Verbundprojekt: Cross Innovation und Digitalisierung in der tiergerechten Schweinehaltung unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes (DigiSchwein) -

Teilprojekt 3: Digitalisierung, Modellierung, Datenmanagement / -analyse

Teil II: Eingehende Darstellung

Zahlungsempfänger: OFFIS e.V.

Förderkennzeichen: 28DE109C18

Projektlaufzeit: 10.02.2020 - 31.12.2024

Autoren: Jan Reinkensmeier

Patrick Bruns

Jad Asswad

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

Projektträger

Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1 Arbeitspaketbeschreibung 3
2 Anforderungsanalyse 3
3 Systemkontext 6
4 Technologieauswahl 7
Videodatenspeicherung 7
Sensordatenverarbeitung 7
Benutzeroberfläche S3-Objectstorage 7
5 Architektur und Implementierung 8
Datenplattform 9
Zeitreihendatenspeicherung 10
6 Ceph Cluster 12
Interne Datenorganisation 13
Blockstorage 14
Objectstorage 14
Videodatenspeicherung 15
7 Zusammenfassung 17
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit 17
Verwertung 18
Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 19

1 Arbeitspaketbeschreibung

Die Aufgabe des OFFIS im Arbeitspaket 2 bestand darin, eine Datenplattform zur Speicherung und Analyse der Video- und Sensordaten aus der Versuchsstation zu entwickeln. Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung der Plattform war die große Menge an Videodaten, die produziert wird und jederzeit für alle Projektpartner abrufbar sein soll.

Das Arbeitspaket gliedert sich in fünf Teilarbeitspakete:

- TAP 2.1: Durchführung einer Anforderungsanalyse. Hierzu wurden Workshops mit den Projektpartnern abgehalten, in denen Use Cases und Rahmenbedingungen abgeleitet wurden.
- TAP 2.2: Erstellung eines Architekturentwurfs auf Basis der ermittelten Anforderungen. Dieser Entwurf umfasst die Auswahl geeigneter Technologien sowie ein Konzept zur Speicherung der Videodaten.
- TAP 2.3: Umsetzung des Architekturentwurfs.
- TAP 2.4: Evaluierung des Systems nach der Implementierung, um zu überprüfen, ob die zu Beginn definierten Anforderungen erfüllt wurden.
- TAP 2.5: Durchführung allgemeiner Projektmanagementaufgaben sowie Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit.

2 Anforderungsanalyse

Im Rahmen von TAP 2.1 wurden eine Reihe von Workshops und Meetings als Teil einer Anforderungsanalyse durchgeführt. Das vorrangige Ziel der vorliegenden Anforderungsanalyse besteht darin, die Use Cases sowie die Rahmenbedingungen für die Konzeption und Entwicklung zu definieren. Darüber hinaus hatten die Anforderungsworkshops die folgenden Ziele:

- Klärung des experimentellen Designs und der Einbettung der Experimente in die Schweineproduktion zur Ermittlung, welche Sensorik eingesetzt werden soll und um einen entsprechenden Bedarf an Schnittstellen herausarbeiten.
- Definition von Zeiträumen in denen Datenerhebung stattfindet und Prognose des entstehenden Datenvolumens.
- Klärung wie die Projektpartner mit den Sensordaten arbeiten wollen und Ableiten von Anforderungen an die spätere Datenbereitstellung zusammen mit der Definition eines Data Life Cycle Prozesses.
- Erste Beschreibung wie Daten miteinander zusammenhängen.
- Klärung von weiteren Datenquellen und externen Systemen, deren Daten mit in die Plattform aufgenommen werden sollen.

Die erforderlichen Anforderungen können den beiden Hauptkategorien "domänenspezifische Anforderungen" und "technische Anforderungen" zugeordnet werden.

Im Rahmen der domänenspezifischen Anforderungserhebung wurden eine Reihe von Workshops mit den Projektpartnern durchgeführt. Das Ziel der Workshops bestand darin, ein profundes Verständnis für die spezifischen Aspekte der Schweineproduktion zu entwickeln. Im Rahmen dessen wurde für die Arbeitspakete 4 bis 7 jeweils ein Workshop durchgeführt.

Im Rahmen der Workshops wurde ein besonderer Fokus auf fachliche Inhalte gelegt, die für das Verständnis der Abläufe in dem Versuchsstall relevant sind. Darüber hinaus erfolgte eine Erläuterung der geplanten Durchgänge sowie der zu erfassenden Daten und deren Zweck aus jedem Abteil.

Im Rahmen der technischen Anforderungserhebung wurde ebenfalls ein Workshop mit AP 3 sowie eine Reihe von Meetings mit unterschiedlichen Partnern sowie mit der LWK-EDV durchgeführt. Im Rahmen der Diskussion wurden die zu installierenden Kameras und Sensoren sowie die Übertragung- und Speicherungsmöglichkeiten der Daten erörtert.

Im Rahmen der Diskussion wurden die Kameradaten hinsichtlich der Art der Kameras, der Aufnahmehäufigkeit, der Aufnahmeauflösung, der Datengröße sowie der Zahl der Kameras pro Bucht und Abteil thematisiert. Im Hinblick auf die Sensordaten wurde die Auswahl der Sensorik, der Umfang der erfassten Daten, die Speicherung der Daten sowie die Kommunikationsschnittstellen berücksichtigt.

Auf Basis der Erkenntnisse aus den Workshops und Meetings wurden die Use Cases für AP2 sowie die Rahmenbedingungen für die Realisierung der Use Cases abgeleitet.

Use Cases

Auf Basis der Anforderungsanalyse wurde zwei Use Cases abgeleitet die dem jeweiligen erhobenen Datentypen entsprechen: Videodaten und Zeitreihendaten.

Videodaten Use Case

In diesem Use Case werden zwei Arten von Kameras berücksichtigt: RGB-Kameras und Wärmebildkameras. Beide Arten generieren eine große Anzahl von hochaufgelösten Videoaufnahmen. Die Aufzeichnung der Videos erfolgt automatisch auf einem NAS-System im Versuchsstall. Mittels einer Sync-Funktion werden die Daten anschließend auf die DigiSchwein-Plattform gespiegelt. Die Plattform bietet den Partnern die Möglichkeit, die Videodaten mittels eines geeigneten Web-UI abzurufen und herunterzuladen.

Zeitreihendaten Use Case

In diesem Use Case werden Zeitreihendaten erfasst, die aus unterschiedlichen Sensoren stammen. Die Datenmenge dieser Sensoren ist im Vergleich zu den Videodaten als gering einzustufen. Nichtsdestotrotz werden die Daten in Minuten- und 10-Minuten-Intervallen erzeugt. Die erzeugten Daten werden durch einen Industrie-Klimacomputer gesammelt und mittels einer MQTT-Schnittstelle an die DigiSchwein-Plattform übermittelt. Die Bereitstellung der Daten erfolgt durch die Plattform mittels einer Webanwendung. Die Partner haben die Möglichkeit, die Daten mittels der Anwendung zu analysieren, zu aggregieren, zu visualisieren und im CSV-Format herunterzuladen.

