

Abschlussbericht Verbundprojekt zur Fördermaßnahme:
„Innovationen zur Digitalisierung in der Nutztierhaltung“
im Programm zur Innovationsförderung des
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

„Integriertes Daten- und Informations- managementsystem für Kälber und Färsen“

- Calf and Heifer Net (CHN) -

Kurzbericht

Förderkennzeichen 281C201A19

Projektlaufzeit: 15. April 2021 bis 31. Oktober 2024

Arbeitsteil A

Technische Universität München

Zuwendungsempfänger

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Prof. Dr. Heinz Bernhardt

Dürnast 10

85356 Freising

I. Kurze Darstellung

Ziel des Förderprojektes „Integriertes Daten- und Informationsmanagementsystem für Kälber und Färsen – Calf and Heifer Net (CHN)“ war es, eine lückenlose und durchgängige Informationskette von der Geburt eines Kalbes bis zur ersten Laktation als spätere Milchkuh zu etablieren. Hierbei sollte die bisher bestehende Datenlücke während der Kälber- und Färsenaufzucht geschlossen werden, um fundierte, tierindividuelle Entscheidungen im Gesundheits- und Entwicklungsmanagement zu ermöglichen. Über mehr als drei Jahren (15. April 2021 bis 31. Oktober 2024) kooperierten dabei der Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technische Universität München, die Förster-Technik GmbH, das Institut für Tierwissenschaften der Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn sowie das Hofgut Neumühle als interdisziplinäres Konsortium.

Im Zentrum des Projekts stand die Erfassung zahlreicher tierbezogener Parameter wie Gewicht, Aktivität, (Kolostral-) Milchaufnahme und weiterer Gesundheitsindikatoren. Neben der Bestimmung von Wachstum und Leistungsfähigkeit der Tiere wurden automatisierte Sensortechniken eingesetzt, um kontinuierliche Datenströme zu generieren. Hierzu zählten unter anderem automatische Tränkesysteme, Aktivitätssensoren, elektronische Wiegesysteme und die Erprobung einer bildbasierten Ohrmarkenerkennung zur Bestimmung der Raufutteraufnahme. Ziel war es, durch diese Technologien einen Datenfluss zu ermöglichen, der eine kontinuierliche Bewertung des Gesundheitszustands und der Leistungsentwicklung jedes Tieres erlaubt.

Das Projekt gliederte sich in elf Arbeitspakete. In Arbeitspaket eins wurde die Gesamtkoordination sowie das Projektmanagement sichergestellt. Neben regelmäßigen Online-Meetings und persönlichen Treffen auf verschiedenen Institutionen stand vor allem der barrierefreie Datenaustausch über Clouddienste im Vordergrund. Arbeitspaket zwei umfasste die Beschaffung, Installation und Optimierung der Sensortechnik – trotz Herausforderungen wie coronabedingten Lieferverzögerungen und technischen Anpassungen konnte die Sensorik erfolgreich implementiert werden. Im Arbeitspaket drei erfolgte die praktische Felddatenerfassung an ausgewählten Versuchsbetrieben, bei denen neben dem Hofgut Neumühle ein Familienbetrieb, sowie ein Genossenschaftsbetrieben zur Erfassung definierter Parameter zur Verfügung standen.

Ein wesentlicher Aspekt des Projekts lag in der Datenintegration und -analyse (Arbeitspaket vier). Hierbei wurden die erfassten Daten durch zahlreiche technische Anpassungen und

Optimierungen zusammengeführt. Die kontinuierliche Auswertung ermöglichte es, in den erhobenen Daten Veränderungen bis zu fünf Tage vor einer tierärztlichen Diagnose zu erkennen. Daneben wurde in Arbeitspaket fünf ein Entscheidungsalgorithmus entwickelt, der individuelle Selektionsempfehlungen für die Aufzucht generiert. Mithilfe einer API-Kopplung konnten Daten aus der Förster-Cloud in Echtzeit durch den Algorithmus ausgewertet werden.

Die technische Weiterentwicklung der Sensorik, sowie ihre Erweiterung durch innovative Ansatzsysteme wurde im Arbeitspaket sechs realisiert. Aufbauend auf diesen Entwicklungen erfolgte in Arbeitspaket sieben die Anbindung der Entscheidungsalgorithmen an die Förster-Cloud. Der erfolgreiche Test der Teilsysteme und des durchgehenden Informationssystems (Arbeitspaket acht und neun) unterstrich die Praxistauglichkeit des Projekts.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Rückkopplung der gewonnenen Erkenntnisse auf die physiologische Ebene der Tiere (Arbeitspaket zehn). Hier wurden detaillierte Untersuchungen in Bezug auf die Entwicklung von Kälbern und Färsen durchgeführt. Dazu zählten regelmäßige Gesundheitsbewertungen, Blutproben und die Betrachtung des Einflusses von Milchaustauscher und Fütterung in den frühen Lebenswochen auf die spätere Leistungsfähigkeit. Die Metabolomanalyse stellte Zusammenhänge zwischen Stoffwechselfparametern, Nährstoffaufnahme und Immunstatus der Tiere heraus. Diese Analyse identifizierte frühzeitig metabolische Imprinting-Effekte, die langfristig Einfluss auf die Milchleistung und die Gesundheit der Herde haben können.

Die technische Infrastruktur des Projektes wurde so konzipiert, dass das entwickelte Managementsystem künftig in das bestehende Angebot von Förster-Technik integriert werden kann. Die enge Kooperation mit Förster-Technik sichert die Weiterentwicklung hin zu einem marktreifen Produkt, das nicht nur die Effizienz in der Jungrinderaufzucht steigert, sondern auch wesentliche Impulse für das Tierwohl und die nachhaltige Nutzung genetischer Ressourcen setzt.

Die umfangreiche Datenbasis, die im Rahmen des Projekts erhoben wurde, zeigt vielfältige Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsprojekte. Neben der weiteren Validierung des entwickelten Entscheidungsalgorithmus sind die gesammelten Daten auch für weiterführende Studien nutzbar. So stellt „Calf and Heifer Net“ einen wichtigen Schritt in Richtung Digitalisierung und Automatisierung der Nutztierhaltung dar und bietet Grundlage für zukünftige Entwicklungen.

Abschlussbericht Verbundprojekt zur Fördermaßnahme:
„Innovationen zur Digitalisierung in der Nutztierhaltung“
im Programm zur Innovationsförderung des
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

„Integriertes Daten- und Informations- managementsystem für Kälber und Färsen“

- Calf and Heifer Net (CHN) -

Eingehende Darstellung

Förderkennzeichen 281C201A19

Projektlaufzeit: 15. April 2021 bis 31. Oktober 2024

Arbeitsteil A

Technische Universität München

Zuwendungsempfänger

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Prof. Dr. Heinz Bernhardt

Dürnast 10

85356 Freising

I. Projektzusammenfassung:

Ziel des Verbundprojektes „Integriertes Daten- und Informationsmanagementsystem für Kälber und Färsen – Calf and Heifer Net (CHN)“ war es, eine lückenlose Datenkette von der Geburt des Kalbes bis zur ersten Laktation als spätere Milchkuh aufzubauen. Durch die Erfassung tierindividueller Parameter wie Gewicht, Aktivität, (Kolostral-) Milchaufnahme und verschiedener Gesundheitsindikatoren sollten fundierte, zeitnahe Entscheidungen im Gesundheits- und Entwicklungsmanagement ermöglicht werden. Mittels moderner Sensorik – etwa automatischer Tränkesysteme, Aktivitätssensoren, Waagen sowie innovativen Bild- und Erkennungstechniken – wurde eine Basis geschaffen, die sowohl interne Tierdaten als auch externe Faktoren integriert.

