

Forschungsprojekt

KontRed (Kontaminationsreduktion)

Bericht
Version 1.0

Projektpartner:
Tönnies GmbH TiHo

Durchgeführt von
Christoph Bonk

CLK GmbH
Zur Steinkuhle 3
48341 Altenberge

Tel. +49 2505 93620-10
Fax. +49 2505 93620-15
<http://www.clkgmbh.de>
info@clkgmbh.de

1 Inhaltsverzeichnis

2 Kurzbericht3

2.1 Einleitung3

2.2 Ursprüngliche Aufgabenstellung.....3

2.3 Ablauf.....3

2.4 Ergebnisse4

2 Kurzbericht

2.1 Einleitung

Das Forschungsprojekt hatte das Ziel, in einem Teilprojekt mithilfe eines bildgebenden Verfahrens Kontaminationen auf Schweineschlachtkörpern zu erkennen. Dabei stellten die Umgebungsbedingungen eines Schlachthofs eine besondere Herausforderung für den Einsatz von Kamerasystemen dar. Die CLK GmbH hat jedoch bereits Erfahrungen im erfolgreichen Betrieb von Kamerasystemen in ähnlichen Umgebungen gesammelt

2.2 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die ursprüngliche Aufgabenstellung des Projekts bestand darin, bestimmte Arten von Kontaminationen visuell zu identifizieren. Zu den Zielkontaminationen zählten Schaum, Rohrbahnfett, Darminhalt, Mageninhalt und Gallenflüssigkeit. Diese Kontaminationen sind aufgrund ihrer äußeren Erscheinungsform prinzipiell für eine kameragestützte Erkennung geeignet. Bis zum Projektbeginn war jedoch kein kameragestütztes Verfahren bekannt, das in der Lage war, diese spezifischen Kontaminationen zu identifizieren.

Im Verlauf des Projekts ergaben mikrobiologische Untersuchungen, dass Schaum keine relevante Kontamination darstellt und daher aus der Aufgabenstellung ausgeschlossen wurde.

2.3 Ablauf

Vor dem Projektstart wurde der technische Aufwand zur Identifikation der Kontaminationen abgeschätzt. Es wurde festgelegt, dass für die vollständige Erfassung eines Schweinekörpers Bilder aus fünf verschiedenen Perspektiven erforderlich sind: vier Kameras zur Abdeckung der Bauchseite sowie eine Kamera zur Aufnahme des Schinkenbereichs auf der Rückseite. Im nächsten Schritt wurden geeignete Installationsorte für die Kameras im Schlachthof bestimmt, die notwendigen Computerressourcen spezifiziert und eine erste Version der Aufnahmesoftware entwickelt, die praxisnahe Bilder der Schlachtkörper erstellt.

Diese Bildaufnahmen wurden mit Fachexperten analysiert, um die Sichtbarkeit und Ausprägung der Zielkontaminationen zu bewerten. Auf Basis dieser Analyse wurde für jede Kontaminationsart eine Spezifikation erstellt, die als objektives Referenzdokument zur Evaluierung der Erkennungsalgorithmen diente. Ein Ziel war es dabei, die unterschiedlichen subjektiven Bewertungen der Experten zu normieren und die Streuung der Beurteilungen zu minimieren.

Parallel zur Spezifikationserstellung wurde die Aufnahmesoftware um Funktionen zur Zuordnung von Schlachtnummern und zur automatischen Fehlerbenachrichtigung per E-Mail bei Systemstörungen erweitert. Zudem wurde ein Algorithmus entwickelt, der das Schwein vom Hintergrund segmentiert, um die Bilddaten gezielt zu verarbeiten.

Nachdem die Spezifikationen abgeschlossen und die Software in der Lage war, vollautomatisch Bilder zu erstellen und den Schlachtnummern zuzuordnen, wählten die Fachexperten relevante Bilddaten aus, die Kontaminationen enthielten. Diese Bilder wurden mithilfe eines Annotationstools markiert, wobei jede Kontamination im Bild durch ein Rechteck hervorgehoben wurde. Die Annotationen wurden in mehreren Durchgängen gemeinsam evaluiert, um Konsens unter den Experten zu erzielen. Nur eindeutig und widerspruchsfrei annotierte Daten wurden für die Entwicklung der Erkennungsalgorithmen verwendet. Auf Basis dieser Daten wurden Modelle trainiert und evaluiert. Dieser iterative Prozess wurde mehrfach wiederholt, um die Leistungsfähigkeit der Erkennungsmodelle zu optimieren.

