

**Teil I.: Kurze Darstellung**  
**des**  
**Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben**

Smart Multisensor Integration for Livestock Care  
**smartMILC**

Förderkennzeichen: 28DK110C20

Kontaktdaten Antragsteller:

Projektleitung: Daniel Mentrup

Zuwendungsempfänger: iotec GmbH

Albert-Einstein-Str. 30, 49076 Osnabrück

Berichtersteller: Daniel Mentrup, Daniel Kümper

Projektdauer: 15.09.2021 – 14.09.2024

Berichtszeitraum: 15.09.2021 – 14.09.2024

Projektpartner:

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)

iotec GmbH

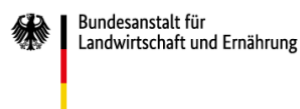
proPlant Agrar- und Umweltinformatik GmbH

dropnostix GmbH

Gefördert durch:



Projekträger



## I. Kurze Darstellung

### 1. *Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde.*

Mit einem Produktionswert von rund 14,5 Milliarden Euro im Jahr 2023 ist die Milchviehhaltung einer der wichtigsten Betriebszweige der deutschen Landwirtschaft. Jedoch ist die Zahl der Rinderhaltungsbetriebe in Deutschland aufgrund der schwierigen Produktions- und Vermarktungsbedingungen rückläufig, so dass die Herdengrößen steigen. Bereits heute leben zwei Drittel aller Rinder in Herden mit mehr als 100 Tieren. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen sowohl bezüglich des Tierwohls als auch bezüglich der Arbeitsorganisation.

Diesen Herausforderungen kann durch den Einsatz moderner Technologien, Digitalisierung und künstlicher Intelligenz begegnet werden und die Anwendungsbereiche für künstliche Intelligenz im Milchviehstall sind vielfältig. So wurden in Studien Anwendungsfälle wie beispielsweise die Einzeltiererkennung (Hossain et al., 2022), die Bestimmung des Body Condition Scores (Song et al., 2019; Kojima et al., 2022), des Körpergewichts (Hansen et al., 2018) oder von Lahmheiten (Wu et al., 2020; Jiang et al., 2022) mit Hilfe von KI erforscht. Jedoch sind bisherige Anwendungen meist geschlossene Systeme, die nicht miteinander in Interaktion treten können. Darüber hinaus werden für bisherige Lösungen in den angesprochenen Bereichen meist Sensoren am Tier verwendet (Pansenboli, Halsbandsensoren etc.), welche stets eine zusätzliche Stressbelastung für das Tier darstellen. Das Projektvorhaben smartMILC erprobt daher den Einsatz von tierunspezifischen Multisensorverbänden und der Verarbeitung ihrer Daten durch KI im Rahmen eines integrativen Systems für den Milchviehstall. Ziel ist es, durch die Erschaffung eines „digitalen Zwilling“ der Ställe landwirtschaftliche Prozesse zu vereinfachen und digital abzubilden. Das Konsortium entwickelte hierfür intelligente Interaktionen zwischen drei Funktionskreisen (Sensorsystem, kognitives System, Oberfläche) zur KI-basierten Analyse der Aktivitäten im Milchviehstall. Das System leitet Handlungsempfehlungen in den Bereichen Tiergesundheit, Arbeitsorganisation und Stallmonitoring ab und stellt sie Landwirtinnen und Landwirten über eine Oberfläche – beispielsweise in Form eines Frühwarnsystems bei möglichen Verletzungen oder Krankheiten einzelner Tiere - zur Verfügung. Das smartMILC-Projektvorhaben profitierte dabei in besonderer Weise von der Interdisziplinarität des Konsortiums. Die Lösung adressiert eine kontinuierliche Arbeits- und Managementunterstützung und stellt die kontinuierliche, einzeltierbezogene Auswertung der Tiergesundheit in den Vordergrund. Für die Erprobung standen die Testställe der LVAT Groß Kreuz und das Haus Düsse zur Verfügung. Die technische Realisierung erfolgte durch das DFKI, iotec und proPlant. Das ATB ist maßgeblich an der Identifikation von Anwendungsfeldern des kognitiven Systems sowie der Definitionen von Goldstandards zur Ableitung der Tiergesundheit und Handlungsanweisungen beteiligt gewesen. Eine Schnittstelle in die bestehende industrielle Praxis sollte durch die Integration der digitalen Schwachstellenanalyse „CowsAndMore“ erschlossen werden. Die Anbindung an andere digitale Schnittstellen im Stall sollte ausgelotet werden.

### 2. *Ablauf des Vorhabens*

Mit Zuwendungsbescheid nahm das smartMILC-Konsortium seine Arbeit am 01.12.2021 auf, obwohl auch vor diesem Termin bereits Online-Meetings stattfanden. Die frühe Zusammenarbeit des Konsortiums wurde dabei durch die Corona-Pandemie zunächst erschwert. Nach der Kick-Off-

Veranstaltung wurde der Ablauf des smartMILC-Projekts wesentlich durch die nachstehenden Arbeitspakete geprägt:

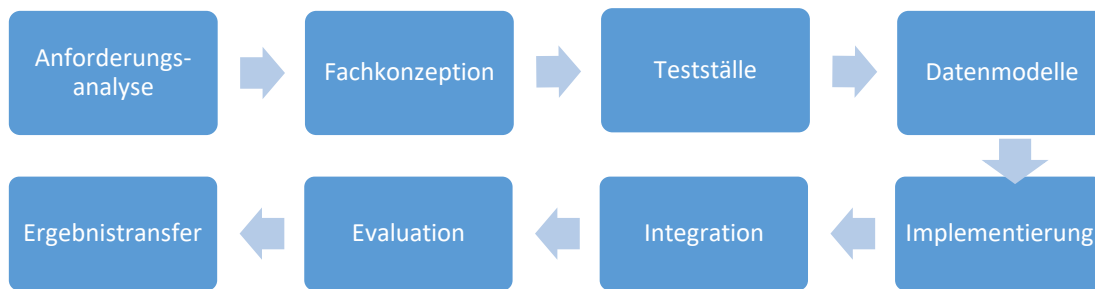


Abbildung 1: Arbeitspakete

Zusätzlich nahm auch die Öffentlichkeitsarbeit als Grundlage für einen gelingenden Wissenstransfer in die entsprechenden Branchen und die Gesellschaft eine wichtige Rolle ein. Am 14. September 2024 endete die Laufzeit des Projekts. Das Projekt wurde planmäßig zum 14.09.2024 abgeschlossen.

### 3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Das smartMILC Konsortium definierte fünf relevante Anwendungsfelder (Optimierung des Abliegens, Erkennung und Reduktion von Hitzestress, Arbeitstagebuch für den Stall, Monitoring des Stalls und der Herde, Tracking der Tiergesundheit). Das Anlegen eines Arbeitstagebuches wurde schlussendlich aufgrund datenschutzrechtlicher Erwägungen wieder verworfen, da das Tracking der Mitarbeitenden im Stall dafür unabdingbar gewesen wäre. Die anderen vier Anwendungsfälle wurden weiterentwickelt. Bezüglich der Anwendungsfelder „Tiergesundheit“, Optimierung des Abliegens und „Erkennung und Reduktion von Hitzestress“ wurden „Goldstandards“ erarbeitet, auf deren Grundlage auffälliges Verhalten erkannt werden sollte. In beiden Ställen wurden erfolgreich - vornehmlich visuelle - Sensorsysteme konzipiert und installiert. In einer späteren Projektphase wurde das Sensorsystems des einen Stalls weiterentwickelt, so dass zwei unterschiedliche Sensorsysteme verglichen werden konnten. In beiden Ställen wurden mittels der Sensoren Test- und Trainingsdaten für die Entwicklung von KI-Modellen generiert. Die dreisystemische Softwarearchitektur wurde erfolgreich konzipiert. Insbesondere wurde jedes der Systeme dynamisch konzipiert, sodass spätere (auch über das Projekt hinausgehende) Erweiterungen leicht möglich sind (zusätzliche Sensoren, Anwendungsfälle etc.). Die Softwarearchitektur wurde erfolgreich implementiert und iteriert. Das finale Sensorsystem profitierte vor allem vom Einsatz von 360° Kameras und erreichte einen Technologiereifegrad (TLR) der Stufe 7-8. Das Assistenzsystem fokussierte sich auf das Stallmonitoring (bspw. Die Erkennung unbenutzter Boxen und Flächen im Stall), das Erkennen von Liege- und Ablegeverhalten, und dem Zusammenhang von Herdendynamik und Temperatur. Die ihm zugrunde liegenden Computer Vision KI-Modelle waren zum Ende des Projekts unterschiedlich ausgereift. Modelle zum Erkennen von Tieren erreichten eine Genauigkeit von 97.04%, Modelle zum Erkennen von Steh-, Liege- und Ablegeverhalten erreichen eine Genauigkeit von 93.02%, Das Modell zur Erkennung von Einzeltieren erreichte eine Genauigkeit von 45.43%. Bekannte mögliche Verbesserungen werden veröffentlicht (s. ausführlicher Bericht AP8). Das Assistenzsystems wurde bisher nur auf Videomaterial auf den Ställen und nicht auf Live-Daten getestet und erreicht damit einen TLR von 4. Die Oberfläche wurde erfolgreich implementiert, und erreicht einen TLR von 6-7. Alle Systeme wurden erfolgreich zusammengeführt. Alle Ergebnisse wurden durch diverse Veröffentlichungen, Vorträge, Artikel und Messarbeiten für Gesellschaft und Wissenschaft zugänglich

gemacht. Der entstandene Demonstrator wird in den Leibniz-Innovationshof (<https://www.atb-potsdam.de/de/forschung/forschungsinfrastruktur/leibniz-innovationshof>) integriert.