Die gewonnenen Daten wurden analysiert, um frühzeitig Abweichungen von definierten Entwicklungsstandards zu erkennen. Dies ermöglichte die Entwicklung eines Entscheidungsalgorithmus, der Selektionsempfehlungen auf Basis der tierindividuellen Entwicklung gibt. Trotz logistischer Herausforderungen, wie Lieferverzögerungen und temporären technischen Problemen, konnte ein durchgehender Datenfluss realisiert werden. Die enge Kooperation zwischen der Technischen Universität München, der Förster-Technik GmbH, dem Institut für Tierwissenschaften der Universität Bonn und dem Hofgut Neumühle stellte die Entwicklung, Umsetzung, praktische Erprobung und Validierung der Systeme sicher.

Im Rahmen der Metabolomanalyse wurden umfangreiche Profiluntersuchungen durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen Stoffwechselfparametern, Nährstoffaufnahme und dem Immunstatus der Tiere zu identifizieren. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, frühzeitig metabolische Imprinting-Effekte zu erkennen, welche langfristig Einfluss auf die Leistung und Gesundheit der Milchviehherde nehmen können.

Das Projekt leistet einen Beitrag zur Effizienzsteigerung in der Milchviehhaltung und zur Förderung des Tierwohls, indem es langfristige Leistungsindikatoren und Gesundheitsparameter quantifiziert. Gleichzeitig eröffnet die erarbeitete Methodik Perspektiven für zukünftige Forschungsprojekte und den Einsatz digitaler Technologien in weiteren Bereichen der Nutztierhaltung.

II. Eingehende Darstellung

1. Gesamtziel des Vorhabens

Das übergeordnete Ziel des Verbundprojekts *Calf and Heifer Net* (CHN) war es, eine durchgängige Informationskette von der Geburt eines Kalbes bis hin zur ersten Abkalbung als ausgewachsenen Milchkuh aufzubauen. Durch die Schließung der Datenlücke zwischen Kalb und Kuh sollen tierindividuelle Entscheidungen bezüglich Gesundheits- und Entwicklungsmanagement getroffen werden können. Dies beinhaltet die Erfassung, Vernetzung und Auswertung von Daten (z. B. Gewicht, Aktivität, Milchaufnahme, Vorgenerationsdaten) über die gesamte Wachstums- und Entwicklungsphase, um damit eine kontinuierliche Bewertung des Gesundheits- und Leistungszustands zu ermöglichen. Letztlich sollte ein praxisreifes Managementsystem für Kälber und Färsen entstehen, welches die Tiergesundheit und das Tierwohl verbessert, wirtschaftliche Effizienz steigert und eine optimierte Nutzung des genetischen Potenzials ermöglicht.

2. Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele des Projektes können in Daten- und Informationsmanagement, Entscheidungshilfe, die Integration externer Faktoren und die marktfähige Umsetzung der Entwicklung unterteilt werden.

Daten- und Informationsmanagement: Der Aufbau eines durchgängigen Datenflusses war das Hauptziel des Vorhabens, der von der Geburt über die Aufzucht bis zur ersten Laktation reichen sollte. Dies umfasste die Erfassung von tierindividuellen Parametern (z. B. Milchaufnahme, Bewegungsaktivität, Gesundheitsindikatoren, Gewichtsentwicklung), die Verwendung geeigneter Sensorik (z. B. automatische Tränken für die Milchaufnahme, Aktivitätssensoren, automatische Waagen) sowie die Implementierung von Datenschnittstellen. Diese Ziele konnten im Rahmen des Projektes erreicht werden.

Entscheidungshilfesysteme: Auf Basis der erfassten Daten sollte ein Algorithmus für ein Analysetool entwickelt werden, der Abweichungen im Vergleich zu definierten Standardwerten im Gesundheits- und Entwicklungszustand in Echtzeit erkennen kann. Zudem sollte ein umfassendes Entscheidungssystem entstehen, das Handlungsempfehlungen für die Remontierung des

Bestandes generiert und diese auf die tierindividuellen Daten stützt. Auch dieses Ziel konnte im Förderprojekt erreicht werden.

Integration externer Faktoren: Über die rein tierbezogenen Daten hinaus sollten auch externe Einflüsse wie Umweltbedingungen und Arbeitsorganisation in die Managemententscheidungen einfließen, um so ein ganzheitliches System zu schaffen. Das betriebsindividuelle Management konnte im Rahmen des Projektes abgedeckt werden, Umwelteinflüsse und Stallklima konnten hingegen nicht integriert werden, da der Schwerpunkt der Datenerhebung zunächst den Tieren selbst galt und die späte Integration der genannten Faktoren nicht mehr erreicht werden konnte.

Marktfähige Umsetzung: Das entwickelte Managementsystem soll nach Projektabschluss zu einem marktreifen Produkt weiterentwickelt werden und idealerweise in der landwirtschaftlichen Praxis breite Anwendung finden. Die Etablierung am Markt liegt nach Projektende in der Hand des Wirtschaftspartners Förster-Technik.

3. Bezug zu übergeordneten agrarpolitischen Zielen

Das Vorhaben unterstützte zentrale agrarpolitische Zielsetzungen, indem es zur Verbesserung des Tierwohls, zur Steigerung der Effizienz in der Milchviehhaltung und zur nachhaltigen Nutzung genetischer Ressourcen beitrug. Durch eine gezielte Früherkennung von Krankheiten, eine Reduktion von Leistungs- und Kostenverlusten sowie eine optimierte Herdenführung wurde die Wettbewerbsfähigkeit des Milchsektors gestärkt. Darüber hinaus entsprach die Integration digitaler Lösungen dem politischen Bestreben, die Landwirtschaft zu modernisieren, ressourcenschonend zu gestalten und dabei Umweltaspekte, Tierschutz und wirtschaftliche Nachhaltigkeit im Sinne einer zukunftsfähigen Agrar- und Ernährungspolitik zu berücksichtigen.

III. Stand der Wissenschaft und der Technik

1. Beschreibung des Forschungs- und Technikstandes

Die Digitalisierung gewinnt bereits seit Jahren an Bedeutung in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, insbesondere in der Milchviehhaltung [1, 2]. Wachsende Bestände sollen Effizienzgewinne bei Stallbau, Technisierung und Management ermöglichen, doch stellt dies Landwirte auch vor die Herausforderung, trotz steigender Tierzahlen den individuellen Bedürfnissen jedes Einzeltiers gerecht zu werden [3]. Die digitale Datenerfassung und -analyse bietet hier erhebliche Potenziale: Sie kann als Entscheidungshilfe im Herdenmanagement dienen, indem sie tierindividuelle Daten – etwa zum Fress- und Wiederkauverhalten oder zu Gesundheitsparametern – in Echtzeit verfügbar macht und aufbereitet [2, 4, 5, 6, 7].

Diese Entwicklung spiegelt die veränderte gesellschaftliche Wahrnehmung wider, in der das Tierwohl und die ethischen Aspekte der Tierproduktion in den Vordergrund treten. Die Qualität tierischer Lebensmittel bemisst sich nicht mehr allein an deren Endbeschaffenheit, sondern zunehmend auch am Wohlergehen des Tieres, von dem sie stammen [4, 5]. Die fortschreitende Digitalisierung kann helfen, Tierwohlindikatoren (z. B. tierindividuelles Futter- und Wiederkauverhalten, Aktivität, gesundheitliche Auffälligkeiten) kontinuierlich zu überwachen und so frühzeitig auf Abweichungen reagieren zu können [6, 8]. Solche Ansätze sind in der Milchviehhaltung bereits im Einsatz, etwa durch Sensorik zur Erfassung von Bewegungsaktivität oder Vitalwerten, sowie Entscheidungstools und Aktorik, wie Melkroboter oder Futterautomaten [1, 2, 3, 7, 8].