2.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl die Quantität der verfügbaren Bilddaten als auch die Qualität der Annotationen entscheidend für die Modellleistung sind. Da die Häufigkeit von Kontaminationen variieren kann und insbesondere Darminhaltskontaminationen äußerst selten auftreten, gestaltet sich die Entwicklung eines robusten Erkennungsmodells als herausfordernd. Die ursprünglich von den Fachexperten der CLK bereitgestellte Bildmenge reduziert sich im Verlauf der Algorithmusentwicklung, da ausschließlich eindeutige und widerspruchsfreie Annotationen genutzt werden können. Ein größeres Volumen an qualitativ hochwertigen Trainingsdaten führt dabei zu besseren Modellergebnissen. Aufgrund der Seltenheit von Darminhaltskontaminationen bleiben die Ergebnisse in diesem Bereich jedoch hinter denen von Gallen-, Magen- und Rohrbahnfettkontaminationen zurück.

Forschungsprojekt

KontRed (Kontaminationsreduktion)

Bericht
Version 1.0

Projektpartner:
Tönnies GmbH, TiHo

Durchgeführt von
Christoph Bonk

CLK GmbH
Zur Steinkuhle 3
48341 Altenberge

Tel. +49 2505 93620-10
Fax. +49 2505 93620-15
<http://www.clkgmbh.de>
info@clkgmbh.de

1 Inhaltsverzeichnis

2	Einleitung und Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	.3
3	Vor Projektbeginn	4
4	Ursprüngliche Aufgabenstellung	5
5	Planung /Arbeitsplan	6
6	Ablauf der Algorithmus Entwicklung.....	13
6.1	Schlussfolgerung Ausblick	14

2 Einleitung und Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Forschungsprojekt hatte das Ziel, in einem Teilprojekt mithilfe eines bildgebenden Verfahrens Kontaminationen auf Schweineschlachtkörpern zu erkennen. Dabei stellten die Umgebungsbedingungen eines Schlachthofs eine besondere Herausforderung für den Einsatz von Kamerasystemen dar. Die CLK GmbH hat jedoch bereits Erfahrungen im erfolgreichen Betrieb von Kamerasystemen in ähnlichen Umgebungen gesammelt.

Das Forschungsvorhaben wurde mit den Projektpartnern Tönnies Lebensmittel GmbH & Co. KG(**Tönnies**), Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe(**TH OWL**) und der CLK GmbH(**CLK**) durchgeführt. Die Tönnies Holding stellte ihren Schlachtungsbetrieb zur praxisbezogenen Durchführung des Vorhabens zur Verfügung. Die CLK stellte die Kameratechnik bereit und ihre Expertise im Bereich der Algorithmus Entwicklung. Die TiHo war die wissenschaftliche Expertise.

Der Zeitraum des Vorhabens erstreckte sich entgegen der ursprünglichen Planung zwischen 01.10.2020 – 16.06.2024, da es pandemiebedingt zu signifikanten Verzögerungen gekommen ist.

3 Vor Projektbeginn

Vor Projektstart wurde der Hardwareaufwand geschätzt, um die Kontaminationen auf dem Schwein zu erkennen. In Gesprächen mit Fachpersonal und basierend auf Fotografien wurde ermittelt wie viele Kameras notwendig seien, um die Bereiche des Schweines aufzunehmen. Da man davon ausgegangen ist, dass wir pro Schwein nur eine Aufnahme machen und kein Video auswerten skaliert mit der Anzahl der Kameras der Speicherbedarf. Da Kontaminationen auf der kompletten Bauchseite und auf der Rückenseite im Schinkenbereich auftreten können musste das Schwein aus 5 Perspektiven aufgenommen werden. Vier Kameras auf der Bauchseite und eine Kamera auf der Rückseite die den Schinkenbereich aufnimmt. Da die Kontaminationen auch Stecknadelgroß sein konnten hat man sich für eine relativ hochauflösende Kamera entschieden.

4 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des Projekts bestand darin, bestimmte Arten von Kontaminationen visuell zu identifizieren. Zu den Zielkontaminationen zählten Schaum, Rohrbahnfett, Darminhalt, Mageninhalt und Gallenflüssigkeit. Diese Kontaminationen sind aufgrund ihrer äußeren Erscheinungsform prinzipiell für eine kameragestützte Erkennung geeignet. Bis zum Projektbeginn war jedoch kein kameragestütztes Verfahren bekannt, das in der Lage war, diese spezifischen Kontaminationen zu identifizieren. Im Verlauf des Projekts ergaben mikrobiologische Untersuchungen, dass Schaum keine relevante Kontamination darstellt und daher aus der Aufgabenstellung ausgeschlossen wurde.