**Teil II.: Eingehende Darstellung**  
**des**  
**Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben**

Smart Multisensor Integration for Livestock Care  
**smartMILC**

Förderkennzeichen: 28DK110C20

Kontaktdaten Antragsteller:

Projektleitung: Daniel Mentrup

Zuwendungsempfänger: iotec GmbH

Albert-Einstein-Str. 30, 49076 Osnabrück

Berichtersteller: Daniel Mentrup, Daniel Kümper

Projektdauer: 15.09.2021 – 14.09.2024

Berichtszeitraum: 15.09.2021 – 14.09.2024

Projektpartner:

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)

iotec GmbH

proPlant Agrar- und Umweltinformatik GmbH

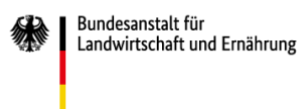
dropnostix GmbH

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projektträger



## II.1 Eingehende Darstellung (max. 20 Seiten, wird veröffentlicht)

### Ziele des smartMILC-Projekts

Das Ziel des smartMILC-Projekts ist die Verbesserung der Tiergesundheit und die Unterstützung der Landwirtinnen und Landwirte bei der Arbeit. Durch die Integration eines Sensorsystems, KI-basierter Datenverarbeitung, eines Kognitiven Systems und einer App oder Website wird ein digitaler Stall entwickelt. (Abbildung 2). Diese Anwendung soll Landwirt:Innen eine schnelle Übersicht über die Geschehnisse in ihrem Stall erlauben. Gleichzeitig soll ein Frühwarnsystem auf auffälliges Verhalten der Tiere hinweisen. Damit sollen Krankheiten wie Lahmheit, Störfaktoren im Stall etc. frühzeitig erkannt werden. Das ganze System soll außerdem ohne Sensorik am Tier auskommen, um auf zusätzliche Stressoren zu verzichten.

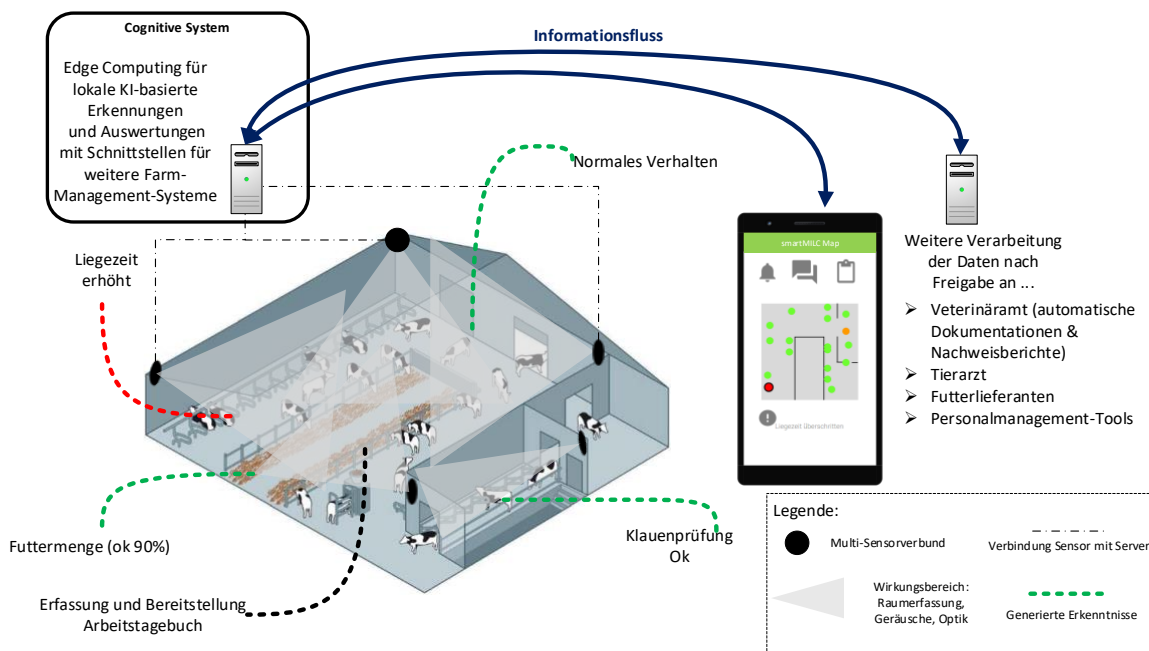


Abbildung 2: Darstellung der drei smartMILC Systeme

Der Zeitplan umfasste die Meilensteine „Fachliche Untersuchung“, „Technische Konzeption & Umsetzung“ sowie „Evaluation & Transfer“ mit seinen entsprechenden Phasen (Abbildung 3).

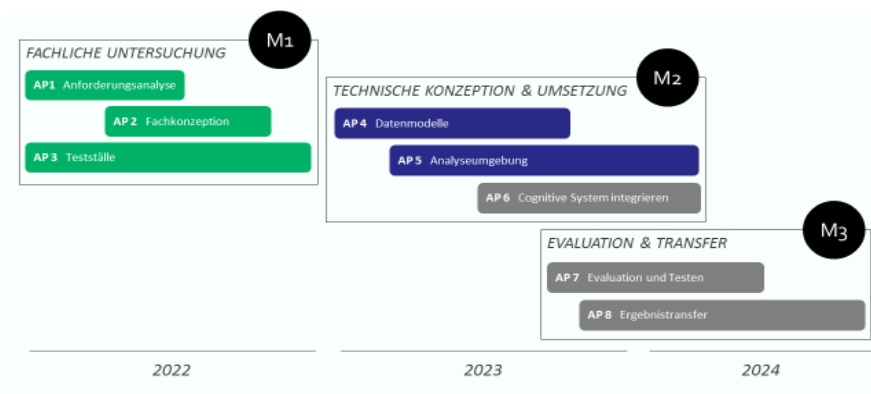


Abbildung 3: Darstellung der Meilensteine

Die Arbeit des Konsortiums innerhalb der Arbeitspakete soll im Folgenden eingehender dargestellt werden:

### Arbeitspaket 1: Anforderungsanalyse

Den bereits im Antrag festgelegten Fokusbereiche wurden Anwendungsfälle zugeordnet. Im Bereich „Tierwohl und Tiergesundheit“ wurden die Anwendungsfälle „Optimierung des Abliegens“ sowie „Erkennung und Reduktion von Hitzestress“, im Bereich Arbeitsunterstützung die Anwendungsfälle „Arbeitstagebuch für den Stall“ und „Monitoring des Stalls und der Herde“ und im Bereich „Nachweis und Dokumentation“ der Anwendungsfall „Tracking der Tiergesundheit“ definiert.



Abbildung 4: Darstellung der Anwendungsfälle

In einem zweiten Schritt wurde eine IST- und SOLL-Analyse durchgeführt, die zur Ausrichtung des smartMILC-Lösungsansatzes an der aktuellen Situation in den Testställen, den realen Bedarfen in der Praxis sowie dem Stand in der Forschung diente. Für jeden Anwendungsfall wurden auf Basis von Recherche und Experteninterviews so genannte „Goldstandards“ definiert. Aus diesen wiederum wurden messbare Parameter, sowie passende Parameterintervalle und Grenzen abgeleitet, die später als Wissensgrundlage des Assistenzsystems dienen sollte.

Eine detaillierte Analyse aktueller Marktlösungen identifizierte die zu besetzende Leerstelle eines dynamischen, integrativen Systems, das insbesondere ohne Sensorik am Einzeltier auskommt.



Abbildung 5: Darstellung der Marktsättigung

Zusätzlich wurden Interviews und Expertenrunden mit Mitarbeitenden der Testställe und diversen Fachexperten durchgeführt. Die Ergebnisse umfassen Angaben zu den Zielen des Projekts, Messmethoden bezüglich der Anwendungsfälle, zur aktuellen Situation und Bedarfen in der Praxis, zum Input der Experten sowie zum abgeleiteten smartMILC-Lösungsansatz. Aus den Anwendungsfällen und Goldstandards wurden funktionale Anforderungen an das zu entstehende kognitive System abgeleitet, sowie dazu benötigte Daten dokumentiert. Dabei wurde eine Priorisierung der Anforderungen vorgenommen und eine Staffelung nach Komplexität der zu erfüllenden Aufgaben des kognitiven Systems. Diese Anforderungen wurden im Arbeitspaket 2 in einem Lastenheft konkretisiert und im Laufe des smartMILC Projekts im kognitiven System umgesetzt. Auf Basis der Arbeiten in AP 1 konnte die iotec GmbH (im folgenden iotec) bei der Festlegung der benötigten technischen Ausstattung für die Testställe definieren, welche in AP 3 umgesetzt wurde. Insbesondere wurde bereits hier die Anbindung des Systems an bereits bestehende Schnittstellen innerhalb der Ställe mitgedacht. Dies umfasste Melkroboter, Futterschieber, Säuberungsroboter und Weitere. Leider stellte sich heraus, dass die Hersteller der genannten Technologien aus ökonomischen Gründen nicht bereit waren Schnittstellen zum Datenaustausch ihrer Technologien für Forschungszwecke zur Verfügung zu stellen. Diese ökonomische Barriere aus dem Weg zu räumen, wird eine Herausforderung kommender Stallmonitoring-Technologien bleiben.

