Abschlussbericht

Innovationen für gesunde und ‚glückliche' Kühe

Akronym IGG

Laufzeit 01.06.2021 - 31.05.2025 (48 Monate)

Verbundprojekt

Projektpartner	**Förderkenn-zeichen**
1. Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (**FBN**) Dummerstorf	28N-3-039-01
2. Friedrich-Loeffler-Institut (**FLI**) Riems	28N-3-039-02
3. Landwirtschaftliches Bildungszentrum (**LBZ**) Echem	28N-3-039-03
4. Hochschule Neubrandenburg (**HSNB**)	28N-3-039-04
5. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (**LfULG**) Sachsen	28N-3-039-05
6. Tierärztliche Hochschule Hannover (**TiHo**)	28N-3-039-06
7. Landesanstalt für Landwirtschaft (**LfL**) Grub	28N-3-039-07

Projektkoordination Prof. Dr. med. vet. Lisa Bachmann

Hochschule Neubrandenburg/ Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (FBN)

bachmann@hs-nb.de/ bachmann@fbn-dummerstorf.de

038208/ 68687

Projektlogo

"Hiermit versichere ich in meiner Rolle als Projektkoordinator/in, dass der Inhalt des fachlichen Berichtsteils mit den Verbundpartnern einvernehmlich abgestimmt wurde."

1 Vorhabenkonzept

1.1 Ziel und Aufgabenstellung des Vorhabens

Die politischen und gesellschaftlichen Anforderungen an Landwirt*innen in Deutschland und der Europäischen Union steigen im Hinblick auf eine tierwohlgerechte und nachhaltige Produktion von Lebensmitteln. In den letzten Jahren wurden bereits Verbesserungen der Haltungsbedingungen in der Nutztierhaltung, wie z. B. in der Milchproduktion, vorgenommen. Jedoch müssen die Bedingungen noch weiter bezüglich Tierwohl verbessert werden, um die gesellschaftliche Akzeptanz von Tierhaltung weiter zu erhöhen. Ausgehend vom Tier mit seinen Bedürfnissen, seinem Verhalten, seiner Sinneswahrnehmung und seiner Haltungsumwelt waren deswegen die Ziele des Verbundprojektes „Innovationen für gesunde und ‚glückliche' Kühe" (IGG)

(1) die Bildung eines Innovationsnetzwerks zur Entwicklung eines innovativen Stallkonzeptes für Forschungs- und Demonstrationszwecke,
(2) die Umsetzung der Neu- bzw. Erweiterungsbauten der entwickelten Forschungs- und Demonstrationsställe „Milchviehstall der Zukunft" am Standort Dummerstorf und „Vario-Stall" am Standort in Grub, sowie
(3) die Durchführung von baubegleitenden Forschungsprojekten u.a. zur Analyse von Ultraschallemissionen bei Rindern, zur Untersuchung von muttergebundener Kälberaufzucht, zur Erstellung eines Precision Dairy Farming Konzeptes und zur ökonomischen Bewertung tiergerechter Haltungssysteme.

Durch veränderte politische Rahmenbedingungen während der Projektlaufzeit wurde nach 38 Projektmonaten die Zielstellung (2) verändert. Die beiden geplanten Ställe, der „Milchviehstall der Zukunft" und der „Vario-Stall", sollten nun als virtuelle, interaktiv begehbare 3D-Modelle erstellt werden.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Haltung unserer Milchkühe befindet sich im Spannungsfeld zwischen Tierwohl, tierhaltungsbedingten klimarelevanten Emissionen, Nutzung globaler Ressourcen, hoher tierischer Leistung und der Wirtschaftlichkeit des Betriebszweiges Milcherzeugung (DGfZ, 2020).

Nach dem Konzept des Farm Animal Welfare Council (FAWC, 2009) ist das Wohlbefinden von Tieren durch diese fünf Kriterien gekennzeichnet:

1. Freiheit von Hunger, Durst und Fehlernährung
2. Freiheit von Unbehagen
3. Freiheit von Schmerzen, Verletzungen und Erkrankungen
4. Freiheit normales Verhalten auszuleben
5. Freiheit von Angst und negativem Stress.