Zudem zeigte sich im Rahmen des Vorhabens, dass die ursprünglich kalkulierte Sachmittel: 0847 Afa: 5x Kameras Ensense 3D Kamera 6mm N30, Monitor (Touch, Wachendorff VITAM-119P), Rechner & Grafikkarte nicht notwendig waren, da im Falle der Kameras, der allgemeine algorithmische Fortschritt die Kameras obsolet gemacht hat und man nur mit den Farbkameras ausgekommen ist. Darüber hinaus war der Einsatz von der CLK bereitgestellter Monitor und Computerhardware seitens der Tönnies Lebensmittel GmbH & Co. KG nicht erwünscht. Tönnies stellte diese Hardware falls notwendig selbst zu Verfügung. Auf eine Montage eines Monitors wurde gänzlich verzichtet, da sich im Schlachtbereich nicht notwendig war.

5 Planung /Arbeitsplan

Die CLK GmbH übernahm im Verbundprojekt „Entwicklung und Implementierung technologischer Verfahren zur Reduktion von mikrobiellen Kontaminanten im Geflügel- und Schweineschlachtprozess“ (Akronym KontRed) die Bearbeitung von Arbeitspaketen im Themengebiet Schwein gemeinsam mit den Partnern THOWL und TLB.

Das Vorhaben war in folgende AP unterteilt

AP I.3 Evaluierung bestehender Techniken und Verfahren (Basisstudie) im Schlachtprozess Schwein

Task 5: Visuelle Kontaminationserfassung und mikrobielle Kontrollen

Die Erkenntnisse, die die Projektpartner aus diesem AP gewonnen wurden, wurden mit der CLK besprochen. Es handelte sich um folgende Kontaminationen Darminhaltskontamination, Mageninhaltskontamination, Rohrbahnfettkontamination, Gallenflüssigkeitskontamination. Zu diesem Zeitpunkt war auszugehen, dass die Quantität der Kontamination keine Rolle spielt und dies binär zu betrachten sei. Zunächst sollte auch Schaum auf dem Schlachtkörper erkannt werden, was aber im Verlauf des Vorhabens als nicht relevant eingestuft wurde und nicht mehr verfolgt wurde. Schaum soll nicht mikrobiologisch belastet sein und daher keine Erkennung bedarf.

AP II.8. Automatische Kontaminationserkennung

Task 1: Bildanalytische Detektierbarkeit von Kontaminationen

Task 2: Vergleich visuelle vs. automatische Kontaminationserkennung

Im Zuge dieses AP wurde ein inline Kamerasystem (PigInspector) im Schlachthof installiert. Die aufgenommenen Bilder wurden hinsichtlich ihrer Eignung zur visuellen Kontaminationserfassung mit den Fachleuten besprochen und es wurde eine Spezifikation erstellt. Diese Spezifikation kategorisierte die Kontamination in Größen und es wurde eine Nomenklatur entwickelt auf welchen Bereich des Schweinekörpers es finden ist. Diese Spezifikation sollte Helfen, dass die CLK, OWL und TLB ein gemeinsames Bewertungsschema haben, um in Diskussionen eine gemeinsame Sprache zu sprechen. Die Spezifikation besteht aus dem Spezifikationscode der die Kontamination benennt zusätzlich mit der Kategorie Sonstiges, falls auf dem Schweinekörper etwas zu sehen ist, dass zwar relevant sein könnte aber nicht den Kontaminationen entspricht. Der Flächencode stellt die Größe der Kontamination dar und orientiert sich an Objektgrößen aus dem Alltag. Der Lokalisierungscode beschreibt den Ort auf dem Schweinekörper.

Kontaminationscode							
1 Darminhalt	2 Galle	3 Mageninhalt	4 Rohrbahnfett	5 Sonstige			
Flächencode							
1 Stecknadelkopf	2 1€ Münze	3 Ausweis	4 Hand	5 DIN A4-Blatt	6 > DIN A4-Blatt		
Lokalisierungscode							
1 Perianalregion		2 Hintergliedmaßen	3 Schinken	4 Rücken	5 Bauch	6 Schulter	7 Brust
8 Nacken	9 Kopf	10 Vordergliedmaßen		11 Bauchhöhle	12 Brusthöhle		