Während für adulte Milchkühe bereits ausgereifere Sensor- und Managementsysteme bestehen, ist im Kälber- und Färsenbereich noch viel Entwicklungsarbeit nötig [9, 11, 12]. Dabei ist gerade diese Phase entscheidend für die spätere Milchleistung und Gesundheit der Kuh. Digitale Systeme könnten hier helfen, frühzeitig Veränderungen zu erfassen, Resilienzen zu erkennen und individuelle Entwicklungsverläufe zu dokumentieren [2, 6, 9, 10, 11]. Erste Systeme erfassen etwa Parameter wie Tränkeaufnahme, Saugverhalten und Aktivität, um frühe Indikatoren für gesundheitliche Probleme zu detektieren [8]. Neue Analysetechniken wie Deep Machine Learning oder Metabolomics bieten zusätzliche Möglichkeiten. So lassen sich Zusammenhänge zwischen Stoffwechselfparametern, Futteraufnahme und Immunsystem frühzeitig erkennen. Dadurch können potenziell besonders resiliente und leistungsfähige Tiere für die Herde ausgewählt werden



[12, 13, 14, 15, 16, 17]. Die tierindividuelle Entwicklung könnte durch digitale Analysen statt nach starren Zeitplänen unterstützt werden. Auch gesundheitliche Konsequenzen von Krankheiten oder Managementfehlern könnten bis in die erste Laktation nachvollzogen werden [13, 14, 15, 16, 17].

Die Digitalisierung ist kein Selbstläufer. Sie kann nur dann ihr volles Potenzial entfalten, wenn Landwirte und Veterinärmediziner diese Technik aktiv nutzen und auf den jeweiligen Betrieb anpassen. Digitale Systeme sind Entscheidungshilfen und liefern einen Datenrahmen, der eine verbesserte, individuell optimierte Herdenführung ermöglicht. Damit können langfristig ökonomische sowie ökologische Ziele besser erreicht werden, indem Tierwohl, Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit gleichzeitig berücksichtigt werden [2, 3, 6, 7, 8, 12].

Quellen

- [1] C. J. Rutten, W. Steeneveld, A. G. J. M. Oude Lansink und H. Hogeveen, "Delaying investments in sensor technology: The rationality of dairy farmers' investment decisions illustrated within the framework of real options theory," *Journal of dairy science*, Early Access. doi: 10.3168/jds.2017-13358.
- [2] J. Harms und G. Wendl, "Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen: Tierhaltung,"
- [3] Schäffler, M., Harms, J., "Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen: Futter und Fütterung/Tierhaltung," Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Bayern, Grub, Rep. 1/2018, Jul. 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/fachveranstaltung-nutztierhaltung-basis-landwirtschaft-bayern-100-jahre-grub_lfl-schriftenreihe.pdf
- [4] H. J. Blokhuis, R. B. Jones, R. Geers, M. Miele und I. Veissier, "Measuring and Monitoring Animal Welfare: Transparency in the Food Product Quality Chain," *Anim. welf.*, Jg. 12, Nr. 4, S. 445–455, 2003, doi: 10.1017/S096272860002604X.
- [5] I. J. H. Duncan, "Science-based assessment of animal welfare: farm animals," *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, Jg. 24, Nr. 2, S. 483–492, 2005.
- [6] A. S. Wobschall, "Sensorbasierte Analyse des Fress- und Wiederkauverhaltens von Kühen," 2018, doi: 10.18452/19151. [Online]. Verfügbar unter: https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/19902/dissertation_wobschall_annabell.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- [7] H. Bernhardt, "Technik in der Rinderhaltung," in *Jahrbuch Agrartechnik 2018*, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019.
- [8] Förster-Technik GmbH, "Smart Calf Systems: Stand 01/2025," [Online]. Verfügbar unter: <https://www.foerster-technik.de/kaelber-management/calfcloud/>
- [9] L. G. B. Siqueira *et al.*, "Use of Computer-Assisted Ultrasound Image Analysis in Embryo Recipient Selection," *Reprod. Fertil. Dev.*, Jg. 19, Nr. 1, S. 323, 2007. doi: 10.1071/rdv19n1ab415. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.publish.csiro.au/rd/rdv19n1ab415>
- [10] B. F. Silper, A. M. L. Madureira, M. Kaur, T. A. Burnett und R. L. A. Cerri, "Short communication: Comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems," *Journal of dairy science*, Early Access. doi: 10.3168/jds.2014-9185.
- [11] M. A. Reynolds, M. R. Borchers, J. A. Davidson, C. M. Bradley und J. M. Bewley, "Technical note: An evaluation of technology-recorded rumination and feeding behaviors in dairy heifers," *Journal of dairy science*, Early Access. doi: 10.3168/jds.2018-15635.



- [12] M. H. Ghaffari *et al.*, "Metabolomics meets machine learning: Longitudinal metabolite profiling in serum of normal versus overconditioned cows and pathway analysis," *Journal of dairy science*, Early Access. doi: 10.3168/jds.2019-17114.
- [13] B. J. Heins *et al.*, "1243 Relationships between early life growth and first lactation performance of Holstein dairy cows," *J Anim Sci*, Jg. 94, suppl_5, S. 598–599, 2016, doi: 10.2527/jam2016-1243.
- [14] H. M. Hammon *et al.*, "Different milk diets have substantial effects on the jejunal mucosal immune system of pre-weaning calves, as demonstrated by whole transcriptome sequencing," *Scientific reports*, Early Access. doi: 10.1038/s41598-018-19954-2.
- [15] C. Koch *et al.*, "Effects of ad libitum milk replacer feeding and butyrate supplementation on the epithelial growth and development of the gastrointestinal tract in Holstein calves," *Journal of dairy science*, Early Access. doi: 10.3168/jds.2019-16328.
- [16] Á. Kenéz, S. Dänicke, U. Rolle-Kampczyk, M. von Bergen und K. Huber, "A metabolomics approach to characterize phenotypes of metabolic transition from late pregnancy to early lactation in dairy cows," *Metabolomics*, Jg. 12, Nr. 11, 2016, doi: 10.1007/s11306-016-1112-8.
- [17] Á. Kenéz *et al.*, "Different milk feeding intensities during the first 4 weeks of rearing dairy calves: Part 3: Plasma metabolomics analysis reveals long-term metabolic imprinting in Holstein heifers," *Journal of dairy science*, Early Access. doi: 10.3168/jds.2018-14559.

2. Liste der aus dem Projekt entstandenen Publikationen

Bereits veröffentlicht:

- Ghaffari, M.H., C. S. Ostendorf, C. Koch, and H. Sauerwein (2023): *Transition milk feeding shows marginal effects on blood metabolome of dairy calves*. Annual Meeting of the American Association of Dairy Science, J. Dairy Sci. Vol. 106, Suppl. 1, p.261
- Ghaffari, M.H., C. S. Ostendorf, C. Koch, and H. Sauerwein (2023): *Changes in plasma metabolome of newborn calves: Insights during the first 12 hours of life*. Annual Meeting of the American Association of Dairy Science, J. Dairy Sci. Vol. 106, Suppl. 1, p.348
- Ghaffari, M. H. Ghaffari, C. S. Ostendorf, K. J. Hemmert, S. Schuchardt, C. Koch, and H. Sauerwein (2025) *Longitudinal characterization of plasma and fecal bile acids in dairy heifers from birth to first calving in response to transition milk feeding*, Journal of Dairy Science. doi: 10.3168/jds.2025-26307
- Hemmert, K.J., M. H. Ghaffari, C. S. Ostendorf, S. Schuchardt, C. Koch, H. Sauerwein (2023): *Testing for associations between phenotypes identified by sensor technologies or by metabolomic profiling in calves*. Smart Calf Rearing Conference 2023, Kaiserslautern
- Hemmert, K. J., M. H. Ghaffari, T. Förster, C. Koch, H. Sauerwein (2023). *Exploring the feeding behavior of dairy calves: Insights from automated milk feeders*. EAAP – 74th Annual Meeting, Lyon
- Hemmert, K.J., M. H. Ghaffari, C. S. Ostendorf, S. Schuchardt, C. Koch, H. Sauerwein (2024): *Changes in the plasma metabolome of Holstein heifers from birth to first insemination*. 74th Annual Meeting, Florenz
- Ostendorf, C.S., M.H. Ghaffari, C. Koch, H. Sauerwein (2023): *Effects of transition milk on growth performance and health of Holstein calves*. Annual Meeting of the American Association of Dairy Science, J. Dairy Sci. Vol. 106, Suppl. 1, page 342.
- Ostendorf, C. S., M.H. Ghaffari, B. Heitkönig, C. Koch, H. Sauerwein (2023): *Oxidative status in female Holstein calves fed with or without transition milk*. EAAP – 74th Annual Meeting, Lyon, Book of Abstracts, page 997.



