

Schlussbericht

zum Vorhaben

Smart Sheep Net (Smart)

Thema: **Smart Sheep Net (Smart)**

Zuwendungsempfänger:

Teilprojekt A: Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik (ILV), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Kiel

Teilprojekt B: Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit), Verden (Aller)

Förderkennzeichen:

Teilprojekt A: 281C211A19

Teilprojekt B: 281C211B19

Laufzeit: **01.01.2021 bis 30.06.2024**

Monat der Erstellung: **12/2024**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) als Projektträger des BMEL im Programm zur Innovationsförderung unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurze Darstellung.....	1
1.	Aufgabenstellung	1
a)	Ursprüngliche Aufgabenstellung.....	1
b)	Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde	1
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
3.	Resümee der wesentlichen Ergebnisse	2
a)	Arbeitspakete und Meilensteine	2
b)	Zusammenfassung	5
c)	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	6
II.	Eingehende Darstellung	7
1.	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Vergleich zur Vorhabenbeschreibung	7
	Arbeitspaket 1: Entwicklung & Test des WOW-Grundmoduls	7
	Arbeitspaket 2: Erweiterung des Grundmoduls um Tränke-/Wiegetröge	8
	Arbeitspaket 3: Erweiterung des Grundmoduls um Sensorik für Tieraktivität/-bewegungsverhalten	9
	Arbeitspaket 4: Aufbau, Optimierung und Validierung der mobilen modularen WOW	10
2.	Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	11
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	13
4.	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans.....	13
5.	Bekannt gewordene Fortschritte/Erkenntnisse von Dritten	13
6.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	14
III.	Erfolgskontrollbericht.....	15
1.	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen	15
2.	Wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen.....	15
3.	Fortschreibung des Verwertungsplans	17
a)	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen.....	17
b)	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.....	17
c)	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende.....	17
d)	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	17
4.	Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben	18
5.	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer.....	19
6.	Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung.....	19

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

a) Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die Herausforderung eines kontinuierlichen und tierindividuellen Monitorings von extensiv gehaltenen Schafen erfordert innovative Lösungen. Daher wurde die Entwicklung einer modularen und digital vernetzten Durchlaufwaage angestrebt, die als Grundmodul für das Monitoring von Verhalten, Gesundheit und phänotypischen Leistungsmerkmalen dienen sollte. Eine zentrale Voraussetzung für die effektive Datenerfassung und digitale Vernetzung ist die Kennzeichnung der Schafe mittels elektronischer Ohrmarken (RFID). Diese Technologie ermöglicht es, sowohl tierindividuelle als auch tiergruppenbezogene Daten zu erfassen. Insbesondere bei Schafen ist die Erfassung des individuellen Tiergewichts und dessen dynamischer zeitlicher Verlauf ein wesentlicher Indikator zur Beschreibung und Bewertung des Ernährungsstatus, der Gesundheit, des Wohlbefindens und der Leistung der Tiere. Um diese Ziele zu erreichen, sollte auf erfolgreiche Untersuchungen aus Australien zurückgegriffen werden, wo bereits speziell für den Außenbereich konzipierte und mit RFID-Technik vernetzte Durchlaufwaagen (WOW, Walk Over Weighing) unter Praxisbedingungen eingesetzt werden.

Durch die Integration zu entwickelnder „Monitoring-Module“ sollte eine umfangreiche Erfassung von Indikatoren für z.B. Tiergesundheit, -verhalten sowie Tierleistungsparameter realisiert werden. Dies sollte nicht nur eine kostengünstige Erweiterung der Datengrundlage für die Zuchtwertschätzung ermöglichen, sondern auch die züchterische Bearbeitung der Tiergesundheit optimieren und bestehende Wissensplattformen ergänzen. Zudem sollte durch die frühzeitige Erkennung von Problemen wie Anthelmintika-Resistenzen ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Tierhaltung geleistet werden.

Das Ziel des Projekts bestand darin, ein effektives Monitoring-System auf Basis einer mobilen Durchlaufwaage zu entwickeln und zu validieren, dass nicht nur die phänotypische Leistung erfasst, sondern auch die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere fördert. Gleichzeitig sollten den Schafhaltern wertvolle Informationen zur Verfügung gestellt werden, um ihre Entscheidungen in der Tierhaltung zu optimieren.

b) Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Das Konzept des „walk-over-weighing“ (WOW; Durchlaufwaage) basiert auf Entwicklungen und Erkenntnissen, die insbesondere aus der australischen Forschung stammen. Die Grundlagen für das tierindividuelle Wiegen von extensiv gehaltenen Schafen auf der Weide wurde in den 1960er Jahren im Kontext der Rinderhaltung gelegt.

Studien zeigen, dass die individuelle Gewichtserfassung ein wichtiger Indikator für Tiergesundheit und Zuchtmanagement ist (Edwards et al., 2016). Dezentrale Wiegeeinrichtungen bieten eine stressfreie, kosteneffektive Methode zur Gewichtsermittlung (Brown et al., 2014). Brown et al. (2014)

fanden heraus, dass diese Methode eine akzeptable Genauigkeit bei der Gewichtsermittlung bietet. In Kombination mit RFID-Technologie haben Morris et al. (2012) versucht, individuelle Gewichts- und Leistungsdaten zu generieren; jedoch wiesen diese Systeme noch signifikante Limitationen hinsichtlich der Wiederholbarkeit auf. In einer weiteren Studie untersuchten Gonzalez-Gracia et al. (2018) den mobilen Einsatz von WOW unter verschiedenen Szenarien und Orten in der Schafhaltung, sowohl im Innen- als auch im Außeneinsatz.