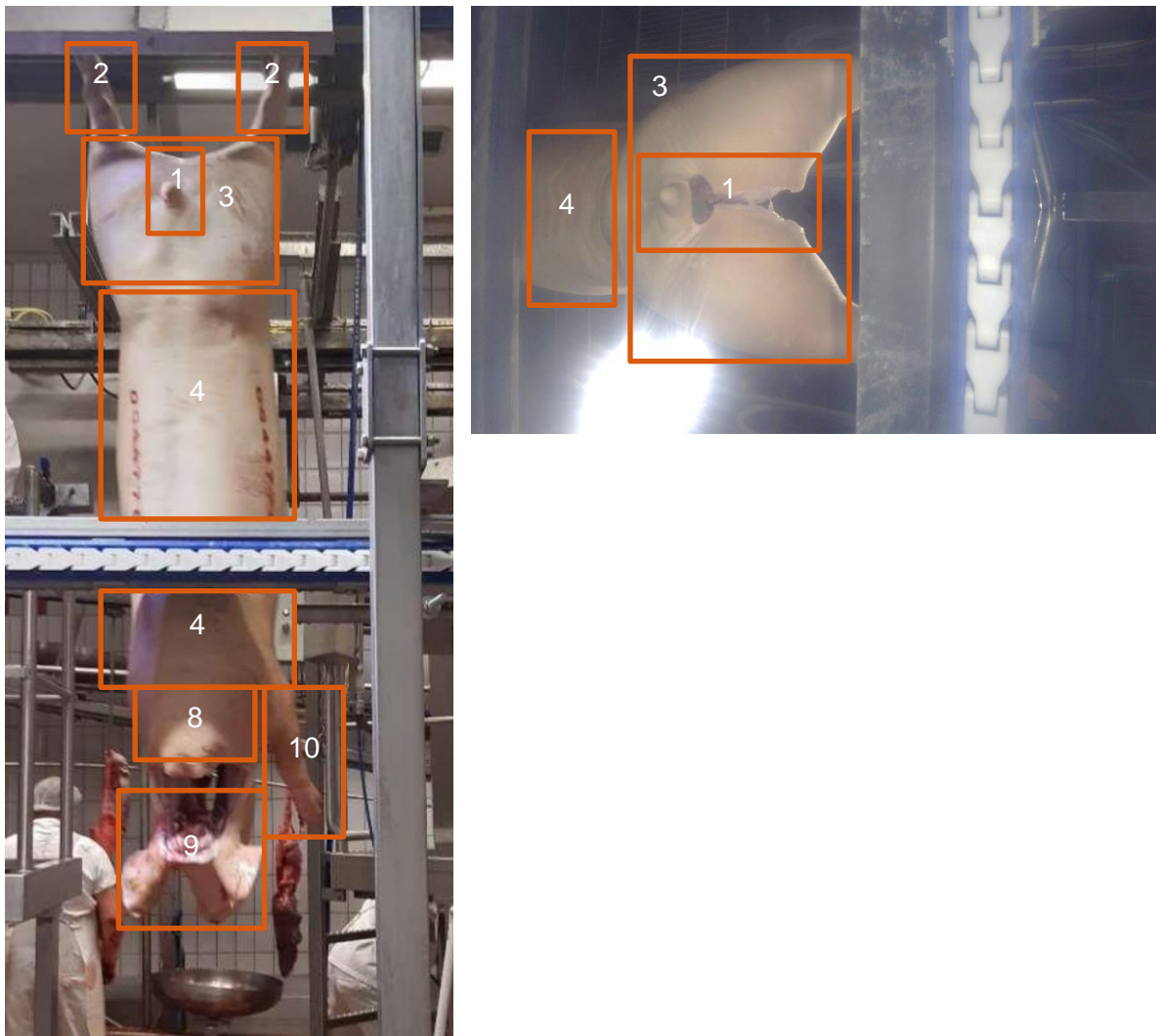


Abbildung 1 Rückenansicht Aufnahme mit dem Smartphone

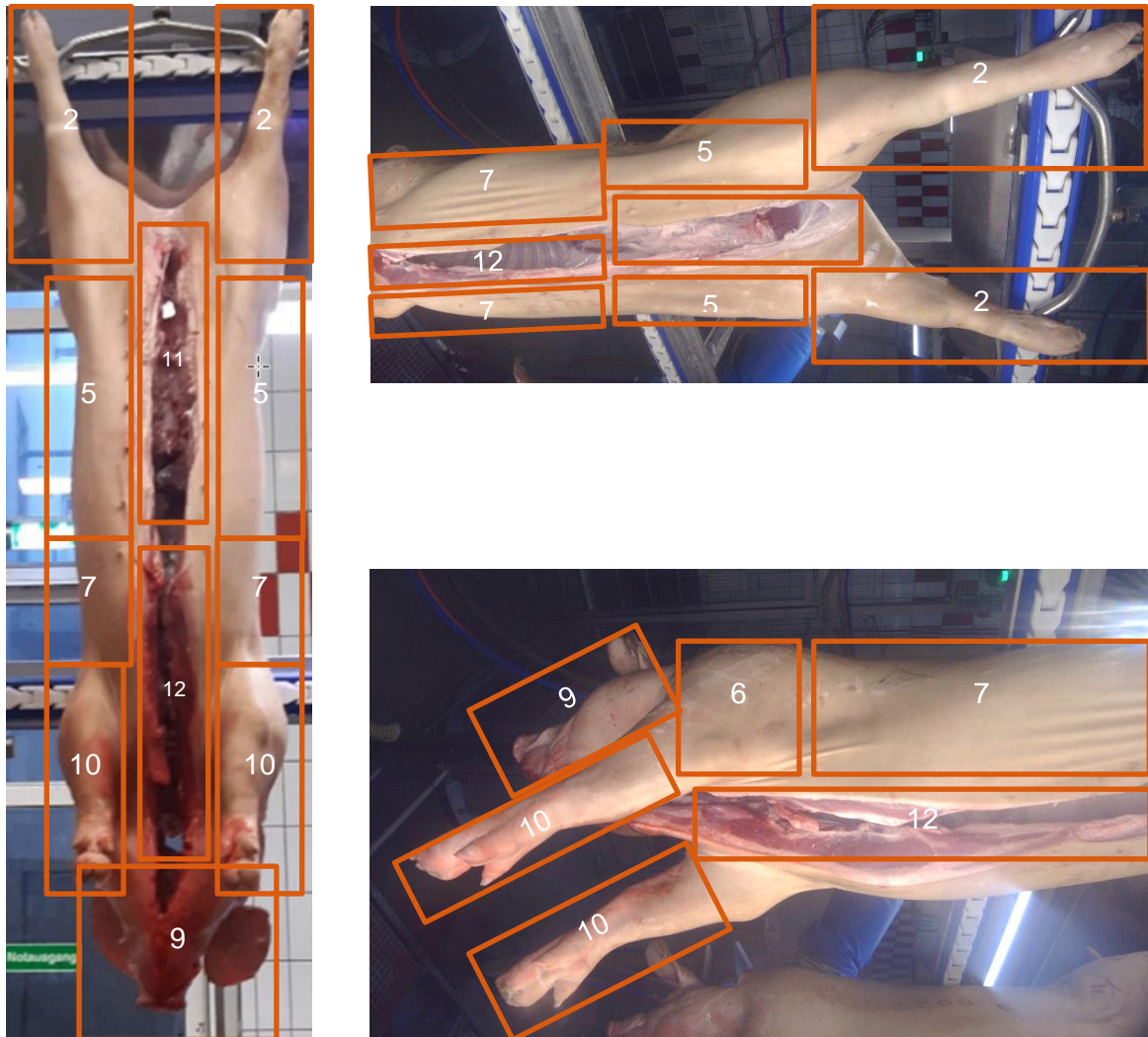


Abbildung 2 Vorderansicht Aufnahme mit dem Smartphone

In Gesprächen mit TLB stellte sich als wünschenswert heraus, dass man den Rücken und den Hinterkopf auch aufnehmen sollte. Da an der Position der Kameras auch ein Roboter montiert war, der das Genick des Tieres durchtrennte, konnte keine weitere Kamera montiert werden.

Von jedem Schwein wurde auf dem Auswerterechner 5 Aufnahmen gemacht und mit einer Schlachtnummer, die der Schlachthof an das Kamerasystem über ein Netzwerktelegramm geschickt hat, verknüpft. Es entstand pro Schwein eine Datenmenge von ~75MB

AP III.2. Implementierung in Schweineschlachtung

Task 1 Integration der Videobildanalyse in den Schlachtprozess (TLB, CLK)