- Ostendorf, C. S., M. H. Ghaffari, T. Scheu, C. Koch, H. Sauerwein (2024): *Der Effekt von Transitmilchfütterung in den ersten fünf Lebensstagen auf die Entwicklung von Holstein Kälbern*. DVG-Vet-Kongress 2024, Berlin.
- Ostendorf, C.S., M. H. Ghaffari, T. Scheu, C. Koch, H. Sauerwein (2024): *Lohnt sich die verlängerte Gabe von Transitmilch an Kälber?*, 124. Tagung des Arbeitskreises der Futterberater für die Länder Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland.
- Ostendorf, C. S., M.H. Ghaffari, K.J. Hemmert, C. Koch, H. Sauerwein (2025): *Long-term effects of transition milk feeding on feed intake, feeding behavior, development, and oxidative status of Holstein calves*, Journal of Dairy Science, DOI: 10.3168/jds.2024-25435.
- Ostendorf, C.S. (2025): *Transitmilch an Kälber füttern*, Milchpraxis, Ausgabe 1/2025 (59. Jg.).
- Regler, Fredrik; Ziegler, Kathrin; Bernhardt, Heinz (2022): *"Closing data-gaps between calves and cows - Conceptualization of a specified sensor system for data acquisition in calf and heifer husbandry"*. In: VDI AgEng LAND. TECHNIK, VDI-Bericht 2406, ISSN 0083-5560, Berlin, S. 387-395
- Regler, Fredrik; Bernhardt, Heinz (2024): *"Standardized Decision-Making for the Selection of Calf and Heifer Rearing Using a Digital Evaluation System"*. MDPI - Agriculture, 14, 272. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020272>
- Regler, Fredrik; Bernhardt, Heinz (2024): *„Standardisierte Entscheidungsfindung zur Selektion in der Kälber- und Färsenaufzucht durch ein digitales Bewertungssystem“*. Tagungsband des 24. Arbeitswissenschaftlichen Kolloquiums des Fachausschusses Arbeitswissenschaften im Landbau, Wien, Universität für Bodenkultur. S. 66-70
- Regler, Fredrik; Bernhardt, Heinz (2024): *"Sensortechnik in der Färsenaufzucht"*. Tagungsbeitrag in Bau, Technik und Umwelt (BTU) in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 16. Tagung in Freising, Darmstadt. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), S. 169-173
- Regler, Fredrik (2024): *„Remontierung: Empfehlungen aus den Entwicklungsdaten nutzen.“* Zeitschriftenartikel DLG-Milchpraxis, Ausgabe 4/2024
- Regler, Fredrik (2025): *„Früh die Besten erkennen.“* Zeitschriftenartikel DLG-Mitteilung, Ausgabe 4/2025

Geplante Veröffentlichungen

- Hemmert, K.J., C. S. Ostendorf, M. H. Ghaffari, I. Cohrs, C. Koch, H. Sauerwein (2025, in Bearbeitung): *Early life daily weight gain of Holstein calves and its long-term impact on later development and first lactation: Feeding behavior and performance*
- Hemmert, K.J., C. S. Ostendorf, M. H. Ghaffari, I. Cohrs, S. Schuchardt, C. Koch, H. Sauerwein (2025, in Bearbeitung): *Early life daily weight gain of Holstein calves and its long-term impact on later development and first lactation: Metabolic imprinting and oxidative status*
- Hemmert, K.J., C. S. Ostendorf, M. H. Ghaffari, I. Cohrs, S. Schuchardt, C. Koch, H. Sauerwein (2025, in Bearbeitung): *Changes in plasma metabolic profiles and feed intake of Holstein calves diagnosed with diarrhea in the first 3 weeks of life*
- Ostendorf, C.S., M.H. Ghaffari, I. Cohrs, C. Koch, H. Sauerwein (2025, in Bearbeitung): *Effects of transition milk feeding after birth on performance and oxidative status during first lactation in Holstein heifers.*

IV. Arbeitsplan und Ressourcenplanung

1. Zusammensetzung des Verbundes / Arbeitsteilung

Der **Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik** der **Technischen Universität München** unter der Leitung von Prof. Dr. Heinz Bernhardt widmet sich technischen Fragestellungen in der Landwirtschaft wie Sensornetzwerken, elektrischen Antriebssystemen, Smart Grids, On-Farm-Energiemanagementsysteme, sowie Interaktion von Tieren und Technik. Der Lehrstuhl hatte durch vorangegangene Projekte bereits Erfahrung in der Datenverarbeitung und Implementierung von Managementsoftware für landwirtschaftliche Maschinen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine eigene Forschungsstelle geschaffen, um den Mehrwert der Entwicklung zu evaluieren und den praktischen Einsatz wissenschaftlich zu bewerten. Diese Stelle wurde von Projektbeginn bis zum 10.03.2022 von Frau M. Sc. Kathrin Ziegler und im Anschluss bis Projektende von Herrn M. Sc. Fredrik Regler besetzt. Frau Ziegler hat nach der Rückkehr aus dem Mutterschutz während ihrer Elternzeit zwischen dem 25.06.2022 und 14.04.2024 eine Teilzeitbeschäftigung für unterstützenden Tätigkeiten am Projekt inne.

Die **Förster-Technik GmbH** ist ein inhabergeführtes Unternehmen mit ca. 130 Mitarbeitern, das die Zukunft der modernen Kälberaufzucht seit über 50 Jahren entscheidend mitgestaltet. Seit 1971 entwickelt, produziert und vertreibt die Firma fortschrittliche Fütterungssysteme für Kälber und Kleinwiederkäuer. Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung von innovativen Tränkesystemen, die mit automatischen Datenerfassungs- und -bewertungssystemen verbunden sind. Förster-Technik bietet in mehr als 50 Ländern Produkte im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung mit einem besonderen Fokus auf das Tierwohl.

Für das Projekt lieferte und betreute Förster-Technik die Tränketechnik und deren Peripherie. Insbesondere bereits in den letzten Jahren neu entwickelte und weitere zu entwickelnde Sensoren sowie die Infrastruktur zur Datenerhebung, -weiterleitung, -speicherung und -bewertung (Cloud Computing). Herr Jürgen Plesse übernahm die Projektleitung seitens Förster-Technik und lieferte den agrarfachlichen Input für die Kollegen in der internen Entwicklung bzw. externe Entwicklungsdienstleister.



Das **Institut für Tierwissenschaften**, unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Dr. Helga Sauerwein ist Teil der **Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn**. Hier werden Expertise in Physiologie, Tierzucht und Genetik, Tierernährung und Ethologie auf dem Gebiet der Lebensmittelproduktion tierischen Ursprungs vereint. Dies ermöglicht die interdisziplinäre Konzeption problemlösungsorientierter Forschung und erreicht zugleich die notwendige Fokussierung auf innovative Forschungsfelder im internationalen Kontext.