Umfassende Investitionen in neue und modernisierte Ställe für Milchkühe in den letzten Jahren haben die Haltungsbedingungen für die Tiere verbessern können, zeigen aber in Bezug auf Tierwohl noch viel Handlungsbedarf (BLE, 2020). Vor allem im geburtsnahen Zeitraum der Kühe und im Kälberbereich sind die Erkrankungsraten nicht akzeptabel. Die Haltung von Milchkühen hierzulande ist zum einen gekennzeichnet durch das erhöhte Vorkommen von Erkrankungen, wie Lahmheiten, Stoffwechselstörungen, Mastitiden und Fruchtbarkeitsstörungen sowie durch das Auftreten von Technopathien (z.B. Liegeschwielen bzw. -beulen und andere Druckstellen) aufgrund unpassender Haltungseinrichtungen (Krummel, 2013). Dies führt dazu, dass Kühe in Deutschland, bevor sie ihre maximale Milchleistung in der 4. bis 7. Laktation erreichen, nach einer Nutzungsdauer von 3 Jahren abgehen (VIT, 2019). Die Aufzucht der weiblichen Kälber und Jungtiere wird auf den Betrieben häufig vernachlässigt, da durch die derzeitigen Produktionsbedingungen („jedes Jahr ein Kalb") zu viele

weibliche Kälber geboren werden (DGfZ, 2020). Holstein-Kälber sind nahezu unverkäuflich und müssen aufgezogen werden, obwohl sie als weibliche Nachzucht nicht gebraucht werden. Schlechte Haltungs- und Fütterungsbedingungen (zu geringe und verspätete Kolostrumgaben, geringe Milchmengen, fehlendes Wasserangebot, schlechte Hygiene-, Luft- und Lichtverhältnisse) bei den Kälbern führen häufig zu einer erhöhten Kälbersterblichkeit, vor allem aufgrund von Durchfall- und Lungenerkrankungen (USDA, 2014; Tautenhahn, 2017). Ein weiteres Problem stellen die männlichen Kälber der Milchleistungsrassen dar, da diese im Vergleich zu Kälbern der Fleisch- oder Zweinutzungsrassen schlechtere Masteigenschaften aufweisen, dies lässt sich durch Managementstrategien möglicherweise abfangen (Devant et al., 2020). Neben dem Bedarf an tiergerechten Haltungs-, Fütterungs- und Managementstrategien ist auch die Verhinderung der Einschleppung von Infektionserregern in die Betriebe ein wichtiger Aspekt, um die Gesundheit von Milchkühen und deren Nachzucht zu gewährleisten. Eine Studie zur Milchviehhaltung in Deutschland, die durch die BLE gefördert wurde, konnte feststellen, dass auf den meisten Milchviehbetrieben ein Verständnis für Biosicherheit kaum vorhanden ist (BLE, 2020). Eine nachhaltige Strategie, um die Tiergesundheit auf den Betrieben zu verbessern, soll insbesondere auch dazu führen, den Einsatz von antibiotischen Wirkstoffen in der Milchviehhaltung zu minimieren. So soll auch das Ziel der EU erreicht werden, den Antibiotikaeinsatz bis 2030 um 50% zu reduzieren (Europäische Kommission, 2020). Antibiotikaresistente Keime aus der Nutztierhaltung können bei Menschen schwer beherrschbare Infektionen auslösen. Im Sinne des One-Health-Konzepts wird durch die Verbesserung der Tiergesundheit auch die Humangesundheit verbessert, da ein geringerer Antibiotikaeinsatz das Vorkommen von antibiotikaresistenten Keimen reduziert.

In der Forschung sind für die genannten Probleme bereits viele Strategien entwickelt worden, z.B. Verlängerung der Laktation bei Milchkühen (Sehested et al., 2019), *ad libitum* Angebot von Wasser und Milchtränke für Kälber (Wenge et al., 2014), muttergebundene Aufzucht von Kälbern (Meagher et al., 2019) und kuhgerecht gestaltete Liege- und Laufflächen (Gieseke et al., 2020), die derzeit noch nicht in größerem Umfang in die Praxis umgesetzt werden.

Aktuelle Haltungskonzepte oder -vorgaben, sei es aus Politik oder Vermarktung, fordern in der Regel mehr Platz in Form von mehr Fress- oder Liegeplätzen, breiteren Laufgängen oder Ausläufen. Andere möglicherweise knappe Ressourcen wie die Futtervorlagehäufigkeit oder die Melkkapazität bei Automatischen Melksystemen (AMS) finden keine Berücksichtigung. Gleichzeitig steht die Branche vor der Herausforderung die Emissionen zu mindern. In Bezug auf diesen Zielkonflikt zwischen Platzangebot für die Tiere, den in der Regel damit verbundenen höheren Emissionen und Kosten gibt es nur wenige Untersuchungen, welche die Effekte eines unterschiedlichen Ressourcenangebots differenziert betrachten. Versuchseinrichtungen, in welchen baulich eine Veränderung eines Parameters (z.B. Fressplatztiefe oder Melkkapazität) bei sonst gleichbleibenden Bedingungen (Tierzahl, Gesamtfläche im Stall, usw.) möglich wäre, fehlen.