### Arbeitspaket 2: Fachkonzeption

Auf Basis der Ergebnisse aus AP 1 wurde der Lösungsansatz in Arbeitspaket 2 mit einer technischen Architektur, welche die ausgewählten KI-Methoden unterstützt und einer Prozessdefinitionen konkretisiert. Die Fachkonzeption beschreibt den Aufbau der Lösung mit ihren Teilsystemen und Schnittstellen. Fokus war die Festlegung der technischen Architektur, insbesondere durch den Edge-Computing-Ansatz und die Festlegung der KI-Methoden und Modelle. Zunächst wurde eine generalisierbare technische Architektur auf der Makroebene entwickelt (Abbildung 6). Diese umfasst sowohl Hardware- als auch Software-Elemente und soll für verschiedene Anwendungsszenarien gültig sein, in denen auf Basis von Multisensorintegration, Maschine Learning und Expertenwissen intelligente Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen abgeleitet wurden. Die hier dargestellte Architektur wurde nach einem Entwurf im Konsortium mithilfe von zwei Workshops mit Experten angepasst und validiert. Die in diesem Prozess abgeleitete Architektur des smartMILC-Systems gliedert sich in Hardwarekomponenten (links) und Softwarekomponenten (rechts)

Zu den Hardwarekomponenten zählen Intel RealSense D455 Tiefenkameras, die Bilddaten in Form von RGB- und Tiefeninformationen in den Milchviehställen aufnehmen. Um sowohl den Datentransport als auch die Stromversorgung bereitzustellen verwendet das smartMILC-System eine standardisierte Power-Over-Ethernet-Verbindung, die eine Niederspannungsversorgung mit 48 V und bis zu 25 W bietet und gleichzeitig eine Gigabit-Ethernet-Verbindung ermöglicht. Zur Integration in die Architektur ist jeder Kameraknoten mit einem Raspberry Pi 4 Einplatinencomputer ausgestattet, der die USB-basierte Kamerafunktionalität im Netzwerk bereitstellt. Die Kameraknoten sind jeweils zusätzlich mit einem Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor ausgestattet, um an unterschiedlichen Stellen im Stall Informationen über das Mikroklima zu erhalten.

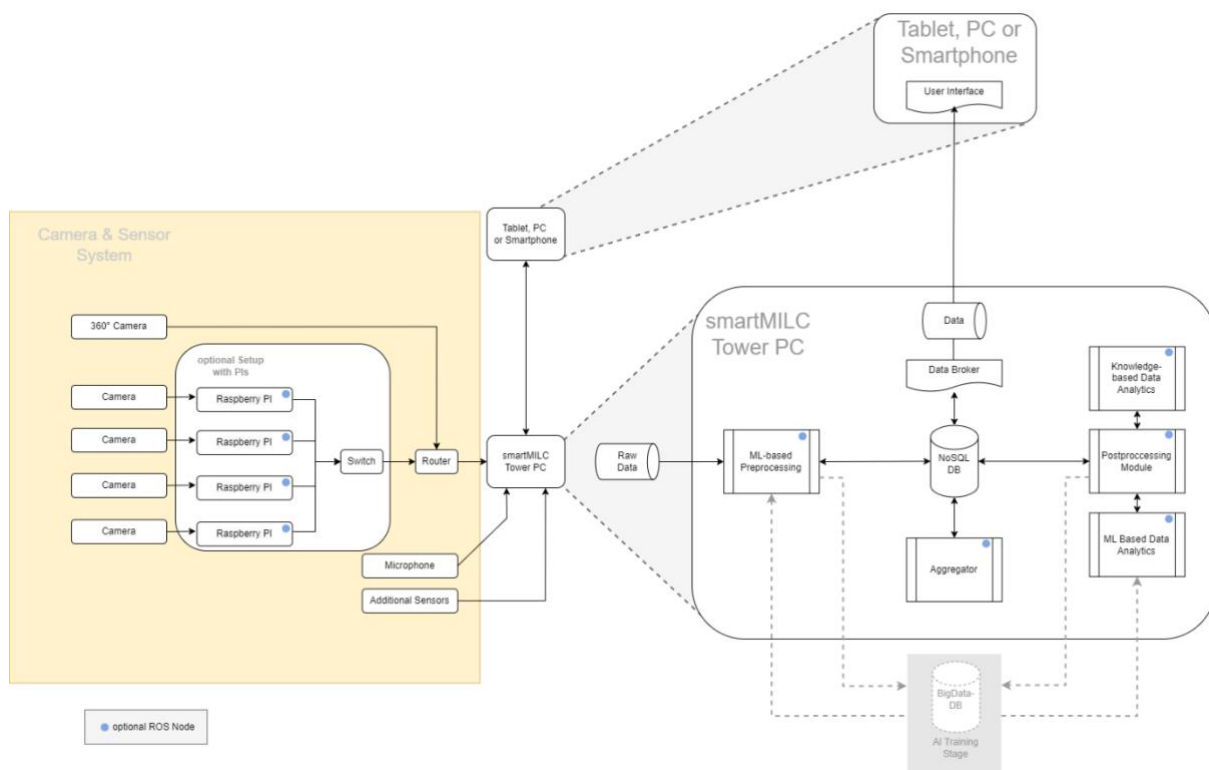


Abbildung 6: Darstellung der Hardware und Softwarearchitektur

Neben den Tiefenkameras wurde mit jeweils einer 360-Grad-Kamera pro Stall ein visueller Überblick über den Stall ermöglicht. Im Rahmen der beschriebenen Architektur kann das Set an Sensoren modular erweitert werden. Zudem ermöglicht diese Architektur auch die Verarbeitung von externen Sensorinformationen, die über Schnittstellen integrierbar sind. Diese Sensorinformationen werden auf einem Rechner im Stall lokal verarbeitet. Aufgenommene Rohdaten wurden ausschließlich zu KI-Trainingszwecken verwendet.

Die Softwarekomponenten regeln die Verarbeitung der aufgenommenen Daten vom rohen Datenstrom bis zur Handlungsempfehlung und durchlaufen dabei alle drei Systeme. Die einzelnen Prozesse sollen im Folgenden beschrieben werden, wie sie in AP2 geplant wurden. Die Prozesse der finalen Iteration der Implementierung finden sich in der Beschreibung von AP6.

Geplante Prozesse:

- Machine-Learning-basiertes Pre-Processing: Informationen verschiedener und heterogener Sensoren wurden konsolidiert und in ein strukturiertes Format überführt. Hier entstehen bereits anspruchsvolle Problemstellungen, z.B. bei der Überführung von mehreren, sich überschneidenden, Bilddatenströmen in tabellarische Informationen zum Abliegeverhalten.
- Danach werden die strukturierten Informationen an einen Datenbroker weitergeleitet, der die Kommunikation der verschiedenen Software-Komponenten mit einer NoSQL-Datenbank verwaltet. Eingehende Informationen werden in der NoSQL-Datenbank gespeichert, und auf Anfragen der Benutzerschnittstelle werden die in der Datenbank gespeicherten relevanten Informationen bereitgestellt.
- Ein Aggregator Modul wird kontinuierlich auf den in der Datenbank gespeicherten Daten ausgeführt und sorgt für eine regelmäßige zeitliche Aggregation der Daten. Dies betrifft zum Beispiel eine Zusammenfassung von Informationen über die Position der Tiere, die sich aus der Gesamtaufenthaltsdauer an der Tränke, den Laufwegen, den Liegeboxen und dem Futtertisch für verschiedene Zeitintervalle wie Tage, Wochen oder Monate ergibt.
- Das Post-Processing Modul greift sowohl auf Expertenwissen in Form von Regeln als auch auf die Machine-Learning-basierte Analyse der strukturierten Daten zurück. So kann für die Analyse der Liegezeiten bestimmter Kühe oder der gesamten Herde zum Beispiel der Vergleich mit von Experten festgelegten idealen Liegezeiten aus der Wissensbasis zielführend sein, genauso aber auch eine Machine-Learning-basierte Anomalieerkennung der Liegezeiten hilfreiche Hinweise liefern. Daher sollen im Rahmen des Post-Processing Erkenntnisse, die mithilfe von Expertenwissen, aber auch mithilfe von Machine Learning gewonnen wurden, zusammengeführt werden.
- Die so gesammelten Erkenntnisse und abgeleiteten Handlungsempfehlungen werden für Nutzende auf einer plattformunabhängigen Benutzeroberfläche zusammengefasst, die auch mobil verfügbar ist.

Eine Beschreibung der technischen Architektur auf Makroebene wurde in einer Publikation des Konsortiums auf der 43. GIL-Jahrestagung veröffentlicht [Gravemeier et al., 2023].