Die technischen Komponenten und entwickelten Algorithmen mussten am Tier angepasst, in der Praxis erprobt und über Referenzsysteme verifiziert werden. Außerdem erfolgte, zur Generierung einer Datenbasis hinsichtlich des Metaboloms, die regelmäßige Entnahme von Blutproben der Tiere. Hierfür wurde eine entsprechende, veterinärmedizinisch-agrarwissenschaftlich ausgerichtete Spezialisierung erforderlich. Neben der Begleitung der Tierdatenerfassung und des Gesundheitsmonitorings am Versuchsgut Neumühle war die Universität Bonn für die Rückkopplung der Ergebnisse auf die physiologische Ebene verantwortlich. Mit der komplexen Auswertung konnten wertvolle Rückschlüsse auf den Auswirkungen von Erkrankungen während des Aufwuchses auf die Entwicklung des Metaboloms gezogen werden. Zur Erhebung und Zusammenführung der Sensor- und Metabolomdaten wurde die dafür beantragte Stelle mit Frau M. Sc. Kira Hemmert vom 01.10.2022 bis zum Projektende besetzt. Zudem wurde eine Tierärztin, Frau Constanze Ostendorf, für die veterinärmedizinische Betreuung und die Probennahmen aus externen Mittel seitens der Universität Bonn und des Versuchsguts Neumühle über die gesamte Projektlaufzeit beschäftigt.

Die Aufgaben der **Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung Hofgut Neumühle** sind im Kern die überbetriebliche Ausbildung in den Bereichen Milchkühe, Rinderaufzucht, Schafe und Schweine, die Fort- und Weiterbildung im Bereich der landwirtschaftlichen Tierhaltung, die Durchführung praxisrelevanter Versuche für die Bereiche Milchviehhaltung, Rinderaufzucht und Schafe, sowie die Vermittlung landwirtschaftlicher Zusammenhänge und deren Stellenwert in der Gesellschaft. Außerdem ist das Hofgut gleichzeitig Sitz der Bundesfachschiule Vieh und Fleisch – eine im EU-Raum einzigartige Fachschule für Führungskräfte der Vieh- und Fleischwirtschaft.

In CHN stellte das Hofgut Neumühle die Ställe und Tiere für die entsprechenden Versuche zu Verfügung und unterstützte die Versuchsdurchführungen fachkundig. Öffentlichkeitswirksam konnte das Hofgut durch die regelmäßigen landwirtschaftlichen Informationsveranstaltungen die

Überwachung des Arbeitsfortschritts aller Kooperationspartner. Hierzu wurden monatliche Projekttreffen via Zoom organisiert, in denen Ergebnisse und Fragen protokolliert und den Partnern sowie der BLE zur Verfügung gestellt wurden. Ergänzend fanden persönliche Treffen statt, darunter ein Treffen am Campus Frankenforst der Universität Bonn (Oktober 2022), am Firmensitz der Förster-Technik GmbH (Dezember 2023) und der Projektabschluss am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der TUM (Oktober 2024). Die Projektkoordination sowie die Repräsentation und Öffentlichkeitsarbeit des Projektes wurden durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter der TUM übernommen. Dazu zählte unter anderem die regelmäßige Teilnahme an im Rahmen der Transfer- und Vernetzungsmaßnahme „DigiTier“ der EurA AG organisierten Treffen. Dies umfasste Themen- und Clusterworkshops, etwa den Workshop zu „KI und Algorithmen zur Klassifizierung von Daten aus der Nutztierhaltung (Big Data) und Entwicklung von Entscheidungsanalysen“ am 29.03.2022 in Oldenburg, „Datensouveränität und Datensicherheit“ am 20.06.2023 (online) oder der Anwenderworkshop zu „Digitalen Technologien in der Rinderhaltung“ am 29.11.2023 am Haus Düsse. Veranstaltungspräsentationen wie etwa die Vorstellung des Projekts im Rahmen der EuroTier 2022 Messe in Hannover oder auf den BLE-Innovationstagen 2022 in Bonn und 2024 in Berlin zählten ebenfalls zur Öffentlichkeitsarbeit. Das Projekt wurde hierbei erfolgreich in Bezug auf innovative Technologien und deren Praxistauglichkeit präsentiert. Ein besonderer Fokus des Arbeitspakets lag auf dem barrierefreien Datenaustausch über die von der TUM bereitgestellte Datensharing-Plattform Sync&Share sowie auf der kontinuierlichen Dokumentation und Weitergabe von Ergebnissen, um einen transparenten und effizienten Projektverlauf während der gesamten Laufzeit sicherzustellen.

Arbeitspaket 2: Sensoren, Sensoranalyse und Sensorenfusion

Arbeitspaket **zwei** hatte die Beschaffung und Implementierung der Sensoren, Schnittstellen und Sensoranalyse zur Aufgabe. Coronabedingte Lieferverzögerungen von Einzelkomponenten und Bauteilen führten zu einer ungeplanten Verzögerung, das Arbeitspaket konnte dennoch zum April 2022 erfolgreich abgeschlossen werden. Die durch Förster-Technik entwickelte und in Engen produzierte Fütterungstechnik wurde für das Hofgut Neumühle sowie auf den weiteren Versuchsbetrieben von Förster-Technik zur Verfügung gestellt, installiert und in Betrieb genommen. Eine Großtierwaage wurde direkt an einen der Versuchsbetriebe geliefert und ordnungsgemäß in Betrieb genommen. Die Waage war seit Anfang Oktober 2021 bis Projektende

im Einsatz. Zusätzlich zu den Sensoren und Kälberfütterungstechnik wurde für das Hofgut Neumühle eine „Cow Body Scan“ Kamera (CBS) von dsp Agrosoft im März 2023 erworben. Deren Auslieferung und Inbetriebnahme wurde ebenfalls durch Lieferschwierigkeiten gegenüber dem eigentlich geplanten Termin verzögert. Die Kopplung aller Betriebe an die Förster-Cloud für den uneingeschränkten Datenaustausch konnte ebenfalls eingerichtet werden, sodass für die gebündelte Datenerfassung, -speicherung und -auswertung der nachfolgenden Arbeitspakete alles vorbereitet war. Die allgemeine Datenerfassung am Hofgut Neumühle wird über den Projektzeitraum hinaus weitergeführt und erfasste Daten können weiterhin ausgewertet werden.

In Verlauf von Arbeitspaket zwei konnte Meilenstein eins „Sensor- und Datenkatalog“ erreicht werden, indem die Auswahl der im Projekt zu verwendenden Sensoren getroffen wurde.

Arbeitspaket 3: Felddatenerfassung

Schwerpunkt des Arbeitspaket **drei** war die Auswahl von Testbetrieben sowie die Installation der zuvor ausgewählten Sensortechnik und deren Betreuung. Einer der zu Projektbeginn angedachten Familienbetrieb musste kurzfristig ausgetauscht werden, da der Betrieb aufgrund der Umstellung auf ökologische Tierhaltung nicht mehr den Versuchsvorgaben entsprach. Stattdessen wurde ein familiengeführte Fleckviehbetrieb ausgewählt, der nur wenige Fahrminuten vom Firmensitz von Förster-Technik entfernt liegt und bereits als langjähriger Testbetrieb für die Weiterentwicklungen der Tränketechnik fungierte. Mit der Bauerngenossenschaft Dahme eG konnte außerdem ein ostdeutscher Großbetrieb ausgewählt werden, der eine Vielzahl an Versuchstieren zur Verfügung stellte. Hier wurde kurz vor Projektbeginn die Installation eines CalfRail-Systems abgeschlossen, was ein wichtiger Bestandteil der angedachten Sensortechnik war. Die Installation der erforderlichen Systeme erfolgte dabei entweder direkt durch Förster-Technik selbst oder in Zusammenarbeit mit den örtlichen Händlern der Vertriebspartner. Die vorhandene Technik am Standort Dahme wurde um HygieneBoxen, Vorderfußwaagen und Smart Neckbands erweitert. Besonders hervorzuheben ist die Felddatenerfassung in Dahme, bei der im Rahmen von zwei Masterarbeiten in Kooperation mit Förster-Technik die tägliche Tierkontrolle durch Studierende übernommen wurde, sodass bei technischen Störungen oder notwendigen Anpassungen stets schnell reagiert werden konnte. Die Betreuung des Familienbetriebs bei Engen sowie die technische Unterstützung in Dahme erfolgten durch Förster-Technik, während die TUM die Organisation und Durchführung der Wiegetermine in Dahme übernahm. Schließlich

sicherte die Anbindung aller Betriebe an die Förster-Cloud – inklusive API-Integration mit der vor Ort genutzten Herdenmanagementsoftware – den uneingeschränkten Datenupload und bildet so eine solide Grundlage für die weitere Datenauswertung.

