtsphasen und Bewertung der Häufigkeiten von Merkmalen (Gaby Hirsbrunner)

3.3 Bildmaterial aus ersten Tests

In der Nacht vom 31. März 2020 auf den 1. April 2020 ist auf dem Betrieb vom Auftraggeber Peter Müller ein Kalb geboren. Das Bildmaterial zur Geburt zeigt einige Geburtsanzeichen, welche Merkmale aus der Literaturrecherche und aus Interviews beispielhaft veranschaulichen. Zudem ist auf den Bildern gemäss Aussage von ([Müller 2020b](#)) deutlich erkennbar, wie die Klauen des Kalbes aus der Kuh austreten. Diese Erkenntnis bestätigt und ergänzt das Wissen aus der bisherigen Domänenanalyse. Die wichtigsten Ergebnisse der Klassifikation der Kamerabilder wurden zusammengetragen. Sämtliche Bilder wurden mit dem in der Case-Arbeit entwickelten System^{10,11} aufgenommen. Nachträglich wurden diese Bilder mittels Python und OpenCV aufgehellt, weil für die weitere Bildanalyse die Bilder zu dunkel waren.



Abbildung 8: Austritt der Klauen des Kalbes ([Müller 2020b](#))

¹⁰Zugriff auf Kamerabilder: <https://smarfarming.domi.dev.cubetech.ch/kamerabilder/>

¹¹Quellcode: <https://github.com/dominiquemueller/smarfarming-client>



Abbildung 9: Seitliches Liegen kurz vor der Geburt des Kalbes



Abbildung 10: Kamerabild bei Schwanzhebung

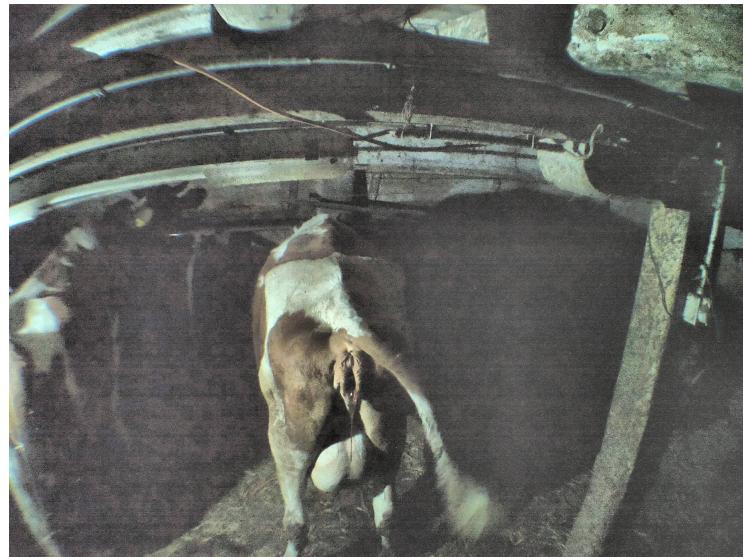


Abbildung 11: Schleim im Schambereich der Kuh kurz vor der Geburt

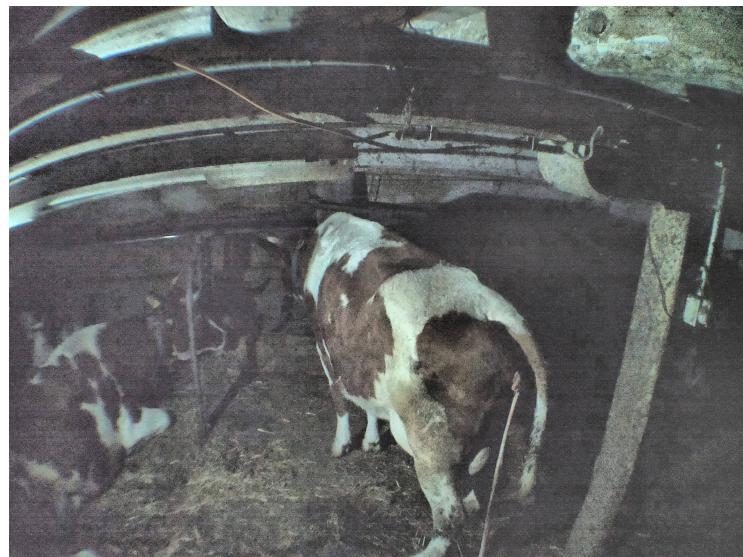


Abbildung 12: Auslösung der Nachgeburt

3.4 Domänenmodell

3.4.1 Value-Object-Bibliothek

Sämtliche zur Modellierung fachlicher Attribute der Entitäten definierten Value Objects (VO) sind in einer Bibliothek zusammengefasst. Diese ist in fachlich begründete Bereiche unterteilt und unterstützt Modularität und Wiederverwendung von Komponenten ([Vernon 2016](#), S.120).

3.4.2 Legende zu den Diagrammen

Farbe	Beschreibung
Grün	Biologische Gegenstände im Domänenmodell und Value Objects in der Bibliothek, welche diese natürlichen Gegenstände beschreiben.
Lila	Zu optimierende Ressourcen und Faktoren und Value Objects in der Bibliothek, welche diese zu optimierenden Gegenstände beschreiben.
Blau	Objekte oder Resultate der Domäne «Image Analysis». Zudem Value Objects in der Bibliothek, welche die Gegenstände dieser Domäne beschreiben.
Braun	Tatsächlicher Kern der Domäne «Image Analysis». Dieser Kern implementiert das wichtigste Domänenwissen und relevante Funktionen.
Violett	Objekte, die zum Versenden von Benachrichtigungen benötigt werden und Value Objects in der Bibliothek, welche die Gegenstände dieser Domäne beschreiben.
Grau	Paket für die Konfiguration der Benachrichtigungen und Value Objects in der Bibliothek, welche die Gegenstände dieser Domäne beschreiben.
Gelb	Value Objects, welche direkt im Domänenmodell oder in der Lösungsdokumentation eingebettet sind. Zudem Value Objects die allgemeiner Natur sind und in mehreren Paketen eingesetzt werden.
Orange	Paket „Housekeeping“ und Klassen vom Paket „Image Analysis“, welche dem Housekeeping dienen.