Literatur:

- D. Brown, D. Savage, G. Hinch (2014): Repeatability and frequency of in-paddock sheep walk-over weights: implications for individual animal management; *Animal Production Science*, 2014,54, 207–213 <http://dx.doi.org/10.1071/AN1231>
- M. S. Edwards, L. A. Gonzalez, R. D. Bush (2016): Individual-based remote walk-over weighing: improving current performance of RFID-linked in-paddock sheep weight data; download 07.10.2019 unter: <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/05/2016-Max-Edwards-Thesis.pdf>
- E. González-García, P. M. Alhamada, J. Pradel, S. Douls, S. Parisot, F. Bocquier, J. B. Menassol, I. Llach, L. A. González (2018b): A mobile and automated walk-over-weighing system for a close and remote monitoring of liveweight in sheep; *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 153, October 2018, Pages 226-238
- J. E. Morris, G. M., Cronin, R. D. Bush, (2012): Improving sheep production and welfare in extensive systems through precision sheep management; *Animal Production Science*, vol. 52, p. 665-70

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Ausgehend von der Aufgabenstellung sollte das Projekt mit zwei eigenständigen Partnern in 4 Hauptarbeitspakete mit 14 Unterarbeitspaketen umgesetzt werden. In mehreren Schritten sollte eine Durchlaufwaage für Schafe für den autonomen Einsatz auf der Weide modifiziert werden. Aufbau, Test, Optimierung und Validierung des Durchlaufwaagen-Grundsystems sowie der ergänzenden Module sollte sowohl im Rahmen von Laboruntersuchungen als auch auf schafhaltenden Praxisbetrieben erfolgen. Parallel zu einem Grundsystem sollte ein weiteres System, welches PKW-Anhänger-basiert ist, entstehen sowie optimiert und unter Praxisbedingungen getestet werden (ILV). In mehreren Versuchen sollte die Datenspeicherung, -übertragung und -auswertung getestet werden. Die erhobenen Daten sollten abschließend in einer Datenbank gespeichert und ausgewertet und visualisiert werden (vit). Zusätzlich sollte eine grundsätzliche Nutzbarmachung von Bewegungs- und Aktivitätsprofile überprüft werden.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungs- zeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 1 <i>Entwicklung/Test WOW-Grundmodul</i>	11/2021 bis 07/2022	Entwicklung und Erprobung des Prototyps ab 11/2021. Bis 04/2023 wurden weitere Verbesserungen verbaut. Erfolgreiche Datenübertragung an serv.it OVICAP seit 04/2023. Darstellungen & Visualisierungen der Wiegeergebnisse von Tier und Herde bei serv.it OVICAP erstellt.
AP 1.1 Aufbau, Test und Optimierung WOW (Laborbedingungen)	11/2021 bis 06/2022	Erfolgreiche Erweiterung der stationären Durchlaufwaage um Horden, Batterien und Ladegerät, Druckluftkompressor (24 V & 230 V) und Photovoltaik-Modul im Zeitraum vom

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungs- zeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
		11/2021 bis 06/2022. Erfolgreiche Validierungen unter Laborbedingungen (03/2022). Sichere Datenerhebung, -speicherung und -übertragung sowie Strom- und Druckluftversorgung.
AP 1.2 Anpassung WOW-Basissystem an Praxisversuche Betrieb 1	01/2022 bis 07/2022	Erste Praxiserprobung 03/2022 ohne Zusatzbauteile. Anpassungen bis 07/2022 verbaut und im Stall mit Hausanschluss (230 V) erfolgreich getestet. Defekt beim 24 V Kompressor bei Tests in 07/2022. In 08/2023 abschließender Verbau eines funktionsfähigen 24 V Kompressors für Tests auf der Weide.
AP 1.3 Validierung WOW-Basissystem auf Betrieb 1	01/2022 bis 03/2024	Erste Validierung (03/2022) mit unzufriedenstellenden Ergebnissen. Weitere Validierung durch defekten Kompressor (07/2022) unterbrochen. Wiederholt erfolgreiche Validierungen im Zeitraum von 02/2023 bis 08/2023. Dazu Erhebung von täglichen & wöchentlichen (Gewichts-)Daten von Schafen. Feststellung einer tierindividuellen Problematik bzgl. der Gewöhnung und des Anlernens der Schafe an die Durchlaufwaage sowie selbstständiges Nutzen der Waage.
AP 2 Erweiterung Grundmodul	10/2022 bis 06/2023	Anlieferung Futterautomat 03/2023
AP 2.1 Erweiterung Grundmodul um Tränke-/Wiegetröge	10/2022 bis 06/2023	Nach intensiver Rücksprache mit den Praxisbetrieben und Experten wurde unter unseren regionalen Bedingungen lediglich Kraftfutter als erfolgsversprechend angesehen. Eigenkonstruktion und Bau eines adäquaten Futterautomaten, welcher an die Gegebenheiten der Durchlaufwaage hinsichtlich Stromversorgung und Mengendosierung sowie Einbindung in die Datenverarbeitung angepasst ist und der definiert einstellbare Futtermengen tierindividuell dosieren kann.
AP 2.2 Optimierung/Validierung unter Laborbedingungen	02/2023 bis 05/2023	Testung und Validierung unter Laborbedingungen erfolgreich abgeschlossen (05/2023).
AP 2.3 Validierung auf Betrieb 1	06/2023 bis 03/2024	Tierindividuelle und dosierte Kraftfutterfütterung in der Praxis erfolgreich getestet (09/2023). Integration einer Beschränkung der Kraftfuttergabe, da individuelle Tiere dauerhaft durch das Wiegesystem liefern. Autonome Wiegung mit stationärer Durchlaufwaage über 2 Monate erfolgreich durchgeführt (11/2023 bis 12/2023).
AP 2.4 Optimierung Auswertungen und Visualisierungen	07/2023 bis 03/2024	Kraftfutter wird (in den laufenden Untersuchungen) nur als Lockmittel genutzt, nicht als Zusatzfutter, weshalb kein ergänzender Wiegetrog installiert wurde. Auf Grund von dieser vorgegeben maximalen Aufnahmemengen wurden keine Visualisierungen der Kraftfutteraufnahme durchgeführt.
AP 3 Erweiterung Grundmodul Sensorik Tieraktivität/-bewegungsverhalten	10/2021 bis 03/2024	Die im ursprünglichen Projektantrag aufgeführte Technik (SMARTBOW) konnte nicht erworben werden, da die Firma die Entwicklung und den Verkauf ihrer Outdoor-Tier-Überwachung zwischenzeitlich eingestellt hatte. Daher Suche und Nutzung einer „Alternativtechnik“: LoRa Dragino Tracker
AP 3.1 Optimierung/Validierung unter Laborbedingungen	10/2021 bis 09/2023	Durchführung der ersten Tests in 10/2021 der LoRa Dragino Tracker. Die neuste bzw. eine überarbeitete Generation der Tracker wurden in 09/2023 ergänzend getestet um eventuelle „Fortschritte“ zu evaluieren. Nach der Testung und Auswertung der Daten der „Alternativtechnik“ (LoRa) unter Laborbedingungen wurden, je nach Fragestellung, eine unzureichende Genauigkeit bei der Positionsbestimmung festgestellt (09/2023). Unzureichende Akkulaufzeit der LoRa-Technik lässt