Rahmenbedingungen

Für die Realisierung jedes Use Cases wurden die Anforderungen sowie die Rahmenbedingungen in enger Zusammenarbeit mit den Partnern diskutiert und abgestimmt.

Die große Menge der Videodaten lässt sich in zwei Aspekte unterteilen, die bei der Analyse berücksichtigt werden müssen:

- **Speicherung der Videodaten vor Ort:**

  Die Videoaufnahmen, die durch die Kameras aufgezeichnet werden, sollen zunächst in dem Versuchsstall vor Ort gesichert werden, bevor sie in die DigiSchwein-Plattform übertragen werden. Zu diesem Zweck wurde ein NAS-System eingesetzt. Im vorliegenden Kontext werden die Kameras die Videos direkt auf einem NAS speichern und sichern, bis eine erfolgreiche Übermittlung an die Plattform erfolgt ist.

- **Übertragung der Daten zwischen Stall und OFFIS:**

  Für die Übertragung großer Datenmengen wurde eine Standleitung zwischen Stall und OFFIS eingerichtet. Im Rahmen der Installation wurde dem Stall eine separate Internetverbindung bereitgestellt, die nicht mit dem LWK-Netzwerk verbunden ist.

Zeitreihendaten:

- **Speicherung der Sensordaten vor Ort:**

  Die erfassten Sensor-Zeitreihendaten werden vor Ort auf einem industriellen Computer gespeichert und gesichert.

- **Übertragung der Sensordaten zwischen Stall und OFFIS:**

  Die Übertragung der Daten erfolgt mittels einer MQTT-Schnittstelle zwischen Stall und OFFIS. Im Rahmen dessen erfolgt die Einrichtung eines MQTT-Servers auf dem Industrie PC, auf dem die Daten in Topics vorbereitet werden. Auf der DigiSchwein-Plattform bei OFFIS erfolgt die Einrichtung eines MQTT-Clients, der folgend die Daten durch die Topics abruft.

Zusätzlich zu den durchgeführten Anforderungsworkshops und –Meetings für die Ermittlung der Use Cases und deren Rahmenbedingungen, wurde im Rahmen von TAP 2.1 einige Workshops für weiteren Zwecken durchgeführt:

- Workshops zur manuellen Datenerfassung, zur Ermittlung von Digitalisierungspotentialen und Erstellung von Datenmodellen.
- Anforderungsworkshops zur Erfassung der benötigten Analysemethoden.
- Workshops zur Evaluation von Datenreduktionsmöglichkeiten aufgrund des hohen Speicherbedarfs der einzelnen APs.

3 Systemkontext

Auf Basis der vorangegangen Anforderungserhebung wurde ein Systemkontext erarbeitet um Schnittstellen und Interaktionen von Stakeholder mit dem System darzustellen. Abbildung 1 zeigt den Systemkontext und stellt dar, wie Daten in der Versuchsstation Wehnen erfasst bzw. übertragen werden: Videos werden über NAS-Systeme erfasst, während Daten von Klimasensoren über einen MQTT-Server übertragen werden. Entsprechend benötigt die Datenplattform eine S3-Schnittstelle und einen MQTT-Client. Es wird eine S3-Schnittstelle benutzt um die Cloud-Sync-Funktionen vom NAS-System für den Upload der Videodaten zu benutzen.

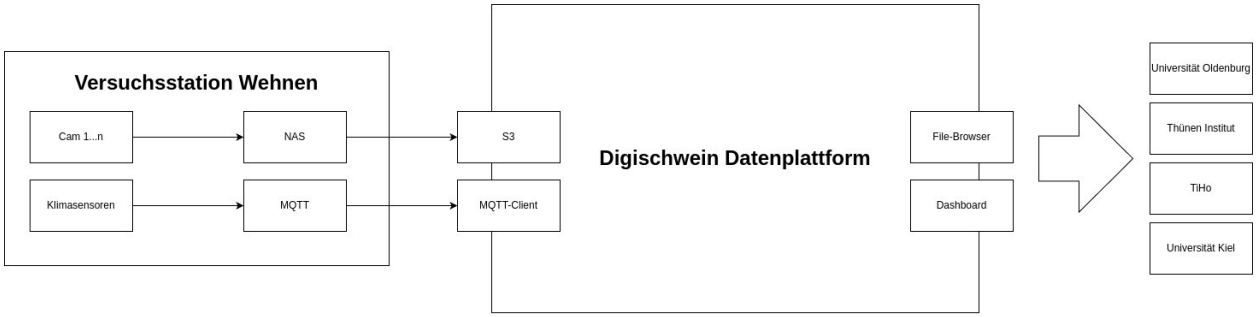

Abbildung 1: Systemkontext

Um einen Abruf der Daten zu ermöglichen muss es einen File-Browser mit Download-Funktion geben. Zusätzlich soll es ein Dashboard geben, um die Sensordaten zu visualisieren um einen Überblick über die Daten zu ermöglichen.

4 Technologieauswahl

Videodatenspeicherung

Eine zentrale Anforderung, die aus den Workshops hervorging, ist die Notwendigkeit, ein großes Volumen an Videodaten zu verwalten. Diese Daten müssen nicht nur sicher gespeichert, sondern auch für alle Projektpartner jederzeit und performant abrufbar sein.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde als technologische Basis ein Ceph-Cluster implementiert. Die Videodaten werden innerhalb dieses Clusters in einem S3-kompatiblen Objektspeicher abgelegt.

Ceph ist eine vereinheitlichte Speicherplattform, die über eine einzige Infrastruktur verschiedene Speicherarten bereitstellen kann. Neben dem für die Videodaten genutzten S3-Objektspeicher kann der Cluster gleichzeitig auch persistenten Block-Storage für den Betrieb des Kubernetes-Clusters zur Verfügung stellen. Diese Synergie vermeidet den Aufbau und die Verwaltung getrennter Speichersysteme und reduziert die Komplexität der Gesamtarchitektur erheblich.

Sensordatenverarbeitung

Aus der Anforderungserhebung ging hervor, dass auf einem Industrie-PC in der Versuchsstationen die Daten aller Klimasensoren zusammenlaufen. Auf dem Industrie-PC ist ein MQTT-Broker von dem die Daten abgerufen werden können.

Um die Sensordaten effizient verarbeiten zu können, wird der TIG-Stack[1] verwendet. Dieser besteht aus Telegraf für das Abrufen der Daten, InfluxDB für die Speicherung von Zeitreihendaten und Grafana für die Echtzeitvisualisierung.