Tabelle 7: Legende fürs Domänenmodell und für UML-Diagramme

3.4.3 Domänenmodell Geburt

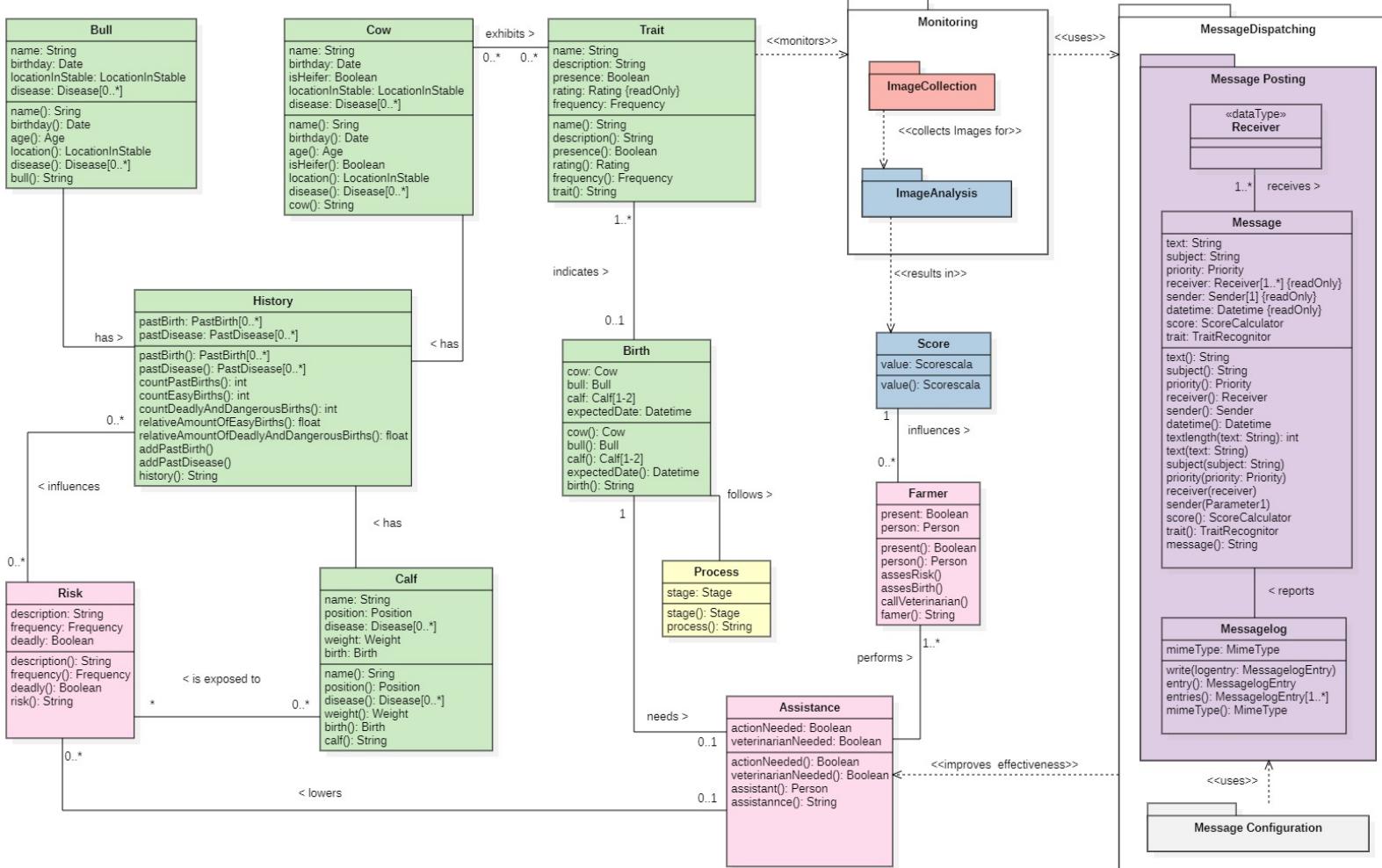


Abbildung 13: Domänenmodell Kalbsgeburts

3.4.4 Allgemeine Bibliothek an Value Objects

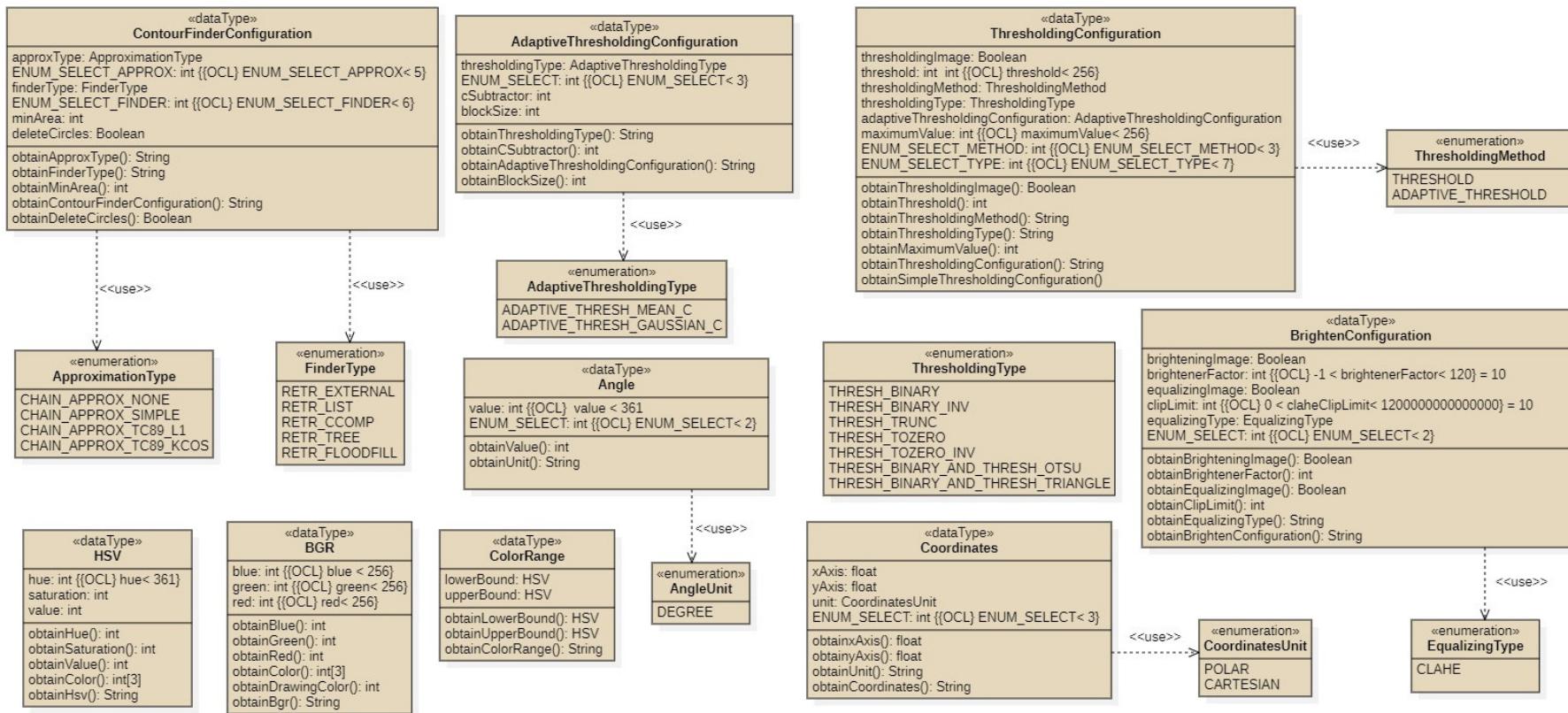


Abbildung 14: Allgemeine Bibliothek an Value Objects

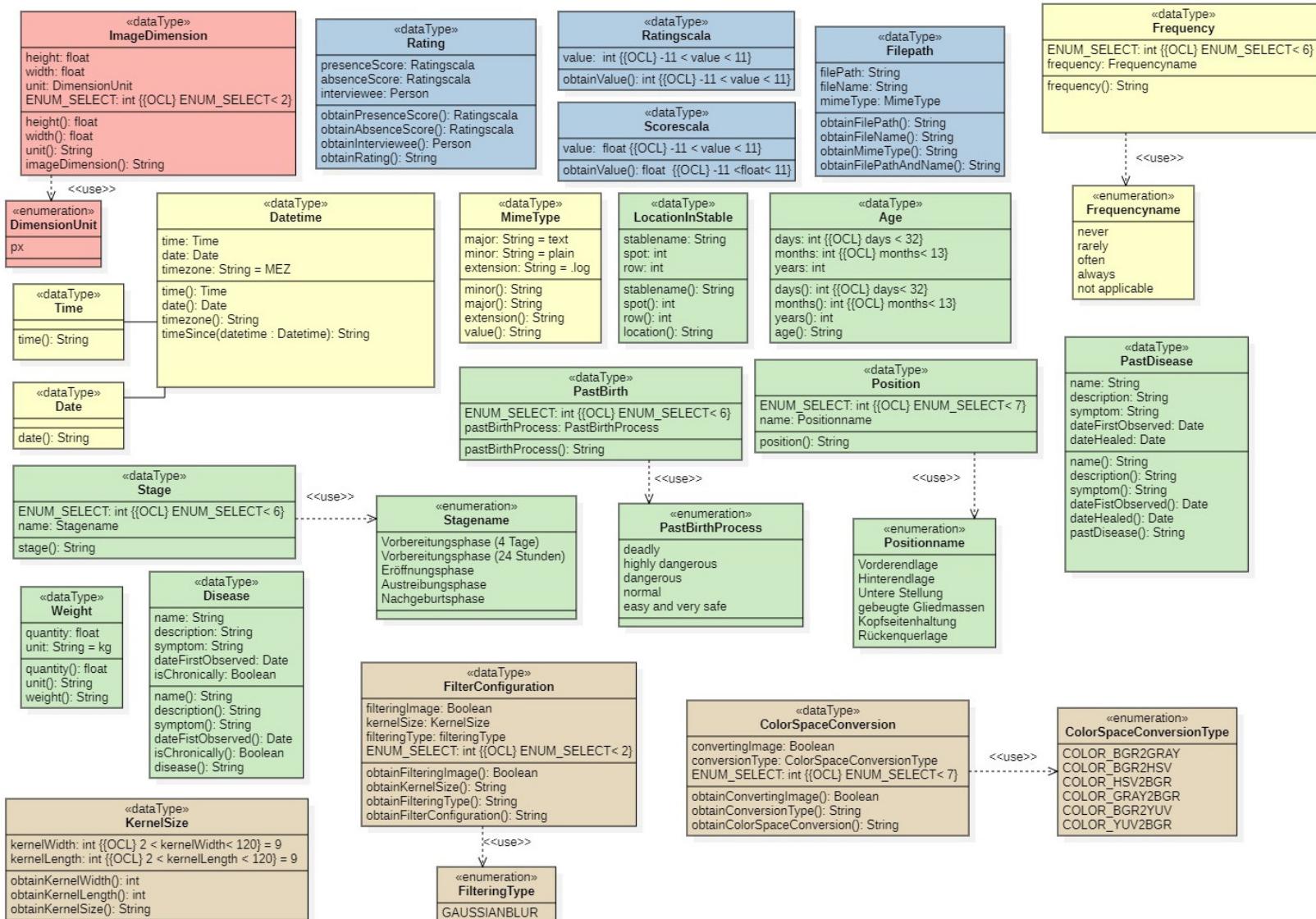


Abbildung 15: Allgemeine Bibliothek an Value Objects [Fortsetzung]

3.4.5 Bibliothek an Value Objects zur Konfiguration und zum Versand von Nachrichten

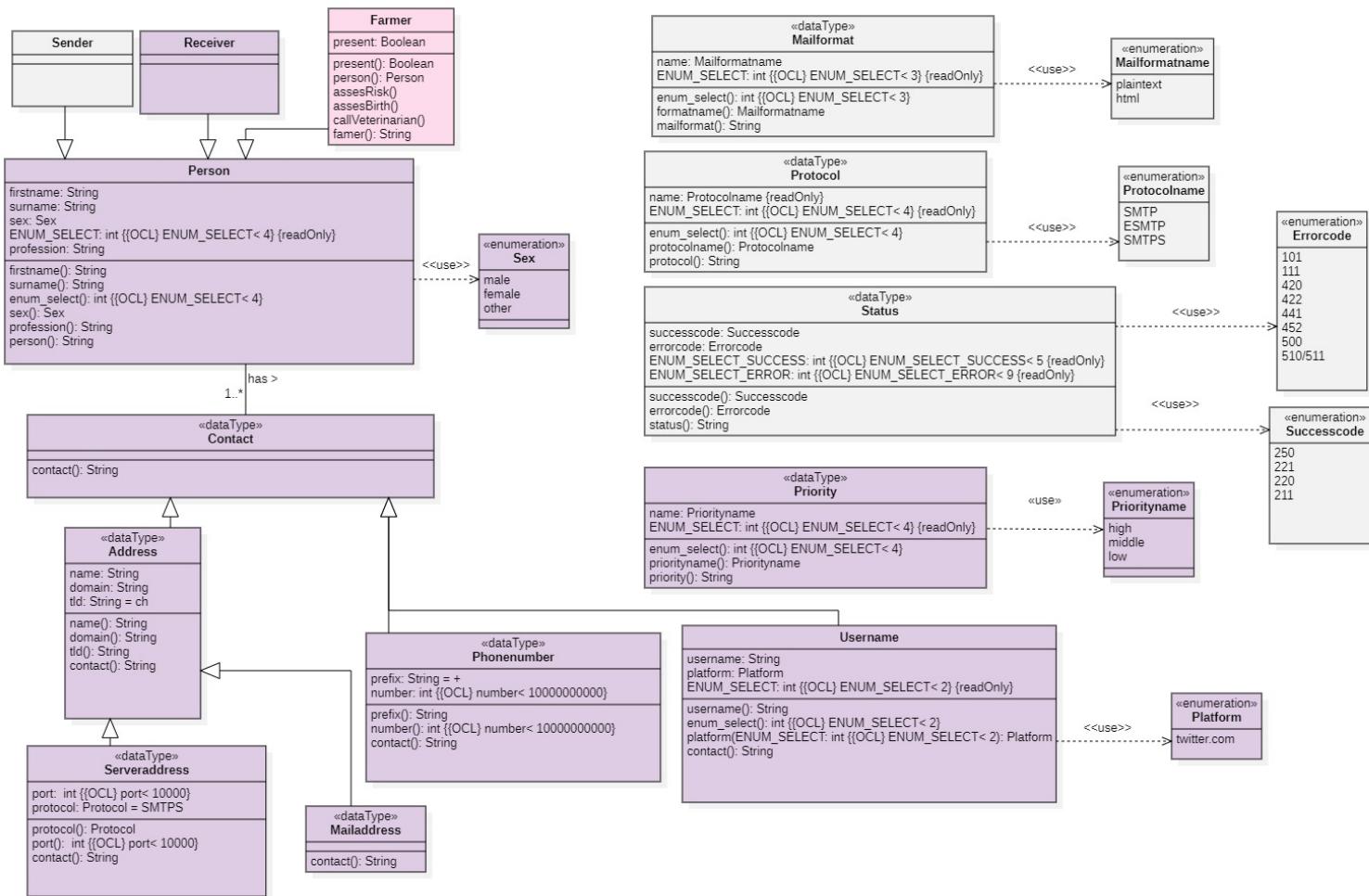


Abbildung 16: Bibliothek an Value Objects bezüglich Konfiguration und Versand von Nachrichten

4 Lösung

4.1 Codierung von Domänenwissen

Die Tabellen 4 bis 6 codieren Domänenwissen von Tierärzten, welches für die Geburtsprognose von Bedeutung ist. Expertenwissen ist so codiert, dass jedes Geburtsmerkmal mit einer Gewichtung versehen ist. Somit hat das Merkmal an Stelle i die Gewichtung λ_i und x_i markiert ihre Anwesenheit ($x_i = 1$) oder Abwesenheit ($x_i = 0$).

Wie in Formel 1 abgebildet, werden bei Erkennung eines oder mehrerer Merkmale in einem Bild die Gewichtungen dieser Merkmale addiert. Merkmale, welche als Geburtsanzeichen dienen, haben eine positive Gewichtung und erhöhen dadurch das Endergebnis. Merkmale, welche darauf hinweisen, dass zurzeit keine Entbindung stattfindet, haben eine negative Gewichtung und senken das Endergebnis.

Das Resultat dieser Berechnung bezeichnet der Autor als «qualitative Situationsbewertung». Diese wird mit einem Schwellwert verglichen, um zu entscheiden, ob eine Benachrichtigung verschickt wird.

Dabei kann die qualitative Situationsbewertung anhand der folgenden Linearkombination ermittelt werden:

$$v = h(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * x_i \quad (1)$$

Wobei λ_i sich aus der fachlichen Gewichtung κ_i und der technischen Qualitätsbeurteilung β_i zusammensetzt. Die Skala zur Bewertung reicht von -10 bis 10 , daher ergibt sich $\lambda, \kappa, \beta \in M = \{m \mid m \in \mathbb{Z}, -10 \leq m \leq 10\}$.

Die fachliche Gewichtung eines Merkmals entspricht der Bewertung der Stärke des Hinweises in Bezug auf eine bevorstehende Geburt. Dementsprechend codiert κ

Domänenwissen von Tierärzten zur merkmalsbezogene Einschätzung und Prognose des Geburtsverlaufs.

Die technische Qualitätsbeurteilung basiert auf der Güte der technischen Mittel zwecks Analyse der An- oder Abwesenheit eines Merkmals x_i in einem Bild. Dementsprechend wird β als Beurteilungsmass benötigt, weil nicht sämtliche Merkmale mit derselben Qualität auf deren An- oder Abwesenheit überprüft werden können.

Zwischen den beiden Gewichtungen κ und β existiert eine schwache Beziehung. Dies wird dadurch begründet, dass technische Zuverlässigkeit die Anwesenheit eines Merkmals nicht überbewerten soll. Beispielsweise soll eine besonders hohe technische Qualitätsbeurteilung und eine tiefe fachliche Gewichtung nicht in einer hohen Gewichtung resultieren. Um diese zwei Gewichtungen schwach miteinander in Beziehung zu setzen, werden diese addiert und nicht multipliziert. Es gilt also: $\lambda_i = \kappa_i + \beta_i$

Die Variable x_i codiert die Anwesenheit ($x_i = 1$) oder die Abwesenheit ($x_i = 0$) eines spezifischen Merkmals auf einem Bild. Es gilt dementsprechend $x_i \in \{0, 1\}$.

Setzen wir diese Erkenntnisse zusammen, so ergibt sich

$$v = h(x) = \sum_{i=1}^n (\kappa_i + \beta_i) * x_i \quad (2)$$

wobei: $x \in \{0, 1\}$ und $\lambda, \kappa, \beta \in M = \{m \mid m \in \mathbb{Z}, -10 \leq m \leq 10\}$.

Das Ergebnis dieser Rechenoperation ergibt wie bereits erwähnt die qualitative Situationsbewertung v , welche anhand der Indikatorfunktion g mittels eines Schwellwertes ausgewertet wird». Dies wird formal wie folgt ausgedrückt:

$$y = g(v) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } v > q \\ 0, & \text{wenn } v \leq q \end{cases} \quad (3)$$

Dabei steht q für den Schwellwert, welcher in der Domänenanalyse ermittelt wird. Das Ergebnis $y = 1$ bedeutet, dass eine Benachrichtigung ausgelöst wird, während bei $y = 0$ keine Benachrichtigung ausgelöst wird.

4.2 Modellierung der Lösung

Für die Dokumentation der Lösung verwendet der Autor die UML-Notation. Bei der Modellierung werden Empfehlungen aus dem Buch «UML 2 glasklar» Rupp et al. (2012) berücksichtigt (Diagramme siehe nächste Seite).

4.2.1 Modell Image Analysis

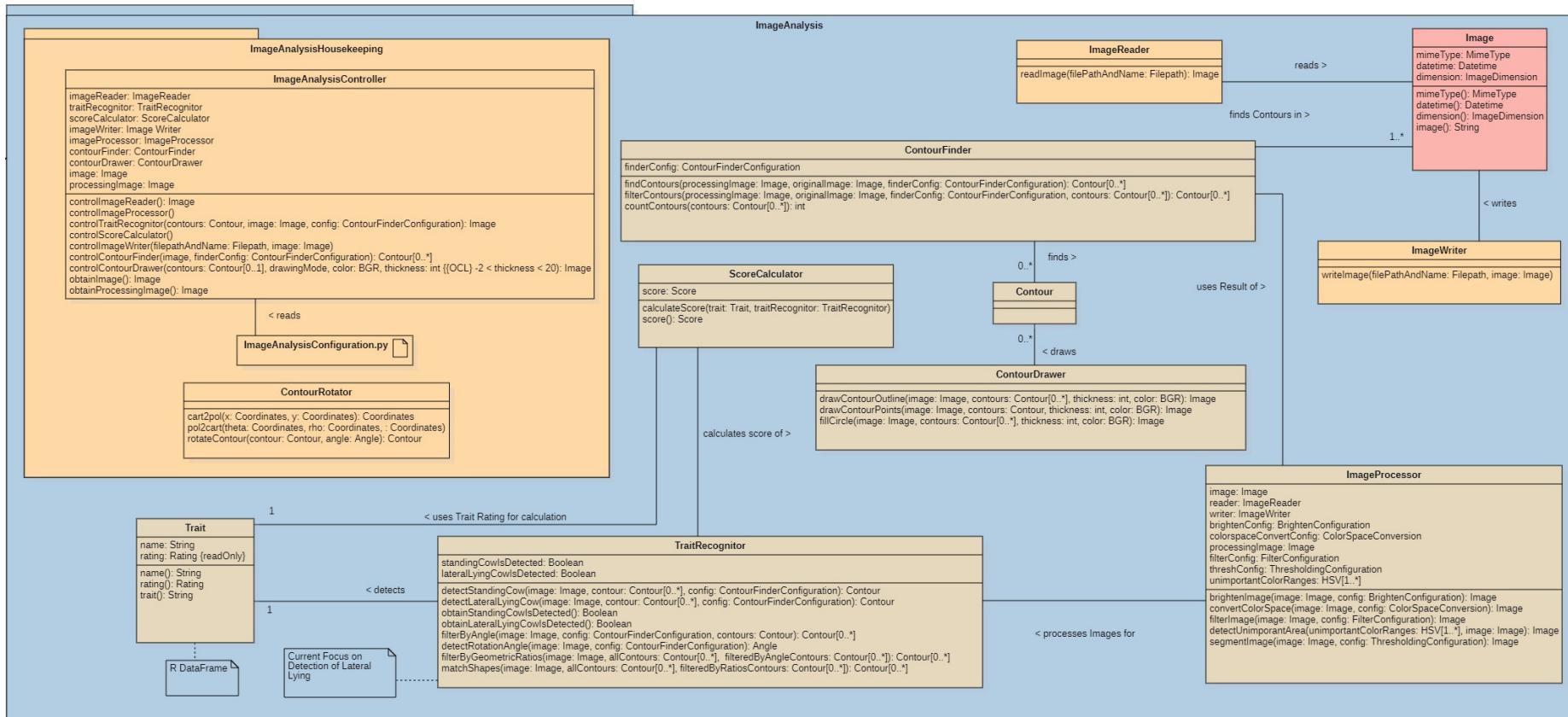


Abbildung 17: Lösungsdokumentation des Pakets `Image Analysis` zur Geburtsprognose und Geburtserkennung.