#### Best Practice:

Im Rahmen des Projektes smartMILC wurde durch iotec ein parametrisierbarer und druckbarer Halter für die Kameraknotenkomponenten entwickelt (Abbildung 7). Ziel war es, einen passiv gekühlten Einplatinencomputer direkt an der verwendeten Intel Realsense D455 Kamera zu betreiben, um Limitierungen bei Reichweite und Stromversorgung der Datenübertragung über Highspeed USB 3.1 zu umgehen. Um eine neue 230V Installation im Stall zu vermeiden, wurde hierbei auf die Energieübertragung per Power Over Ethernet (PoE) gesetzt. Erste Versuche,

bei denen der PoE Splitter direkt auf die Raspberry Platine gesteckt wurde, haben gezeigt, dass der kombinierte Energieverlust des Splitters und des Raspberry Pi nicht trivial ohne aktive Komponenten, wie Lüfter, abzuführen ist. Daher wurde das Kameraknoten-Design überarbeitet, der PoE Splitter ausgelagert und der Raspberry Pi in einem passiven Aluminiumkühlkörpergehäuse untergebracht. Nachdem in einem ersten Probelauf die Ausrichtungswinkel der Kameras bei einer Stallinstallation ausgemessen werden, ist es möglich den Kameraknoten explizit für den Installationsort mit den entsprechenden Winkeln per Fused Deposition Modeling (FDM) verfahren aus hitzebeständigem Kunststoff (PETG) zu drucken. Der Halter musste folgenden Anforderungen entsprechen:

- Daten- und Stromübertragung bis 60m
- Unterstützung hoher Temperaturunterschiede
- Kühlung des Einplatinencomputers ohne bewegliche, verschmutzende, mechanische Teile wie Lüfter
- Unterstützung von ROS zur Integration in die Softwarearchitektur
- Unterstützung des Intel Realsense Kamerasystems
- Installation an horizontalen und vertikalen Traversen

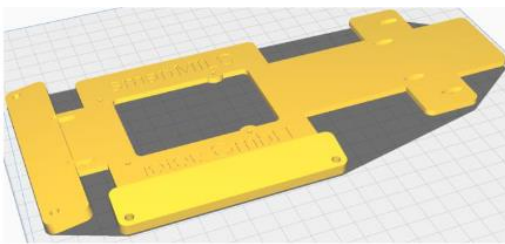


Abbildung 7: Darstellung des druckbaren Kamerahalters

## Fachliche Konzepte im Teilsystem Tiergesundheit

Für die Bewertung des Tierwohls und des Kuhkomforts wurden die Anwendungsfälle aus Arbeitspaket 1 erarbeitet und mithilfe von Parametern und deren Goldstandards definiert [Kurras et al., 2023]. Mithilfe von Computer Vision werden Verhaltensmuster wie bspw. Abliegen, Aufstehen, Liegen, Stehen erkannt und in einem nächsten Schritt mit den aus der Literatur abgeleiteten Goldstandards abgeglichen. Durch die Goldstandards können Grenzwerte festgelegt werden, die eine Bewertung der Tiergesundheit und des Tierwohls ermöglichen.



Am Anwendungsfall des Liegeverhaltens wird in der folgenden Tabelle aufgezeigt, wie beispielhaft aus den Sensordaten anhand der sogenannten Goldstandards bestimmte

Steuerungsprozesse ausgelöst werden können. Ab AP 4 kann die Überführung der Datenmodelle in die Goldstandards erfolgen.

<b>Verhalten</b>	<b>Parameter</b>	<b>Steuerungsprozess</b>
Zeitdauer des Abliegens	Messung der Zeit zwischen Beginn und Ende des Abliegevorgangs	Kuhspezifische Aufzeichnung, Meldung bei Abweichung
Abliegen	Bewegungserkennung anhand von Posen	Bewegung weicht von der als normal definierten ab, Alarm an den Landwirt
Liegezeit pro Tag	Summe der Liegezeiten pro Tag, setzt sich aus allen Liegeperioden des Tages zusammen	Kuhspezifische Aufzeichnung, Meldung bei Abweichung
Hinterbeine außerhalb der Box	Lagebestimmung der Kuh	Anzahl Tiere mit diesen Anzeichen

Anhand der Beispiele wird deutlich, dass die Sensorik zeitliche und räumliche Informationen übermitteln muss, um für die Anwendungsfälle die notwendigen Parameter zu bestimmen. Manche der in den Anwendungsfällen aufgezählten Parameter werden bereits von vorhandener Sensorik, wie Pedometern, Boli ermittelt. Dies ist beispielweise für die Erfassung der Tieraktivität der Fall. Hier sollen die betrieblichen Daten mit den neuen Sensordaten abgeglichen und ergänzt werden.

Die Anwendungsfälle orientieren sich unter anderem auch an dem digitalen Tool ‚CowsAndMore‘, das die objektive direkte Erfassung tierbezogener Merkmale ermöglicht. Das Tool „CowsAndMore“ sieht jedoch nur zweimal im Jahr eine Bewertung vor und gibt keine Auskunft über die Person. Zur Bewertung der Liegeboxenqualität wird die Anzahl der Kühe, die in Liegeboxen (mit zwei oder vier Beinen) stehen, in einer Liegebox liegen und in der Gasse liegen, erfasst. Aus einem Sensorverbund, wie in smartMILC entwickelt, erhofft sich das Konsortium eine kontinuierliche Erfassung ähnlich dem Tool ‚CowsAndMore‘.

### Arbeitspaket 3: Realisierung von Testställen

Die Realisierung der Testställen erfolgte in drei Arbeitsschritten. Im ersten Schritt wurden unterschiedliche Sensorkonstellationen sowie Sensorpositionen konzeptioniert und getestet. So konnte die zu diesem Zeitpunkt optimale Sensorkonstellation abhängig von den Gegebenheiten in den Teststellen und bezüglich der Anwendungsfälle erarbeitet werden. Im darauffolgenden Schritt wurde die notwendige Technik, dargestellt in Tabelle 1, beschafft. Im dritten Arbeitsschritt wurde diese Technik in den Testställen installiert.

<b>Produkttyp</b>	<b>Produktname</b>	<b>Zweck des Einsatzes</b>	<b>Bedarf in den Ställen</b>
<b>Tiefenkamera</b>	Intel RealSense D455 	Tiererkennung, Erkennung von Verhalten (z.B. Abliegen, Liegen, Stehen, Laufen etc.), Mensch-Tier-Interaktionen, Gesundheitszustand der Tiere, usw.	LVAT: 4 LWK: 4
<b>360°-Kamera für Stallüberblick</b>	HIKVISION Network Fisheye Camera DS-2CD6365G0E(-S)/RC  BOSCH 12mp  NDS-5704-F360LE Fixed dome 306° IP66 IR	Gesamtüberblick des Stalls und Tracking der Einzeltiere	LVAT: HIKVISION  LWK: BOSCH
<b>Mikrocomputer</b>	Raspberry Pi  4	Datenweitergabe der Tiefenkameras per Power-over-Ethernet	LVAT: 4 LWK: 4
<b>Router</b>	TELTONIKA RUT955 	Datenweitergabe der Tiefenkameras per Power-over-Ethernet	LVAT: 1 LWK: 1
<b>Switch</b>	S2805S-8TF-P - 8-Port Gigabit Ethernet L2 PoE+ Switch 	Datenweitergabe der Tiefenkameras per Power-over-Ethernet	LVAT: 1 LWK: 1
<b>SD-Karten</b>	San Disk 64GB Extreme PRO micro SDXC-Karte	Datenspeicherung	LVAT: 4 LWK:
<b>Temperatursensor</b>	ESP8266 mit DHT22 Sensoren	Erfassung der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit	LVAT: 4 LWK: 4
<b>Installationsmaterial</b>	Raspberry Pi Gehäuse, PoE Splitter, kurzes USB-Kabel, Kugelköpfe, Grunplatte, Kleiteile, Schrauben, Netzwerkkabel	Stromversorgung und Befestigung der Sensorik	Angaben je Kamera

Die Installation der Sensortechnik erfolgte durch iotec im Januar 2023 im Haus Düsse und im Februar 2023 in der LVAT in Groß Kreuz. Durch Iotec wurden Montageplatten entworfen und gebaut, sodass die Technik sicher und einfach an Holzpfählen und -wänden installiert werden konnte (siehe AP 2). Die Platten wurden zusätzlich mit einem Kugelkopf ausgestattet, der eine exakte Einstellung des Aufnahmewinkels ermöglicht. Für die 360-Grad-Kamera der LVAT wurde eine Konstruktion geschaffen, die eine simple Montage in der Höhe ermöglicht.

Der Sensorverbund war in beiden Testställen nahezu identisch. Das ATB hat die Planung im Haus Düsse begleitet und die Planung für die LVAT federführend durchgeführt. Dafür wurden Pläne mit Maßen erarbeitet, ein Aufbewahrungsort für die Rechentechnik gebaut und die Installation vor Ort koordiniert. Gemeinsam mit dem DFKI und Iotec konnten an beiden Installationstagen alle Sensoren verkabelt, Test-Aufnahmen gemacht und die KI-Tiefensensoren justiert werden. Der Zugriff auf die Rechentechnik ist in beiden Ställen von extern möglich. Da in Groß Kreuz keine ausreichende Internetverbindung vorlag, musste hierfür auf eine SIM-Karte zurückgegriffen werden. Im Haus Düsse wurden die Tiefenkameras in einer späteren Iteration durch Bosch Flexidome 3000i Kameras mit einem 120°-Blickwinkel und einer Auflösung von 5 Megapixeln ersetzt. Die Kameras waren dann nicht mehr an Raspberry Pis angeschlossen, sondern kommunizierten direkt über ein Ethernet-Kabel mittels RTSP-Streams und wurden ebenfalls über PoE mit Strom versorgt. DHT22-Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren wurden extern über ESP8266-Knoten mit Tasmota und WLAN verbunden. In dieser Iteration wurde dann auch keine ROS-Schnittstelle mehr verwendet. Dies erlaubte dem später den Vergleich der unterschiedlichen Sensorsysteme, welches insbesondere den Vorteil der 360°Kameras in beiden Systemen und die Überlegenheit der Weitwinkelkameras gegenüber den Tiefenkameras hervorbrachte. Insbesondere die Größe der Tiefenkameradaten erschwerte die Kommunikation in der ersten Sensorkonstellation erheblich als zunächst gedacht.