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungs- zeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
		Praxistauglichkeit hinterfragen (09/2023). Weitere „Alternativtechnik“ (Beschleunigungssensoren: MSR 145B16A Datenlogger + MSR 145B8A & N10006 Datenlogger) wurde zu Testzwecken gekauft.
AP 3.2 Validierung auf Betrieb 1	03/2022 bis 03/2024	Alte Generation Dragino Tracker: Erste Praxiserprobung in 04/2022. Aber: 08/2022 Test der Genauigkeit & Präzision der alten Generation – bis max. 65 m zu ungenau, weshalb die Suche nach einer weiteren „Alternativtechnik“ fortgesetzt wurde. Ab 08/2023 intensive Testung der Präzision & Genauigkeit. Auswertung mit R Studio.
AP 3.3 Integration Sensorik Erfassung Bewegungs-/Aktivitätsprofile	06/2022 bis 03/2024	Alte Generation Dragino Tracker: Erste Praxiserprobung in 04/2022. Anschließende Auswertung mit QGIS. Bewegung der Schafe grundsätzlich zu erkennen.
AP 3.4 Überprüfung der Nutzbarkeit von Bewegungsprofilen	06/2022 bis 03/2024	Auf Grund von unzureichender Akkulaufzeit (< 24 h) bei der höchsten Abtastrate des Geräts (0,033 Hz), und unzureichender Genauigkeit ist die Praxistauglichkeit der LoRa-Technik zu hinterfragen. Auf Grund von unzureichender Akkulaufzeit (< 24 h bzw. < 12 h) ist auch die Praxistauglichkeit der Beschleunigungssensoren bei hohen Abtastraten (10 Hz bzw. 50 Hz) zu hinterfragen.
AP 4 Aufbau, Optimierung und Validierung mobiles modulares WOW	04/2022 bis 03/2024	Anlieferung der mobilen Durchlaufwaage in 04/2022.
AP 4.1 Test unter Laborbedingungen	07/2022 bis 07/2023	Einbau der gleichen Ausstattung, Technik sowie Hard- und Softwareansteuerung und Programmierung wie bei der stationären Durchlaufwaage aus AP 1. Dazu die Ergänzung um Kraftfutterautomat, Trog und Rücklaufsperrern entsprechend zu AP 2. Abschließende Testungen nach dem Umbau unter Laborbedingungen waren in 06/2023 erfolgreich.
AP 4.2 Test und Validierung auf Betrieb 2	07/2022 bis 03/2024	Erster Test auf Betrieb nicht erfolgreich (07/2022), da ein Defekt beim 24 V Kompressor vorlag. Weitere Test erst ab 07/2023 auf Hofffläche & Weide. Optimale Einstellungen der Wiegesteuerung der mobilen Durchlaufwaage unter Praxisbedingungen gefunden (08/2023). Datenaufzeichnung & wiederholt durchgeführte Validierungen ab 08/2023 – mit Erfolg. Autonome Wiegung unter realen Praxisbedingungen kontinuierlich über 10 Tage mit Erfolg durchgeführt.
AP 4.3 Test und Validierung auf Betrieb 3	10/2023 bis 03/2024	Test auf Betrieb 3 im Zeitraum von 10/2023 bis 12/2023. Autonome Wiegung über 3 Wochen durchgeführt. Auf Grund von Wetter- & Standortbedingungen Rückführung der mobilen Durchlaufwaage auf Betrieb 2.

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
M 1 Entwicklung, Test und Optimierung Grundmodul abgeschlossen	07/2022	Meilenstein, mit einer Einschränkung, in 07/2022 erreicht. Abschließender Verbau eines funktionsfähigen 24 V Kompressors in 08/2023 im stationären System.
M 2 Erweiterung Grundmodul um Tränke-/Wiegetröge; Integration eines weiteren WOW-Grundsystems in	05/2023	Erweiterung um Kraftfuttertrog in 05/2023 erreicht. Anhängerbasierte Durchlaufwaage planmäßig umgebaut. Meilenstein in 05/2023 erreicht.