4.2.2 Modell Message-Configuration und Message-Posting

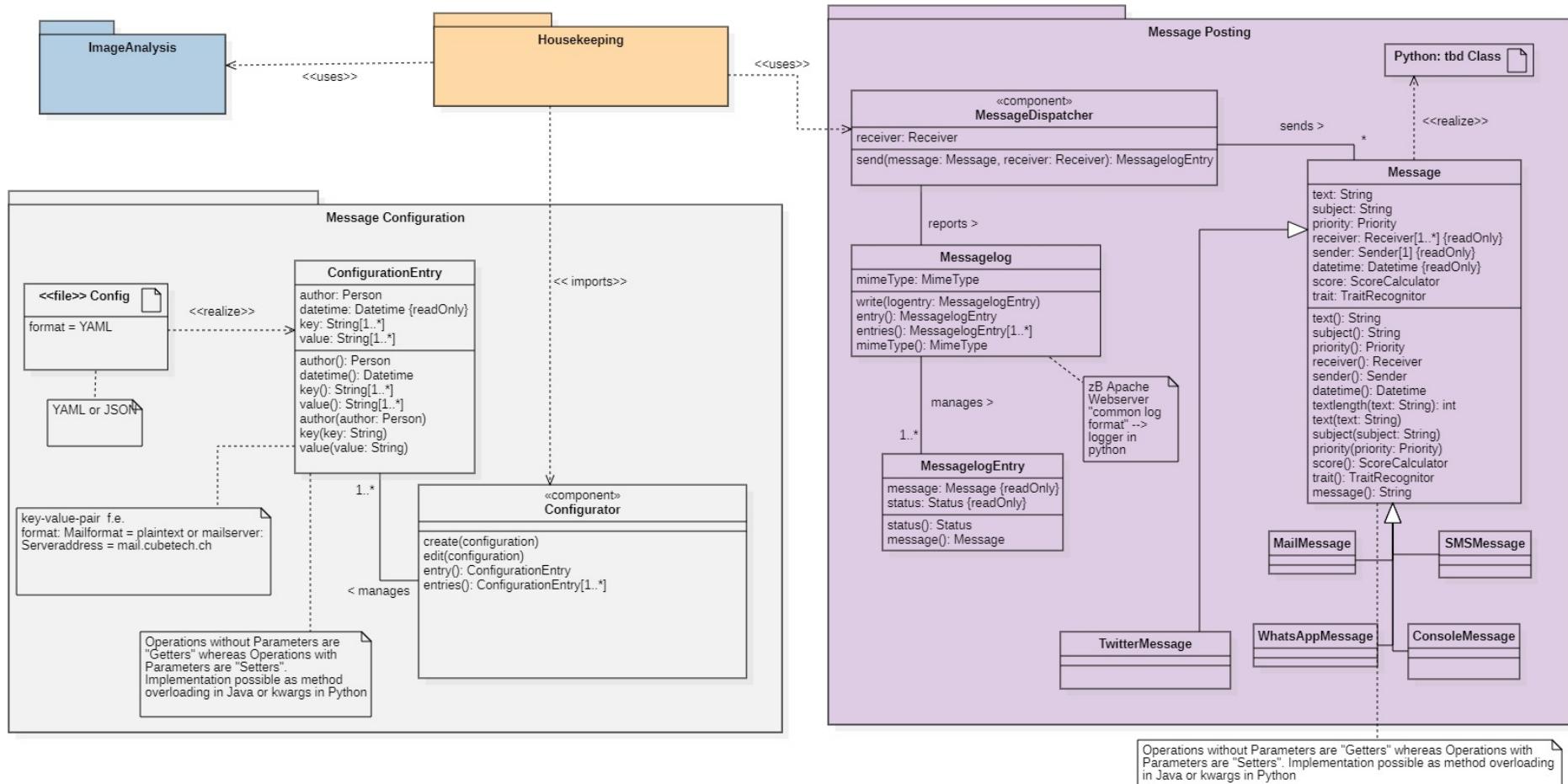


Abbildung 18: Lösungsdokumentation der Pakete Message-Configuration zur Konfiguration und Message Posting zum Versand von Benachrichtigungen.

4.3 Umsetzung in Entwicklung

Für Bildanalysen sind grundsätzlich Methoden des Machine Learnings geeignet. Da für die vorliegende Arbeit jedoch nicht auf eine grosse Menge von klassifizierten Bildern zugegriffen werden kann, wird die Bildanalyse auf Basis geometrischer Eigenschaften durchgeführt. Um die schrittweise Entwicklung und entsprechende Teilergebnisse der Bildbearbeitung zu veranschaulichen, dient Abbildung 19 als Ausgangsbild. Dieses Bild wurde von der Komponente zur automatischen Bildaufnahme erzeugt, welche im Rahmen der Case-Arbeit entwickelt wurde. Anschliessend wurde das Bild mit der Funktion¹ `add()` heller gemacht und unter Anwendung von `createCLAHE()` und `clahe.apply()` wurde das Histogramm des Bildes geglättet.



Abbildung 19: Beispielbild als Ausgangslage zur Veranschaulichung des Vorgehens

¹Alle nachfolgenden Funktionsnamen beziehen sich auf Funktionen der Softwarebibliothek OpenCV.

Abbildung 20 zeigt auf der linken Seite das Histogramm des Originalbilds und auf der rechten Seite das Histogramm des aufgehellten und geglätteten Bilds. Dabei fällt auf, dass aufgrund der Aufhellung des gesamten Bildes im Histogramm der Wertebereich nach rechts verschoben wird. Zudem sind als Folge der Glättung des Histogramms mittels CLAHE² die Anzahl Pixel weniger stark auf einen Bereich konzentriert. CLAHE ist ein Verfahren, dass für die Glättung von Bildern und Verbesserung des Kontrasts eingesetzt wird. Ein Vorteil der Methode ist, dass aufgrund einer parametrisierbaren Begrenzung der Kontrastverstärkung die Überbetonung von Rausch in relativ homogenen Regionen des Bilds verhindert wird (Fernández Villán 2019, S. 313).

Das Bild 19 wird nun unter Anwendung von diversen Methoden aus der Bildanalyse und der Software-Bibliothek OpenCV bearbeitet und analysiert, um daraus Informationen zum Geburtsverlauf eines Kalbes zu gewinnen. In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus in der Detektierung von seitlichem Liegen, da die Erkennung dieses Geburtsmerkmals einen hohen Mehrwert bringt.

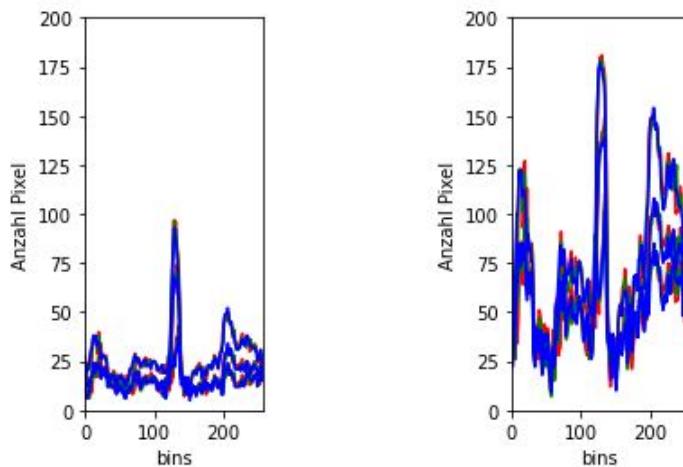


Abbildung 20: Vergleich der Histogramme vor und nach Bildbearbeitung

4.3.1 Detektierung von unwichtigen Bereichen im Bild

Um das Potential aus der Detektierung von unwichtigen Bereichen zu veranschaulichen, wird in einem ersten Schritt ein Binärbild des Originalbilds erstellt. Dazu wird die Funktion `threshold()` mit dem Verfahrenstyp `THRESH_BINARY` und dem Wert

²Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

90 als Schwellwert eingesetzt. OpenCV ermöglicht mit der Funktion `threshold()`, die Segmentierung des Bilds. Dabei wird dieses in eine Repräsentation umgewandelt, welche sich für die Weiterverarbeitung besser eignet als die ursprüngliche. (Fernández Villán 2019, S.328-335) In der vorliegenden Arbeit basiert die Extraktion von Objekten darauf, dass durch Schwellwertverfahren bestimmte Eigenschaften wie Farben und Ecken erkannt werden können und dadurch mittels Partitionen des Bildes zwischen Vorder- und Hintergrund unterschieden werden kann. Die Auswahl vom Wert 90 als Schwellwert hat zur Folge, dass Pixel mit einer Intensität $i \leq 90$ im resultierenden Bild schwarz (Farocode (0, 0, 0) im BGR-Modell) dargestellt werden und alle anderen Pixel weiss (Farocode (255, 255, 255) im BGR-Modell). Gleichung 4 verdeutlicht die Folge der Parametrisierung von `threshold()` in der vorliegenden Arbeit.

$$dst(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{if } src(x, y) > 90 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Als Eingabebild dient ein Graustufenbild. Grundsätzlich können mithilfe des Parameters `maxval` bei Erreichung des Schwellwerts auch Graustufen als Zielwerte für Pixel zugewiesen werden. Da in der vorliegenden Arbeit das Schwellwertverfahren aber in erster Linie zur Vorbereitung für `findContours()` angewendet wird, bringt ein Bild in Graustufen keinen Mehrwert. Die Funktion `findContours()` weist sämtlichen Pixeln, die nicht den Wert 0 haben, den Wert 1 zu. Dementsprechend wird auch ein Bild mit Graustufen als Binärbild behandelt (Fernández Villán 2019, S. 366).

Nebst der Funktion `threshold()` und dem Typ `THRESH_BINARY` bietet OpenCV weiteren Typen wie `THRESH_BINARY_INV` oder `THRESH_TRUNC` und das adaptive Schwellwertverfahren `adaptiveThreshold()` an. Adaptive Schwellwertverfahren ermöglichen den Einsatz spezifischer Schwellwerte für einen Pixel im Zielbild. Dieser spezifische Schwellwert wird auf Basis einer Gruppe benachbarter Pixel ermittelt (Fernández Villán 2019, S.342 f). Die im Rahmen der Bachelor-Arbeit entwickelte Lösung unterstützt die Parametrierung dieser Funktionen. Anhand des Value Objects „`AdaptiveThresholdingConfiguration`“ kann aus der Enumeration „`AdaptiveThresholdingType`“ das Verfahren zur Schwellwertanalyse ausgewählt und konfiguriert werden.



Abbildung 21: Binärbild als Resultat vom Schwellwertverfahren

Im Binärbild aus Abbildung 21 werden anschliessend mit den beiden Funktionen `findContours()` und `drawContours()` Konturen gesucht und im Originalbild eingezeichnet. Die Funktion `findContours()` wird verwendet, um Konturen in einem Binärbild zu erkennen. Der Algorithmus unterstützt unterschiedliche Modi wie `RETR_EXTERNAL` für die Beschränkung auf äussere Konturen, `RETR_LIST` für die Ausgabe sämtlicher Konturen ohne Hierarchie oder `RETR_TREE` für die zusätzliche Ausgabe von Informationen zur Hierarchie der Konturen (Fernández Villán 2019, S.366). In der vorliegenden Arbeit wurde in erster Linie der Verfahrenstyp `RETR_EXTERNAL` verwendet. Abweichungen werden entsprechend erwähnt.



Abbildung 22: Originalbild mit sämtlichen Konturen rot eingefärbt

Die Anwendung der Funktion `findContours()` ohne Einschränkung der zu analysierenden Bereiche in Abbildung ?? verdeutlicht, dass viele Konturen eingezeichnet werden, die sich von den Konturen der Kuh stark unterscheiden. Im vorliegenden Bild betrifft dies in erster Linie die Lampe und die Strohhaufen. Der Autor setzt sich daher zum Ziel, unwichtige Bereiche im Bild zu identifizieren. Dies umfasst Bereiche, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht Teile einer Kuh oder eines Kalbs zeigen. Die Farbwerte dieser Teile im Bild unterscheiden sich stark von den meisten Farben im Kuhfell.

Die Strohhaufen und Schatten unterhalb des Schwanzes oder unterhalb der Beine der Kuh werden ganz einfach gefiltert, indem nur Konturen mit einer Fläche von mehr als 1250 Pixel berücksichtigt werden. Dies ist in Abbildung 23 sichtbar, welche das Resultat dieser Filterung darstellt.



Abbildung 23: Originalbild mit rot eingefärbten Konturen mit Fläche über 1250 Pixel

Um weitere, unwichtige Konturen wie die Lampe zu erkennen, wird ein Verfahren zur Analyse von Farbwerten durchgeführt. Dabei wird in einem ersten Schritt ein Farbbereich für die Lampe definiert. Um einen Richtwert für diesen Farbwert zu erhalten, wird mithilfe eines Bildbearbeitungsprogramms³ ein Farbwert im Bereich der Lampe ausgelesen. Auf Basis dieses Richtwerts wird anschliessend ein Wertebereich für die Farbwerte der zu identifizierenden Lampe festgelegt. Diese Schwellwerte werden der Funktion `inRange()` von OpenCV zwecks Erstellung eines Binärbilds übergeben. Sämtliche Bereiche mit Farbwerten, die sich zwischen den definierten Schwellwerten befinden, werden im resultierenden Bild weiss dargestellt. Diese entsprechen unwichtigen Bereichen im Bild. Alle anderen Bereiche sind im

³GIMP (Version 2.10, www.gimp.org)

erstellen Binärbild schwarz dargestellt. Abbildung 24 zeigt das Binärbild, welches aus diesem Verfahren entsteht. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Bereiche der Lampe weiss und die übrigen Bereiche schwarz sind. Der Ansatz der Schnur, mit welcher der Schwanz der Kuh an der Decke befestigt wird, ist ebenfalls erkennbar.



Abbildung 24: Binärbild stellt den Bereich der Lampe weiss dar

Dasselbe Vorgehen wird angewendet, um den Bereich des Stallbodens und Holzträgers zu identifizieren. Das erstellte Binärbild identifiziert auch einige dunkle Regionen im Deckenbereich als unwichtig. Das Ergebnis ist in Abbildung 25 abgebildet.

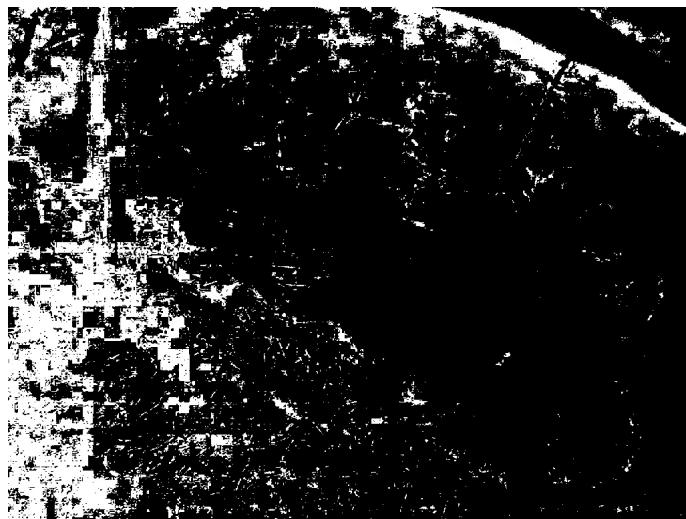


Abbildung 25: Binärbild zeigt den Bereich des Stallbodens und Holzträgers

Diese zwei Binärbilder werden nun mit dem Ziel weiterverarbeitet, ein Binärbild zu erstellen, welches möglichst viele unwichtige Regionen weiß darstellt. Durch die Funktion `bitwise_or()` werden die Bilder so verknüpft, dass im resultierenden Bild sämtliche Bereiche weiß sind, die in einem der beiden oder in beiden Eingangsbildern weiß sind ([Fernández Villán 2019](#), S. 255 ff.).