#### Installationsplan LVAT:

Die initiale Installation umfasste insgesamt 4 Tiefenkameras und eine 360-Grad-Kamera mit der zugehörigen Rechentechnik. Die Installation der Tiefenkameras erfolgte mit dem Ziel, möglichst viele Liegeboxen abzudecken, um die Abliege-, Liege- und Aufstehvorgänge aufzuzeichnen und damit den Anwendungsfall 1 nzu bearbeiten. Mit der an der Empore, über dem automatischen Melksystem (AMS), befestigten Kamera wird sowohl der Wartebereich des automatischen Melksystems als auch die Tränke und ein Teil der Liegeboxen visuell erfasst.

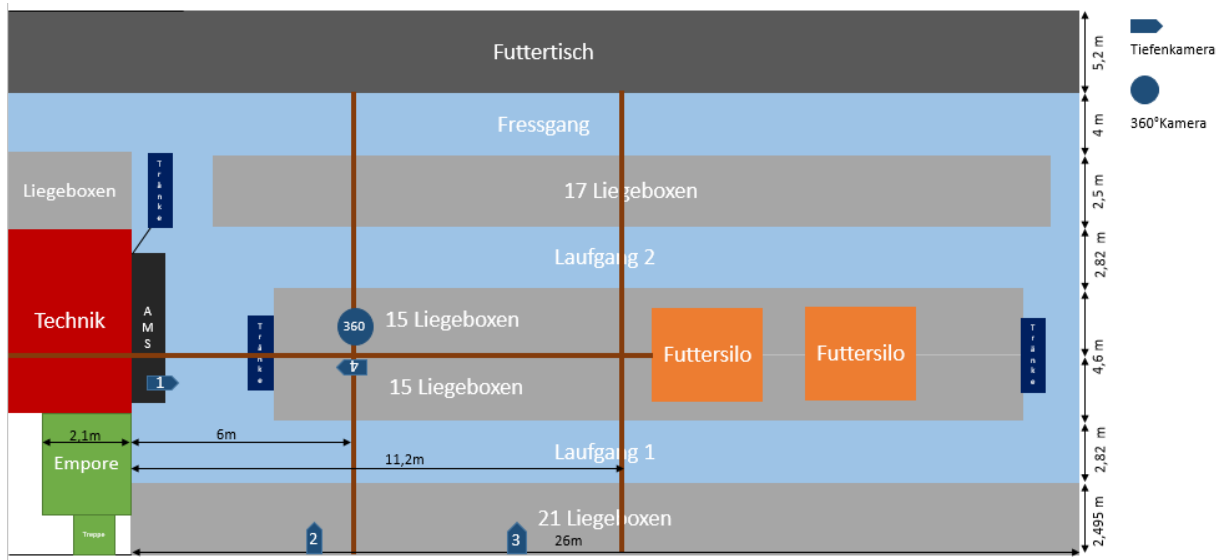


Abbildung 9: Installationsplan LVAT

In der nachstehenden Abbildung sind die Probeaufnahmen der finalen Kameraeinstellungen am Installationstag zu sehen.



Abbildung 10: Kameraaufnahmen Groß Kreuz (links: Kamera 1, rechts Kamera 4)

#### Installationsplan LWK:

In der LWK wurden jeweils zwei Kameras im Kopfbereich der Kühe (hellblau) und über den Hochboxen (schwarz) installiert (Abbildung 11). Mit den im Kopfraum befindlichen Kameras wurden seitliche Aufnahmen der Tiere in den Liegeboxen realisiert und mit den über den Hochboxen eine Draufsicht. Die 360-Grad-Kamera wurde zentral im Stall befestigt und ermöglichte eine Abbildung des gesamten Stalls.

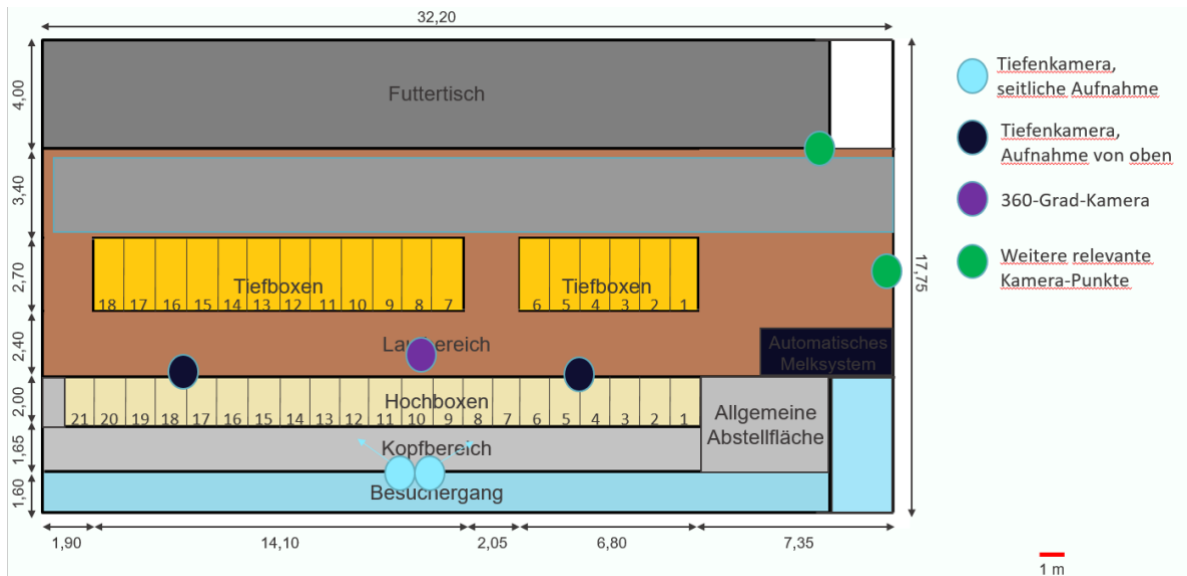


Abbildung 11: Installationsplan LWK

#### Arbeitspaket 4: Datenmodelle

Im Rahmen des Arbeitspakets 4 wurden Datenmodelle und Prozessarchitekturen, in Kooperation zwischen iotec und DFKI, entwickelt, die als Grundlage für die Implementierung und Integration in den Arbeitspaketen 5 und 6 dienen. Die relevanten KI-Modelle wurden entsprechend ihrer Anwendungen in den unterschiedlichen Use-Cases vorbereitet. Dazu wurden unterschiedliche Sets an Test- und Trainingsdaten aufgenommen, die später im Rahmen von AP 5 vom Konsortium gelabelt und zum Training der KI-Modelle genutzt wurden. Es wurden Anforderungen an die Oberfläche definiert, die dann ebenfalls in AP 5 realisiert wurde. Die möglichen Handlungsempfehlungen wurden datenkonform unter Berücksichtigung der Goldstandards in Entscheidungsbäume übersetzt um als Grundlage des kognitiven Systems zu dienen. Zunächst wurde auch eine Schnittstelle zur CowsAndMore-Lösung entworfen, diese wurde aber im Verlauf des Projektes wieder verworfen, sodass die Lösung letztendlich nicht umgesetzt werden konnte. Bei der Konzeptionierung der Architektur wurde ein besonderer Fokus auf die Dynamik und Flexibilität des Systems gelegt. Insbesondere können alle drei Systeme im Rahmen ihrer Funktionalität einfach erweitert werden. Das Sensorsystem erlaubt die einfache Integration sowohl gleichartiger als auch neuer zusätzlicher Sensoren. Bereits jetzt findet in Bereichen, die von mehreren Kameras abgedeckt werden, eine sensorübergreifende Synchronisation von Koordinaten statt, um die Genauigkeit zu erhöhen, bevor die endgültige Position und das Verhalten der Tiere bestimmt werden. Auf ähnliche Art können weitere Sensoren integriert werden. Die Struktur der Datenbank erlaubt auch eine einfache Integration bisher nicht genutzter Sensorik, wie Mikrofondaten.

Der grundlegende Datenfluss der Kamera- und Sensordaten in smartMILC ist in Abbildung 12 dargestellt und soll im Folgenden genauer beschrieben werden.