Der PigInspector machte automatisiert 5 Aufnahmen pro Schwein dafür montierte TLB einen Sensor, der erkennt, wann sich ein Schwein vor dem Kamerasystem befindet und sendet das sogenannte Triggersignal an den PigInspector. Der PigInspector macht daraufhin die Aufnahme von den Schweinen. Die Schweineaufnahmen mussten leicht zeitversetzt gemacht werden damit man besser in das aufgeschnittene Tier schauen konnte. Es wurden die Bauchseite von 4 Kameras aufgenommen. Oben links, unten links oben rechts, unten rechts. Gelangte das beförderte Schwein in den Kamerabereich wurde zuerst die Kameras oben links und unten links aktiviert. Damit man besser in den linken Teil des Brust- Bauchraum des Tierkörpers aufnehmen kann. Wurde das Schwein weiter entlang transportiert wurde die Kamera oben rechts unten rechts und die Schinkenkamera aktiviert. So konnte man besser den rechten Körperinnenraum aufnehmen. Das zweite Triggersignal wurde künstlich vom PigInspector generiert. Die zeitversetzte Aufnahme wurde ursprünglich nicht eingeplant und die Idee entstand erst im Projektverlauf und bedurfte zusätzliche Programmieraufwands.



Abbildung 3 Im Vordergrund 4 Kameras der Bauchseite, im Hintergrund die Schinkenkamera

Task 5: Implementierung automatische Bildanalyse/Feedbacksystem

CLK, TLB und OWL implementierten regelmäßige Besprechungen der Entwicklungsergebnisse des Algorithmus. OWL und TLB sichteten unabhängig das Bildmaterial, dass der Pigin-spector vollautomatisch gemacht hat und wählten die Bilder die Kontaminationen aufweisen sollten. Diese Bilder wurden der CLK bekannt gemacht. Die CLK hat die Bilder per Internet von dem Kamerarechner runtergeladen und auf den CLK-Annotierungs-Server kopiert. Die

Bilder wurden dann von den Fachexperten der OWL und TLB hinsichtlich ihrer Befunde annotiert. Dafür wurde im Bild ein Rechteck um jede Kontamination gelegt(annotiert) und es wurde die Kontaminationsart ausgewählt. Da die Experten unabhängig voneinander gearbeitet haben waren die Unterschiede teils sehr deutlich. Die Annotierungen wurden dann in Meetings gegenübergestellt und die Fachexperten mussten sich dann gemeinsam auf eine Annotierung einigen.

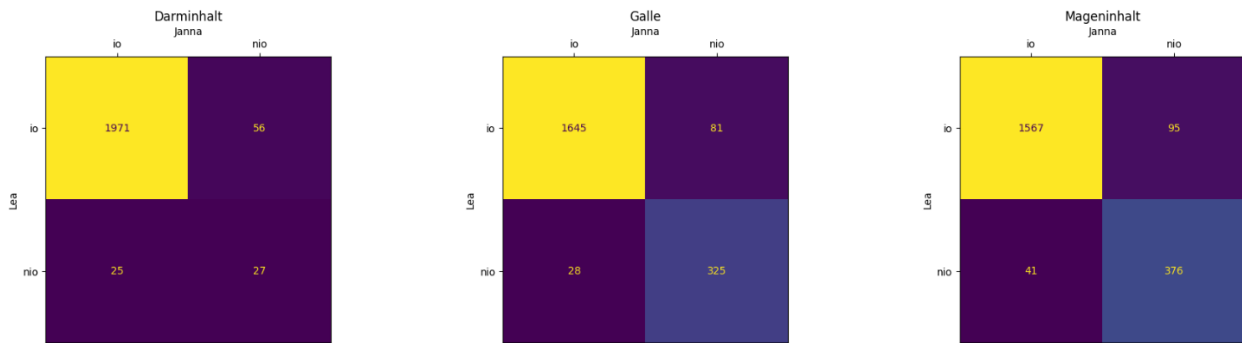


Abbildung 4 Vergleich der Annotierungen der 2 Experten.

Mit diesen konsolidierten Informationen Bild + Annotierung + Kontaminationsart wurde ein Modell trainiert. Die Resultate des Trainings wurden dann mit den Fachexperten besprochen. Dieser Prozess wurde mehrmals durchlaufen. Das Ergebnis dieses Prozesses ist, dass je mehr widerspruchsfreie annotierte Bilder in das Training einfließen man bessere Ergebnisse bekommt. Da nur widerspruchsfreie Bilder verwendet wurden, reduzierte sich die Bildmenge für das Training signifikant. Da die Häufigkeit des Auftretens der Darminhaltskontamination am geringsten war sind dort die Ergebnisse am schlechtesten.