Die Entscheidung für den TIG-Stack fiel, da ausschließlich Zeitreihendaten gespeichert werden sollen und InfluxDB sich besonders gut für diesen Zweck eignet. In diesem Zusammenhang bietet es sich an, auch Telegraf und Grafana zu nutzen, da sie sich nahtlos mit InfluxDB integrieren lassen.

Benutzeroberfläche S3-Objectstorage

Für den Zugriff auf die Videodaten im S3-Objektspeicher wurde eine passende Benutzeroberfläche evaluiert. Zur Auswahl standen drei Anwendungen: NextCloud, die MinIO Console und der Flask S3-Viewer[2].

Die Entscheidung fiel auf NextCloud. Als etabliertes und weitverbreitetes Tool bietet es eine hohe Stabilität und eine Benutzeroberfläche, mit der die meisten Anwender bereits vertraut sind. Ein entscheidender Vorteil ist die Möglichkeit, S3-Objektspeicher nahtlos als externen

[1] https://www.influxdata.com/blog/tig-stack-iiot-ot/
[2] https://github.com/hidekuma/flask-s3-viewer

Speicher einzubinden. Für den Benutzer erscheinen die Videodaten dadurch wie in einem gewöhnlichen Ordner, was die Handhabung stark vereinfacht.

Als Alternative wurde die MinIO Console in Betracht gezogen. Diese hätte jedoch den Betrieb von MinIO im Gateway-Modus erfordert, was die Systemarchitektur unnötig verkompliziert hätte, ohne einen nennenswerten Vorteil gegenüber NextCloud zu bieten.

Die dritte Option, der Flask S3-Viewer, ist ein minimalistisches Open-Source-Projekt. Sein Hauptvorteil liegt in der einfachen Anpassbarkeit. Dieser Ansatz wurde jedoch verworfen, da die Stabilität und der bekannte Funktionsumfang von NextCloud für dieses Projekt priorisiert wurden.

Zusätzlich soll neben NextCloud eine HTTP-API mit Python Flask implementiert werden um die Projektpartner aus VLBA einen Endpoint für Indexlisten der Videos zugeben, damit für ihre Modelle automatisch Trainingsdaten herunterladen können.

5 Architektur und Implementierung

Die Systemarchitektur gliedert sich in drei Teile: Digischwein-Gate, der Datenplattform und dem Ceph Cluster, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.

Digischwein-Gate dient als Schnittstelle zur Versuchsstation Wehnen. Auf der Digischwein Datenplattform werden alle Komponenten betrieben, die dem Speichern und Abrufen der Daten dienen. Der Ceph-Cluster stellt sowohl einen Object Storage für die Video-Daten als auch Block storage für die Datenplattform bereit. Alle drei Teile sind voneinander getrennte Kubernetes Cluster. Diese Technologie wurde gewählt, um die einzelnen Software-Komponenten in standardisierten Containern zu betreiben. Dies gewährleistet eine hohe Ausfallsicherheit, eine einfache Skalierbarkeit der Dienste und einen weitgehend automatisierten Betrieb der Plattform. Die bewusste Trennung in drei Cluster erhöht zudem die Stabilität des Gesamtsystems, da die Komponenten (Dateneingang, Datenverarbeitung, Speicherung) unabhängig voneinander gewartet und bei Bedarf skaliert werden können.

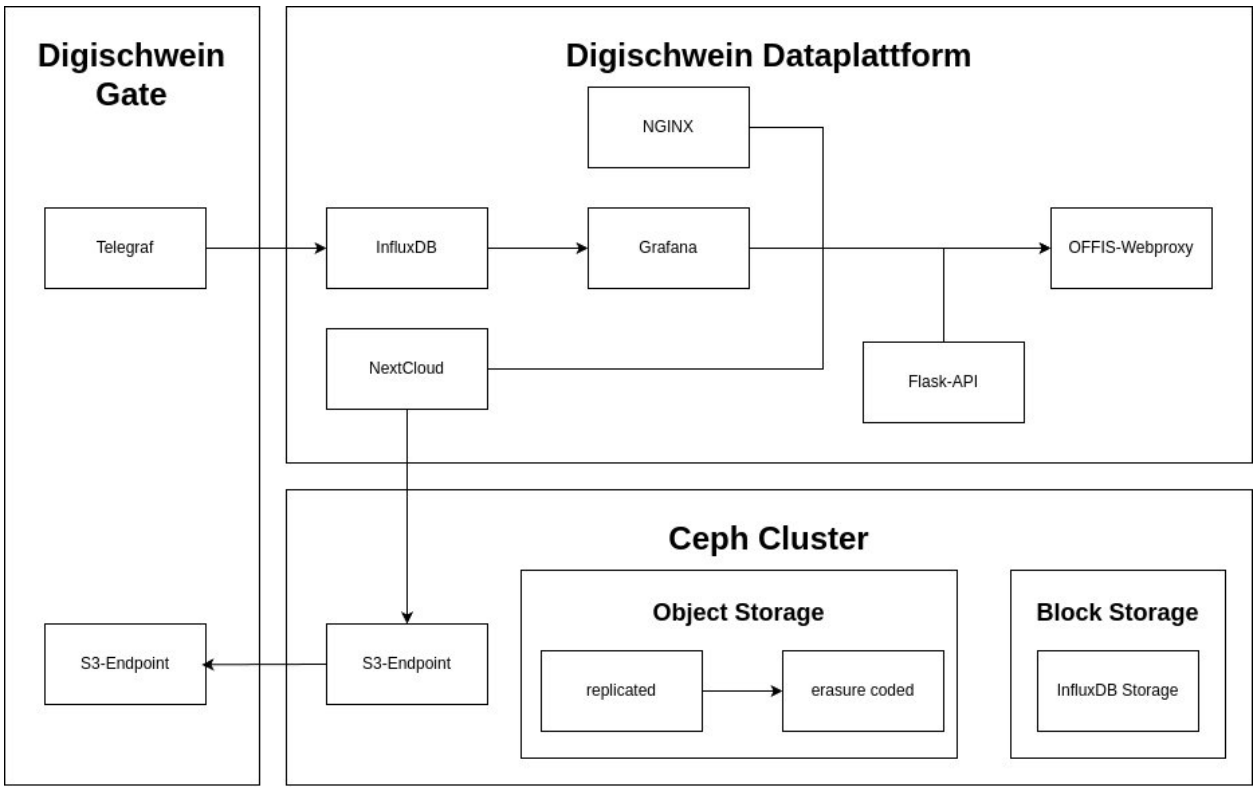

Abbildung 2: Architekturentwurf

Digischwein-Gate besteht aus Telegraf, der als MQTT-Client dient und die Klimadaten vom MQTT-Broker abholt und sie in der Datenbank speichert. Zusätzlich wird den S3-Endpoint vom Ceph-Cluster weitergeleitet. Die NAS-Systeme in der Versuchsstation sind so konfiguriert, dass sie jedes Video über den S3-Endpoint im Objectstorage hochladen. Die Virtuelle Manschine von Digischwein-Gate kommuniziert über eine Standleitung zum Netzwerk der Versuchsstation. Um sicherzustellen, dass über die Standleitung nicht über das Netzwerk der LWK auf OFFIS-interne Dienste zugegriffen werden kann und auch umgekehrt, befindet sich die Virtuelle Maschine in einem eigenen Netzwerk. Ceph Cluster und Datenplattform befinden sich in einem gemeinsamen Netzwerk und können auf Digischwein Gate zugreifen.