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
eine mobile, Pkw-Anhänger-basierte Sortier- und Behandlungsanlage		
M 3 Erste Optimierung von Auswertalgorithmen und Visualisierungen sowie Benutzeroberflächen abgeschlossen	10/2023	Meilenstein in 10/2023 erreicht.
M 4 Erweiterung Grundmodul Sensorik Tieraktivität/-bewegungsverhalten abgeschlossen	03/2024	Die im ursprünglichen Projektantrag eingeplante Hard- und Software zur Outdoor-Tier-Überwachung (SMARTBOW) konnte nicht erfolgen, da die Firma die Entwicklung und den Verkauf einer Outdoor-Tier-Überwachung eingestellt hat. Umfangreiche Vorversuche ließen unter Labor- und Outdoorbedingungen beide „Alternativtechniken“ (LoRa-GPS-Tracker & Beschleunigungssensoren) auf Grund ihrer, je nach Fragestellung, unzureichenden Akkulaufzeit, bzw. der unzureichenden Genauigkeit bei den GPS-Trackern, die Praxistauglichkeit (momentan) hinterfragen. Die grundsätzliche Nutzbarmachung von Bewegungs- und Aktivitätsprofilen wurde intensiv überprüft, wenn auch wie bereits im Zwischenbericht dargestellt, die evaluierten Techniken noch keinen längeren Praxiseinsatz zulassen bzw. zurzeit dafür nicht geeignet sind. Leider konnten, wie im Zwischenbericht befürchtet, die Teilziele nicht erreicht werden.
M 5 Endbericht erstellt	06/2024	Meilenstein in 12/2024 erreicht.

b) Zusammenfassung

Trotz verschiedener, unvorhersehbarer Einflüsse und Faktoren wie (1) die corona-bedingte Beeinflussung bzw. zeitliche Verzögerung der Projektdurchführung, (2) die Komplexität der technischen Lösungsfindung und Notwendigkeit technischer Anpassungen durch die institutseigene Werkstatt, (3) die zeitliche Verzögerung bei Lieferanfragen sowie bei der Beschaffung von Material und Einzelteilen (Lieferengpässe), (4) die Notwendigkeit der Entwicklung und Umsetzung neuer und/oder eigener alternativer Lösungswege und (5) die verzögerte Personaleinstellung, die eine kostenneutrale Verlängerung der Projektbearbeitung bis zum 30.06.2024 notwendig machten, wurden alle Arbeitspakete planmäßig bearbeitet und fast alle gesetzten Meilensteine vollständig erreicht.

In dem Projekt wurde ein Prototyp zur autonomen Gewichtserfassung entwickelt und erprobt. Die mobile und autonome Durchlaufwaage kann auf der Weide oder im Stall eingesetzt werden. Sie zeigt sich als effektives Werkzeug zur Gewichtsüberwachung von Schafen. Sie ermöglicht eine schnelle und stressfreie Gewichtserfassung, was sowohl für die Landwirte als auch für das Wohlbefinden der Tiere von Vorteil ist.

Im Laufe der Projektzeit wurde die Funktionsfähigkeit des Prototyps mit Solarbetrieb und 230 V Anschluss sichergestellt. Eine integrierte Sicherung ermöglicht ein automatisiertes Öffnen der Pforten bei Strom- und Druckluftausfall, damit die Tiere nicht in der Waage eingesperrt bleiben. Abschließende Ergänzungen um eine Eigenkonstruktion eines Kraftfutterautomaten mit Trog,

Videoüberwachung und Rücklaufsperrern, sowie weitere kleinere Anpassungsmaßnahmen wurden für eine autonomen Schafswiegung durchgeführt.

In vorherigen wiederholten Validierungen erreichte die automatische Gewichtserfassung eine hohe Genauigkeit. Bei wiederholtem Durchqueren der Durchlaufwaage der gleichen Tiere wurde eine geringe Streuung erreicht (Variationskoeffizient $< 1 \%$).

Die erhobenen Gewichtsdaten von den individuellen Tieren werden entsprechend der Aufzeichnungszeit intern gespeichert. Durch die Schaffung einer Schnittstelle zu serv.it OVICAP lassen sich die Daten an den Projektpartner vit übertragen, über den die Darstellung und Visualisierung der Wiegeergebnisse vom individuellen Tier und der gesamten Herde erfolgt.

In den abschließenden Praxistests mit der vollständig umgebauten autonomen Durchlaufwaage betreten bis zu 35 % der Versuchsgruppe die Durchlaufwaage autonom und freiwillig. Wichtige Faktoren für eine erfolgreiche autonome Wiegung auf der Weide ohne menschliches Zutun sind die Versorgung der Schafe mit Kraftfutter als Lockstoff sowie Zeit für das Anlernen und die Gewöhnung der Schafe an die Durchlaufwaage.

Im Rahmen der Überprüfung der grundsätzlichen Nutzbarmachung von Bewegungs- und Aktivitätsprofilen wurden, auf Grund der Einstellung der Entwicklung einer Outdoor-Tier-Überwachung der Firma SMARTBOW, einige unterschiedliche Alternativtechniken getestet. Die Validierung der Daten der Alternativtechnik (LoRa-GPS-Tracker) zur Ortung von Schafen zeigte, dass, je nach Fragestellung, leider unzureichende Genauigkeiten bei der Positionsbestimmung und eine für den längerfristigen Praxiseinsatz unzureichende Akkulaufzeit festgestellt wurden. Auf Basis von durchgeführten Testungen unter Labor- und Outdoorbedingungen lassen auch Beschleunigungssensoren auf Grund ihrer, je nach Fragestellung, unzureichenden Akkulaufzeit, die Praxistauglichkeit (momentan) hinterfragen. Damit zeigt sich, dass die kommerziell erhältliche Technik im Bereich Bewegungs- und Ortungstechnik noch keinen längeren Praxiseinsatz in der Schafhaltung zulassen bzw. dafür zurzeit nicht geeignet sind.

c) Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Es fand eine Zusammenarbeit mit Experten aus verschiedenen Institutionen über die projektbegleitende Vernetzungs- und Transfermaßnahme DigiTier statt. Dabei wurde bei den Konferenzen selbst oder auch bei weiteren Veranstaltungen (Workshops) der Teilnehmerkreis regelmäßig um Gäste erweitert.