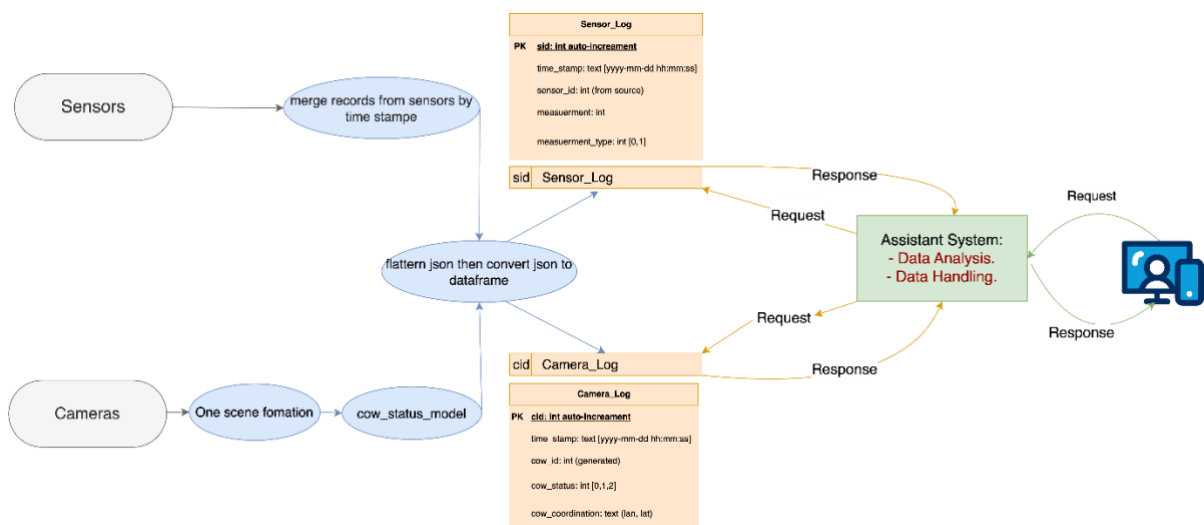


Abbildung 12: Datenfluss der Sensor- und Kameradaten

Das Diagramm zeigt, die Integration und Verarbeitung von Sensordaten und Kamerabildern, welche in einer strukturierten und standardisierten Weise erfasst, analysiert und in einer Datenbank gespeichert werden, um schließlich in einem Assistenzsystem zur Datenanalyse und -verarbeitung genutzt zu werden. Sensordaten werden erfasst und basierend auf den Zeitstempeln (time stamps) zusammengeführt. Diese Daten werden strukturiert umgewandelt. Die Kameras erfassen Szenen, aus denen ein Szenenbild erstellt wird. Die Daten werden in den folgenden Schritten von Bilddaten in strukturierte, maschinenlesbare json-Dateien umgewandelt. Die verarbeiteten Sensordaten werden in einer Sensor-Log-Datenbank gespeichert. Es werden folgende Daten erfasst:

- sid: Ein eindeutiger Schlüssel.
- time\_stamp: Der Zeitstempel des Datensatzes
- sensor\_id: Die ID des Sensors (vom Quellsystem).
- measurement: Die gemessene Größe.
- measurement\_type: Der Typ der Messung.

Die verarbeiteten Kameradaten werden in ähnlicher Weise in der Kamera-Log-Datenbank gespeichert. Hier werden die Bilddaten vollständig in eine Datenbeschreibung umgewandelt. Die Tabelle enthält die folgenden Felder:

- cid: Ein eindeutiger Schlüssel.
- time\_stamp: Der Zeitstempel des Datensatzes.
- cow\_id: Eine ID für das erfasste Tier.
- cow\_status: Der Status der Kuh (Steh und Liegeprozesse)
- cow\_coordination: Die Koordinaten der Kuh.

Das Assistentensystem führt Datenanalysen und Datenverarbeitungen der Maschinenlesbaren Daten durch. Es erhält Anfragen (Requests) von einem externen System

oder Nutzern, verarbeitet die Sensor- und Kameradaten und liefert die entsprechenden Antworten (Responses) zurück. Der Nutzer bzw. ein zwischengeschaltetes System interagiert mit dem Assistentensystem, indem es Anfragen stellt und die verarbeiteten Ergebnisse empfängt. Die Umsetzung dieser Aufgaben schaffen die Grundlage für die Implementierung in AP 5.

### Arbeitspaket 5: Implementierung

Im AP 5 wurde die Implementierung der in AP4 entwickelten Architekturen umgesetzt. Zur Umsetzung gehörten, (1) das Training der relevanten KI-Modelle (Tiererkennung, Posenerkennung, Einzeltiererkennung, Menschenerkennung), (2) die Implementation des kognitiven Systems (Datenbank, Assistenzsystem, Handlungsempfehlungen) und (3) die Implementierung der Oberfläche (Graphical User Interface, Web-Anwendung).

Für das Training der Computer Vision basierten KI-Modelle (1) wurden die gelabelten Videodaten aus AP 4 genutzt. Die Label wurden im PASCAL VOC Format extrahiert und in das für das Training passendere OBB (Oriented Bounding Boxes) - Format von YOLOv8 überführt. Die extrahierten Daten wurden in ein Trainings- und ein Validationsset aufgeteilt und auf einem Hochleistungs-Computing-Cluster trainiert. Im Training wurden unterschiedliche Einstellungen der Parameter getestet. Die am besten performenden Parametereinstellungen waren die folgenden: 50 Epochen, bei einer initialen learning Rate (lr0) von 0.001 und einer finalen learning Rate von 0.01. Das Training wurde auf einer RTX A6000 durchgeführt und brauchte 3.5 Tage zum Durchlaufen der 50 Epochen. Als Basismodell wurde das yolov8m-obb Modell verwendet.

Die Modelle für die Tiererkennung, Menschenerkennung und Posenerkennung erreichten eine Modellgenauigkeit von 98% (Posenerkennung), 97%(Tiererkennung) und 98% (Menschenerkennung). Die ersten beiden Modelle wurden eingesetzt, um das Tierverhalten zu erkennen. Das Modell zur Menschenerkennung war ursprünglich für die Implementierung eines Arbeitstagesbuches gedacht. In einer späteren Iteration wurde das Modell stattdessen dafür genutzt Menschen in den Kamerabildern auszuschwätzen, bevor solche Bilder in die weitere Verarbeitung gingen. Damit wurde ein Wunsch der Teststätte umgesetzt, einer möglichen Datenspeicherung von sensiblen Daten vorzubeugen. Das Modell zur Identifizierung von Einzeltieren erreichte eine Modellgenauigkeit von 45.4%. Dabei übertraf das CNN das auf Aufmerksamkeit basierende BiLSTM-Modell, dass nur eine Genauigkeit von 36,36 % erreichte. Auch bei einer niedrigen Ausgangsgenauigkeit erwies sich die Methode des Pseudo-Labelings als vielversprechender Ansatz zur Verbesserung der Modellleistung, und führte zu einer Steigerung der Genauigkeit des CNN um 4,27 %. Aufgrund der niedrigen Ausgangsgenauigkeit des BiLSTM konnte das Pseudo-Labeling für dieses Modell jedoch nicht effektiv angewendet werden. Nicht nur die Abhängigkeit vom schlecht abschneidenden CNN könnte zu den unbefriedigenden Ergebnissen des BiLSTM beigetragen haben, sondern auch

das Fehlen von Bewegung im unbeschränkten Stall-Szenario. Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Ergänzung des Datensatzes durch längere Videos nicht effektiv zur Verbesserung der Modellleistung beiträgt. Stattdessen sind wohl mehr kurze Videos erforderlich, die eine Vielzahl von Klasseninstanzen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen erfassen und mehr unterschiedliche Blickwinkel und Posen einschließen. Der ausbleibende Durchbruch bei dieser Technik hatte weitreichende Folgen auch für die Aussagemöglichkeiten des Assistenzsystems.

Die Datenbank (2) wurde entsprechend der Konzeption aus AP4 (s. Abbildung 12) umgesetzt. Das Assistenzsystem wurde in Python implementiert und nutzt eine Request-Struktur, welche die Datenbank kontinuierlich nach Auffälligkeiten bzgl. bestimmter Kriterien befragt. Bestimmte Parameter der Abfragen, stehen in direktem Austausch zur Oberfläche und lassen sich so durch den Nutzer steuern. So kann zum Beispiel eingestellt werden nach welcher Zeit eine unbenutzte Box vom System gemeldet werden soll. („Informiere mich, wenn eine Box 48 h lang nicht genutzt wird“). Die Standardeinstellung – auch der in der Oberfläche veränderbaren Parameter entsprechen dabei den erarbeiteten Goldstandards.