Datenplattform

Auf der Datenplattform werden Services für den Zugriff auf die Daten betrieben.

NGINX: Über den NGINX-Server wird eine Landing-Page als statische HTML-Seite bereitgestellt. Über die Landing-Page werden Benutzer über Services auf der Plattform informiert und an sich weitergeleitet.

Grafana: Über Grafana wird den Benutzern der Datenplattform ein Dashboard bereitgestellt um die Messwerte aus der Versuchsstation in Echtzeit ansehen zu können. Darüber hinaus bietet Grafana Benutzern die Möglichkeit, Anfragen selbst zu schreiben, um Daten mit bestimmten Aggregationen oder in bestimmten Intervallen abzurufen und sie gegebenenfalls im CSV-Format herunterzuladen.

InfluxDB: Die Zeitreihendatenbank InfluxDB dient als Speicher für die Sensordaten aus der Versuchsstation**.**

Telegraf: Telegraf wird verwendet um Sensordaten von einem MQTT-Server in der Versuchsstation abzurufen und in der InfluxDB zu speichern.

NextCloud: Über die NextCloud wird auf den S3-Speicher mit den Videodaten zugegriffen. Dadurch wird dem Benutzer der Datenplattform ermöglicht über eine benutzerfreundliche Oberfläche die Videodaten aus dem Durchgängen abzurufen.

Flask-API: Die Flask-API stellt Endpoints für die VLBA bereit um ihr Modelltraining zu unterstützen in dem dort Indexes der vorhanden Videodaten bereitgestellt werden. Über den Index können Videos direkt heruntergeladen werden.

Webproxy: Über den Webproxy können die Benutzer sich beim System authentifizieren. Zusätzlich dient der Webproxy als Reverse Proxy.

Zugriff: Der Zugriff auf die Plattform wird über AD-Accounts (Active Directory Accounts) umgesetzt, die von der Technischen Verwaltung (TV) des OFFIS verwaltet werden. Das bedeutet eine organisatorische und technische Trennung, indem die TV die Verantwortung dafür trägt, welche Nutzer die DigiSchwein-Datenplattform nutzen dürfen. Auf der anderen Seite liegt es in der Verantwortung der Projektverantwortlichen, die technische Umsetzung sicherzustellen, um eine Kompromittierung anderer Projektdaten durch die Nutzer der DigiSchwein-Plattform auszuschließen.

Zeitreihendatenspeicherung

Wie bereits in der Technologieauswahl beschrieben wird zur Zeitreihendatenspeicherung der TIG-Stack verwendet.

Der Industrie PC in der Versuchsstation stellt die Daten über einen MQTT-Server auf drei Topics bereit:

- Messwerte
- Betriebsdatenerfassung
- Protokollierung

Je Bucht ist ein Set Sensoren installiert. Er werden folgende Werte erfasst und über das Messwerte-Topic übertragen:

- CO_2
- Lichtstärke
- Luftfeuchtigkeit
- Temperatur
- Wasserdruck
- Wassermenge

- NH_3

Über die Protokollierung werden einmal pro Tag die zuletzt gemessenen Werte der Sensoren sowie die bislang insgesamt gemessenen Werte der Sensoren übermittelt. Das Topic Betriebsdatenerfassung überträgt das Öffnen und Schließen von Tür, sowie wenn Lichtschranken aktiviert werden. Die Nachrichten werden, wie in Abbildung 3 zu sehen, im JSON-Format übertragen.

```
1 {
2     "name":"EM_VQ_M3_Stromverbrauch",
3     "value":27.0,
4     "unit":"kWh",
5     "timestamp":1750629599000
6 }
```

Abbildung 3: JSON-Beispiel von Stallsensoren

In der InfluxDB werden alle Daten im Bucket thuenen gespeichert. Für jedes Topic gibt es dort ein Measurement, wie in Abbildung 4 dargestellt. Über den Namen lässt sich die Bucht zuordnen. Die InfluxDB verwendet den vom Ceph-Cluster bereitgestellten SSD-Blockstorage worauf im nachfolgenden Abschnitt genauer eingegangen wird.

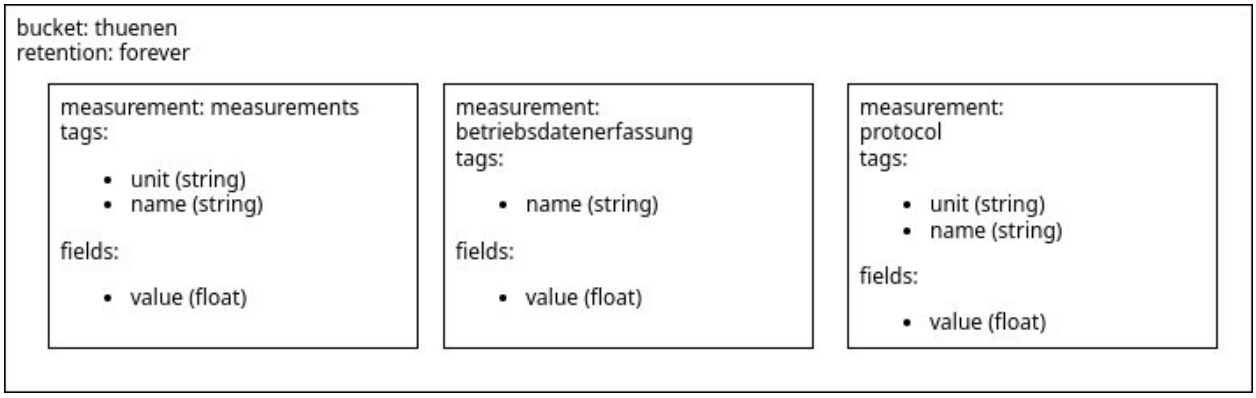

Abbildung 4: InfluxDB-Datenstruktur

Für die Zeitreihendaten wurde in Grafana ein Dashboard angelegt. Über eine Variablenauswahl oben links im Dashboard können die Benutzer die jeweilige Buchten auswählen und betrachten siehe Abbildung 5.