Mit dem Beginn der vollumfänglichen Datenerhebung auf allen drei Versuchsbetrieben konnte Meilenstein zwei „Sensornetzwerk funktionsfähig für den Feldtest“ erreicht werden.

Arbeitspaket 4: Daten, Datenanalyse, Datenfusion und Datensicherheit

Arbeitspaket **vier** befasste sich mit den Daten, die durch die vorab etablierten Sensoren erhoben wurden. Der Start hing daher von der stabilen Implementierung der Sensor-Infrastruktur aus Arbeitspaket drei ab und wurde im April 2022 begonnen. Bereits ab Februar 2022 wurde von Seiten der TUM mit der Kategorisierung und Bewertung der Daten des Hofguts Neumühle begonnen, da hier Datenaufnahme und -speicherung bereits funktionierten. Dabei zeigte sich, dass die anfänglich erhobenen Daten aufgrund technischer Probleme lückenhaft waren. Durch Anpassungen konnten die Datenreihen geschlossen werden und eine fundierte Auswertung ermöglichen. Die lückenlose Datenerhebung bestand zwischen April 2022 und Projektende auf allen drei Versuchsbetrieben. Die weiteren Datenanalysen zeigte, dass eine Veränderung der Verhaltensdaten bereits bis zu fünf Tage vor der tierärztlichen Diagnose eines Krankheitsereignisses festgestellt und somit als Grundlage für die Entwicklung eines Systems zur frühzeitigen Krankheitserkennung basierend auf Verhaltensanalysen verwendet werden kann. Darüber hinaus wurde ein Ansatz zur Bewertung der Tiere erarbeitet. Von den Projektpartnern wurden erste Entscheidungspunkte für die Bewertung von Tieren in der Aufzucht definiert und für die Entwicklung des Entscheidungsalgorithmus in den folgenden Arbeitspaketen verwendet.

Die Daten der Versuchskälber des Hofguts Neumühle wurden für die Erforschung der Auswirkungen von unterschiedlich hohen Zuwachsraten während der Tränkeperiode bei gleichem Futteranrecht genutzt. In Summe erreichten alle Kälber Tageszunahmen von mehr als 800 g/d. Diese Analyse umfasste ein großes Spektrum an Daten: körperliche Entwicklung, Verhalten, Futteraufnahme während der Tränkeperiode, sowie körperliche Entwicklung und die Aktivität von Färsen. Überdies konnten aufgrund der Projektverlängerung die Aufzeichnungen der Milchleistung und Milchzusammensetzung mit einbezogen werden, um die langfristigen Effekte von unterschiedlichen Tageszunahmen zu bewerten. Hierbei zeigte sich, dass ein Vorsprung in

der körperlichen Entwicklung auch nachhaltig die physische Reife der Färsen beeinflusst. Färsen mit höheren Tageszunahmen im Kälberalter erreichten in der weiteren Entwicklung ein höheres Körpergewicht und somit ein niedrigeres Erstbesamungsalter. Darüber hinaus erreichten sie eine höhere tägliche Milchleistung und eine bessere Persistenz der produzierten Milchmenge in der Spätlaktation der ersten Laktationsperiode.

Arbeitspaket 5: Entwicklung und Validierung Entscheidungsalgorithmen

Neben der Datenanalyse wurde in Arbeitspaket **fünf** die Entwicklung von Entscheidungsalgorithmen angestrebt. Hierzu wurde fortlaufend auf dem bereits von Förster-Technik entwickeltem „Calf Rearing Success Index“ aufgebaut und eine umfängliche Entscheidungsmatrix entwickelt. Stark vereinfacht bewertet diese anhand eines Ist-Zielwert-Vergleichs den Aufwuchs eines Tieres standardisiert und gibt dem Tierhalter eine Selektionsempfehlung individuell für jedes Tier aus. Mittels Excel wurde zunächst ein Dummy entwickelt, der erste Parameter sowie Entscheidungspunkte definierte. Zwischen Juni 2023 und Projektende fand die Umsetzung eines praktisch handhabbaren Prototyps über die low-code Plattform bubble.io statt, die in Form eines Monatsabonnements in das Projekt aufgenommen wurde. Initial wurde eine API-Kopplung an die existierende Förster-Cloud durch einen externen IT-Dienstleister von Förster-Technik eingerichtet, sodass die nahtlose Einbindung in das Netzwerk von Anfang an bestand. So konnten Daten über die API-Kopplung eingebunden, in Echtzeit ausgewertet und für jedes Tier ein individueller Bewertungsscore generiert werden. Neben den Clouddaten wurden zu definierten Zeitpunkten händisch aufgenommene Daten (Kolostralmilchaufnahme, einzelne Wiegungen) jedes Tieres integriert und in die Gesamtbewertung einbezogen. Die Vergleichswerte für den Ist-Zielwert-Vergleich konnten im Rahmen des Projektpartnertreffens in Engen im Dezember 2023 im Konsens aller Projektpartner festgelegt werden und beruhten auf aktuellen Forschungsergebnissen und praktischen Erfahrungen. Durch die fortlaufende Datenerhebung und -auswertung aus Arbeitspaketen drei und vier sollte es möglich sein, die Entscheidungsalgorithmen ständig anzupassen und zu optimieren. So konnte auch über den Angedachten Zeitraum für Arbeitspaket fünf hinweg ein Entscheidungsnetzwerk entstehen.

Der erste Test der Entscheidungsalgorithmen konnte im März 2024 abgeschlossen und somit Meilenstein drei „Getestete Entscheidungsalgorithmen“ erreicht werden, im Weiteren stand

schließlich die Optimierung und Validierung des Systems im Vordergrund. Details hierzu werden unter Arbeitspaket acht näher erläutert.

Arbeitspaket 6: Technische Anpassung Sensoren und Steuereinheit

Im Arbeitspaket **sechs** lag der Schwerpunkt auf der kontinuierlichen Optimierung der Messtechnik und der Erweiterung der Sensorik. Dabei wurde insbesondere die Vorderfußwaage weiterentwickelt, um das Gewicht der Kälber bei jedem Besuch in der Milchabrufstation automatisch zu erfassen. Zu diesem Zweck erfolgte eine Umstellung von der bisherigen CAN-Bus-Kommunikation auf Ethernet, was eine schnellere und stabilere Übertragung ermöglicht.

Parallel dazu wurden innovative Ansätze anderer Anbieter getestet, um die Datenerfassung weiter zu diversifizieren. So wurden eine in der HygieneBox installierte Thermalkamera, die die Temperatur am Auge der Tiere misst, ein Ammoniaksensor in der Bucht sowie eine 3D-Kamera über der Abrufstation, die zur Erfassung der Körperkondition und des Körpergewichts der Kälber beiträgt, getestet. Ein weiterer innovativer Entwicklungsschritt war das sogenannte „mitwachsende Halsband“, das eine dauerhafte Befestigung eines Halsbandes während der gesamten Wachstumsphase der Tiere ohne Nachjustieren durch den Tierhalter ermöglichte. Dieses Konzept, das bereits auf der EuroTier 2022 sowie bei einigen DigiTier-Veranstaltungen vorgestellt wurde, erreichte jedoch wegen zu geringer Nachfrage nicht die angestrebte Marktreife.