II. Eingehende Darstellung

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Vergleich zur Vorhabenbeschreibung

In dem Projekt wurde eine autonome mobile Durchlaufwaage mit Futterautomat für Schafe entwickelt, erprobt und optimiert. Die Durchlaufwaage ist so konzipiert, dass sie autonom im Schafstall oder auf der Weide genutzt werden kann. Dies ermöglicht eine flexible Nutzung in verschiedenen Umgebungen. Die Waage ermöglicht die präzise Gewichtserfassung der Schafe und speichert diese Daten zur Überwachung von Wachstum und Gesundheit. Der Futterautomat sorgt dafür, dass die Akzeptanz der Waage für Schafe erhöht wird.

Während der Projektlaufzeit erfolgte bereits ein Wissenstransfer in Form der Einbeziehung in Aus- und Weiterbildung sowie durch Poster und Kurzvideos (DigiTier), Beiträge im Rahmen von Fachveranstaltungen (Bundeschau Schafe), Informationsveranstaltungen (Tag der offenen Tür) und Präsentation auf Messen (EuroTier). Die genannten als auch weitere Aktivitäten zum Wissenstransfer (z.B. wissenschaftliche Publikationen) werden nach Projektende fortgesetzt.

Die in den einzelnen Arbeitspaketen erzielten Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Arbeitspaket 1: Entwicklung & Test des WOW-Grundmoduls

Die für die Entwicklungsarbeiten, Untersuchungen und Erprobungen erforderliche Durchlaufwaage wurde aufgrund von Lieferschwierigkeiten verspätet geliefert. Nach der Ankunft erfolgte der Austausch der Wiegebalken sowie des nicht funktionierenden RFID-Readers. Im Anschluss daran wurde eine automatische Steuerung entwickelt, die das Ansteuern der Pforten, der Wiegetechnik, der Lichtschranken und des RFID-Readers sowie der Druckluftsteuerung ermöglicht. Um die Technik vor schlechten Wetterbedingungen zu schützen, wurde die gesamte Elektronik in einem Aluminiumkasten verbaut.

Die automatische Steuerung wurde mit der manuellen Steuerung verbunden, sodass beide Funktionen weiterhin zur Verfügung stehen. Zunächst wurden die Gewichte mithilfe eines Gallagher-Computers erfasst. Da jedoch der Code für die Gewichtserhebung sowie die Rohdaten darüber nicht gespeichert werden konnten, wurde entschieden, anstelle des Gallagher-Computers einen DMS-Verstärker für die Gewichtsbestimmung inklusive Auswertungs-Algorithmus selber zu entwickeln und zu integrieren.

Die Waage wurde mit Wasserfässern im Gewichtsspektrum von 0 bis 140 kg auf ihre Genauigkeit validiert. Die Standardabweichung betrug im Schnitt lediglich 0,01 kg. Im ersten Praxistest der ersten Version stellte sich heraus, dass die Lichtschranke am Vordereingang nicht korrekt positioniert war, was ein Versetzen erforderlich machte. Anschließend konnte die geplante Erweiterung der stationären Durchlaufwaage um Horden, Batterien und Ladegerät, Druckluftkompressor (230 V & 24 V) sowie Photovoltaik-Module erfolgreich umgesetzt werden. Hierbei waren höhere Investitionen für den Umbau der Waage notwendig.

Eine Reihe von Untersuchungen und Tests zur Anpassung und Verbesserung wurden durchgeführt. Neben dem Einbau der Technik fanden weitere Umbaumaßnahmen an der Hardwareansteuerung statt, ebenso wie die Entwicklung und Verfeinerung der Softwareansteuerung.

Die Erprobung konnte erfolgreich unter Laborbedingungen und anschließend im Stall durchgeführt werden. In den Praxistests wurden die Schafe zunächst eingefangen und dann über die Waage gelassen. Dieser Vorgang wurde wiederholt, um die Wiederholbarkeit der Daten zu überprüfen.

Für den erfolgreichen Einsatz in der Praxis wurde eine neu konstruierte tiergerechtere Eingangspforte mit Gummi-Lippen als Klemmschutz für Schafe und Lämmer entwickelt. Zudem wurde die Druckluftversorgung verändert, um eine automatisierte (Not-)Öffnung der Ausgangspforte zu ermöglichen, sodass Tiere bei Strom- oder Druckluftausfall selbstständig aus der Waage gelangen können. Im Stall wurde die stationäre Durchlaufwaage anschließend wiederholt erfolgreich hinsichtlich ihrer Genauigkeit bei der Ermittlung der Tiergewichte validiert.

Im Rahmen von wöchentlich erhobenen Gewichtsdaten mit der Durchlaufwaage wurden diese Tierdaten an vit übermittelt. Für den Informationsaustausch wurde in serv.it OVICAP ein Webservice integriert. Dafür wurde das Format für den Datenaustausch und die Schnittstelle mit vit abgesprochen und festgelegt. Als Grundbedingung wurde eine flexible weiterzuentwickelnde Schnittstelle definiert. Dafür wurde das Datenformat JavaScript Object Notation (JSON) gewählt. Die Daten wurden durch die Software der Waage in einer csv-Datei gespeichert und dann mithilfe eines Curl-Befehls an die Datenbank übertragen. Eine Automatisierung des Datentransfers zur vit ist damit technisch möglich. Darüber hinaus wurden Darstellungen und Visualisierungen der Wiegeergebnisse von Tier und Herde bei serv.it OVICAP erstellt.

Arbeitspaket 2: Erweiterung des Grundmoduls um Tränke-/Wiegetröge

Nach intensiven Gesprächen mit Praxisbetrieben und Experten wird die Nutzung von Kraftfutter als Lockmittel unter den regionalen Bedingungen als die vielversprechendste Maßnahme angesehen. Auf eine Tränke wurde verzichtet, da Wasser in dieser Gegend, insbesondere am Deich, in der Regel ausreichend vorhanden ist.

