

## Erfolgskontrollbericht Universität Kassel

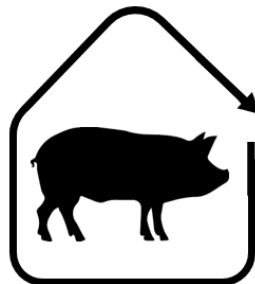
### “PigSys - Verbesserung der Leistungsfähigkeit in der Schweinehaltung durch einen gesamtheitlichen Systemansatz“

Zuwendungsempfänger: Fachgebiet Agrartechnik, Universität Kassel

Projektleitung: Prof. Dr. Oliver Hensel

Förderkennzeichen: 2817ERA08D

Projektlaufzeit: 01.09.2017 – 31.12.2020



**PigSys**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>I. BEITRAG DES ERGEBNISSES ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN</b>	<b>1</b>
<b>II. WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ERGEBNISSE DES VORHABENS</b>	<b>1</b>
II.1. Entwicklung von Bildverarbeitungsalgorithmen für Steuerungszwecke .....	1
II.2. Entwicklung von Datenfusionsalgorithmen .....	2
II.3. Entwicklung von Klimaregelungsalgorithmen auf Basis von Sensordatensätzen.....	3
II.4. Projektmanagement und Verbreitungsaktivitäten .....	3
<b>III. DIE FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS</b>	<b>4</b>
<b>IV. ARBEITEN, DIE ZU KEINER LÖSUNG GEFÜHRT HABEN</b>	<b>5</b>
<b>V. PRÄSENTATIONSMÖGLICHKEITEN FÜR MÖGLICHE NUTZER</b>	<b>5</b>
<b>VI. EINHALTUNG DER KOSTEN- UND ZEITPLANUNG</b>	<b>5</b>

## **I. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen**

Das Projekt "Pigsys - Verbesserung der Leistungsfähigkeit in der Schweinehaltung durch einen gesamtheitlichen Systemansatz" wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) finanziell unterstützt. Während der Projektlaufzeit wurden auf der Grundlage der in der Projektbeschreibung festgelegten Förderziele technische Lösungen entwickelt, die einen multidisziplinären Ansatz auf Systemebene zur Unterstützung von Schweineproduktionssystemen darstellen. Dieses Systemmodell der Massen- und Energieflüsse und das Entscheidungsunterstützungssystem sowie neuartige Gebäudeklimasysteme sollten eine nachhaltige Verbesserung der Systemleistung unterstützen. Durch einen skalenübergreifenden, multidisziplinären Ansatz stellt das Projekt sicher, dass alle für die Entwicklung nachhaltiger, sozialverträglicher und wirtschaftlich tragfähiger Schweineproduktionssysteme relevanten Aspekte angemessen berücksichtigt werden. Die geografische und klimatische Ausgewogenheit, mit Partnern aus verschiedenen europäischen Regionen und unter Einbeziehung von Frankreich, Deutschland und Dänemark als drei der fünf größten europäischen Schweineproduzenten, stellt die Relevanz des Projektes innerhalb der EU und darüber hinaus sicher. Das Ergebnis der Machbarkeit der Technologielösung für das Monitoring von Schweineställen und die Entwicklung eines Managementsystems, das innerhalb der Projektlaufzeit realisiert wurde, leistet einen wesentlichen Beitrag zu den oben genannten förderpolitischen Zielen. Innovative maschinelle Lernverfahren und fortschrittliche statistische Ansätze in verschiedenen Verarbeitungsbereichen des Schweinestallmanagements wurden im Rahmen des Projekts in verschiedenen wissenschaftlichen, ingenieurtechnischen und tierbezogenen Artikeln veröffentlicht.

## **II. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens**

### **II.1. Entwicklung von Bildverarbeitungsalgorithmen für Steuerungszwecke**

Es wurden Bildverarbeitungstechniken entwickelt, die auf digitalen Farbbildern basieren, die aus Videodaten extrahiert wurden. Um Seiten- und Bauchlage zu erkennen, die auf die thermischen Bedingungen des Raums hinweisen, wurden die Grenzen und die konvexe Hülle jedes extrahierten liegenden Schweins berechnet und als Eingabe für das Training der Support Vector Machine (SVM) betrachtet. Die Ergebnisse des linearen SVM-Klassifikators zeigten die Möglichkeit, Seiten- und Bauchlage mit einer Genauigkeit von 94,2 % korrekt zu klassifizieren, mit einer zufriedenstellenden Sensitivität von 94,4 % und einer Spezifität von 94,0 % für den Testsatz. Um eine höhere Leistung zu erzielen, wurden auf künstlicher Intelligenz basierende Überwachungssysteme (Bildverarbeitung und maschinelles Lernen) unter