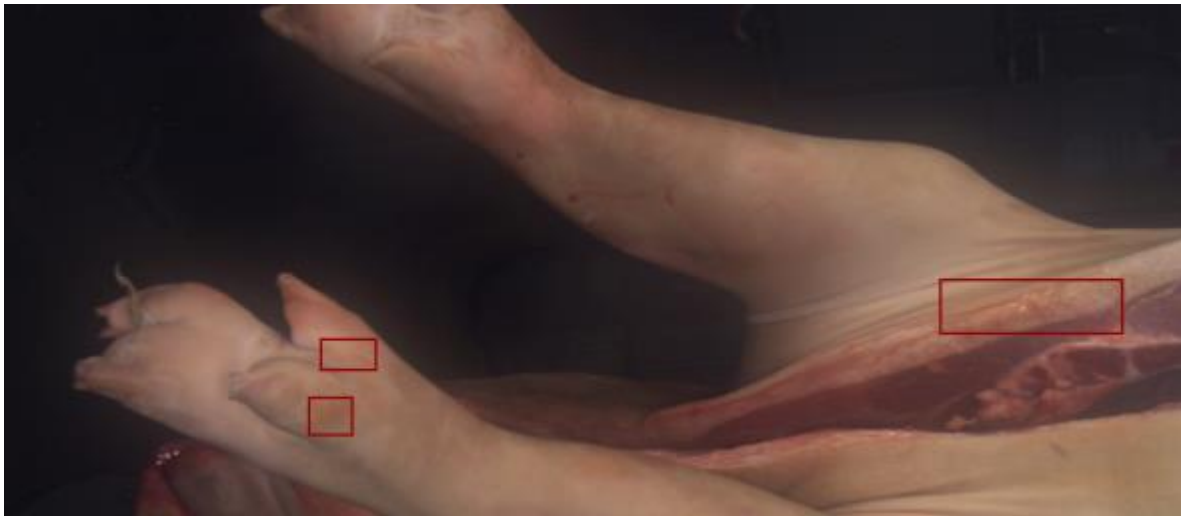


Abbildung 5 Beispielhaftes Bild für Annotierungen

Damit man die erkannten Kontaminationen eindeutig einem Schwein zuordnen kann wurde jede Schweineaufnahme eine Schlachtnummer im PigInspector zugeordnet und die abgespeicherten Schweinebilder enthalten die Schlachtnummer des Schweins im Dateinamen. Zusätzlich verfügt der PigInspector über die Möglichkeit die Befunde über ein Netzwerktelegramm zu verschicken. Zudem hat der PigInspector die Möglichkeit ein sogenanntes Feedback per Mail zu verschicken, falls eine Betriebsstörung des PigInspectors vorliegt. Der Schlachthof wird dadurch in die Lage versetzt selbst gezielt ein Problem zu lösen.

Da der PigInspector nicht nur das Schwein aufnimmt, sondern auch unwichtigen Hintergrund wurde ein Algorithmus entwickelt, der das Schwein vom Hintergrund segmentiert und man nur Befunde auf dem Schwein detektiert.