Um die erzeugten Ergebnisse anschaulich präsentieren zu können wurde mithilfe von Node.js eine Webanwendung (GUI) entwickelt und umgesetzt (3). Die Webanwendung erlaubt Einblicke in den digitalen Stall. (s. Abbildung 13)

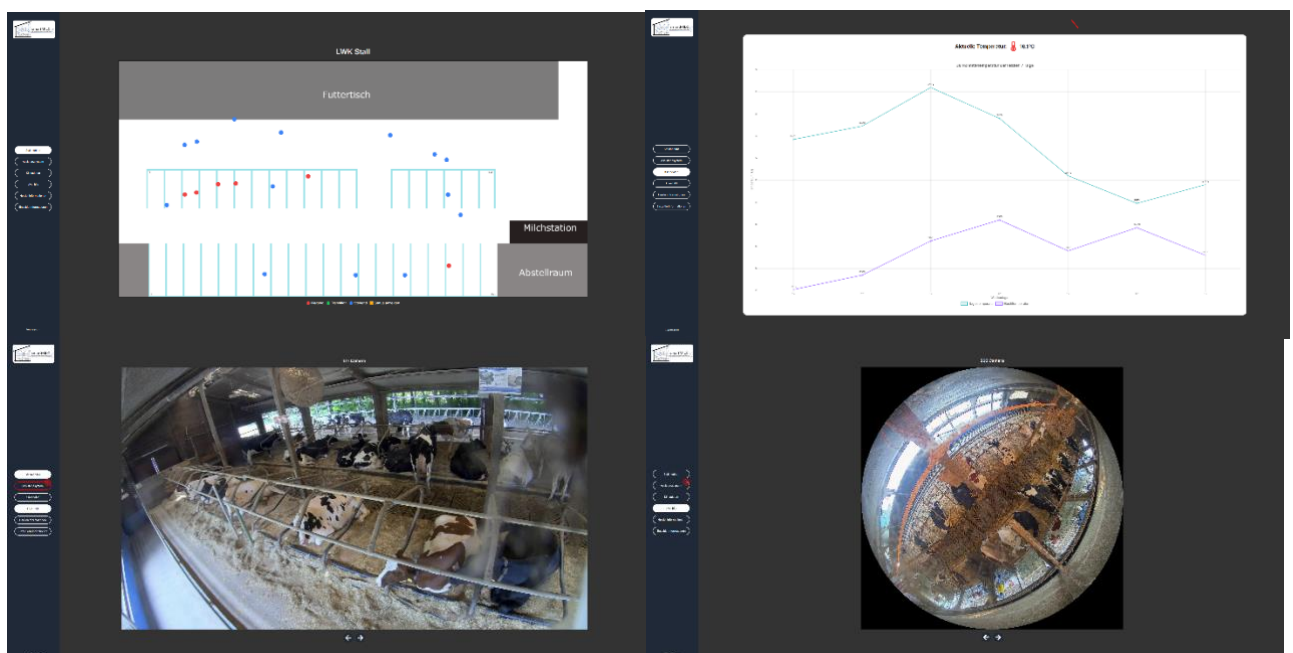


Abbildung 13: Darstellung der Oberfläche

## Arbeitspaket 6: Integration

In AP6 wurden die Einzelsysteme, welche in AP5 implementiert wurden zu einem dynamischen kognitiven System integriert. Zu den Aufgaben dieses Paketes gehörte die Integration der Sensorik in den Rest des Systems, das Schreiben der in der Sensorik mittels der KI-Modelle erfassten Daten in die Datenbank, die Anbindung des Assistenzsystems an die Datenbank und das Aufsetzen einer Pipeline, die wiederum die Kommunikation der Oberfläche mit allen anderen Systemen ermöglicht. Zum Verbinden der Sensorik, der KI-Modelle, des Assistenzsystems, der Datenbank und der Webanwendung wurde eine solche Pipeline in Python erfolgreich aufgesetzt. Diese ist insbesondere mit der Funktion ausgestattet sowohl aufgezeichnete Videos zu als auch Live-Bilder zu verwenden. Die Pipeline ist zweiteilig: Erstens, die Bildanalyse mittels der KI-Modellen und zweitens, das Assistenzsystem, dass mit den aufgezeichneten Daten arbeitet. Für die Integration der Sensordaten wurden für die 360°-Kamera und die Weitwinkelkameras unterschiedliche Modelle trainiert, die die gleichen Aufgaben hatten. Die Ergebnisse beider Kameras wurden mittels einer Koordinatenneusynchronisation neu verrechnet, um die räumliche Genauigkeit der Modelle zu erhöhen, bevor die sie in der Datenbank als Zeitreihendaten aufgenommen wurden.

Im Folgenden soll der finale Datenstrom von der Sensorik bis zur Anzeige einer Handlungsempfehlung auf der Website einmal skizziert werden.

Zunächst werden über die Sensoren Rohdaten generiert. Vor einer weiteren maschinellen Verarbeitung oder Speicherung der visuellen Daten, erkennt hier ein KI-Modell ob Menschen auf dem Bild zu sehen sind und schwärzt ggfls. die entsprechenden Teile des Bildes. Daten aus nicht visuellen Sensoren werden ohne maschinelle Weiterverarbeitung über eine entsprechende Pipeline als Zeitreihendaten in der Datenbank gespeichert. Dabei werden alle entsprechenden Daten in ein strukturiertes maschinenlesbares Format überführt. Die restlichen Bilddaten werden dann durch unterschiedliche KI-Modelle weiterverarbeitet, welche schließlich aus den Bilddaten modelspezifische Zeitreihendaten generieren (das Modell zur Einzeltiererkennung liefert die Information wann welche Kuh sich wo aufhält, das Modell zur Posenerkennung erkennt ob eine Kuh, steht, liegt, ablegt oder aufsteht etc.). Für die Ableitung der Stallkoordinaten aus den Bildkoordinaten findet eine entsprechende mathematische Dimensionsprojektion statt, die abhängig von Kameraposition und Winkel für jede Kamera eigenständig berechnet wird. In Bereichen, die von mehreren Kameras eingesehen werden, findet zusätzlich eine Koordinateninterpolation statt, um die räumliche Genauigkeit des Modells zu erhöhen. Alle Zeitreihendaten werden dann in der vorgesehenen Datenbank gespeichert. Das Assistenzsystem sendet kontinuierlich Abfragen an die Datenbank und kommuniziert im Falle einer Auffälligkeit bei der Abfrage eine zugeordnete Handlungsempfehlung an die Benutzeroberfläche. Der gesamte Datenstrom findet lokal statt (Edge-Cloud-Architektur) und

kommt damit modernen Anforderungen an Datensicherheit und Geschwindigkeit im Datentransport nach.

#### Arbeitspaket 7: Evaluation

Das Projekt evaluierte in jeder Projektphase die entstandenen Ergebnisse. Alle Projektphasen wurden multiiterativ durchgeführt, so dass auch während des Projektes noch Veränderungen an Architekturen etc. durchgeführt werden konnten. Falls es durch den iterativen Evaluationsprozess zu größeren Abweichungen innerhalb des Projektplans kam, wurde an entsprechender Stelle innerhalb des Berichts darauf hingewiesen. Evaluationen einzelner Systeme oder Anwendungsfälle wurden soweit möglich stets nach dem Konzept der objektiven Messbarkeit evaluiert. Iotec musste beispielsweise die eingesetzten DHT22 Sensoren, aufgrund eines Funktionsausfalls durch starke Verschmutzung, durch SHT21 Sensoren tauschen. Hierfür wurden an entsprechenden Stellen geeignete Parameter entwickelt (Modellgenauigkeiten, Parameteroptimierung, Akzeptanz beim Endverbraucher, Praktikabilität der Handlungsempfehlungen und Anwendungsfälle, etc.) und überprüft. Inhalte, die fachspezifisch recherchiert werden mussten, wurden stets durch Expertenbefragungen in und außerhalb des Konsortiums evaluiert.

#### Arbeitspaket 8: Ergebnistransfer

Der Ergebnistransfer im Rahmen des Projektes erfolgte kontinuierlich. Zwischenergebnisse innerhalb des Projekts wurden durch die drei nachstehenden referierten Publikationen transferiert:

1. Gravemeier, L.; Dittmer, A.; Jakob, M.; Kümper, D.; Thomas, O. (2023): Conceptualizing a holistic smart dairy farming system. In: Hoffmann, C.; Stein, A.; Ruckelshausen, A.; Müller, H.; Steckel, T.; Floto, H.(eds.): Resiliente Agri-Food-Systeme. Referate der 43. GIL-Jahrestagung. 43. GIL-Jahrestagung - Resiliente Agri-Food-Systeme: Herausforderungen und Lösungsansätze. Gesellschaft für Informatik, Bonn, (1617-5468/978-3-88579-724-1), p. 77-88. Online: [https://gil-net.de/wp-content/uploads/2023/01/GIL\\_2023\\_Tagungsband\\_final\\_8.2..pdf](https://gil-net.de/wp-content/uploads/2023/01/GIL_2023_Tagungsband_final_8.2..pdf)
2. Kurras, F.; Gravemeier, L.; Dittmer, A.; Kümper, D.; Jakob, M. (2023): Automatic Monitoring of dairy cows' lying behaviour using a computer vision system in open barns. Agronomy Research. (2): p. 482-493. Online: <https://doi.org/10.15159/AR.23.029>
3. Kurras, F.; Jakob, M. (2024): Smart dairy farming-The potential of the automatic monitoring of dairy cows' behaviour using a 360-degree camera. animals. (4): p. 640. Online: <https://doi.org/10.3390/ani14040640>

Publikation 1 wurden im Rahmen der GIL-Tagung im Jahr 2023 durch das DFKI präsentiert und Publikation 2 wurde im Rahmen der Biosystems Engineering Tagung 2023 in Tartu vorgestellt. Publikation 3 ist eine reine Veröffentlichung in dem MDPI online-Journal Animals.

Eine vierte Publikation zur Veröffentlichung der Endergebnisse ist kurz vor der Einreichung beim Journal Computers and Electronics in Agriculture. Das Manuskript trägt den Namen „AI-Driven Livestock Monitoring: Challenges and Opportunities in Creating a Digital Twin of Open Barns, Integrating Computer Vision and Environmental Sensors“ und soll unter diesem Namen auch veröffentlicht werden.