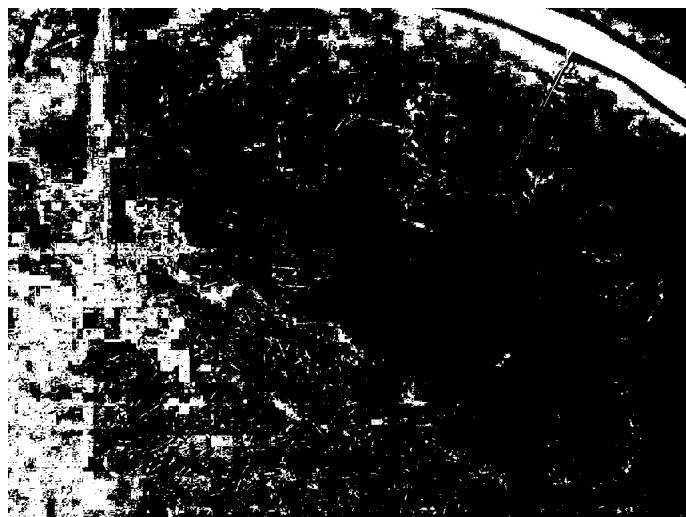


Abbildung 26: Binärbild zeigt die als unwichtig identifizierten Bereiche

Ausgehend von Abbildung 26 können die als unwichtig identifizierten Bereiche als Konturen erkannt und im Originalbild eingezeichnet werden. Um dies zu erreichen, werden die Funktionen `findContours()` und `drawContours()` wie bereits erwähnt angewendet. Das Resultat ist in Abbildung 27 veranschaulicht.



Abbildung 27: Unwichtige Bereiche als Konturen

Auf Basis der als unwichtig identifizierten Konturen sind möglichst grosse Flächen aus dem Originalbild zu entfernen, beziehungsweise möglichst grosse Flächen mit schwarzer Farbe zu füllen. Um dies zu erreichen, werden mehrere Verfahren getestet. Die Abbildungen 28 bis 31 veranschaulichen die entsprechenden Resultate unter Verwendung von OpenCV.

In Abbildung 28 wurde `approxPolyDP()` verwendet, um basierend auf den Konturen ein Vieleck zu approximieren. Die Funktion arbeitet nach dem Douglas-Peucker-

Algorithmus, welcher aus einer gegebenen Kontur eine dezimierte Kontur mit weniger Punkten erstellt. Die maximale Distanz der originalen Kontur und ihrer Approximation kann dem Algorithmus als Argument mitgegeben werden ([Fernández Villán 2019](#), S. 383).



Abbildung 28: Unwichtige Bereiche als Polygone

Weiter wurde versucht, die unwichtige Fläche im Originalbild durch konvexe Hüllen zu maximieren ([Howse et al. 2016](#), S. 493 f.). Das Bild 29 zeigt konvexe Hüllen der Konturen, die als Ergebnisse der Funktion `convexHull()` entstehen.



Abbildung 29: Unwichtige Bereiche als konvexe Hülle

Als weiterer Lösungsansatz wurde die Funktion `minEnclosingCircle()` verwendet, um Kreise zu finden, welche Konturen mit möglichst geringer Fläche umschließen (Fernández Villán 2019, S. 383 f.). Abbildung 30 veranschaulicht das Ergebnis.

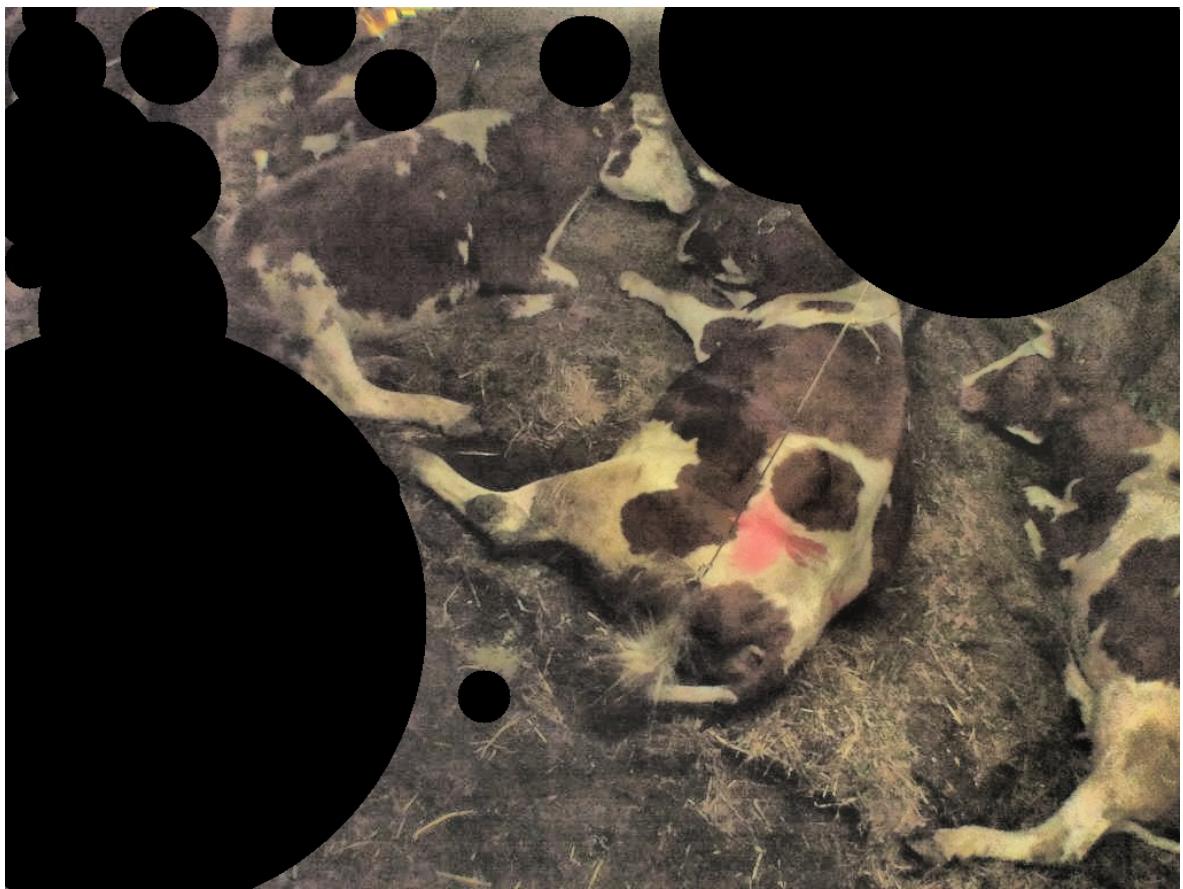


Abbildung 30: Unwichtige Bereiche als Kreise

Abschliessend wurden für die Abbildung 31 mit der Funktion `boundingRect()` Rechtecke gebildet, welche die Konturen umschließen (Fernández Villán 2019, S. 373 f. ff.).



Abbildung 31: Unwichtige Bereiche als Rechtecke

Die Verfahren, welche mittels `minEnclosingCircle()` und `boundingRect()` angewendet werden, ergeben im vorliegenden Kontext die besten Ergebnisse. Einerseits werden die als unwichtig identifizierten Flächen maximiert. Andererseits werden nur sehr kleine Bereiche der Kuh fälschlicherweise als unwichtig eingestuft. Da perfekte Kreise nach der Ermittlung der Konturen mithilfe von `findContours()` bei den Kühen nicht vorkommen, entscheidet sich der Autor dafür, unwichtige Bereiche als schwarze Kreise einzuziehen. Zudem können diese Kreise in der weiteren Bildbearbeitung problemlos als solche erkannt werden. Dementsprechend wird das in Abbildung 30 dargestellte Bild zur weiteren Analyse verwendet. An dieser Stelle ist jedoch auch Kritik an dieser Methode zur Bestimmung von unwichtigen Bereichen angebracht. Die Funktion `inRange()` benötigt einen Wertebereich für Farben, um die unwichtigen Bereiche zu finden (Fernández Villán 2019, S. 272)

f.). Dieser Wertebereich ist stark von den Lichtverhältnissen im untersuchten Bild abhängig. Bei Tests mit verschiedenen Bildern, die ebenfalls mit der im Raspberry Pi eingebauten Videokamera aufgenommen wurden, hat die falsche Detektierung von unwichtigen Bereichen das Gesamtergebnis verschlechtert. Aus diesem Grund wird mittels Konfiguration AdvancedUnimportantColorRange=False die Möglichkeit geboten, nur die Farbbereiche der Lampe zu nutzen. Diese wird in allen durchgeführten Tests zuverlässig detektiert.

4.3.2 Detektierung von wichtigen Bereichen im Bild

In einem ersten Schritt wird die geglättete und aufgehelle Version von Bild 30 mit dem adaptiven Schwellwertverfahren bearbeitet. Um dies zu erreichen, wird die Funktion adaptiveThreshold() mit den Argumenten THRESH_BINARY_INV und ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C aufgerufen. Das Ergebnis dieses Versuchs, wichtige Bereiche des Bilds zu detektieren, ist in Abbildung 32 ersichtlich. Die angestrebte Partitionierung des Bildes in Bereiche der Kuh und in alle anderen Bereiche funktioniert nicht. Deshalb wird der Versuch mit denselben Einstellungen aber mit einem nicht geglätteten Bild wiederholt.

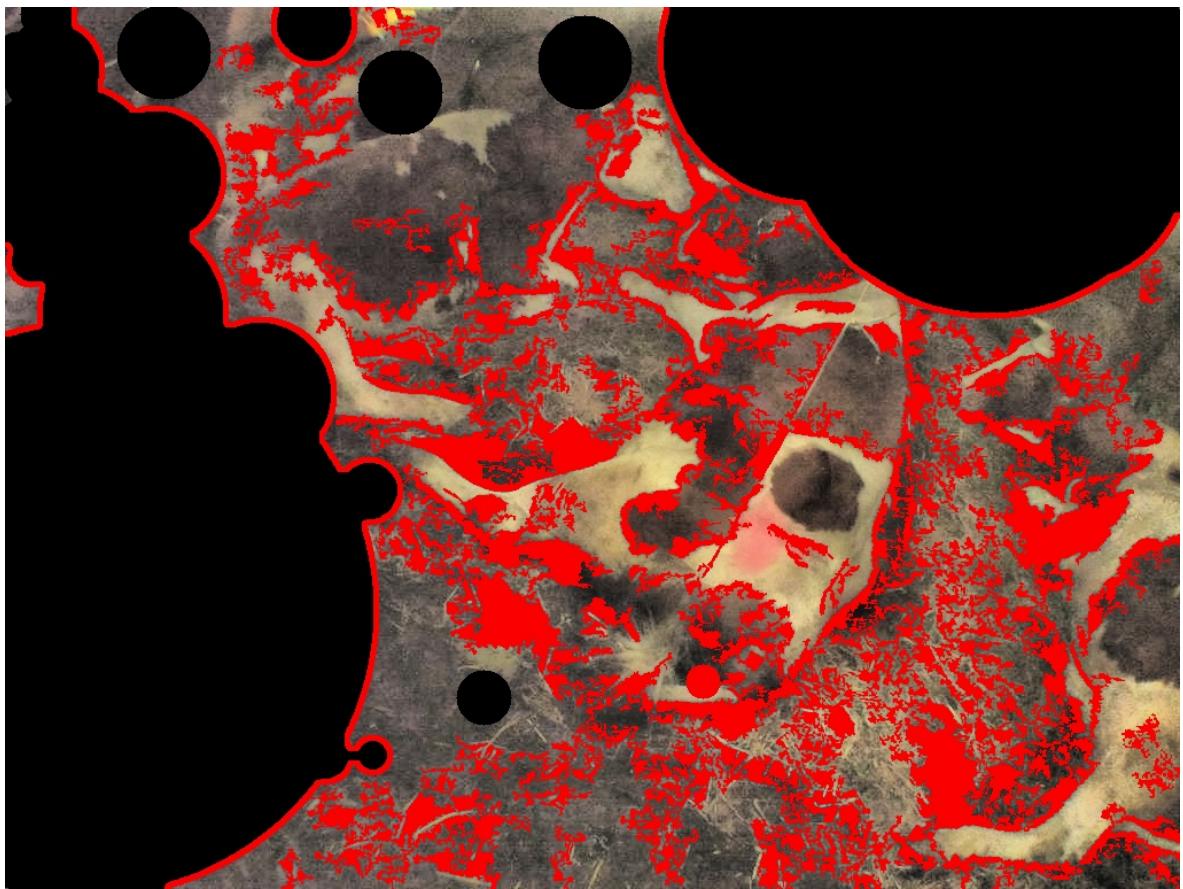


Abbildung 32: Detektierung von wichtigen Bereichen mittels adaptivem Schwellwertverfahren

Das Ergebnis ist in Abbildung 33 dargestellt und stellt ein besseres Zwischenergebnis dar. Als entsprechende Erkenntnis leitet der Autor ab, dass die Glättung von Histogrammen zwar die Bildqualität und Interpretationsfähigkeit für den Menschen steigert, aber im vorliegenden Kontext auch negativen Einfluss auf das Schwellwertverfahren hat.