Erfolgskontrollbericht: "PigSys- Verbesserung der Leistungsfähigkeit in der Schweinehaltung durch einen gesamtheitlichen Systemansatz" (FKZ 2817ERA08D)

Verwendung von Bilddaten entwickelt. Drei Deep-Learning-basierte Detektionsmethoden (d. h. schnellere Regionen mit Faltungsnetzwerk-Merkmalen (Faster R-CNN), Single-Shot-Multibox-Detektor (SSD) und regionenbasiertes volles Faltungsnetzwerk (R-FCN), kombiniert mit Inception V2, ResNet und Inception ResNet V2-Merkmalsextraktionen von RGB-Bildern wurden verwendet. Daten von verschiedenen kommerziellen Betrieben (Frankreich, Dänemark, Deutschland und Schweden) wurden in den Modellen verwendet. Die Ergebnisse zeigten, dass die R-FCN ResNet101-Methode in der Lage war, liegende und stehende Körperhaltungen sowie Aktivitätsmuster von Schweinen mit einer hohen durchschnittlichen Genauigkeit von mehr als 0,93 zu bewerten/erfassen. Dadurch ergaben sich erhebliche Vorteile im Vergleich zu einer früheren Bewertungsmethode (SVM-basiert), die stark von der Ausgabe der Bildverarbeitungsmethode abhängig, was zu einigen falschen Bewertungen der Körperhaltungen führte, die in Deep-Learning-basierten Überwachungstechniken angesprochen wurden.

## **II.2. Verarbeitungsrichtlinien, optimierte Prozesse und Geräte**

Die Daten von den Sensoren auf dem Versuchsbetrieb wurden während mehrerer Durchgänge sowohl für Aufzuchtferkel, als auch für Mastschweine kontinuierlich aufgezeichnet. Um Daten von verschiedenen Standorten innerhalb der Haltungsabteile zu erhalten, wurden die Sensoren an vier verschiedenen Positionen in den Versuchsräumen platziert. Es wurden Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Luftzusammensetzung festgestellt. Um bessere Details über die Luftzusammensetzung des Raums zu erhalten, wurden weitere Sensoren installiert und deren Daten fusioniert. Die Daten der Klimasensoren und deren Interaktionen von vier verschiedenen Positionen in den Versuchsräumen wurden mit der Bootstrap-Forest-Analysemethode analysiert. Die Ergebnisse der Sensordatenanalyse zeigten, dass sich alle aufgezeichneten Parameter zwischen den Messpunkten (Vorder- und hinterer Bereich des Abteiles) und verschiedenen Jahreszeiten unterscheiden. Um die aufgezeichneten Daten auf Tierebene zu untersuchen, wurde ein Käfig entworfen und die Sensoren im Käfig in einer Höhe von ~30 cm über dem Boden installiert. Die Analyse der aufgezeichneten Langzeitdaten zeigte, dass es während des Experiments und an verschiedenen Stellen in den Räumen Schwankungen gab, mit unterschiedlichen Werten für jeden Sensor, insbesondere für NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> und Luftgeschwindigkeit. Dies deutete auf Probleme der Lüftungsanlagen hin, die die Luft nicht gleichmäßig in den verschiedenen Teilen der Räume verteilen können. Die Ergebnisse der Sensordaten zeigten ebenfalls ein unstetiges Muster; insbesondere die NH<sub>3</sub>-Werte waren auf Kopfhöhe der Tiere höher als über der Buchtentrennwand.