Die eigene Konzeption und der Bau eines adäquaten Futterautomaten, der an die spezifischen Gegebenheiten der WOW hinsichtlich Stromversorgung, Mengendosierung und Integration in die vorhandene Hard- und Software angepasst wurde, wurde von der institutseigenen Abteilung für Konstruktion und Fertigung erfolgreich durchgeführt. Da kein passender und kommerziell erhältlicher Futterautomat gefunden werden konnte, wurde stattdessen ein Futterdosierer (Black V anti-verschüt) erworben, um ihn mit der notwendigen Technik zu ergänzen. Der Einbau in die vorhandene Hard- und Software verlief reibungslos, was es ermöglichte, Testungen und Validierungen unter Laborbedingungen durchzuführen. Auch die anschließenden Praxistests waren erfolgreich. Der Futterautomat wurde hinter der Waage im System integriert.

Dank des neuen Futterautomaten ist nun eine individuelle und dosierte Kraftfutterfütterung möglich. Die Dosierung kann in 10 Gramm Schritten angepasst werden. Auf den Einbau eines Wiegetroges konnte verzichtet werden, da die Menge des Kraftfutters durch den Dosierer exakt eingestellt und abgegeben wird. Zudem werden die tierindividuell ausgegebenen Mengen digital erfasst und gespeichert. Um sicherzustellen, dass die Schafe nicht zu viel Kraftfutter aufnehmen, wurde eine frei definierbare zusätzliche Beschränkung (Menge/Frequenz) der individuellen Kraftfuttergabe implementiert. Die Schafe erhalten in der aktuellen Version lediglich 3-mal am Tag bei ihrem Besuch im Wiegesystem jeweils 20 Gramm Kraftfutter.

Arbeitspaket 3: Erweiterung des Grundmoduls um Sensorik für Tieraktivitäts-/bewegungsverhalten

Die im ursprünglichen Projektantrag aufgeführte Technik (SMARTBOW) konnte nicht erworben werden, da die Firma die Entwicklung und den Verkauf ihrer Outdoor-Tier-Überwachung eingestellt hat. Nach intensiver Recherche nach einer anderen technischen Lösung (Alternativtechnik) wurden dann LoRa-GPS-Tracker erworben.

In einem ersten Schritt wurden Dragino LGT 92 Tracker angeschafft und auf dem Universitätsgelände getestet. Hierzu wurde ein GNSS-System aufgebaut, das einen Raspberry Pi umfasst, der sowohl als Speicher als auch als Schnittstelle dient. Teil des GNSS-Systems ist der Outdoor Gateway, welcher im ILV positioniert wurde. Mithilfe des DLOS8 Outdoor Gateways werden die GPS-Daten erfasst und anschließend gespeichert.

Nach der Testung und Auswertung der generierten Daten mit den LoRa-GPS-Trackern unter Laborbedingungen stellte sich heraus, dass die Genauigkeit bei der Positionsbestimmung je nach Fragestellung unzureichend war. Zudem ließ die Akkulaufzeit der LoRa-Technik Fragen zur Praxistauglichkeit aufkommen, weshalb die Suche nach einer anderen oder zusätzlichen Alternativtechnik fortgesetzt wurde. Zusätzlich wurden weitere praktische Tests und Auswertungen der LoRa-Technik auf Praxisbetrieben durchgeführt, wobei erneut unzureichende Genauigkeiten bei der Positionsbestimmung festgestellt wurden.

Während der ersten Testung der Tracker an den Schafen trat eine weitere Problematik zutage. Die Tracker wurden am Halfter befestigt, die den Schafen angelegt wurden. Die GPS-Daten wurden über einen Zeitraum von etwa 24 Stunden in 30 Sekunden-Intervallen übertragen. Allerdings wurde das Entfernen der Halfter erst eine Woche später durchgeführt, was dazu führte, dass einige Tracker verloren gingen. Zudem verursachten die Halfter Scheuerspuren am Schaf, was auf eine unzureichende Wahl zur Anbringung solcher anliegenden Sensoren hinweist.

In einem nächsten Schritt erfolgte eine Einsatzerprobung und Validierung auf einem Praxisbetrieb. Die LGT 92 Tracker wurden dabei durch eine neue Generation Tracker (TrackerD) ausgetauscht. Um die Tests zu unterstützen, wurde ein weiteres GNSS-System aufgebaut, sodass nun zwei GNSS-Systeme zur Verfügung standen. Mit Hilfe von zwei DLOS8 Outdoor Gateways konnten die GPS-Daten dann auf der Weide erfasst werden. In diesen wiederholten Tests musste erneut eine

unzureichende Genauigkeit bei der Positionsbestimmung festgestellt wurden. Es bestätigte sich auch, dass eine Abtastrate der GPS-Standorte von ca. 30 Sekunden die Akkulaufzeit auf unter 24 Stunden begrenzt.

Im Rahmen weiterer Bemühungen wurden Beschleunigungssensoren (MSR) zur Erfassung der Tieraktivität angeschafft und getestet. Die Testungen der Bewegungssensoren unter Laborbedingungen zeigten jedoch auch eine unzureichende Akkulaufzeit, die stark von der eingestellten Erfassungsfrequenz abhängt. Die Erfassungsfrequenz kann variabel eingestellt werden, was es ermöglicht, entweder detaillierte Daten bei hoher Frequenz oder eine längere Akkulaufzeit bei niedrigerer Frequenz zu wählen. Dies stellt jedoch auch eine Herausforderung dar, da eine höhere Erfassungsfrequenz (10 Hz zu 50 Hz) oft mit einer verkürzten Akkulaufzeit (< 24 h zu < 12 h) einhergeht. Da es das Ziel war ein Verständnis für das Verhaltens und Wohlbefinden der Schafe zu erlangen, wurde eine hohe Abtastrate (50 Hz) gewählt, was gleichzeitig zu einer kurzen Akkulaufzeit geführt hat.