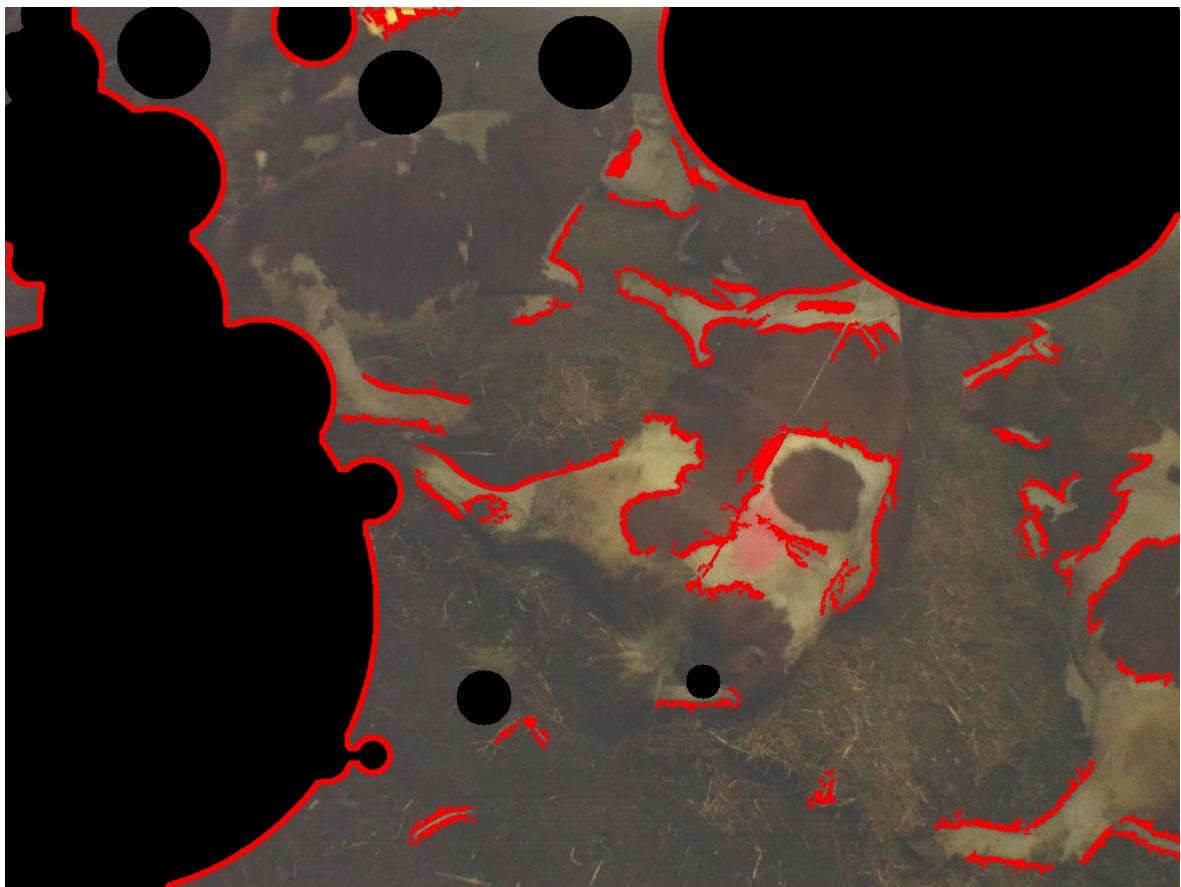


Abbildung 33: Versuch, aus nicht geglättetem Bild wichtige Bereiche zu detektieren

Abbildung 33 zeigt das Resultat einer vielversprechenden Analyse. Das Ergebnis ist aber insofern kritisch zu beurteilen, da die rote Farbe die gesamte Kontur ausfüllt, die detektiert wurde. Dementsprechend werden die Beine beispielsweise nicht als Kontur erkannt, sondern lediglich die Umriss davon. Dies dient als Motivation, die Konfiguration des Schwellwertverfahren anzupassen. Demzufolge wurde mit der Funktion `threshold()` und den Argumenten `THRESH_BINARY` als Verfahrenstyp, und dem Wert 90 als Schwellwert angewendet. Das Ergebnis daraus ist in Abbildung 34 dargestellt. Die als unwichtig identifizierten Bereiche werden nicht mehr berücksichtigt.

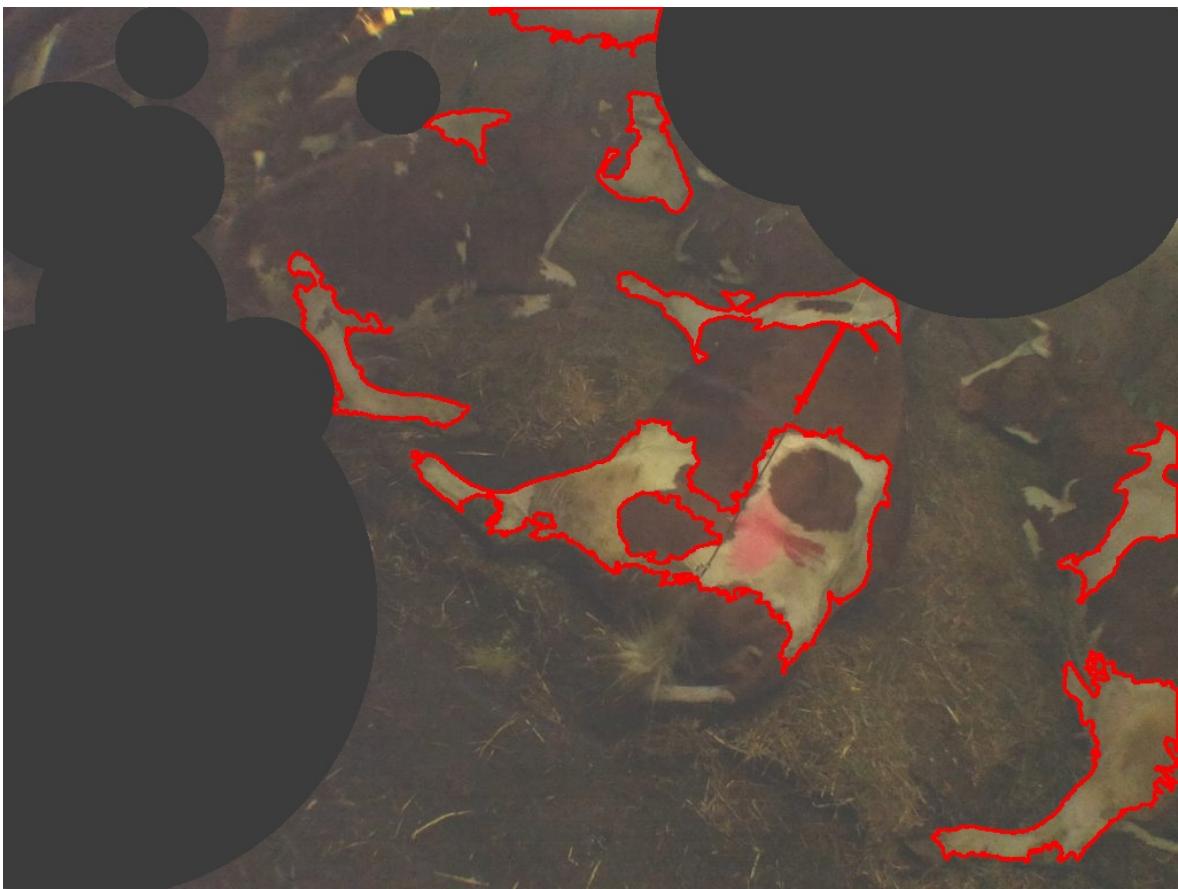


Abbildung 34: Ergebnisse nach angepasster Konfiguration des Schwellwertverfahrens

Es fällt nun auf, dass Flecken innerhalb der Kontur der Kuh erkannt werden. Da `findContours()` mit dem Argument `RETR_CCOMP` aufgerufen wird, werden auch Konturen innerhalb von den äusseren Konturen zurückgegeben und in eine Hierarchie eingeteilt. Die äusseren Konturen entsprechen in den meisten Fällen den Umrissen der Kuh oder der Flecken. Zum aktuellen Zeitpunkt reicht es aus, nur diese Umrisse zu erkennen und dementsprechend wird `findContours()` mit dem Argument `RETR_EXTERNAL` aufgerufen. Das Ergebnis ist in Abbildung 35 sichtbar.

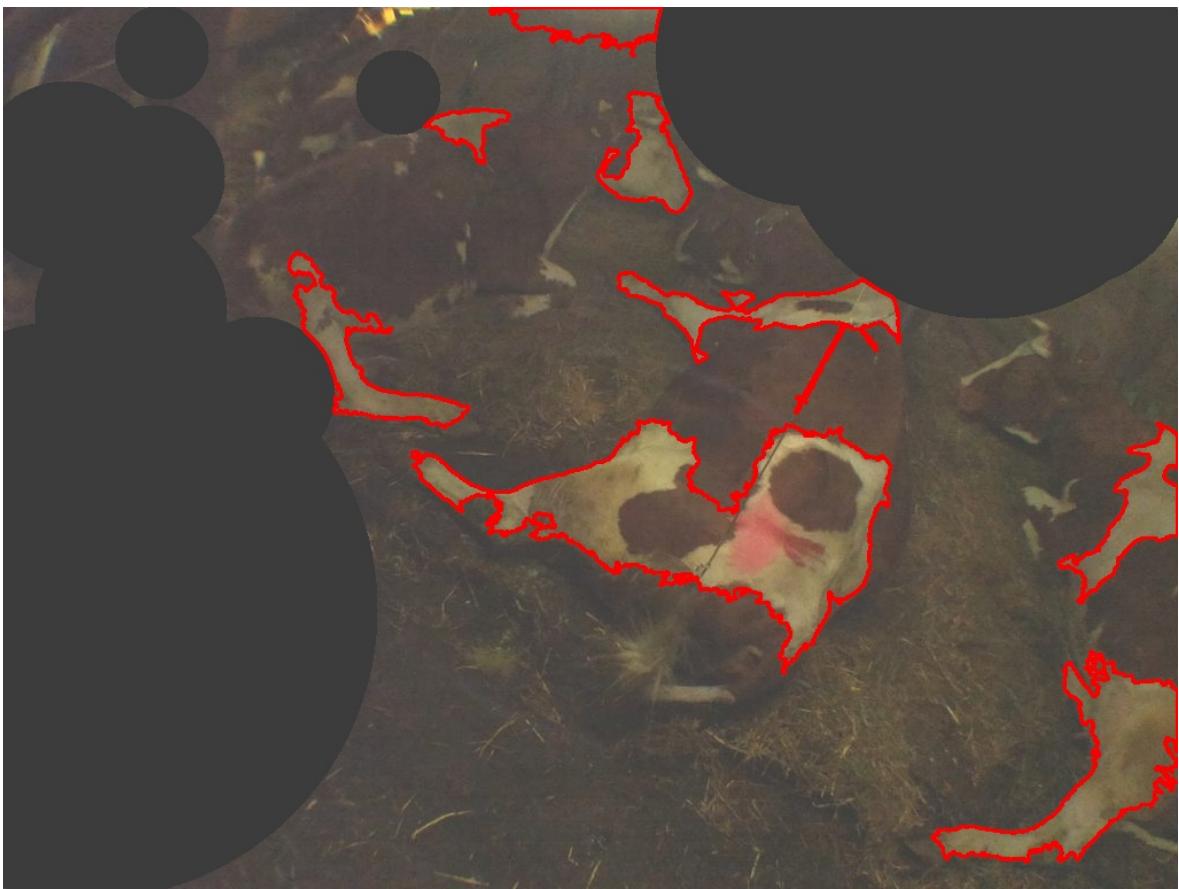


Abbildung 35: Ergebnisse nach angepasster Konfiguration des Contour Finders

Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse bei der Anwendung von `findContours()` mit unterschiedlichen Approximationsverfahren wie `CHAIN_APPROX_SIMPLE`, `CHAIN_APPROX_TC89_L1`, `CHAIN_APPROX_TC89_KCOS` von der Deaktivierung der Approximation nicht wesentlich.

Da nun lediglich äussere Konturen detektiert werden, dürfen diese Konturen mit Farbe gefüllt werden, ohne relevante Informationen über Hierarchien zu vernichten (Abbildung 36).

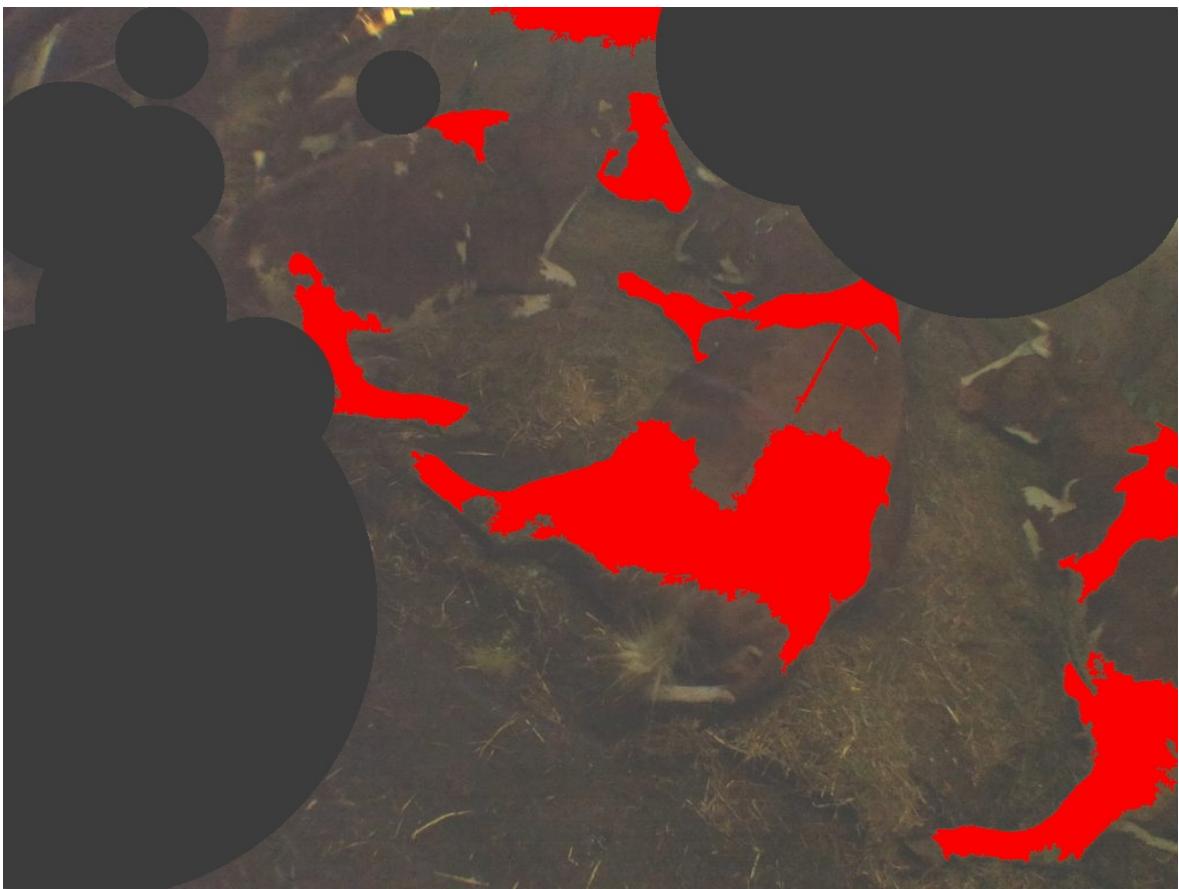


Abbildung 36: Konturen mit Farbe gefüllt

4.3.3 Erkennung einer seitlich liegenden Kuh

Aus der Domänenanalyse und Experteninterviews hat sich ergeben, dass seitliches Liegen ein starkes Geburtsanzeichen ist und entsprechend detektiert werden muss. Hauptmerkmal der Seitenlage sind vom Körper weggestreckte Beine. Um diese zu erkennen, werden die geometrischen Eigenschaften der detektierten Konturen nachfolgend mit unterschiedlichen Verfahren analysiert. Diese Analyse soll die Filterung der unwichtigen Konturen erlauben.

Da nun keine weiteren Konturen mehr gesucht werden (d.h. die Funktion `findContours()` wird nicht mehr aufgerufen), sind nachfolgend sämtliche dargestellten Bilder bearbeitet, um deren Helligkeit und Kontrast zu erhöhen. Dies wurde unter Anwendung der Funktionen `add()` und `createCLAHE()` gemacht. Zudem wurden die schwarzen

Kreise, welche unwichtige Bereiche des Bildes verdecken, entfernt. Dies erhöht die Lesbarkeit der Bilder in diesem Bericht. Zudem wurden Rechtecke gezeichnet, welche die Konturen jeweils umschließen. Diese Erhöhen das Verständnis von den geometrischen Eigenschaften und Filterungen. Dabei werden Konturen rot eingefärbt, die als Resultat der Analyse als wichtig befunden werden. Diese werden schrittweise gefiltert. Konturen, welche in einem Zwischenschritt als unwichtig erkannt werden, werden mit grüner Farbe gefüllt.