Das smartMILC-Projekt war darüber hinaus auch Teil des X-Kit-Clusters und teilte Arbeitsstand, Probleme und Ergebnisse in diesem Rahmen mit den weiteren Projektbeteiligten in mehreren Treffen. Eines der Treffen fand im Teststall in Groß Kreutz statt, bei dem sich alle Teilnehmenden die Technik vor Ort ansehen konnten. Nach Projektende verbleibt die Technik im Versuchsstall der LVAT in Groß Kreutz und soll über den dort ansässigen und im Aufbau befindlichen Leibniz-Innovationshof interessierten Besuchern zugänglich gemacht werden. Ein weiterer Transfer fand in unterschiedlichen Workshops statt. So wurde beispielsweise am 22.08.2023 in der Bildungseinrichtung Haus Düsse ein Workshop für 15 Personen zum Thema KI in der Landwirtschaft durchgeführt. Der Workshop war Teil des Präsenztreffens des Jungunternehmer-Arbeitskreis, der von der Firma MASTERRIND organisiert wurde. Anhand anschaulicher Einsatzmöglichkeiten und im Zusammenhang mit smartMILC wurde den Teilnehmenden die Grundlagen zu KI innerhalb und außerhalb der Landwirtschaft nähergebracht und Potenziale und Herausforderungen diskutiert. Im Nachgang der Veranstaltung ergab sich auf Grundlage des durchgeführten Workshops eine weitere Kooperation mit der Firma Masterrind. Von Masterrind wurden drei Vorträge zu den Grundlagen von KI für die Veranstaltung Planet Kuh angefragt, die an drei Veranstaltungstagen je etwa 50 bis 100 Landwirtinnen und Landwirten aus der Region die Einsatzmöglichkeiten von KI nähergebracht haben. Die Vorträge wurden vom DFKI an den Veranstaltungstagen 21.11. in Verden, am 22.11. in Cloppenburg sowie am 29.11 in Meißen gehalten. Die Vorträge waren inhaltlich an die Themen aus dem Workshop auf Haus Düsse angelehnt.

#### Arbeitspaket 9: Öffentlichkeitsarbeit

Die direkte Öffentlichkeitsarbeit unterteilt sich in drei Rubriken. Auf zwei Konferenzen im nationalen und internationalen Kontext wurden die zu dem jeweiligen Zeitpunkt erreichten Ergebnisse durch iotec mit eingereicht. Dies war zu Beginn des Jahres 2023 die GIL-Tagung in Osnabrück.

Im Rahmen der Biosystems Engineering 2023 Tagung in Estland wurde der Beitrag Projekt durch das ATB mit dem Titel „Automatic Monitoring of dairy cows' lying behaviour using a computer vision system in open barns“ in Tartu vorgestellt.

In den X-Kit Veranstaltungen tauschte sich iotec vor allem auf den Clustertreffen zum Thema intelligente Sensorik aus.

Im Rahmen eines Messeauftrittes wurde vom 19.- 28. Januar 2024 auf der Grünen Woche in Berlin das Projekt öffentlichkeitswirksam vorgestellt, und positive Resonanz hinsichtlich der Idee und Umsetzung wurden sowohl durch das Besucherpublikum als auch das BMEL vermittelt hier übernahm iotec einen Teil des Standdienstes und des Abbaus.

Als dritter Block der Öffentlichkeitsarbeit sind die Präsentationen über weitere Medien zu nennen. Zum Projektbeginn wurde smartMILC vom Bundesministerium ausgewählt, und es wurde ein Kurzvideo zum Projekthalt an der LVAT in Groß Kreutz gedreht. Dort und auch am ATB wird das Projekt auch über Poster visualisiert. Gleiches gilt für den Versuchsstall Haus Düsse. Hier konnte auch ein Fernsehbeitrag beim WDR über das Projekt gedreht werden. Ein weiterer Messeauftritt auf der EuroTier Messe im November kann leider nicht mehr realisiert werden, da die Messe nach Ende der Projektlaufzeit stattfindet, die Zeitschrift Agrofood wird jedoch einen Artikel zum smartMILC-Projekt in der EuroTier-Ausgabe veröffentlichen.

## II.2 der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen sind die Personalkosten und die Materialkosten - zur Anschaffung der Kamera/Sensorknoten- und Netzwerkkomponenten zur Evaluation der Stallinstallationen, sowie die sonstigen unmittelbaren Vorhabenskosten.

## II.3 der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die Entwicklung und Bereitstellung eines Sensorknotens mit Tiefenkameras im modularen Aufbau ist eine komplexe technologische Aufgabe. In Milchkuhställen besteht durch feuchte Umgebung und leitfähige Oberflächen ein erhöhtes Risiko für elektrische Schläge und Kurzschlüsse. Eine 48-Volt-PoE-Stromversorgung (Power over Ethernet) verringert dieses Risiko deutlich, weil die Spannung im Vergleich zu 230 Volt wesentlich niedriger ist und gemäß Sicherheitsstandards in den Niederspannungsbereich fällt. PoE-Systeme liefern nur begrenzte Leistung und verfügen zudem über integrierte Schutzmechanismen, die bei einem Fehlerfall schnell abschalten. Darüber hinaus werden Daten und Strom über abgeschirmte Netzkabel geführt, sodass keine separaten Hochspannungsleitungen nötig sind. All dies trägt zur erhöhten Sicherheit für Mensch und Tier in der feuchten Stallumgebung bei. Die zunächst ausgewählten Intel Tiefenkameras waren jedoch weder als Netzwerk, noch als PoE Systeme Verfügbar, weshalb eine dedizierte Entwicklung der modularen Sensorknoten mit PoE Wandler, Einplatinencomputer, Tiefenkamera und weiterer Sensorik notwendig war.

Die iotec besitzt eine grundsätzliche Infrastruktur. Allerdings sind für Forschungsvorhaben mit diesem Aufgabenumfang und die dazugehörigen Neuentwicklungen von Gerätschaften die Mittel für Personal und die Ressourcen für die Entwicklung von Gerätschaften nicht vorhanden. Ohne die erhaltene Förderung wären die geleisteten Arbeiten bzw. Ergebnisse nicht möglich gewesen.

## II.4 des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses – auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft – im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die im Rahmen des Verbundprojekts smartMILC gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse erweitern das bestehende Know-how der iotec in der Entwicklung modularer, robuster Sensorknoten für KI-Systeme mit Bilderkennung. Insbesondere für den stallbasierten Einsatz unter Bedingungen mit hoher Verschmutzung sowie für die Integration dieser Technologien in Edge-AI-Umgebungen haben sich die im Projekt gewonnenen Projekterfahrungen und -erkenntnisse als entscheidende Grundlage für zukünftige erfolgreiche Implementierungen erwiesen.

Die begleitenden wissenschaftlichen Publikationen und Vorträge auf Fachkonferenzen stießen zudem auf durchweg positives Feedback und großes Interesse an dem smartMILC-Framework. Dies unterstreicht die hohe Relevanz des Projekts für aktuelle und künftige Forschungs- und Anwendungsfelder im Bereich der KI-gestützten Sensortechnik.

Das im Rahmen der KI-basierten Tiererkennung und -klassifikation erworbene Wissen wird künftig sowohl für die Analyse von Tierskelett- und Haltungparametern als auch für den Einsatz in automatisierten Insektenfallen genutzt. Dadurch lassen sich im Großtierbereich unter anderem qualitativ Verhaltensanomalien frühzeitig erkennen und Zustandsbewertungen präziser durchführen. Im Insektenbereich liegen Artenzählungen bei konzentriertem Besatz im Fokus. Dieser erweiterte Anwendungsbereich zeigt eindrücklich, wie flexibel sich die im Projekt entwickelten KI-Ansätze auf verschiedene Szenarien und Anforderungen übertragen lassen.

## II.5 des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit von smartMILC haben sich vor allem drei Produkte im Bereich des Stallmonitorings mit Kamera- und KI-gestützter Tierbeobachtung Systemen stark weiterentwickelt. So setzt das irische Unternehmen Cainthus auf Computer-Vision-Algorithmen, um das Verhalten von Milchkühen in Echtzeit zu erfassen und zu analysieren. Dabei werden Faktoren wie Fress- und Liegezeiten, Bewegungsmuster und Futteraufnahme automatisch ausgewertet, um den Landwirt mit aussagekräftigen Kennzahlen zur Tiergesundheit und Betriebsoptimierung zu unterstützen. Ein weiterer Anbieter ist CattleEye, dessen Plattform ebenfalls auf Kamerasysteme zurückgreift, um Aktivitäten, Körperkondition und Gesundheitsindikatoren von Rindern kontinuierlich zu erfassen und zu interpretieren. Ergänzend hierzu bietet Nedap mit dem System eYeNamic eine Lösung an, die Kameraaufnahmen aus dem Stall mit KI-Methoden kombiniert und anhand von

Bewegungsdaten und Haltungsparemtern Rückschlüsse auf das Wohlbefinden der Tiere zulässt. All diese Systeme verdeutlichen, wie Kameratechnologie in Kombination mit KI-basierter Bilderkennung zuverlässige Einblicke in Tiergesundheit und -verhalten liefern kann. Gleichzeitig unterstreichen sie das breite Potenzial derartiger Ansätze, das sich auch im Kontext von smartMILC weiterentwickeln lässt da die Einbindung erweiterter Sensorik nicht im Fokus der angebotenen Produkte steht.

## II.6 der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF

Es wurden die Ergebnisse in Form von Vorträgen und Poster auf nationalen und internationalen Konferenzen publiziert.