Die Landwirte haben den Wunsch geäußert, die Tracker nicht häufiger als maximal zweimal im Jahr auszutauschen. Leider ist dies mit den derzeit getesteten Technologien, sowohl der LoRa-Technik als auch den Bewegungssensoren, aufgrund der unzureichenden Akkulaufzeit und der damit verbundenen Praxistauglichkeit nicht möglich (1-mal täglich, je nach Einstellung). Daher ist es entscheidend, alternative Lösungen zu finden, die eine längere Akkulaufzeit bieten und den Anforderungen der Landwirte gerecht werden.

Arbeitspaket 4: Aufbau, Optimierung und Validierung der mobilen modularen WOW

In Analogie zu Arbeitspaket 1 erhielt der mobile Aufbau die identische Ausstattung, Technik sowie Hard- und Softwareansteuerung und Programmierung wie bei der stationären Durchlaufwaage. Zusätzlich wurde die mobile WOW um den Kraftfutterautomaten (AP 2), einen Trog (AP 2), und weitere Rücklaufsperrern erweitert. Eine Internet-Anbindung über WLAN oder Hotspot wurde ebenfalls implementiert, um eine reibungslose Datenübertragung zu gewährleisten. Nach dem Umbau und der Integration eines 24 Volt-Kompressors wurden abschließende Tests unter Laborbedingungen erfolgreich durchgeführt. Zusätzlich wurde die Waage mit Wasserfässern im Gewichtsspektrum von 0 bis 140 kg validiert, um ihre Genauigkeit zu überprüfen.

Während wiederholter Validierungen zur Erhebung von Gewichtsdatensätzen wurden Anpassungen in der Wiegesteuerung erforderlich. Zunächst wurden signifikante Unterschiede in den erfassten Gewichten derselben Tiere festgestellt, was eine gezielte Suche nach optimalen Einstellungen erforderte, um für die Mehrheit der Tiere konsistente Gewichtsergebnisse zu erzielen. Hierbei wurden Anpassungen des Moving Averages sowie der zulässigen Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert des Moving Averages vorgenommen, um eine präzisere Mittelwertbildung zu ermöglichen. Die Genauigkeit der Waage zeigte sich durch eine geringe Streuung bei wiederholtem Durchqueren durch dieselben Tiere, wobei der Variationskoeffizient unter 1 % lag.

Zusätzlich wurde eine dynamische Nullpunktkalibrierung integriert, die potenzielle Fehler durch Verschmutzungen der Waage eliminiert. Diese Kalibrierungsmethode ermöglicht es, den Nullpunkt der Waage kontinuierlich anzupassen, während sie in Betrieb ist. Dadurch wird sichergestellt, dass selbst bei Ablagerungen oder Verunreinigungen auf der Wägefläche präzise Messwerte erhalten bleiben.

Über Monate wurden erneut wöchentliche Erhebungen von Gewichtsdatensätzen bei Schafen und Lämmern durchgeführt. Diese Daten wurden in die Datenbank von serv.it OVICAP übertragen und standen den Schäfern zur Einsicht zur Verfügung.

Um die Funktionalität des Systems unter realen Bedingungen zu testen, wurde die mobile Waage über mehrere Tage auf der Weide positioniert, um zu überprüfen, ob die Sonneneinstrahlung ausreicht, um das gesamte System grundsätzlich über das integrierte PV-Modul nachhaltig mit Energie/Strom zu versorgen.

Das Ziel vollständiger autonomer Wiegungen von Schafen unter realen Praxisbedingungen konnte schließlich Ende 2023 in einem erfolgreichen 10-tägigen Test kontinuierlich erreicht werden. In diesem ersten Test betraten etwa 35 % der Versuchsgruppe freiwillig, täglich mehrmals wiederkehrend die mobile Durchlaufwaage. Es stellte sich heraus, dass Faktoren wie Kraftfutter, Anlernen und Gewöhnung entscheidend für den Erfolg des autonomen Betriebs einer mobilen Waage auf der Weide sind. Diese Aspekte spielen eine wesentliche Rolle, um die Tiere an die mobile Waage zu gewöhnen und ihre Bereitschaft zu erhöhen, die Durchlaufwaage eigenständig zu betreten.

Zusätzlich wurde zur ergänzenden Gewährleistung der Sicherheit und Kontrolle der mobilen Durchlaufwaage eine Videoüberwachung integriert. Diese erfolgt über einen Hotspot in Verbindung mit TeamViewer, was es den Betreuern ermöglicht, das System in Echtzeit zu überwachen und gegebenenfalls eingreifen zu können. Die Videoüberwachung bietet nicht nur eine zusätzliche Sicherheitsebene, sondern ermöglicht auch eine Analyse des Verhaltens der Tiere während des Wiegens, was wertvolle Informationen für zukünftige Anpassungen und Optimierungen liefert.

Die Kombination aus technischer Ausstattung, gezielter Anlernphase und kontinuierlicher Überwachung hat sich als effektiv erwiesen, um die autonome Wiegung von Schafen erfolgreich umzusetzen.

2. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Übersicht über die Projektausgaben an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) sind in Tabelle 1 dem bewilligten Finanzierungsplan des Projektes „Smart Sheep Net (Smart)“ gegenübergestellt. Der ursprüngliche Finanzierungsplan hat sich durch die Umsetzung einer genehmigten kostenneutralen Verlängerung leicht verändert.