Abbildung 37: Ausgangslage vor der Analyse und Filterung der Konturen

4.3.3.1 Filterung der Konturen nach Winkel

Typischerweise strecken Kühe in Seitenlage die Beine ungefähr rechtwinklig vom Körper weg. Die Infrastruktur vom Bauernhof des Arbeitgebers im Schwellibach ist auf Anbindehaltung ausgelegt. Wenn der Stall voll ist, also in jeder Box eine Kuh ist,

liegen die Kühe beim Kalbern gerade in der Box (Müller 2020a). Dementsprechend können Konturen als unwichtig betrachtet werden, wenn deren Ausrichtung stark von 90° abweicht. Als Referenzobjekt für die Messung des Winkels dient die Lampe, welche in Realität rechtwinklig zur Box der Kuh und waagrecht montiert ist. Da die Lampe in Bildern nicht waagrecht abgebildet ist, werden die Winkel sämtlicher Konturen um diese Abweichung bereinigt (Formel 5). Für die Messung der Winkel wurde die Funktion `fitEllipse()` verwendet, welche den Winkel der entsprechenden Ellipse zurückgibt (Fernández Villán 2019, S.382 f.). Anhand der nachfolgenden Formel wird der bereinigte Winkel δ_i der Kontur an Stelle i berechnet.

$$\delta_i = (\alpha_i - \beta + \gamma) \bmod 360^\circ \quad (5)$$

wobei δ_i dem bereinigten Winkel von Kontur i , α_i dem gemessenen Winkel von Kontur i , β dem tatsächlichen Winkel der Lampe und γ dem erwarteten Winkel der Lampe entspricht.

Das Vorgehen gleicht grundsätzlich dem Prinzip, das Bild solange zu drehen, bis die Lampe waagrecht im Bild ist und erst dann die Winkel zu messen. Abbildung 38 veranschaulicht die Überlegung.

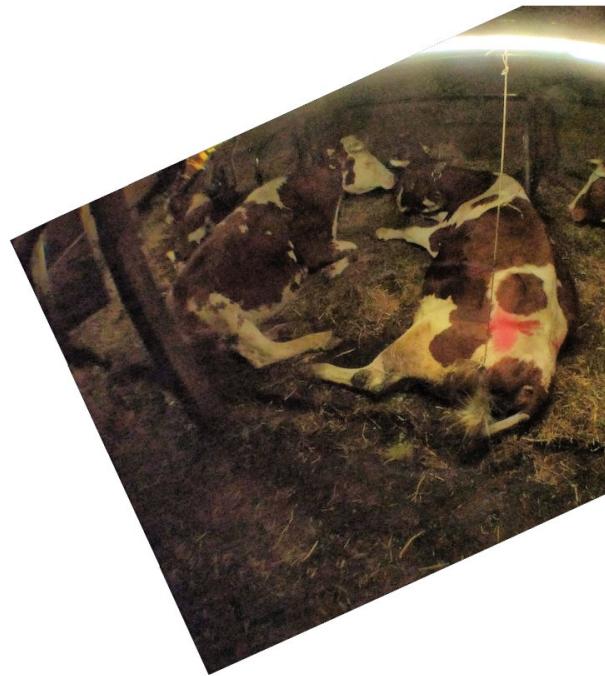


Abbildung 38: Veranschaulichung zur Analyse der Winkel

Die Abbildung 39 zeigt in roter Farbe die Konturen, welche weiterhin als Beine von seitlich liegenden Kühen vermutet werden und entsprechend weiter analysiert werden. Die bereinigten Winkel der grün eingefärbten Konturen liegen nicht im Wertebereich $[70^\circ, 110^\circ]$. Dabei sind die maximalen und minimalen Werte der betrachteten Winkel in der entwickelten Lösung mittels `MIN_LEG_ANGLE_EXPECTATION` und `MAX_LEG_ANGLE_EXPECTATION` konfigurierbar.



Abbildung 39: Ergebnisse nach Filterung der Konturen nach Winkel

Eine Ausnahme stellt ein nicht voller Stall dar. Leere Boxen ermöglichen der kalbernden Kuh, quer in die Box zu liegen ([Müller 2020a](#)). Für Kühe, welche neben einer leeren Box liegen, ist also die Filterung der Konturen nach Winkel nicht sinnvoll. Um dieser Situation gerecht zu werden, kann im entwickelten System mittels Konfiguration `filterbyAngle=False` die Filterung nach Winkel deaktiviert werden.

4.3.3.2 Filterung der Konturen nach Extent

Um diese Ergebnisse weiter zu analysieren, wurde mittels `minAreaRect()` für jede Kontur das Rechteck ermittelt, welches mit der kleinsten Fläche sämtliche Punkte der Kontur einschließt ([Fernández Villán 2019](#), S. 382 f.). Die Rechtecke wurden

schwarz ins Originalbild eingezeichnet. Dies dient als Grundlage des «Extent». Dabei handelt es sich um das Verhältnis zwischen der Fläche der Kontur und der Fläche des Rechtecks, das die Kontur einschliesst (Formel 6).

$$Extent = \frac{\text{Fläche der Kontur}}{\text{Fläche umschliessendes Rechteck}} \quad (6)$$

Der Autor erwartet, dass die Fläche der Kontur der Beine gegenüber dem darum gebildeten Rechteck klein ist. Entsprechend wird für als Extent bei Beinen ein tiefer Wert angenommen im Vergleich zum Wert des Extent bei anderen Figuren. Dementsprechend ermöglicht die entwickelte Lösung die Konstante EXTENT_MAX die Konfiguration eines Schwellwerts, nach welchem Konturen gefiltert werden.

Nun wird als Schwellwert für Extent 0.5 angenommen und entsprechend werden nur noch Konturen berücksichtigt, welche unterhalb dieses Werts liegen. In Abbildung 40 sind alle Konturen mit $Extent < 0.5$ rot und alle anderen Konturen grün eingefärbt. Das Ergebnis ist positiv, zwei unerwünschte Konturen können als solche erkannt werden.



Abbildung 40: Ergebnis der Filterung der Konturen nach Extent

Abbildung 41 veranschaulicht die Kombination der Filterung nach Winkel und Extent. Es können erfolgreich unwichtige Konturen gefiltert werden. Um die Ergebnisse der Analyse zu verbessern, sind jedoch zusätzliche Filterungen nötig.



Abbildung 41: Ergebnis der Filterung der Konturen nach Winkel und Extent

4.3.3.3 Filterung der Konturen nach Aspect Ratio

Rechtecke, welche die Beine der Kuh einschliessen, sind langgezogen. Der Autor überprüft nun die Vermutung, dass diese Eigenschaft hilft, Beine von unwichtigen Konturen zu unterscheiden. Das Verhältnis zwischen Breite und Höhe von Rechtecken (nachfolgend Aspect Ratio genannt) liefert Informationen darüber, wie langgezogen ein Rechteck ist.

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{\text{Breite}}{\text{Höhe}} \quad (7)$$

Da für den Autor grundsätzlich nicht das Verhältnis zwischen Breite und Höhe sondern das Verhältnis zwischen der langen und der kurzen Seite des Rechtecks entscheidend ist, wird die Formel 7 angepasst. Formel 8 beschreibt, was in der

technischen Implementierung realisiert wird.

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{\text{lange Seite}}{\text{kurze Seite}} \quad (8)$$

Das Ergebnis der Filterung von Konturen mit dem Schwellwert 1.5 ist in Abbildung 42 abgebildet. Die Filterung der Konturen kann dadurch verbessert werden.



Abbildung 42: Ergebnis der Filterung von Konturen nach Aspect Ratio

4.3.3.4 Kombination der Filter nach Winkel, Extent und Aspect Ratio

Durch Kombination der Filterung nach Winkel, Extent und Aspect Ratio, erreicht man das Resultat gemäss Abbildung 43. Dabei werden Konturen mit einem bereinigten Winkel im Wertebereich $[70^\circ, 110^\circ]$, Extent unter 0.5 und Aspect Ratio über 1.5 berücksichtigt.

Die Kombination der Filter bewirkt also, dass nur Konturen berücksichtigt werden, welche folgende Bedingungen erfüllen:

- bereinigter Winkel im Wertebereich $[70^\circ, 110^\circ]$
- $Extent < 0.5$
- $AspectRatio > 1.5$



Abbildung 43: Ergebnis der Filterung der Konturen nach Winkel, Extent und Aspect Ratio

4.3.3.5 Filterung mittels Shape Matching

Nun werden vier Konturen als potentielle Umrisse von Beinen bei seitlichem Liegen erkannt. Wünschenswert wäre nun, diese Auswahl weiter einzugrenzen. Um dies zu erreichen, sind Unterschiede der Konturen von den Beinen der mittleren Kuh

und der Kontur des Hinterbeins der linken Kuh zu ermitteln. In erster Linie hat der Autor versucht, die Orientierung der Beine zu erkennen. Beim seitlichen Liegen der Kuh zeigen zwei Beine in dieselbe Richtung und deren Abstand liegt innerhalb eines bestimmten Bereichs. Anhand der Ausrichtung der Beine kann mit den bereits angewendeten Funktionen `minAreaRect()` und `fitEllipse()` keine weitere Filterung etabliert werden. Der Grund dafür ist, dass sämtliche Winkel in einem sehr ähnlichen Wertebereich sind. Auch die Messung des Abstands zwischen den Beinen ist mit den bereits angewendeten Mitteln nicht möglich. Der Autor ist der Meinung, dass sich im betrachteten Bild in erster Linie der Holzträger als Referenzobjekt für die Messung von Distanzen eignet. Dieser ist jedoch nicht in voller Länge im Bild, was die Messung ungenau macht. Darüber hinaus ist dieser Holzträger nicht in jedem Bild an derselben Stelle und auch nicht in jedem Bild sichtbar. Die Konturen der Beine sind keine geeigneten Referenzobjekte, da diese gestreckt oder gebeugt sein können. Der Autor ist der Ansicht, dass ein Referenzobjekt im Bild platziert werden müsste, um gute Resultate zu erreichen. Dieses Referenzobjekt sollte durch Methoden der Bildanalyse eindeutig zu erkennen sein.

An dieser Stelle verfolgt der Autor einen anderen Lösungsansatz. Die Funktion `matchShapes()` vergleicht sämtliche verbleibende Konturen und gibt eine Metrik zurück, welche die Ähnlichkeit der Konturen repräsentiert. Die Funktion unterstützt die drei Modi `CONTOURS_MATCH_I1`, `CONTOURS_MATCH_I2` und `CONTOURS_MATCH_I3` ([Fernández Villán 2019](#), S. 391 f.). Sämtliche Modi ergeben im vorliegenden Kontext keinen Beitrag zur weiteren Filterung der Konturen. Bild 44 zeigt die Anwendung von `matchShapes()` mit dem Modus `CONTOURS_MATCH_I1` und dem Schwellwert 5. Die Konturen der Hinterbeine der zwei Kühe werden als ähnlicher betrachtet als die Konturen der Beine derselben Kuh.



Abbildung 44: Ergebnis des Shape Matching

Im angewandten Verfahren der Bildanalyse wurden die Winkel der Konturen bereits berücksichtigt. Um sicherzustellen, dass das Resultat von `matchShapes()` nicht auf die Winkel der Konturen zurückzuführen ist, werden sämtliche verbleibende Konturen auf einen zufällig ausgewählten Winkel von 60° verschoben. Anschließend werden die Konturen wieder mit `matchShapes()` verglichen. Das Ergebnis ist dasselbe, die Klassifikation kann zu diesem Zeitpunkt nicht weiter verbessert werden. Abbildung 45 zeigt die das Ergebnis der verschobenen Konturen mit einem weissen Hintergrund.

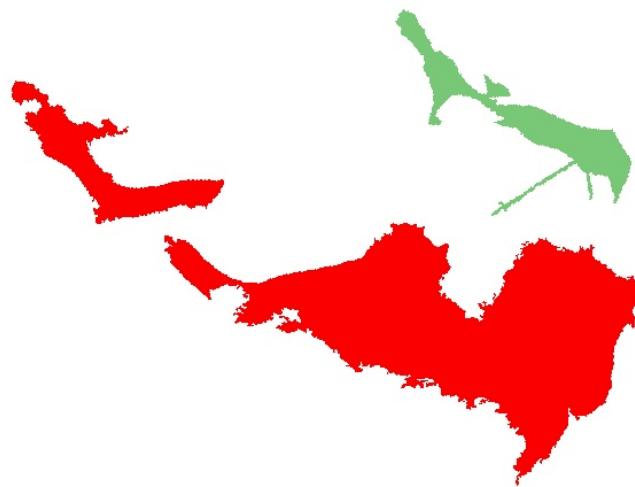


Abbildung 45: Ergebnis der Shape Matching und Korrektur der Winkel

Die Abbildung 43 zeigt das beste Resultat. Sämtliche rot eingefärbten Konturen entsprechen dabei Konturen, welche korrekterweise seitwärts gestreckten Beinen entsprechen. Sowohl die Vorder- als auch die Hinterbeine der betrachteten Kuh werden erkannt und entsprechend gekennzeichnet.

5 Resultate

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Domänenanalyse zur automatischen Analyse von Kamerabildern bei der Geburt von Kälbern gemacht. Dabei wurde ein umfassendes System modelliert, welches sowohl die automatische Analyse von Kamerabildern als auch die Benachrichtigung der Stakeholder ermöglicht. Zudem erlaubt das modellierte System die Erfassung der medizinischen Daten von Kuh und Kalb. Dies ermöglicht dem Landwirten oder Tierarzt beispielsweise Zugriff auf die Krankheitsgeschichte oder den Verlauf der letzten Geburten einer Kuh. Dies unterstützt eine Beurteilung der Situation durch Fachpersonen.

Dabei ist der Kern der Domänenanalyse die Identifikation von Geburtsmerkmalen. Im Wesentlichen hat sich ergeben, dass das System bei Erkennung von seitlichem Liegen und Anwesenheit der Wasser- oder Schleimblase eine Benachrichtigung an die Stakeholder auslösen muss.

Der Kern des modellierten Systems wurde in Code umgesetzt. Es wurde ein flexibles und stark konfigurierbares System entwickelt, welches die automatische Analyse von Kamerabildern ermöglicht.

In den folgenden Abbildungen bedeuten grün eingefärbte Flächen, dass das System Konturen erkannt hat, diese aber nicht als Merkmal für eine Kuh in Seitenlage betrachtet. Rote Flächen bedeuten, dass das System diese Kontur als Merkmal für Seitenlage interpretiert.

In den Abbildungen [46](#) und [47](#) erkennt das System korrekterweise, dass keine Kuh in Seitenlage im Bild steht.



Abbildung 46: Korrektes Ergebnis von Analyse der stehenden Kuh



Abbildung 47: Weiteres korrektes Ergebnis von Analyse der stehenden Kuh

In den Abbildungen 48 und 49 erkennt das System korrekterweise, dass sich die abgebildete Kuh in Seitenlage befindet.