Abbildung 5: Sensor-Dashboard

Über das Grafana-Dashboard können benutzen kleinere Datenmengen herunterladen und Anfragen an die Datenbank stellen. Dafür wurden die Benutzer im Projekt geschult und ihnen wurde eine Anleitung zur Bedienung bereitgestellt.

Wenn größere Mengen Sensordaten exportiert werden sollen, wurden sie von OFFIS-Mitarbeiter auf Anfrage erstellt. Dafür wurden mehrere Python-Skripte vorbereitet um die Daten zu Exportieren und Aufzubereiten. Die sicheren Exporte wurden den Projektpartnern über die OFFIS-NextCloud bereitgestellt.

6 Ceph Cluster

Der Ceph-Cluster dient einerseits als Storage Provisioner und andererseits stellt es einen S3-Object-Storage bereit. Der S3-Storage wird benutzt um die im Versuchsstall anfallenden Videodaten zu speichern. Der Blockstorage wird als StorageClass in den Datenplattform-Kubernetes-Cluster eingebunden um Anwendungen über Nodes hinweg persistenten Speicher anbieten zu können.

Im Projekt wurde (high-performance, scalable, and fault-tolerant distributed storage system designed for enterprise-grade workloads) resiliente Hochleistungsspeicherinfrastruktur mit einer Gesamtspeicherkapazität von 1,5 Petabyte aufgebaut Dafür wurden im Projekt fünf Server angeschafft, die jeweils über 512 GB RAM und 64 Cores verfügen und über zwei Dual 10 Gbit/s Ethernet Interfaces an das Netzwerk angebunden sind. Die kompletten Ressourcen eines Servers wurden jeweils als einzelne VM verfügbar gemacht. Die VMs wurden dazu verwendet einen Kubernetes Cluster aufzubauen, der aus fünf identischen Nodes besteht. Mit Hilfe des Rook-Operators wurde dann ein Ceph-Cluster aufgebaut und betrieben.

Der Rook-Operator automatisiert die Bereitstellung und Verwaltung eines Ceph-Speicher-Clusters in einer Kubernetes-Umgebung. Er vereinfacht die Einrichtung, indem er Aufgaben wie Bereitstellung, Konfiguration, Skalierung, Upgrades und Zustandsüberwachung von Ceph-Komponenten mithilfe von Kubernetes Custom Resource Definitions (CRDs). Rook verwandelt Ceph in einen Cloud-nativen Dienst, der es einfach macht, Block-, Objekt- und Dateispeicher für containerisierte Anwendungen direkt aus dem Cluster bereitzustellen.

Die Hauptkomponenten des Ceph Clusters, die als POD im Kubernetes Cluster laufen bestehen aus 3 Monitor-Services (MON), einem aktiven und einem standby Manager-Service (MGR) und einem RADOS Gateway (RGW) pro Node. In einem Ceph-Cluster verwaltet der MON den allgemeinen Zustand und stellt sicher, dass alle Knoten über den aktuellen Zustand des Clusters informiert sind. Der MGR bietet zusätzliche Überwachung, Metriken und verwaltet Plugins für Aufgaben wie Dashboard-Zugriff und Orchestrierung. Das RGW ist eine Komponente, die Objektspeicher über S3- und Swift-kompatible APIs anbietet und es Benutzern ermöglicht, mit Ceph über standardmäßige Objektspeicherprotokolle zu interagieren. Gemeinsam stellen diese Komponenten sicher, dass der Cluster konsistent, beobachtbar und für verschiedene Speicheranwendungsfälle zugänglich ist.

Die Speicherkonfiguration besteht sowohl aus Festplatten als auch aus SSDs und wurde sowohl für Kapazität als auch Leistung optimiert:

- Jeder Knoten enthält 20 HDDs (je 12,8 TB), die als Daten-OSDs fungieren.
- Um die Leistung der Festplatten zu steigern und die Metadatenoperationen zu steigern wurden die Metadaten der Festplatten auf dedizierte SSDs ausgelagert, jeweils eine SSD mit 3,5 TB Kapazität unterstützt dabei vier HDDs.
- Weitere 6 SSDs pro Knoten (je 3,5 TB) fungieren als unabhängige OSDs und bilden einen dedizierten, reinen SSD-Speicherpool, der für hochleistungsfähigen Blockspeicher ausgelegt ist, der von containerisierten Anwendungen in einem externen Kubernetes-Cluster genutzt wird.
- Alle OSDs werden individuell ihren physischen Speichergeräten zugeordnet, um eine feingranulare Steuerung und optimierte Objektverteilung zu unterstützen.

Durch die Bereitstellung auf virtuellen Maschinen und die Integration mit Kubernetes über Rook erreicht der Ceph-Cluster eine starke Ressourcenabstraktion und Elastizität über den gesamten Infrastruktur-Stack.

Interne Datenorganisation

Die interne Organisation der Daten im Ceph Cluster wird mit Hilfe von DataPools festgelegt.

Dabei sind Datenpools logische Partitionen zum Speichern von Objekten. Pools definieren, wie Daten gespeichert und repliziert werden, einschließlich Einstellungen wie Replikationsfaktor oder Erasure Coding, CRUSH-Regeln und die Anzahl an PlacementGroups (PGs). PGs sind Logische Gruppierungen von Objekten, die OSDs zugeordnet werden (wobei in unserem Fall ein OSD einer Festplatte oder SSD entspricht) während CRUSH (Controlled Replication Under Scalable Hashing) die Verteilung der Objekte auf die OSDs übernimmt. Dadurch lassen sich mit Hilfe der Definition verschiedener Datenpools unterschiedliche Anwendungsfälle hinsichtlich Leistung, Resilienz und Nutzungsrichtlinien realisieren. In Digischwein wurden drei Datenpools angelegt mit denen unterschiedliche Arten von Speicher in Form von Blockstorage und Objectstorage zur Verfügung gestellt wurden.

Blockstorage

In einer Kubernetes-Umgebung wird Ceph-Blockstorage in der Regel verwendet, um persistenten Speicher für containerisierte Anwendungen über das RADOS Block Device (RBD) bereitzustellen. Über den Ceph CSI-Treiber (Container Storage Interface) kann Kubernetes dynamisch RBD-gestützte PersistentVolumes (PVs) bereitstellen, die Pods genau wie lokale Festplatten verwenden können. Dadurch können zustandsabhängige Workloads wie Datenbanken oder Dateispeicher zuverlässig mit hoher Verfügbarkeit, Datenredundanz und Funktionen wie Snapshots und Größenänderungen ausgeführt werden, die alle innerhalb des Ceph-Clusters verwaltet werden.