### **II.3. Einbeziehung von Interessengruppen**

Es wurden Demonstrator-Hardware und -Software entwickelt. Die minimal erforderlichen Sensorinformationen und die Interaktion zwischen Klimasensordaten wurden identifiziert und die Informationen aus dem visuellen System wurden in einen Standard-Controller integriert. Der Mikrocontroller (Einplatinencomputer) wurde entwickelt und die Bildverarbeitungsüberwachungssysteme wurden auf einen Raspberry Pi übertragen und mit Videodaten unter verschiedenen Anbaubedingungen von beteiligten Partnern getestet. Das am besten abschneidende Modell (R-FCN ResNet101) wurde ausgewählt und in Bezug auf die Genauigkeit und die Leistung der Bilder pro Sekunde getestet. Sensoren wurden in den Raspberry Pi integriert und die optimale Kombination der Daten wurde gefunden und mit neuen Sensordaten getestet. Es wurden Regelungsalgorithmen und Failsafe-Funktionen für die Klimaregelung unter Berücksichtigung von Informationen der visuellen Sensoren entwickelt. Die Steuerung verwendet den Ansatz des Model Reference Adaptive Control System (MRAC). Dabei handelt es sich um ein System mit "closed loop", das eine kontinuierliche Messung und Querprüfung der Parameter durch Messung der Differenz zwischen den Echtzeitdaten und den Referenzdaten ermöglicht, um die Steuerung weiter anzupassen und zu optimieren. Die Echtzeitdaten, die über nicht-invasive Messinstrumente wie Umgebungssensoren und Kamera erfasst werden, dienen als Echtzeitdatensatz und die bekannten Sollwerte wie ppm-Grenzwerte als Referenzdaten. Fail-Safes wurden definiert und befinden sich in der Entwicklung, z. B. Temperatur, die die dynamische Steuerung außer Kraft setzt, wenn die eingestellten Grenzwerte erreicht werden oder Luftzusammensetzung, die die dynamische Steuerung und/oder Temperatur außer Kraft setzt, wenn die Konzentration schädlicher Komponenten zu hoch ist. Die Abbildung gibt einen Überblick über das entwickelte Regelsystem. Die entwickelten Modelle wurden anhand von Video- und Sensordaten aus DK, DE und SE getestet. Eine Simulink-Simulation mit historischen Daten (DE) wurde entwickelt und auf einen Raspberry Pi übertragen. Ein Modell des landwirtschaftlichen Betriebs wurde gebaut und Sensoren und Kameras an den Raspberry Pi montiert. Liegemuster von 3D-gedruckten Schweinen und Umgebungssensoren wurden als Eingaben für die Modelle verwendet und das entwickelte Steuerungssystem in Trockenübungen getestet. Dabei wurden die Geschwindigkeit der Ventilatoren und die an die Systemreaktionen angepassten Funktionalitäten getestet. Aufgrund der räumlich-zeitlichen Verteilungsproblematik von Klima und Schadgasen bei unterschiedlichen Außenklimabedingungen (wie im Zwischenbericht erwähnt) war die tatsächliche Integration nur möglich, wenn die Lüftungsprobleme gelöst wurden. Studien zu Sensordaten, Liegemuster und Positionen der Schweine in DE und SE zeigten, dass die große Variation in Größe, Futteraufnahme und Ausscheidungsverhalten der Schweine in verschiedenen Buchten innerhalb eines Abteils die Implementierung der entwickelten Kontrollsysteme in der realen Landwirtschaft unpraktisch macht.

Erfolgskontrollbericht: "PigSys- Verbesserung der Leistungsfähigkeit in der Schweinehaltung durch einen gesamtheitlichen Systemansatz" (FKZ 2817ERA08D)

## II.4. Projektleitung und Verbreitungsaktivitäten

Stakeholder aus allen Partnerländern wurden informiert und in das Projekt einbezogen. Um das Projekt international zu präsentieren, nahmen die Partner an Konferenzen teil. Die Projekt-Website wurde entwickelt und regelmäßig aktualisiert, basierend auf den neuesten Ergebnissen des Projekts (<http://pigsys.eu/>). Die Partner veröffentlichten Presseartikel in ihren lokalen Zeitungen/Magazinen über die Projektergebnisse. Um das Projekt in der Öffentlichkeit zu präsentieren, wurden die Accounts in den sozialen Medien regelmäßig über den Projektfortschritt, Veröffentlichungen usw. aktualisiert (<https://www.researchgate.net/project/PigSys-Improving-pig-system-performance-through-a-whole-system-approach>).

Um die Sichtbarkeit des Projekts zu erhöhen, wurden Videoclips über die Ergebnisse der einzelnen WP produziert. (<https://www.youtube.com/watch?v=OJL9u5M9C3k&list=PLFnwoEx7IG9shR4sPEwIRlxZZudiGQ2u&index=9>).