5 Resultate



Abbildung 48: Korrektes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage

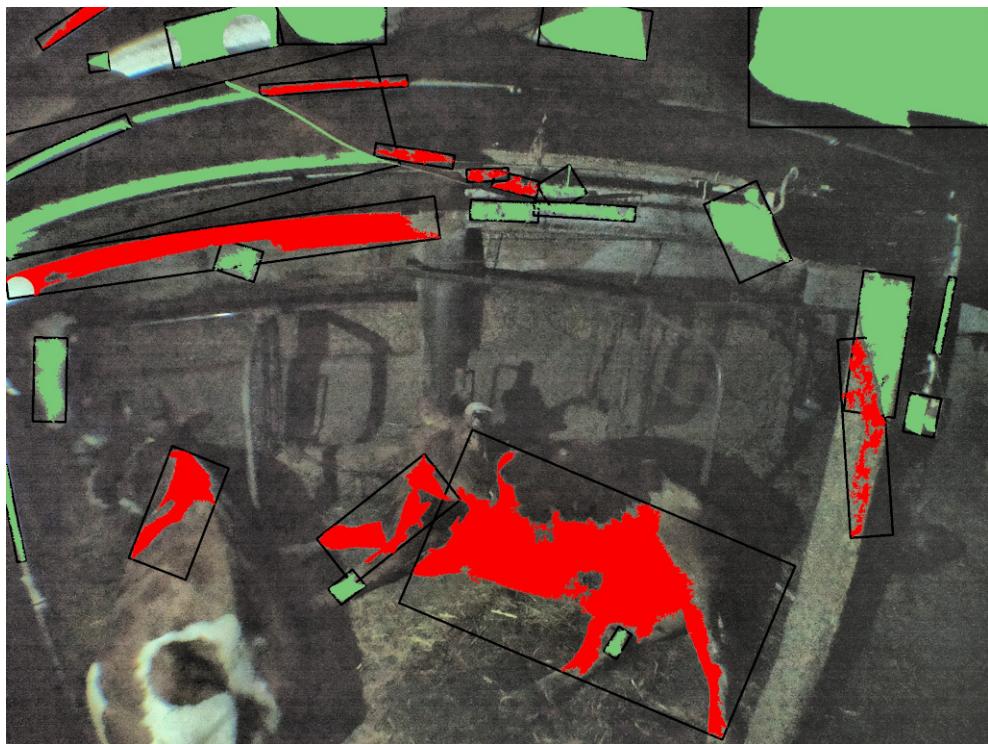


Abbildung 49: Weiteres korrektes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage

Um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen, ist jedoch jeweils eine angepasste Konfiguration notwendig. Einerseits muss jeweils eingestellt werden, ob nur die Farbwerte der Lampe als unwichtige Farbwerte zu interpretieren sind oder noch weitere Farben einen unwichtigen Bereich darstellen. Um zusätzliche Farbwerte als unwichtig zu deklarieren, kann diese Option mittels `ADVANCED_UNIMPORTANT_COLOR_RANGE=True` aktiviert werden. Anschliessend können beliebig viele Farbbereiche der Liste `additionalUnimportantColorRanges` hinzugefügt werden. Das System verarbeitet diese Liste an Farbbereichen und maximiert die als unwichtig identifizierbaren Bereiche.

Andererseits muss eingestellt werden, ob die Konturen nach Winkel gefiltert werden. Das System filtert die Konturen standardmäßig nach Winkel, ermöglicht aber eine Deaktivierung dieser Funktionalität mittels `FILTER_BY_ANGLE=False`. Die fachliche Begründung dafür ist, dass nicht immer alle Boxen im Stall besetzt sind. Wenn eine Kuh neben einer leeren Box kalbert, kann sie sich quer über zwei Boxen

legen zum Kalbern. In dieser Situation ist eine Filterung der Konturen nach Winkel fachlich nicht sinnvoll.

Das System bietet zahlreiche weitere Konfigurationsmöglichkeiten. Die zwei genannten Optionen bilden fachlich erheblichen Mehrwert. Experten können ohne Wissen über die technische Implementierung das System so konfigurieren, dass die Ergebnisse weiter verbessert werden.

Als Beispiel dient das Ergebnis, welches in Abbildung 50 sichtbar ist. Dieses Resultat wurde mit `FILTER_BY_ANGLE=False` und `ADVANCED_UNIMPORTANT_COLOR_RANGE = False` erzielt.



Abbildung 50: Fehlerhaftes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage

Durch die Konfiguration von `ADVANCED_UNIMPORTANT_COLOR_RANGE=True` und der Ergänzung zur Detektierung von unwichtigen Farbwerten im Bereich des Strohs und sehr hellen Bereichen im oberen Bildbereich kann das Ergebnis verbessert werden. In Abbildung 51 wird das Stroh nicht mehr fälschlicherweise als Kontur der Kuh interpretiert. Das Gesamtergebnis der Analyse ist trotzdem falsch, die Seiten-

5 Resultate

lage wird nicht erkannt, weil der das umschliessende Rechteck den Schwellwert für die minimale Aspect Ratio nicht erreicht. Dennoch veranschaulicht dieses Beispiel den erheblichen Mehrwert des konfigurierbaren Systems.



Abbildung 51: Verbessertes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage

Die im Rahmen der Bachelor-Arbeit erarbeiteten Lieferergebnisse werden per E-Mail an Prof. Dr. Patrizio Collovà und Dr. Klaus-Georg Deck geschickt. Dies umfasst nebst dem Bericht ein Archiv mit dem Quellcode des entwickelten Systems, den erstellen Modellen und dem Code zur Analyse der Daten aus den Interviews.

Zudem ist der gesamte Quellcode des entwickelten Systems auf GitHub verfügbar¹.

¹<https://github.com/dominiquemueller/birth-detector>

6 Ausblick

Das entwickelte System kann mit dem Einsatz von unterschiedlichen Sensoren ergänzt werden. Diese Sensoren können unterschiedliche medizinische Parameter wie Körpertemperatur, Herzschlag, pH-Werte oder Hormonprofile messen. Der Körper des Tiers wird so zum Generator von Daten. Diese Daten werden mittels strukturierten Verfahren für Analysen, Auswertungen, Prognosen von medizinischen Parametern und datengestützte Profilerstellungen genutzt. Die Erstellung einer digitalen Identität eines Tieres erlaubt die Effizienzsteigerung von automatischen Fütterungssystemen, Melkanlagen oder Wiege-, Verlade- und Sortiereinrichtungen. Hyperkonnektivität und Prognosen stellen durch die Schaffung eines digitalisierten Bauernhofs neue Chancen in der Landwirtschaft dar (**Kasprowicz & Rieger 2019**, S. 308 ff.). Darüber hinaus stellt auch die Entwicklung von Systemen zur Brunsterkennung eine Möglichkeit zur Generierung von erheblichen Mehrwert dar (**Hirsbrunner 2020**).

In Bezug auf die Geburtsanalyse können die Resultate der Bildanalyse aus der vorliegenden Arbeit als Grundlage für den Einsatz von Machine Learning verwendet werden. Im Supervised Learning werden Trainingsdaten mit deren Gruppenzugehörigkeit annotiert (**Firouzi et al. 2020**, S. 253). Dementsprechend wird für das Supervised Learning eine sehr grosse Menge an Daten der Größenordnung von mindestens 10^4 Datensätzen benötigt. Bei diesen Datensätzen ist das gewünschte Ergebnis bereits bekannt. Algorithmen des Supervised Learnings analysieren die Trainingsdaten, um eine Vorhersage über genau diese Trainingsdaten zu machen. Diese Vorhersagen können bei Abweichungen zum gewünschten Ergebnis korrigiert werden. Diese Korrekturen nutzt der Algorithmus, um die Genauigkeit der Vorhersagen zu optimieren. Im Kontext von Machine Learning werden bei einem Klassifikationsproblem die Eingabedaten einer Menge von Klassen oder Kategorien zugeordnet. (**Fernández Villán 2019**, S. 440).

Im Kontext der vorliegenden Arbeit können Bilder als Eingabedaten den Kategorien

6 Ausblick

«Geburt anstehend» oder «Geburt nicht anstehend» zugeordnet werden. Falls ein Bild der Kategorie «Geburt anstehend» zugeordnet wird, ist eine weitere Klassifikation nach «Vorbereitungsphase», «Öffnungsphase», «Aufweitungsphase», «Austreibungsphase» und «Nachgeburtsphase» denkbar. Weiter könnte ein Bild als Eingabe Grundlage für die Risikobewertung der aktuellen Situation liefern. Dementsprechend könnte ein Bild nach «einfache Geburt», «normal», «gefährlich» und «lebensbedrohlich» klassifiziert werden.

Das entwickelte System kann genau diese Trainingsdaten liefern und jedes Bild aus den Trainingsdaten mit einem oder mehreren «Tags» markieren. Es kann somit als Vorstufe zu einem auf Machine-Learning-Algorithmen basierenden System im Supervised-Learning-Modus dienen. Dieses kann anhand der annotierten Bilder trainiert werden und dann in der produktiven Phase Bilder von Kalbsgeburten automatisch klassifizieren. Wird diesem Erkennungssystem ein Benachrichtigungssystem nachgeschaltet, können Landwirte und TierärztInnen automatisch benachrichtigt werden.

7 Selbstreflexion

Bei der Domänenanalyse konnte ich das erworbene Wissen übers Veterinärwesen mit Erlebnissen aus dem Alltag auf einem Bauernhof verknüpfen. Während der Durchführung der Bachelor-Arbeit war ich bei der Geburt von fünf Kälbern dabei und habe den Geburtsprozess beobachtet. Diese Beobachtungen stützten das erworbene fachliche Wissen.

Insgesamt stellte die technische Implementierung der Bildanalyse die grösste Herausforderung dar. Die Softwarebibliothek OpenCV war für mich neu und ich hatte nur wenig Vorkenntnisse im Bereich Bildverarbeitung. Während der Einarbeitung habe ich mir sehr viel technisches Wissen angeeignet.

Im Verlauf des Projekts wurde mir bewusst, dass ich in der technischen Implementierung nicht sämtliche Geburtsanzeichen adressieren kann. Deshalb wurde der Fokus auf das Detektieren der Seitenlage gesetzt. Ende April wurden auf dem Bauernhof im Schwellibach zwei Kälber (Zwillinge) erwartet. Das erste Kalb kam trotz frühzeitiger Geburtmassnahmen tot zur Welt. Da es bereits 3 Uhr morgens war, übernahm ich die weitere Beobachtung der Kuh. Meine Aufgabe war es, meinen Vater zu informieren, sobald die Kuh seitlich liegt. Nach 45 Minuten geschah dies. Während der Geburt schränkten die zähen **Eihäute** die Bewegungsfreiheit des Kalbs lebensbedrohlich ein und dieses war zur Befreiung der Atemwege dringend auf unsere Unterstützung angewiesen. Dies zeigte mir, dass das im Rahmen der Case-Arbeit entwickelte System bereits Einfluss auf die Gesundheit von Kuh und Kalb und vielleicht sogar auf Leben oder Tod der Tiere hatte. In Bezug auf die Bachelor-Arbeit verdeutlicht diese Situation, dass bereits ein System erheblichen Mehrwert bietet, welches den Landwirten über die Lage der Kuh informiert.

Rückblickend schaue ich sehr positiv auf die vorliegende Arbeit zurück. Das Projekt war sowohl technisch als auch fachlich enorm spannend. Die Erkenntnisse motivieren mich, das entwickelte System als Grundlage für eine Weiterentwicklung mittels Machine Learning einzusetzen.

Selbstständigkeitserklärung

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst zu haben.

Sämtliche Textstellen, die nicht von mir stammen, sind als Zitate gekennzeichnet und mit dem genauen Hinweis auf ihre Herkunft versehen.

Die verwendeten Quellen (gilt auch für Abbildungen, Grafiken u.ä.) sind im Literatur- bzw. Quellenverzeichnis aufgeführt.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dominique Müller". The signature is fluid and cursive, with a large, stylized 'D' at the beginning.

Dominique Müller

Abbildungsverzeichnis

1	Entwicklung der Anzahl Haupt- und Nebenerwerbsbetriebe nach Regionen (Agrarbericht.ch n.d.)	2
2	Schwanzhebung	11
3	Häufigkeit von Geburtsanzeichen während den letzten 24 Stunden vor Geburtsstadium zwei (Lange et al. 2017, S.5).	12
4	Veranschaulichung zur Vorderendlage eines Kalbes (Traulsen & Tischer 2013, S. 17).	14
5	Wasser- und Schleimblase	15
6	Aufweitungsphase	16
7	Austreibungsphase	17
8	Austritt der Klauen des Kalbes (Müller 2020b)	24
9	Seitliches Liegen kurz vor der Geburt des Kalbes	25
10	Kamerabild bei Schwanzhebung	25
11	Schleim im Schambereich der Kuh kurz vor der Geburt	26
12	Auslösung der Nachgeburt	26
13	Domänenmodell Kalbsgeburt	28
14	Allgemeine Bibliothek an Value Objects	29
15	Allgemeine Bibliothek an Value Objects [Fortsetzung]	30
16	Bibliothek an Value Objects bezüglich Konfiguration und Versand von Nachrichten	31
17	Lösungsdokumentation des Pakets Image Analysis zur Geburtsprognose und Geburtserkennung.	35
18	Lösungsdokumentation der Pakete Message-Configuration zur Konfiguration und Message Posting zum Versand von Benachrichtigungen.	36
19	Beispielbild als Ausgangslage zur Veranschaulichung des Vorgehens	37
20	Vergleich der Histogramme vor und nach Bildbearbeitung	38
21	Binärbild als Resultat vom Schwellwertverfahren	40

Abbildungsverzeichnis

22	Originalbild mit sämtlichen Konturen rot eingefärbt	41
23	Originalbild mit rot eingefärbten Konturen mit Fläche über 1250 Pixel	42
24	Binärbild stellt den Bereich der Lampe weiss dar	43
25	Binärbild zeigt den Bereich des Stallbodens und Holzträgers	44
26	Binärbild zeigt die als unwichtig identifizierten Bereiche	44
27	Unwichtige Bereiche als Konturen	45
28	Unwichtige Bereiche als Polygone	46
29	Unwichtige Bereiche als konvexe Hülle	47
30	Unwichtige Bereiche als Kreise	48
31	Unwichtige Bereiche als Rechtecke	49
32	Detektierung von wichtigen Bereichen mittels adaptivem Schwellwertverfahren	51
33	Versuch, aus nicht geglättetem Bild wichtige Bereiche zu detektieren .	52
34	Ergebnisse nach angepasster Konfiguration des Schwellwertverfahrens	53
35	Ergebnisse nach angepasster Konfiguration des Contour Finders . .	54
36	Konturen mit Farbe gefüllt	55
37	Ausgangslage vor der Analyse und Filterung der Konturen	56
38	Veranschaulichung zur Analyse der Winkel	58
39	Ergebnisse nach Filterung der Konturen nach Winkel	59
40	Ergebnis der Filterung der Konturen nach Extent	61
41	Ergebnis der Filterung der Konturen nach Winkel und Extent . . .	62
42	Ergebnis der Filterung von Konturen nach Aspect Ratio	63
43	Ergebnis der Filterung der Konturen nach Winkel, Extent und Aspect Ratio	64
44	Ergebnis des Shape Matching	66
45	Ergebnis der Shape Matching und Korrektur der Winkel	67
46	Korrektes Ergebnis von Analyse der stehenden Kuh	69
47	Weiteres korrektes Ergebnis von Analyse der stehenden Kuh	70
48	Korrektes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage	71
49	Weiteres korrektes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage . . .	72
50	Fehlerhaftes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage	73
51	Verbessertes Ergebnis von Analyse der Kuh in Seitenlage	74
52	Mindmap als Entwurf für die Modellierung der Domäne	93