Der DataPool ssd_pool wurde es Basis für den Blockstorage angelegt, der es PODs, die im Kubernetes Anwendungscluster laufen, ermöglicht Speicher dynamisch zu mounten. Dazu wurde eine CRUSH-Rule angelegt, in der Objekte des SSD-Pools nur auf SSDs abgelegt wurde, damit DigiSchwein-Anwendungen mit geringer Latenz und damit hoher Performanz auf Speicher zurückgreifen können. Zu den Anwendungen gehörten bspw. InfluxDB zur Speicherung der Sensordaten

Objectstorage

In Ceph wird ein Objectstorage über das Ceph Object Gateway (RGW) bereitgestellt, das eine S3- und Swift-kompatible Schnittstelle für die Speicherung unstrukturierter Daten als Objekte bietet. In Verbindung mit Kubernetes kann der Ceph-Objectstorage als skalierbares Backend für die Speicherung unstrukturierter Daten dienen, die über HTTP zugänglich sind. Anwendungen im Cluster können über standardmäßige S3-APIs mit dem Objectstorage interagieren und ermöglichen so eine Cloud-native Speicherung, die sich ideal für umfangreiche Daten-, Medien- und Archivierungsanwendungen eignet.

Videodatenspeicherung

In Digischwein wurde ein Objectstorage eingerichtet, der dazu diente die unstrukturierten Forschungsdaten (Video, Audio) zu verwalten. Für jeden DataOwner im Projekt wurde ein Bucket im Objectstorage angelegt. In Ceph ist ein Bucket ein logischer Container, der im Object Gateway (RGW) zur Speicherung und Organisation von Objekten verwendet wird, ähnlich wie ein S3-Bucket. Buckets sind Eigentum von Benutzern und dienen als Top-Level-Namensraum für die Speicherung von Objekten und ermöglichen eine fein abgestufte Kontrolle über Datenorganisation, Zugriffsberechtigungen und Richtlinien.

Durch die Zuweisung von Buckets an bestimmte Benutzer ermöglicht Ceph Dateneigentum und -isolierung und erleichtert so die Verwaltung von mandantenfähigen Umgebungen. Jeder Benutzer kann über eigene Buckets verfügen, Lebenszyklusregeln anwenden, Kontingente festlegen und den Zugriff verwalten, was dazu beiträgt, Grenzen und Verantwortlichkeiten in gemeinsam genutzten Speichersystemen durchzusetzen.

Die Speichergrundlage des Objectstorages und damit der Buckets bilden die beiden Datenpools digischwein-videos-replica.rgw.buckets.data (replicated pool) und digischwein-videos-replica.rgw.buckets.hdd.ec.data (erasure coded pool).

Die Pools wurden so konfiguriert, dass Objekte auf OSDs gespeichert werden, die Festplatten repräsentieren. Die beiden Pools unterscheiden sich vor allem dadurch wie Ausfallsicherheit hergestellt wird. Während der replicated pool Datenredundanz durch 3-fach Replikation erreicht, wurde für den erasure coded pool das Erasure Coding (EC) Verfahren verwendet.

Eine anfängliche Abschätzung zu Beginn des Projekts ergab, dass mindestens 500 TB an Videodaten (RGB und Infrarot) erzeugt wird. Bei einer Speicherung mit 3-fach Replikation würden in diesem Fall 1,5 PB Bruttodaten entstehen. Da der Gesamtspeicher, um performant arbeiten zu können, nicht über 75% belegt sein sollte, ergäbe sich bei Replikation ein Bedarf von 2PB für die Daten, so dass die eigentlichen Daten nur 25% des gesamten benötigten Speichers ausmachten. Daher war das Ziel Daten per EC zu speichern, da bei diesem Verfahren bei gleicher Ausfallsicherheit weniger Speicherplatz benötigt wird als bei der Verwendung von Replikation. EC wurde mit der Einstellung K=3 und M=2 verwendet, diese entspricht der Ausfallsicherheit von 3-fach Replikation. K gibt dabei die Anzahl der Teile (data chunks) an, in die das originale Objekt geteilt wird, während M die Anzahl der coding chunks angibt, die dazu verwendet werden können, um data chunks wiederherzustellen. Durch eine entsprechende CRUSH-Regel, werden die chunks entsprechend auf OSDs aufgeteilt. M gibt gleichzeitig die Anzahl an OSDs an, die gleichzeitig ausfallen können, ohne dass Daten verloren gehen. Für die Einstellungen K = 3 und M = 2 werden mindestens 5 Storage Server benötigt. Daher wurde der erasure coded pool erst in einer späteren Entwicklungsstufe eingeführt, als 5 Server und damit 5 VMs für den Ceph-Cluster zur Verfügung standen.

Durch die Verwendung des erasure coded pool konnte die Speichereffizienz von 25% bei 3-fach Replikation auf 45% erhöht werden, so dass der Speicherbedarf auf ca. 1,1 PB reduziert werden konnte.

Allerdings gibt es eine Einschränkung bei EC-Datapools in Ceph. Sie sind nicht in der Lage mit Multipartuploads umzugehen. Beim Multipartupload werden große Dateien bevor sie übertragen werden in Teile zerlegt und die Übertragenen Teile am Bestimmungsort wieder zu der Originaldatei zusammengesetzt. Das Zusammensetzen ist bei EC-Pools nicht möglich. Daher wurde als Datenstrategie festgelegt, dass die aus den Versuchsställen per Multipartupload übertragenden (Video-)daten zunächst in den replizierten Pool gespeichert werden, um die zusammengesetzten Objekte dann in den erasure coded pool zur speichereffizienten Archivierung zu übertragen. Dazu wurde ein intelligentes Tiering auf Basis des RGW Lifecycle Managements umgesetzt.

Grundlage hierfür bilden Speicherklassen, die als Teil der Objectstorage (RGW) Konfiguration definiert werden können. Speicherklassen legen dabei die Platzierung von Objektdaten in Datapools fest. S3 Bucket Lifecycle Regeln können für den automatisierten Übergang von Objekten zwischen Speicherklassen, d.h. zwischen Datapools, sorgen.

In einem ersten Schritt wurden zwei Storage Classes "STANDARD" und "STANDARD_IA" in der Ceph RGW Struktur angelegt, denen der replicated pool und der erasure coded pool zugeordnet wurden.