Zur Erkennung von Ohrmarkenziffern wurden verschiedene bildbasierte Verfahren erprobt. Dazu wurden Kameras sowohl in der Tränkestation als auch am Futtertisch des familiengeführten Betriebes angebracht. Die Ohrmarkenerkennung am CalfRail DUO in der Pärchenhaltung sollte dabei zur einwandfreien Zuordnung der aufgenommenen Milchmenge der Kälber verwendet werden. Allerdings führten zunehmende Verschmutzungen und starker Haarwuchs zu einer beeinträchtigten Erkennungsgenauigkeit der Ohrmarken. Zur Abschätzung der Raufutteraufnahme am Futtertisch wurden zusätzlich sieben Multireader-Antennen senkrecht am Fressgitter montiert, um während der Futteraufnahme die Transponder der Kälber zu identifizieren und deren Verweilzeit am Fressplatz präzise zu erfassen.

Arbeitspaket 7: Integration der Entscheidungsalgorithmen in das Managementnetz

Arbeitspaket **sieben** baute auf den Erkenntnissen und hardwaretechnischen Installationen der vorangegangenen Arbeitspakete auf. Dabei konnte durch die geschaffene API-Kopplung

zwischen der Förster-Cloud und bubble.io ein problemloser Datenaustausch gewährleistet werden, sodass Tierdaten in Echtzeit aus der Förster-Cloud importiert und durch den entwickelten Algorithmus ausgewertet werden konnten. Ebenfalls war die erneute Auswertung nach einer Änderung der initialen Daten aus der Förster-Cloud durch den Algorithmus fortlaufend möglich. Dies stellte die Grundlage für das spätere, auf dem Betrieb praktikable Gesamtsystem dar. Tierdaten, die aus der HIT-Datenbank in die Förster-Cloud importiert wurden, konnten über den gleichen Weg für die weitere Auswertung herangezogen werden. Aus der algorithmischen Auswertung der Gesamtheit der Daten konnte somit der Bewertungsindex errechnet werden, der die Grundlage der Remontierungsempfehlung bildet. Mittelfristig soll das Entscheidungsnetzwerk in die cloudbasierte Managementplattform von Förster-Technik ("CalfCloud") eingebunden werden, um die Remontierungsempfehlung den Kunden bereitzustellen und so als langfristige Managementhilfe auch nach dem Abtränken der Kälber dienen.

Arbeitspaket 8: Test von Teilsystemen

Die Daten der Versuchskälber an den Tränke- und Kraffutterautomaten wurden während der Tränkeperiode über die installierten Tränkeautomaten erfasst. Die gemessenen Gewichte der Vorderfußwaage wurden wöchentlich mit den zusätzlich über eine mobile Waage erhobenen Gewichten abgeglichen, um den Algorithmus zur Bereinigung der gewonnenen Daten zu optimieren. Im Verlauf der Erprobung zeigte sich, dass die Standfläche zweier Vorderfußwaagen zu schmal war, um einen vollständigen Betritt der Tiere sicherzustellen. Daher wurde sie Anfang 2023 erweitert, um die Datenqualität zu verbessern. Die über die Tränkeautomaten erfassten Daten werden in der mit den Automaten gekoppelten App „CalfCloud“ gesammelt und visualisiert. Bei einer Abweichung von der individuellen, vergangenen Tränkeaufnahme generiert das System Alarme, die durch eine Untersuchung der betroffenen Kälber überprüft und gegebenenfalls durch eine notwendige Behandlung ergänzt wurden. Zusätzlich wurde die Aktivität der Versuchstiere ab der Tränkeperiode mittels der am Tier angebrachten Smart Neckbands überwacht. Diese Halsbänder boten zudem eine Signalgebung in Form eines grünen Leuchtens, das bei einer Aktivitätssteigerung von 30 % innerhalb der letzten 12 Stunden (bezogen auf den Durchschnitt der letzten fünf Tage) aktiviert wurde und eine mögliche Brunst im Färsenalter signalisieren konnte. Eine entsprechende Alarmierung wird zudem in der „CalfCloud“ angezeigt. Zur

Evaluierung dieser Funktion wurden regelmäßige visuelle Brunstbeobachtungen bei allen Färsen durchgeführt, dokumentiert und mit den Signalen des Smart Neckbands verglichen.

Für die Erprobung digitaler Teilsysteme im Färsenbereich wurde Anfang 2022 ein HERDEplus Cow Body Scan (dsp agrosoft) bestellt. Wegen Lieferverzögerungen stand dieser jedoch erst ab März 2023 zur Verfügung. Die daraus gewonnenen Daten befinden sich in der finalen Auswertung.

Arbeitspaket 9: Test des durchgehenden Informationssystems

Der in Arbeitspaket **neun** angedachte Test (Entscheidungsnetzwerk zur Selektionsempfehlung) wurde erstmals im November 2023 durchgeführt und gab erste Erkenntnisse zur weiteren Optimierung des Systems. Durch die Integration der mit den Projektpartnern abgestimmten Referenzwerte für den Ist-Zielwert-Vergleich konnte das System weiter optimiert werden. Ein großer Test im März 2024 am Hofgut Neumühle und bei der Bauerngenossenschaft Dahme bestätigten die Praktikabilität. Das Feedback der Tierhalter war durchweg positiv, die Bewertung der Tiere stimmte mit deren Eindrücken in weiten Teilen überein. Durch langfristig weitere Optimierungen und Anpassungen der Algorithmen ist mit einer weiteren Verbesserung der Tierbewertung zu rechnen, die durch die Markteinführung durch Förster-Technik fortschreitend sein wird. Die Funktionalität des Systems konnte somit als erfolgreich angesehen werden.

Meilenstein vier „Abgeschlossener Jahresdurchlauf interner Feldtest“ konnte schließlich kurz vor Projektende erreicht werden.

Arbeitspaket 10: Rückkopplung auf die physiologische Ebene

Schwerpunkt des Arbeitspaket **zehn** war die Rückkopplung der Erkenntnisse auf die physiologische Ebene der Tiere am Standort Neumühle. Die laufend geborenen weiblichen Holstein-Kälber aus dem bestehenden Milchviehbestand wurden gemäß vorab definierter Kriterien (weiblich, reinrassig Holstein, mindestens 3,5 L Kolostrum von der Mutter) in den Versuch aufgenommen (genehmigter Tierversuchsantrag G21-20-049). Nach Erstkolostrum erhielten die Kälber bis zu einem Alter von 14 Wochen täglich max. 12 L Milchaustauscher. Um die interindividuelle Variation zu erhöhen und die Breite der Daten zu verbessern, wurden die Kälber in zwei Gruppen aufgeteilt: Eine Hälfte erhielt in den ersten fünf Lebenstagen die Milch ihrer Mutter, die andere wurde mit Milchaustauscher gefüttert. Im Alter von etwa zwei Wochen wurden sie aus der Einzelhaltung im Iglu in die Gruppenhaltung überführt. Dort wurden Futteraufnahme

und Verhalten mit der von Förster-Technik bereitgestellten Sensortechnik erfasst. Tägliche Gesundheitskontrollen durch das Betreuungspersonal sowie wöchentliche veterinärmedizinische Untersuchung ergänzten die Datenerhebung. Ab dem 56. Lebenstag wurde die Tränkemenge schrittweise reduziert, sodass die Tiere mit 98 Tagen ausschließlich festes Futter erhielten. Nach dem Absetzen wurden die Tiere aus den Stallungen mit den Tränkeautomaten in den Fresserbereich umgestallt. Dort erhielten sie eine Totalmischration für wachsende Rinder und wurden weiterhin mit dem Smart-Neckband überwacht.