Tabellenverzeichnis

1	Projektziele	5
2	Betriebliche Ziele für die Überwachung bei der Geburt von Kälbern.	6
3	Optionale Ziele für die Überwachung bei der Geburt von Kälbern.	6
4	Bewertung der Anwesenheit und Abwesenheit von Merkmalen als Indikator einer bevorstehenden Geburt.	21
5	Zuordnung von Merkmalen zu Geburtsphasen und Bewertung der Häufigkeiten von Merkmalen (Samuel Kohler)	22
6	Zuordnung von Merkmalen zu Geburtsphasen und Bewertung der Häufigkeiten von Merkmalen (Gaby Hirsbrunner)	23
7	Legende fürs Domänenmodell und für UML-Diagramme	27
8	Basisinformationen zum Computer Entwicklung	88
9	Eingesetzte Software Entwicklung	88

Literaturverzeichnis

- Agrarbericht.ch (n.d.), ‘www.agrarbericht.ch’. Zuletzt besucht am 12.05.2020.
URL: <https://agrarbericht.ch/de/betrieb/strukturen/betriebe?highlight=größenklasse>
- Deck, K.-G. & Neuendorf, H. (2010), *Java-Grundkurs für Wirtschaftsinformatiker*, Vieweg +Teubner, Wiesbaden.
- Evans, E. (2015), *Domain-Driven Design*, dogear Publishing, Indianapolis.
- Fernández Villán, A. (2019), *Mastering OpenCV 4 with Python*, Packt Publishing, Birmingham.
- Firouzi, F., Chakrabarty, K., Nassif, S. & Device, F. (2020), *Intelligent Internet of Things*, Springer Nature, Cham.
- Hirsbrunner, G. (2020), ‘Interview 2.4.2020’.
- Hofer, T. (2010), *Strukturwandel in der Zürcher Landwirtschaft*, Zürich, Statistisches Amt des Kantons, Zürich. Zuletzt besucht am 12.05.2020.
URL: www.statistik.zh.ch
- Howse, J., Joshi, P. & Beyeler, M. (2016), *OpenCV: Computer Vision Projects with Python*, Packt Publishing, Birmingham.
- Kasprowicz, D. & Rieger, S. (2019), *Handbuch Virtualität*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- Kohler, S. (2020), ‘Interview 19.3.2020’.
- Lange, K., Fischer-Tenhagen, C. & Heuwieser, W. (2017), ‘Predicting stage 2 of calving in Holstein-Friesian heifers’, *Journal of Dairy Science* **100**(6), 10. Zuletzt besucht am 12.05.2020.
URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12024>
- Müller, P. (2019), ‘Persönliche Kommunikation Sommer 2019’.

- Müller, P. (2020a), 'Nachbesprechung vom 1.5.2020'.
- Müller, P. (2020b), 'Nachbesprechung vom 2.4.2020'.
- Müller, P. (2020c), 'Persönliche Kommunikation 20. Februar 2020'.
- Ouellet, V., Vasseur, E., Heuwieser, W., Burfeind, O., Maldague, X. & Charbonneau (2016), 'Evaluation of calving indicators measured by automated monitoring devices to predict the onset of calving in Holstein dairy cows', *Journal of Dairy Science* **99**(2), 1539–1548.
- Pahl, C., Hartung, E., Grothmann, A., Mahlkow-Nerge, K. & Haeussermann, A. (2014), 'Rumination activity of dairy cows in the 24 hours before and after calving', *Journal of Dairy Science* **97**(11), 3–7. Zuletzt besucht am 12.05.2020.
URL: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8194>
- Rupp, C., Stefan, Q. & Sophisten, D. (2012), *UML 2 glasklar*, Carl Hanser Verlag, München und Nürnberg.
- Saint-Dizier, M. & Chastant-Maillard, S. (2015), 'Methods and on-farm devices to predict calving time in cattle', *Veterinary Journal* **205**(3), 349–356. Zuletzt besucht am 12.05.2020.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.05.006>
- Sauermost, R., Freudig, D., Bonk, M., Sendtko, A., Genaust, H. & Gack, C. (1999), Lexikon der Biologie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. Zuletzt besucht am 12.05.2020.
URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/>
- Sommerville, I. (2016), *Software Engineering*, Pearson, Boston.
- Stefan, M., Mante, J. & Pfefferli, S. (2003), 'Der agrarstrukturelle Wandel in der Schweiz', *Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT)* .
- Streyl, D., Sauter-Louis, C., Braunert, A., Lange, D., Weber, F. & Zerbe, H. (2011), 'Establishment of a standard operating procedure for predicting the time of calving in cattle', *Journal of Veterinary Science* **12**(2), 177–186.
- Traulsen, K. & Tischer, M. (2013), Geburtsüberwachung und Geburtshilfe beim Rind, Technical report, Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Ingelheim am Rhein. Zuletzt besucht am 12.05.2020.

Literaturverzeichnis

URL: <https://www.vetmedica.de/2013-01-metacam-geburthilfebroschuere-561.pdfx>.

Vernon, V. (2016), *Domain-Driven Design Distilled*, Addison-Wesley / Pearson Education, Boston.

Vetion.de (2009), ‘www.vetion.de’. Zuletzt besucht am 12.05.2020.

URL: www.vetion.de/lexikon

Anhang

Das Glossar umfasst die verwendeten Fachbegriffe des Veterinärwesens und enthält jeweils die Referenz auf den entsprechenden Eintrag im Lexikon von www.vetion.de (**Vetion.de 2009**). Dieses wurde von Dr. med. vet. Samuel Kohler geprüft und als gut befunden. Falls der Begriff in diesem Lexikon nicht eingetragen war, wurde das „Lexikon der Biologie“ von Spektrum verwendet (**Sauermost & Freudig 1999**).

Glossar

Abdominal

www.vetion.de/lexikon/detail/abdominal/35/. 3, 85

Allantochorions

www.spektrum.de/lexikon/biologie/chorioallantois/13843. 4, 85

Aufeutern

www.vetion.de/lexikon/detail/Aufeutern/1103/. 12, 85

Brunst

<https://www.vetion.de/lexikon/detail/Brunst/3/>. 75, 85

Dystokie

www.vetion.de/lexikon/detail/Dystokie/1525. ii, 85

Eihäute

www.vetion.de/lexikon/detail/Fruchthuellen-Eihuellen-Eihaeute/261/. 77, 85

fetale

<https://www.vetion.de/lexikon/detail/Fetus-Foetus/238/>. 13, 85

Fötus

<https://www.vetion.de/lexikon/detail/Fetus-Foetus/238/>. 12, 85

Hyperplasie

[www.vetion.de/lexikon/detail/Hyperplasie/1842/](http://www.vetion.de/lexikon/detail/Hyperplasie/1842). 10, 85

Hypophysen

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hypophyse/33493>. 12, 85

Hypothalamus

www.spektrum.de/lexikon/biologie/hypothalamus/33521. 12, 85

Kortisol

<https://www.vetion.de/lexikon/detail/Kortisol-Cortisol/298/>. 85

Plazenta

www.vetion.de/lexikon/detail/Plazenta-Placenta-Mutterkuchen/237. 3, 85

Progesteron

www.vetion.de/lexikon/detail/Progesteron/804/. 13, 85

Retention

www.vetion.de/lexikon/detail/Retention/2045/. 3, 85

Sekretion

www.vetion.de/lexikon/detail/Sekret/1706/. 10, 85

Ödem

<https://www.vetion.de/lexikon/detail/Oedem-Oedema/365/>. 10, 85

Östradiol

www.vetion.de/lexikon/detail/Oestradiol-Estradiol/729/. 13, 85

1 Dokumentation zum entwickelten System

1.1 Entwicklungsplattform

1.1.1 Hardware und Betriebssystem

Begriff	Spezifikation
Modell	Mac mini (Late 2014)
Betriebssystem	macOS Catalina Version 10.15.3
Prozessor	2.6 GHz Dual-Core Intel Core i5
Speicher	8 GB 1600 MHz DDR3
Grafikkarte	Intel Iris 1536 MB
Seriennummer	C07QG49TG1HW

Tabelle 8: Basisinformationen zum Computer Entwicklung

1.2 Softwarekomponenten

Nachfolgend wird die wertschöpfende Software mit dem entsprechenden Verwendungszweck und der eingesetzten Version genannt.

Software	Verwendungszweck	Version
Python	Programmiersprache für Housekeeping und Auslösung der spezifischen Aktionen ausgehend vom Erreichen oder Nichterreichen der merkmalsbezogenen Schwellwertes	3.7.4
OpenCV	Programmbibliothek mit Algorithmen für die Bildverarbeitung und maschinelles Sehen	4.2.0

Tabelle 9: Eingesetzte Software Entwicklung

1.3 Installation von OpenCV und Softwaremodulen

Dieser Abschnitt gilt nur für Computer mit Mac OS X als Betriebssystem.

1.3.1 Xcode installieren

- Im App Store anmelden und Xcode herunterladen
- `sudo xcodebuild -license`
- `sudo xcode-select -install`

1.3.2 Apple Command Line Tools installieren

- `sudo xcode-select -install`

1.3.3 Homebrew installieren und Bash Profil anpassen

- `/usr/bin/ruby -e "$(curl -fsSL https://raw.githubusercontent.com/Homebrew/install/master/install)"`
- `brew update`
- `echo "# Homebrew">>> ~/.bash_profile`
- `echo "export PATH=/usr/local/bin:$PATH ">> ~/.bash_profile`

1.3.4 Pakete installieren

- `brew install cmake pkg-config`
- `brew install qt5`
- `brew install wget`

1.3.5 Konfiguration und Ordnerstruktur vorbereiten

- `QT5PATH=/usr/local/Cellar/qt/5.14.1`
- `cwd=$(pwd)`
- `cvVersion="master"`
- `rm -rf opencv/build`
- `rm -rf opencv_contrib/build`
- `mkdir installation`

- mkdir installation/OpenCV-“\$cvVersion”

1.3.6 Python Pakete installieren und virtuelle Umgebung einrichten

- sudo -H pip3 install -U pip numpy
- sudo -H python3 -m pip install virtualenv virtualenvwrapper
- VIRTUALENVWRAPPER_PYTHON=/usr/local/bin/python3
- echo “VIRTUALENVWRAPPER_PYTHON=/usr/local/bin/python3”>> /.bash_profile
- echo “# Virtual Environment Wrapper”>> /.bash_profile
- echo “source /usr/local/bin/virtualenvwrapper.sh”>> /.bash_profile
- mkvirtualenv OpenCV-“\$cvVersion”-py3 -p python3
- workon OpenCV-“\$cvVersion”-py3s
- pip install cmake numpy scipy matplotlib scikit-image scikit-learn ipython dlib
- deactivate

1.3.7 GitHub Repositories klonen

- git clone https://github.com/opencv/opencv.git
- cd opencv
- git checkout master
- cd ..
- git clone https://github.com/opencv/opencv_contrib.git
- cd opencv_contrib
- git checkout master
- cd ..
- cd opencv

- mkdir build
- cd build

1.3.8 Build erstellen

```
cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE \
-D CMAKE_INSTALL_PREFIX=$cwd/installation/OpenCV-"$cvVersion" \
-D INSTALL_C_EXAMPLES=OFF \
-D INSTALL_PYTHON_EXAMPLES=ON \
-D WITH_TBB=ON \
-D WITH_V4L=ON \
-D OPENCV_SKIP_PYTHON_LOADER=ON \
-D CMAKE_PREFIX_PATH=$QT5PATH \
-D CMAKE_MODULE_PATH="$QT5PATH"/lib/cmake \
-D OPENCV_PYTHON3_INSTALL_PATH=~/virtualenvs/OpenCV-"$cvVersion"-py3/lib/python \
\
-D WITH_QT=ON \
-D WITH_OPENGL=ON \
-D OPENCV_EXTRA_MODULES_PATH=../../opencv_contrib/modules \
-D BUILD_EXAMPLES=ON
```

1.3.9 OpenCV 4 kompilieren

- make -j\$(sysctl -n hw.physicalcpu)
- make install
- cd \$cwd

1.3.10 Spyder für die Benutzung mit der virtuellen Umgebung einrichten

- workon OpenCV-master-py3
- pip install spyder-kernels==0.*
- python -c "import sys; print(sys.executable)":
- Die Ausgabe dieses Befehls in den Zwischenspeicher kopieren.

Glossar

- Spyder öffnen und in den Voreinstellungen den Menupunkt “Python-Interpreter” wählen.
- Den Inhalt aus dem Zwischenspeicher als Pfad zum Python-Interpreter verwenden.

2 Mindmap als Entwurf für Modellierung der Domäne

Diese Zeichnung diente als erste Grundlage für das Domänenmodell.

63

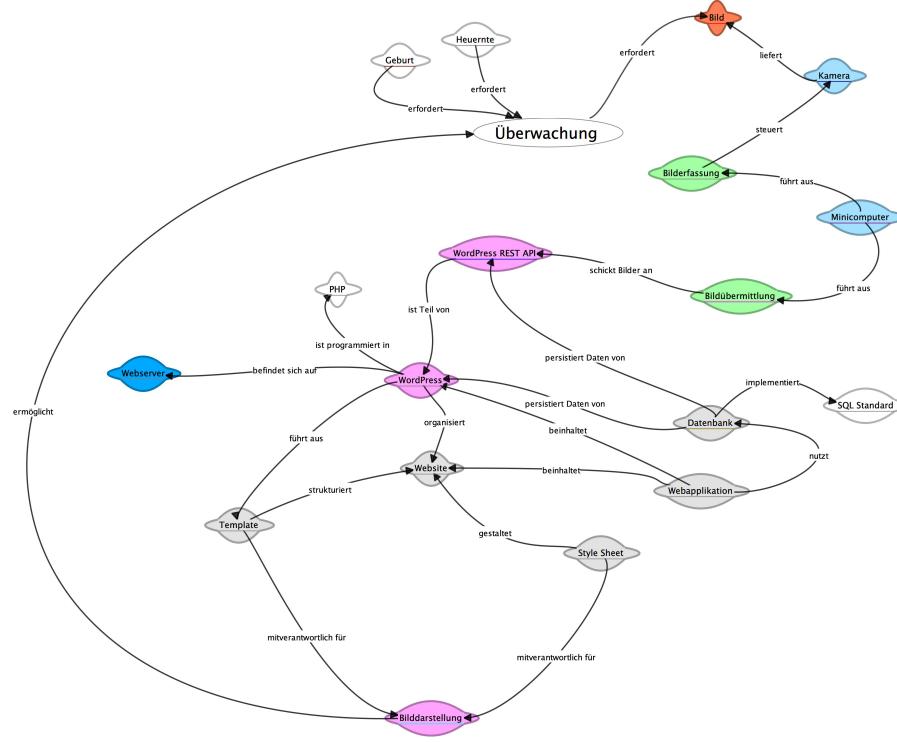


Abbildung 52: Mindmap als Entwurf für die Modellierung der Domäne