Mit einer Lifecycle Regel, wie sie in Abbildung 6 zu sehen ist, wurde dann festgelegt, dass Daten, der Speicherklasse "STANDARD" (replicated pool) sofort in die Speicherklasse "STANDARD_IA" (erasure coded pool) bewegt werden. Diese Speicherklasse sind für die Bucket Benutzer transparent, d.h. ein Nutzer, der auf ein Objekt in einem Bucket zugreift hat Information über die Speicherklasse. Das Prozess zur Übertragung der Daten in die andere Speicherklasse wird jede Nacht von einem cronjob von Ceph durchgeführt.

```
1   <LifecycleConfiguration>
2     <Rule>
3       <ID>ec-transition-immediately</ID>
4       <Filter>
5       </Filter>
6       <Status>Enabled</Status>
7       <Transition>
8         <Days>0</Days>
9         <StorageClass>STANDARD_IA</StorageClass>
10      </Transition>
11    </Rule>
12  </LifecycleConfiguration>
```

Abbildung 6: Lifecycle-Rule

Die Videokameras in der Versuchsstation sind an zwei Synology-NAS-Systeme angebunden und speichern dort die Videos zwischen. Auf jedem NAS wurde die Cloud-Synchronisation so konfiguriert, dass sie Videos über die Standleitung auf den Objectstorage hochladen. Die Daten werden unmittelbar hochgeladen, jedoch wurde explizit eingestellt, dass die Daten nach dem Hochladen nicht vom NAS-System gelöscht werden. Das dient einerseits als ein weiteres kurzzeitiges Backup der neusten Daten. Andererseits ist es so Projektpartnern möglich auch vor Ort noch auf die letzten Videodaten zuzugreifen.

In den Workshops zur Anforderungserhebung wurde des weiteren über den Umgang mit Personenbezogene Daten sowie die Möglichkeiten für die Reduktion der Videodatenmenge gesprochen. Um den Datenschutzanforderungen gerecht zu werden, wurden alle Videos gelöscht auf denen Personen zu sehen sind. Um die Menge der Videodaten weiter zu reduzieren, wurden die Kameras zwischen den Durchgängen ausgeschaltet und zusätzlich, falls doch aufnahmen durchgeführt wurden, wurden alle Videodaten zwischen den Durchgängen auf der Datenplattform gelöscht.

7 Zusammenfassung

Das Teilprojekt wurde plangemäß abgeschlossen und hat sein zentrales Ziel erreicht: die Implementierung einer Datenplattform, die über die gesamte Projektlaufzeit systematisch Daten erfasst und den Projektpartnern zur Verfügung stellt. Die dort erfassten Daten bildeten die unverzichtbare Grundlage für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Partner im DigiSchwein-Konsortium. Insbesondere ermöglichten sie die Erreichung der Projektziele in anderen Teilprojekten, wie die Entwicklung der KI-gestützten Geburtsüberwachung und der Erkennung von Schwanzbeißen.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Um diese Datengrundlage zu schaffen, war die Umsetzung folgender, vom OFFIS verantworteter Kernaufgaben notwendig:

- **Speicherung heterogener Sensordaten:**
  Die Speicherung der Sensordaten wurde über den Einsatz von MQTT, Telegraf und InfluxDB realisiert. Eine besondere Integration aufgrund der Heterogenität der Daten musste nicht stattfinden, da die Daten bereits auf Seiten der Versuchsstation in einem einheitlichen Datenmodell übertragen wurden.
- **Speicherung hochauflösender Videodaten:**
  Für die Speicherung hochauflösender Videodaten wurde eine Speicherinfrastruktur auf Basis von Ceph und S3 aufgebaut. Dafür wurden in den Anforderungserhebung

detaillierte Gespräche zur Videoqualität und Möglichkeiten zur Reduktion der Datenmenge besprochen. Der Ceph-Cluster wurde über die Projektlaufzeit mehrmals erweitert um die Datenmenge zu bewältigen. Dies ermöglichte es am Ende des Projekts 1,1 Petabyte an Videodateien aus der Versuchsstation zu speichern.

- **Datenzugriff bereitstellen:**
  Die Umsetzung des Datenzugriffs erfolgte über verschiedene Wege. Als erste Anlaufstelle wurde den Projektpartnern eine Landing-Page bereitgestellt. Über diese wurden sie an NextCloud für den Abruf von Videodaten und an Grafana für den Abruf von Sensordaten weitergeleitet. Bei der Landing-Page mussten sich die Benutzer mit ihrem Account authentifizieren. Zusätzlich haben OFFIS-Mitarbeiter:innen direkte Datenanfragen übernommen.
- **Verknüpfung von Datenplattform und Insight-Cockpit (VLBA)**
  Die ursprünglich angestrebte engere Verzahnung der Datenplattform mit dem Insight-Cockpit für Echtzeit-Datenübertragung hat sich nicht im geplanten Umfang realisieren lassen. Um die Arbeit an den Datenprodukte jedoch zu erleichtern, wurde eine HTTP-API für den Videodaten bereitgestellt um automatisiert Trainingsdaten herunterladen zu können.

Über den Entwurf und der Umsetzung der Plattform hinaus, hat das OFFIS über die Projektlaufzeit die allgemeine Wartung des Systems durchgeführt, Probleme bei der Datenerhebung behandelt und den Betrieb der Plattform gewährleistet.

Verwertung

Im Schwerpunkt der Verwertungsaktivitäten strebt OFFIS wissenschaftliche und technische Arbeitsziele an. Diese liegen vor allem in der Publikation der Forschungsergebnisse, in der Übertragung dieser Ergebnisse auf potenzielle andere Anwender im Rahmen von Vorträgen, in der Definition von Empfehlungen für zukünftige Standardisierungen sowie in der Akquise von Forschungs- und Entwicklungsprojekten im landwirtschaftlichen Umfeld und in anderen Anwendungsfeldern, in denen am OFFIS schwerpunktmäßig geforscht wird.

Die im Rahmen von „DigiSchwein“ erworbenen Kompetenzen in den Bereichen Forschungsdatenmanagement, Data Engineering und Cloud-Infrastruktur werden zusammen mit dem erlangten Domänenwissen aktiv in Antragsvorhaben eingesetzt.

Im Laufe des Projektzeitraums und nach dessen Abschluss konnten auf Grundlage der erzielten Projektergebnisse mehrere Anträge gestellt werden, die positiv beurteilt und bewilligt wurden. Dazu gehören das vom BMLEH geförderte Vorhaben „TiPP – Transparency in Pig Production“, ein bei der DFG eingereichter und geförderter Antrag im Rahmen der Förderung einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) für das Vorhaben „NFDI4Energy“ sowie ein

beim BMWE eingereichter Antrag „REMARK 2.0“ im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms zur angewandten Energieforschung.

Zu den geplanten Verwertungen von OFFIS zählen auch die Übernahme der Erkenntnisse in Forschung und Lehre, die Vertiefung der Ergebnisse in Abschluss- und Promotionsarbeiten sowie die Übertragung der Erkenntnisse auf angrenzende Wissensgebiete. Im Verlauf des Projekts wurde ein Dissertationsvorhaben zum Thema „Data Ownership“ fortgesetzt.

Außerdem beabsichtigt OFFIS, die Erkenntnisse aus der im Rahmen des Projekts aufgebauten Datenplattform in Kombination mit Erkenntnissen aus anderen OFFIS-Projekten, wie "WärmewendeNordwest", als Grundlage für die Weiterentwicklung einer Forschungsdatenplattform zu nutzen. Die Durchführung des Projekts Digischwein ermöglichte den Aufbau einer robusten Speicherinfrastruktur. Diese wird gegenwärtig und in zukünftigen Projekten erweitert und mit Diensten angereichert, um eine langfristige Speicherung großer Mengen an Forschungsdaten sowie die Bereitstellung von Daten für Forschungspartner zu gewährleisten.

Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der größte Kostenblock entfiel auf die Personalkosten für die planmäßige Durchführung des Vorhabens. Diese umfassten den Entwurf, die Umsetzung und den Betrieb der Datenplattform, einschließlich der Erfassung und Bereitstellung der Video- und Sensordaten. Sachkosten für Hardware fielen nicht an, da die Plattform auf bereits im OFFIS vorhandener Infrastruktur betrieben wurde.

Teil I: Kurzbericht

Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde

Die effiziente Nutzung von Produktionsfaktoren und eine bestmögliche Auslastung vorhandener Stallkapazitäten wird vor dem Hintergrund immer knapper werdender Ressourcen für nutztierhaltende Landwirte immer bedeutsamer. Im Hinblick darauf muss sich die deutsche Schweinehaltung besonders in den Bereichen Tierwohl, Ressourceneffizienz und Umweltschutz neu ausrichten.

Darum verfolgte dieses Projekt das Ziel, dem Landwirten vor allem bei seiner täglichen Tierkontrolle zu unterstützen. Denn gemäß den gesetzlichen Vorgaben ist jeder Tierhalter verpflichtet, seine Bestände mindestens zwei Mal täglich in Augenschein zu nehmen und dabei regelmäßig Eigenkontrollen durchzuführen. Diese Vorgaben werden von dem Landwirt in aller Regel durch visuelle Inaugenscheinnahme der Tierbestände erledigt. Dabei findet er Unterstützung durch regelmäßig erfasste Daten. Diese Datenvielfalt bietet ein großes Potenzial und sollte im Rahmen dieses Projektes in Form der Farmmanagement-Software „DigiSchwein“ erfasst und zielgerichtet aufbereitet werden. Dem Landwirt kann sie so mit Handlungsempfehlungen bei seiner täglichen Arbeit noch tiefgreifender unterstützen. Ausgangspunkt der Datenerfassung sollte die Stallumwelt mit den Einflussfaktoren Futter, Klima, Wasser, Tierverhalten, Management, usw. sein. Diese Parameter sollten mittels unterschiedlicher marktverfügbarer Sensoren gemessen und daraufhin in einem speziell entwickelten Datenmanagementsystem verwaltet und analysiert werden. Die vielfältigen Sensordaten sollten mit aktuellen Herausforderungen der Schweinehaltung in Verbindung gesetzt und so letztlich den Tierhalter in Form eines Frühwarnsystems unterstützen.

Die digitale Tierbeobachtung und Gesundheitsüberwachung war bereits Teil anderer Projekte, jedoch befassten sich diese nicht mit der Tierart Schwein bzw. haben deutlich weniger Sensordaten genutzt und erprobt (z. B. Landwirtschaft 4.0, SpaceDataMilking, AutoPigLoc). Zum Projektbeginn schien die Generierung von detaillierten Einzeltierinformationen durch neuste Entwicklungen von Sensoren und Algorithmen in den Bereichen Einzeltiererkennung und Aktivitätserfassung möglich, war jedoch noch nicht ausgereift und in der Praxis etabliert.

Ablauf des Vorhabens

Zunächst wurde die bauliche und digitale Grundinfrastruktur für das Projekt hergestellt. Dies umfasste die Neugestaltung der Abteil- und Buchtenstruktur, die Trennung der Flüssigmistsysteme zweier Mastabteile sowie die Ausstattung mit der erforderlichen Sensortechnik. Zudem wurde ein projekteigenes Netzwerk einschließlich Richtfunkverbindung zwischen Mast-

und Sauenstall sowie eine direkte Ethernet-Standortkopplung zwischen VS Wehnen und OFFIS zur Datenübertragung aufgebaut und in Betrieb genommen.

Anschließend wurde mit der Datenerfassung in der Versuchsstation in Wehnen begonnen und die projektinterne Datenmanagementplattform eingerichtet und in Betrieb genommen. Insgesamt wurden so Daten von rund 2.500 Tieren erfasst und ausgewertet. Es wurden zudem Auswertungsalgorithmen zur automatischen Videoanalyse programmiert, validiert und weiterentwickelt. Ein browserbasierter Dashboard-Prototyp eines multisensorbasierten Monitoringsystems für schweinehaltende Betriebe wurde ebenfalls entwickelt (https://demo.digischwein.uni-oldenburg.de/). Im letzten Jahr der Datenerhebung mussten einige Sensorsysteme ersetzt werden, und es wurden Anpassungen vorgenommen, die sich im Rahmen der Projektdurchführung ergaben.

Begleitet wurde das Projekt durch regelmäßige Sitzungen des Expertenbeirates und diversen regionalen, nationalen sowie internationalen Veranstaltungen wie Messen, Fachkonferenzen, Workshops und Führungen durch die Versuchsstation in Wehnen. Diese Aktivitäten dienen der Vorstellung des Experimentierfeldes DigiSchwein, der Vernetzung, dem fachlichen Austausch und dem Wissenstransfer mit anderen Projekten, Initiativen und Verbänden.

Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zentrale Ergebnisse für das OFFIS sind die Entwicklung und der Betrieb der Speicherinfrastruktur des Experimentierfelds. Die vom OFFIS realisierte Datenplattform bildete die technologische Grundlage für das gesamte Projekt. Sie war eine wesentliche Voraussetzung, um die im Projekt definierten, konkreten Anwendungsfälle, wie die KI-gestützte Geburtenüberwachung und die Erkennung von Schwanzbeißen, zu ermöglichen.

Ein weiteres nachhaltiges Ergebnis dieser Arbeit ist der umfangreiche Datenbestand, bestehend aus Video- und Klimadaten aus Versuchsstation. Dieser Datenbestand ist nicht nur die Grundlage für die im Projekt erzielten Erkenntnisse, sondern stellt eine wertvolle Ressource dar. Er dient als Basis für zukünftige Forschungsprojekte und die Entwicklung weiterer innovativer Lösungsansätze, wodurch der Wissens- und Technologietransfer über die Projektlaufzeit hinaus gesichert wird.

Über das materielle Ergebnis hinaus konnte das OFFIS umfassendes operatives Know-how im Aufbau und Betrieb großer Speicherinfrastrukturen aufbauen. Diese Expertise wird in gegenwärtigen und zukünftigen Projekten eingebracht um weitere Forschungsdatensätze zu Erheben und Bereitzustellen. Die Datenplattform fungierte dabei als zentraler Knotenpunkt für die Zusammenarbeit innerhalb des Projektkonsortiums.