Mit etwa acht Monaten wurden die Gruppen in den Rinderbereich des Milchviehstalls umgestallt. Dort erfolgte die erste Besamung bei einem Mindestalter von 13 Monaten und einem Körpergewicht von mindestens 400 kg. Etwa einen Monat vor dem errechneten Kalbetermin wurden die Färsen in die Milchviehherde integriert und an den Melkstand gewöhnt. Mit einsetzenden Anzeichen der bevorstehenden Kalbung (Euterfüllung, Erschlaffung Beckenbänder, verminderter Schwanztonus) wurden die Tiere in Abkalbeboxen verbracht und nach der Kalbung wieder in ihre Gruppe der Herde eingegliedert. Während der 14-wöchigen Tränkephase wurde das Gewicht der Tiere wöchentlich gemessen, nach dem Absetzen monatlich und in der Milchviehherde automatisiert zweimal täglich auf dem Rückweg vom Melkstand. Body Condition Score und Rückenfettdicke wurden ab einem Alter von zwei Wochen monatlich bestimmt.

Blutproben wurden unmittelbar nach der Geburt, vor der ersten Kolostrumgabe sowie 12 Stunden später entnommen. Weitere Proben erfolgten in der 2., 6., 10. und 14. Lebenswoche, nach der Umstellung in den Milchviehstall und im Alter von 13 Monaten, sobald die Voraussetzungen für die erste Besamung erfüllt waren. Die letzten Proben wurden drei Wochen vor der Kalbung, direkt danach sowie drei Wochen später genommen. Bei gesundheitlichen Auffälligkeiten wurden zusätzlich an drei aufeinanderfolgenden Tagen Blutproben entnommen – dies geschah in insgesamt 38 Fällen, davon 26-mal während der Tränkephase und 12-mal nach dem Absetzen.

Aufgrund des Kälberaufkommens und der Selektion konnte das letzte Tier erst acht Monate nach Geburt des ersten Versuchkalbes in den Versuch aufgenommen werden. Zudem führten ein unerwartet hoher Bedarf an Nachbesamungen sowie zu geringe Körpergewichte im angestrebten Alter von 13 Monaten zu weiteren Verzögerungen. Trotz der Verzögerungen konnten dank der Projektverlängerung jedoch Beobachtungen der Tiere bis in die erste Laktation hinein getroffen

werden. Dadurch stehen nun zusätzlich Milchleistungsdaten sowie die Ergebnisse der zweiwöchentlichen Milchleistungsprüfung zur Auswertung zur Verfügung.

Die unter Arbeitspaket vier beschriebene Gruppierung der Kälber im Datensatz des Hofgut Neumühle anhand ihrer Tageszunahmen wurde ebenso für die Analyse des Stoffwechsels unter Berücksichtigung der Assoziation zwischen Sensordaten und Metabotypen verwendet. Hierbei konnten Unterschiede im Aminosäuren- und Lipidstoffwechsel detektiert werden. Die genauere Analyse der Ergebnisse steht aktuell noch aus, ist aber mit der durch die Universität Bonn finanzierten Verlängerung des Arbeitsvertrages mit Frau Hemmert gesichert.

Arbeitspaket 11: Ökonomische und ressourcenorientierte Analyse

In Arbeitspaket elf sollte der Einsatz des Sensornetzwerks auf seine ökonomischen Aspekte hin bewertet werden. Dabei spielen vor allem die Menge und Arten von Fütterungstechnik und Sensoren eine entscheidende Rolle. In einer detaillierten Kostenanalyse wurden neben den Anschaffungs- und Betriebskosten (Abonnements, Internet) auch potenzielle Einsparungen bei Arbeitszeit und Tierarztkosten berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigten, dass durch die Automatisierung mithilfe von CalfRail, HygieneBoxen und Tränkeautomaten tägliche Arbeitsstunden vor allem für die Vorbereitung und Reinigung der sonst üblichen Eimertränke je nach Betriebsgröße um 1,5 bis 2 Stunden reduziert werden konnten. Gleichzeitig erlaubte die Implementierung eine verbesserte Betreuung der Tiere, bei einer gleichzeitigen Minderung der Arbeitsbelastung. Dies könnte besonders Nebenerwerbsbetrieben helfen, den Betrieb zu erhalten. In der Kostenanalyse der Versuchsbetriebe zeigte sich außerdem eine gesteigerte Tiergesundheit, die sich monetär auch in reduzierten Tierarztkosten äußerte. Die intensivere Tränkephase (12 L/d) führte nicht zu Mehrkosten oder einer schlechteren Entwicklung der Tiere, sondern zeigte auf den bewerteten Betrieben eine Tendenz zur langfristigen Leistungssteigerung (mindestens gleichwertige 100-Tage-Milchleistung). Das Potenzial war aber wegen der Anschaffungskosten insbesondere für kleinere Betriebe weiterhin skeptisch zu sehen, weshalb die Nutzungsdauer der Technik und Sensorik ebenfalls eine entscheidende Rolle spielten.

Mit dem Abschluss von Arbeitspaket elf wurde schließlich auch Meilenstein fünf „Revalorierung, Ökonomie- und Ressourcenbericht und Vorserienprodukt vorhanden“ erreicht. Das Förderprojekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden.



3. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit:

Nach Projektende ergeben sich durch das entwickelte Sensornetzwerk eine Reihe weiterer Möglichkeiten die Entwicklung der Aufzuchtälber und Färsen zu analysieren. Die im Projekt ausgewerteten Daten stellen nur einen Teil der insgesamt erhobenen Daten dar, was weitergehende Auswertungen und Publikationen oder Abschlussarbeiten an der TUM und der Universität Bonn in Zukunft möglich macht. Daneben konnten wichtige Erkenntnisse über die Entwicklung der Tiere getroffen und Zusammenhänge zwischen Erkrankungen und dem weiteren Aufwuchs individueller Versuchstiere erkannt werden. Erste Indizien auf die Auswirkung früher Einflüsse auf die spätere Milchleistung konnten ebenfalls herausgearbeitet werden, was die Grundlage zukünftiger Forschung und mögliche Zusammenarbeiten den Projektpartner legt.

Daneben geben die Erkenntnisse auch die Möglichkeit, auf andere Tierarten übertragen zu werden. Die Aufwuchsbewertung von Schweinen oder Geflügel ist ebenso denkbar, sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökonomischer Sicht. Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ist somit in anderen Bereichen gegeben und kann sich als eines neuen Forschungsprojektes zeigen.

Das Hofgut Neumühle hat die Möglichkeit, weitere gesammelte Daten der Versuchsfärsen auszuwerten und als Grundlage für Bachelor- oder Masterarbeiten zu nutzen. Da die Färsen nach Möglichkeit auf dem Versuchsgut verbleiben, können die Laktationsleistung der ersten sowie der folgenden Laktationen analysiert werden. Dies ermöglicht eine präzisere Validierung des im Projekt entwickelten Entscheidungsalgorithmus. Die angeschafften und installierten Sensoren werden zudem in bereits laufenden Versuchen in Kooperation mit der Klinik für Wiederkäuer mit Bestandsmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen eingesetzt, um das Tränkeverhalten der untersuchten Kälber zu erfassen. Darüber hinaus sind sie für weitere Folgeprojekte nutzbar, wie das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderte Projekt „Kalbzu2t“. Im Rahmen des Projekts „NuKliWa“ (EIP AGRI) in Zusammenarbeit mit der TH Bingen wurden laktierenden Kühen smaxtec Pansenbolis verabreicht. Dadurch kann das bereits entwickelte Sensorennetzwerk erweitert und ein verbessertes Herdenmonitoring realisiert werden. Gewonnene Erkenntnisse sowie der Einsatz der Sensorsysteme werden langfristig und nachhaltig in die Lehre integriert – sowohl in die Ausbildung von Studierenden und in die Aus- und Fortbildung von Landwirtinnen und Landwirten als auch in die Verbraucherbildung.