6 Ablauf der Algorithmus Entwicklung

Eine zentrale Anforderung an den entwickelten Algorithmus zur Erkennung von Kontamination ist die objektive Bewertung des Algorithmus bei jeder Kontaminationsart. Aus diesem Grund wurden zunächst Bilder aus fünf verschiedenen Perspektiven gesammelt (Kamerakonfiguration des PigInspectors) und wurden auf Grund der eher geringen Prävalenz der Kontaminationen vorsortiert in relevante (Schweine mit Kontamination) und irrelevante (Schweine ohne Kontamination) Bilder sortiert. Diese Einteilung wurde durch zwei Experten der Firma Tönnies und der TiHo Hannover durchgeführt. Diese Sortierung sollte nicht nach streng wissenschaftlichen Kriterien erfolgen, sondern dazu dienen eine Arbeitsgrundlage zu schaffen. Diese sortierten Bilder hat die CLK runtergeladen und in ein Annotierungstool geladen. In einem nächsten Schritt wurden diese Bilder den zwei Experten dann zur genaueren Bewertung vorgelegt. Unabhängig voneinander suchten bewerteten diese die Kontaminationen auf dem Schwein. Dabei wurde jede Kontamination auf dem Schwein mit einem Rechteck markiert und die Position abgespeichert. In diesem Kontext spricht man von Annotierung der Fehlstellen. Die Annotierungen beider Experten wurden dann in einer gemeinsamen Diskussion miteinander besprochen. Insbesondere wurden die Fehlstellen diskutiert, bei denen eine Diskrepanz in der Auswahl der Kontamination, d.h. Rohrbahnfett, Mageninhalt, Darminhalt, Galle, oder in der Auswahl der Größe bestand. Für diese sogenannten uneindeutigen Stellen wurde dann eine einstimmige Entscheidung getroffen. Konnte sich nicht auf eine Bewertung geeinigt werden, wurde diese potenzielle Kontamination als irrelevant eingestuft. Die eindeutigen Bewertungen wurden anschließend für die Entwicklung eines Detektionsalgorithmus verwendet. Für die Entwicklung eines Algorithmus in diesem Bereich (Bildverarbeitung) werden die Daten typischerweise in Trainings-, Validierungs- und Testdaten eingeteilt. Das Verhältnis dieser Mengen entspricht gängigen Normen. Mit Hilfe der Trainings- und Validierungsdaten wurde ein auf dem Netz-Architekturtyp YOLO basierendes DeepLearning-Modells ein Algorithmus entwickelt, der die Kontaminationen zu einem gewissen Maße detektiert und voneinander unterscheiden kann. Detektionen, die eine Region im Hintergrund zeigen, sich also nicht auf dem Schlachtkörper befanden, wurden in einem Nachbearbeitungsschritt automatisch herausgefiltert, um die Güte der insgesamt automatischen Bewertung zu erhöhen. Eine Besonderheit stellt die Kontaminationsart „Mageninhalt“ dar. Diese zeichnet sich häufig durch viele sehr kleine Stellen auf dem Schlachtkörper aus. In diesem Fall wurden die gefundenen potenziellen Mageninhaltstellen nach ihrer Anzahl und Verteilung auf dem Schwein nachbewertet. So wurde schlussendlich ein Schwein als mit Mageninhalt kontaminiert bewertet, wenn die Anzahl als auch die Verteilung der gefundenen Stellen plausibel war. Dies verringerte die Anzahl von Falsch-Positiven für die Kontaminationsart „Mageninhalt“.

Wegen der teils geringen Anzahl von Beispielen für Darminhalt als auch die relativ hohe Uneinigkeit bei der Bewertung einiger Beispiele, führte dazu, dass zwar im Ganzen eine Detektion von Kontaminationsarten möglich ist (d.h. es existiert ein deutlicher Trend in der Erkennung von Kontaminationen), aber für die Weiterentwicklung noch mehr eindeutige annotierte Bilddaten gesammelt werden müssen. Der zeitintensive Prozess Bilder sortieren, Bilder annotieren und die anschließende Diskussion wiederholte sich mehrmals.

6.1 Schlussfolgerung Ausblick

Da die Ergebnisse der Darmkontaminationen nicht zufriedenstellend sind kann das kamera-gestützte System nicht das geschulte Fachpersonal ersetzen, da das System **alle** Kontamina-tionen gleichgut erkennen muss. Das System kann höchstens als Hilfestellung für den menschlichen Bewerter am Band angesehen werden, der z.B. einem auf einem Monitor Vor-schläge macht aber am Ende das geschulte Personal entscheiden muss.

Die Ergebnisse zeigen, dass es eindeutig auf die Bildmenge ankommt und die Qualität der Annotationen. Da die Kontamination quantitativ unterschiedlich ausfallen und vor allem in Be-zug auf den Darminhalt diese Kontaminationsart sehr selten auftritt, ist die Erstellung eines sehr guten Erkennungsmodells eher schwierig. Die am Anfang von den Fachexperten der CLK bereitgestellte Bildmenge reduziert sich für die Algorithmus Entwicklung, da nur die eindeuti-gen widerspruchsfreien Annotationen benutzt werden können. Je mehr man von diesen Bildern in das Training gibt, desto bessere Ergebnisse kann man erwarten. Da die Darminhaltskonta-mination so selten auftritt sind die Ergebnisse im Vergleich zu Galle- Magen und Rohrbahn-fettkontamination nicht vielversprechend.

In dem Gesprächen zwischen TLB und der CLK zeigte, sich dass der erreichte Funktionsum-fang des PigInspectors in dem Forschungsprojektes nicht ausreicht um produktiv eingesetzt zu werden. Insbesondere die Erkennungsrate der Darminhaltskontamination ist nicht ausrei-chend und bedarf viel mehr Bilder mit Kontaminationen. Da TLB aber bedacht ist solche Kon-taminationen zu verhindern ist es fraglich ob in realistischer Zeit dies erreichbar ist. Zudem hat TLB Interesse bekundet, dass der PigInspector nicht nur die Befunde, die Gegenstand dieses Forschungsprojektes waren erkennen soll sondern noch zusätzlich Krankheiten.