Tabelle 1 Übersicht über Projektkosten an der CAU zu Kiel im Projekt Smart Sheep Net von 2021-2024

Smart Sheep Net	Finanzierungsplan		Ausgaben (2021 – 2024)	
	SOLL_alt	SOLL_neu	IST	Soll-IST
Beschäftigte (0812)	211.284,00	216.291,90	215.850,15	441,75
HiWi (0822)	11.583,00	6.531,13	6.711,36	-180,23
Gegenstände < 800/410/400 € (0831)	30.334,80	26.737,44	21.040,74	5.696,70
Verbrauchsmaterial (0843)	12.500,00	12.500,00	12.861,60	-361,60
Reisekosten (0846)	6.758,00	7.066,34	5.127,34	1.939,00
Gegenstände > 800/410/400 € (0850)	29.600,00	32.932,99	37.883,72	-4.950,73
Summe	302.059,80	302.059,80	299.474,91	2.584,89

Personalkosten (0812 & 0822)

Die umfangreichste Kostenposition des Projektes wurde für Personalkosten aufgewendet. Im Zeitraum von Juni 2021 bis Juni 2024 wurde für Personal rund 222.500,00 Euro aufgewandt. Im Projekt wurde über die gesamte Laufzeit 1 Wissenschaftler beschäftigt. Angestellt war Herr Hendrik Jasper. Hauptaufgaben waren die Koordination des Projektes; Planung, Betreuung und Durchführung der Versuche; Kommunikation mit Projektpartner; Aufbereitung, Plausibilisierung und Auswertung der Ergebnisse; Berichterstellung und Veröffentlichung der Daten.

Zur Unterstützung der Messungen waren 3 wissenschaftliche Hilfskräfte (Herr Yanneck Malte Ohl, Frau Kira Bulz, Herr Sven-Ole Bührmann) kurzzeitig beschäftigt.

Gegenstände < 800/410/400 € (0831)

Etwa 21.000,00 Euro wurden für den Erwerb von Gegenständen mit einem Wert von unter 800 Euro ausgegeben. Diese wurden für die Anschaffung der GPS-Tracker (Dragino) und Beschleunigungssensoren (MSR) sowie vieler (elektronischer) Bauteile der modifizierten stationären und mobilen Durchlaufwaage (Kompressor, Batterie, Solarpanel, etc.) verwendet.

Verbrauchsmaterial (0843)

Für verschiedene Verbrauchsmaterialien (Material für Versuche, (Um-)Baumaßnahmen für z.B. modifizierte Pforten, Kraftfutterautomaten, Halterungen PV-Anlage, mobile Wetterschütze für Elektronik und Speicherbatterien, Pneumatik, Elektrik- und Elektronikmaterial, etc.) sind rund 12.800,00 Euro aufgewendet worden.

Reisekosten (0846)

Die Reisekosten in der gesamten Projektlaufzeit betrugen rund 5.100,00 Euro. Neben den Besichtigungen der Schäfereien im Vorfeld der Messungen, fielen weitere Reisekosten für die Betreuung der Messungen, für die Besuche von Projekttreffen und für die Teilnahme an Tagungen und Workshops an. Aufgrund der SARS-Covid-19 Pandemie waren im Zeitraum des Projektes Dienstreisen nur eingeschränkt möglich. Ca. 1.900,00 Euro wurden daher nicht verwendet.

Gegenstände > 800/410/400 (0850)

Mit fast 38.000,00 Euro entfallen die zweithöchsten Kosten auf den Kauf von Investitionsgegenständen (0850). Der Großteil der zweitgrößten Kostenposition sind auf die Anschaffung der Bauteile der Durchlaufwaage des mobilen und modular aufgebauten PKW-basierten Anhängers zurückzuführen (ca. 31.500,00 €). Des Weiteren entfallen fast 5.000,00 Euro auf die hochwertigere Version der MSR-Logger (MSR 145B8A & N10006 Datenlogger).

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Um den Anforderungen der modernen Tierhaltung, insbesondere in der Schafzucht, gerecht zu werden, ist es unerlässlich, Techniken zu identifizieren, zu entwickeln und zu erproben, die benutzerfreundliche Anwendung sowie effizientes Monitoring und Management von Tierbeständen ermöglichen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die geleisteten Arbeiten im Rahmen dieses Projekts sowohl hinsichtlich ihrer finanziellen als auch ihrer praktischen Aspekte als angemessen und notwendig erachtet werden, waren sie doch für die adäquate Durchführung des Vorhabens notwendig. Die Investitionen in moderne Technologien und gute Betreuung sind entscheidend für den Erfolg des Vorhabens und tragen dazu bei, ein effektives Monitoring-System zu entwickeln, das sowohl das Tierwohl fördert als auch den wirtschaftlichen Erfolg der Schafhalter unterstützt.

4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans

Die im Rahmen des Projekts „Smart Sheep Net“ erhobenen Daten und Erkenntnisse werden einen Nutzen für die Schafhaltung bieten. Insbesondere wird die Möglichkeit zur Erfassung von Tiergewichten über das Management-System serv.it OVICAP den Anwendern bereits heute zugänglich gemacht. Diese Funktion ermöglicht es den Landwirten, die Entwicklung ihrer Tiere kontinuierlich zu überwachen und fundierte Entscheidungen zur Fütterung und Gesundheitsüberwachung zu treffen.

Darüber hinaus werden alle erforderlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Entwicklung einer autonomen Durchlaufwaage in Form von Publikationen bereitgestellt. Diese Veröffentlichungen werden nicht nur der Fachwelt zugänglich gemacht, sondern auch Praktikern in der Landwirtschaft helfen, innovative Technologien effektiv zu implementieren.

5. Bekannt gewordene Fortschritte/Erkenntnisse von Dritten

Während der Durchführung des Vorhabens sind keine FE-Ergebnisse von anderer Stelle bekannt geworden, die die Durchführung des Vorhabens relevant beeinflusst haben.