Einige Partner hielten Workshops über ihre Projektergebnisse ab und gaben praktische Empfehlungen für die teilnehmenden Landwirte. Es wurden Schulungsmaterialien für Landwirte erstellt, um sie über die Vorteile des Einsatzes der sensorbasierten Überwachung von Schweinebetrieben zu informieren. Es wurde eine Zusammenarbeit mit SusPig Sus PigSys-Projekten in einer Sonderausgabe (SI) der Zeitschrift "Sustainability" durchgeführt. ([https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special\\_issues/Sustainable\\_Pig\\_Production](https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/Sustainable_Pig_Production)).

Der Koordinator hat das Gesamtprojektmanagement durchgeführt, die Kommunikationsstruktur überwacht und den Projektfortschritt kontrolliert. Der Koordinator erstellte ein Risikoregister für das Projekt. Die Leiter der Arbeitspakete überprüften das Risikoregister, um eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Risikos vorzunehmen und einen Notfallplan zu erstellen. Jährliche und regelmäßige Treffen wurden organisiert, abgehalten und es wurde darüber berichtet.

## III. Die Fortschreibung des Verwertungsplans

Das bestehende Projektkonsortium, bestehend aus 8 Partnern, konnte erfolgreich ein Entscheidungsunterstützungssystem, bestehend aus einem mechanistisch, dynamisch und deterministischem Modell, künstlicher Intelligenz und statistischer Modelle zur Überwachung, Bewertung und Optimierung der Klimakontrolle und des Managements von Schweinebetrieben generieren. Die Universität Kassel als Koordinatorin profitiert von den Ergebnissen des Projektes in mehrfacher Hinsicht. Durch die nachgewiesene Machbarkeit der Verbesserung von Schweinehaltungssystemen und die Entwicklung von Algorithmen zur Überwachung des Tierverhaltens ist die Universität Kassel zuversichtlich, das generierte Wissen

Erfolgskontrollbericht: "PigSys- Verbesserung der Leistungsfähigkeit in der Schweinehaltung durch einen gesamtheitlichen Systemansatz" (FKZ 2817ERA08D)

direkt in die Praxis umzusetzen und Unterstützung bei den Herausforderungen der Tierhalter zu leisten. Mit diesem Projekt wurden zukunftsweisende und praxisnahe Forschungsergebnisse erzielt, die einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigeren Verarbeitung und dem Ausbau der Forschung auf diesem Gebiet an der Universität Kassel leisten. Das umfangreiche Know-how ermöglicht zum einen die Ausbildung und gezielte Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf diesem Gebiet und zum anderen die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse in wissenschaftlichen Artikeln. Dies ist mit einem unmittelbaren wissenschaftlichen Fortschritt und Gewinn verbunden.

#### **IV. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Die beobachtete räumlich-zeitliche Verteilung der stallklimatischen Sensordaten schlossen die Verwendung des geplanten zu entwickelnden Steuerungsalgorithmus für eine optimierte Klimaführung der Haltungsabteile aus. Aufgrund der vorgefundenen raumluftechnischen Gegebenheiten war es nicht möglich, die Steuerungen in den Betrieben in DE, wie ursprünglich vorgeschlagen, physisch zu integrieren. Stattdessen wurden die gesammelten Sensordaten zu Testzwecken direkt in ein Modellalgorithmus eingespeist und als physischer Prototyp gebaut und validiert. Es wurde auch bestätigt, dass physikalische Bedingungen der raumluftechnischen Anlagen für raum-zeitliche Unterschiede verantwortlich sind, die sich auf das Wohlbefinden und die Wachstumsrate der Tiere auswirken können.

#### **V. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Die Ergebnisse des Projekts wurden im Rahmen von wissenschaftlichen Konferenzen, vor allem aber in Seminaren und Workshops für Praktiker vorgestellt (siehe II.4). Mehrere Papers wurden bereits in High-Impact-Journals veröffentlicht, eine Reihe von Konferenzbeiträgen wurde geleistet und Artikel in Stakeholder-Medien wurden publiziert. Darüber hinaus wurden wichtige Forschungsergebnisse und praktische Erkenntnisse unserer Forschung im Projekt in der Zeitschrift Pig Progress veröffentlicht, die ein internationales Publikum aus Landwirten, Züchtern, Tierärzten und Dienstleistern hat.

(<https://www.pigprogress.net/Home/General/2020/11/Combining-sensors-for-better-climate-control-661447E/>)

#### **VI. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung**

Die Projektkosten lagen im Wesentlichen im Plan.