2 Durchführung

2.1 Forschungs- und Demonstrationsstall „Stall der Zukunft“ in Dummerstorf (Verbundpartner FBN)

In der ersten Projektphase „Bildung eines Innovationsnetzwerkes“ wurde das Stallbaukonzept zum „Milchviehstall der Zukunft“ aus Perspektive des Milchrindes auf wissenschaftlich fundierten Kenntnissen erarbeitet. Dazu wurde aktuelle Literatur und Kriterien zu Tierwohl, Tiergesundheit, Umweltwirkungen und auch die Sinneswahrnehmung von Rindern berücksichtigt.

In der zweiten Projektphase wurde das gesamtheitliche Stallbaukonzept des „Milchviehstall der Zukunft“ inklusive aller notwendigen weiteren Gebäude zur Bewirtschaftung des Stalls für den Bau

vorbereitet und der Bau sollte erfolgen. Zur Bauvorbereitung wurde das entwickelte Stallbaukonzept aus der ersten Projektphase unter zusätzlicher Einarbeitung landwirtschaftlicher Wirtschaftsgebäude mit Hilfe fachspezifischer Bauplaner umgearbeitet, mit dem Ziel einen Bauantrag zu stellen. Dazu mussten neben der Beachtung von gesetzlichen Vorgaben, wie z.B. zum Brandschutz, auch potentielle Firmen zur Ausstattung des Stalls in Zusammenarbeit mit Forschungsteilprojekt 5 (Verbundpartner HSNB und LfL) und der verfahrenstechnischen Benutzung des Stalls, wie Grubbern, Selektion von Kühen, Kuhverkehr mit Weide, mitbetrachtet werden, um Arbeits- und Entsorgungswege zu planen. Dazu wurden regelmäßige Baubesprechungen zwischen dem IGG-Kernteam und dem Fachplaner durchgeführt (Verbundpartner FBN und HSNB). Darüber hinaus wurde der Start der Bewirtschaftung bezüglich der Futterbeschaffung und dem Zukauf trächtiger Färsen der Rasse Deutsche Holstein mit regionalen landwirtschaftlichen Unternehmen und der Gemeinde vorbereitet. Nach Fertigstellung der Fachplanung wurde der Baugenehmigungsprozess eröffnet. Zur Bauvorbereitung des „Milchviehstalls der Zukunft“ gehörte auch die Durchführung des Verfahrensablaufs bei Zuwendungsbaumaßnahmen gemäß RZBau mit Koordinierungsgespräch und Prüfung des ZBau-Antrags vom Staatlichen Bau- und Liegenschaftsamt. Die Projektphase „Bauvorbereitung“ schließt mit der Erteilung der Baugenehmigung und mit der Genehmigung des ZBau-Antrags ab. Durch die Veränderung des Zuwendungszwecks des Projektes entfällt der Bau des „Milchviehstalls der Zukunft“ im Rahmen dieses Projektes.
Anstelle des Baus wurde in der dritten Projektphase ein 3D-Modell zur Visualisierung des Stallbaukonzeptes „Milchviehstall der Zukunft“ inklusive der Wirtschaftsgebäude, des Außengeländes und typischen Tierverhaltens mit Hilfe externer Partner entwickelt. Die Grundlage zur digitalen Visualisierung des „Milchviehstalls der Zukunft“ bildete das im Forschungsteilprojekt 3 (Verbundpartner LBZ) erstellte 3D-Modell aus der Entwurfsphase und die 2D-Grundrisse und -Ansichten im Genehmigungsstatus. Mithilfe von „Computer Aided Design“ und Game Engine wurden die Zeichnungen in 3D-Modelle der virtuellen Welt übertragen. Die Familienherde unter Einbeziehung von Kühen, Kälbern und Färsen und automatisierter Technik im Tagesablauf wurden unter Entwicklung von Grundlogiken integriert. Dafür wurden serielle Einzel-Bildaufnahmen von unterschiedlichen natürlichen Bewegungsabläufen und Verhaltensweisen von Kühen, Kälbern und Färsen sowie die Interaktion zur automatisierten Technik zu erstellen. Unter Berücksichtigung des Tieraugensimulators (Verbundpartner LBZ) soll das 3D-Modell neben der Mensch-Perspektive auch aus der Kuh-Perspektive interaktiv begehbar sein.

2.2 Forschungs- und Demonstrationsstall „Vario-Stall“ in Grub (Verbundpartner LfL)

Um auch Schritte zwischen der aktuellen konventionellen Milchviehhaltung und einem Zukunftskonzept, wie im „Milchviehstall der Zukunft“ hinsichtlich der Bedürfnisse der Tiere zu erforschen, wurde das Konzept „Vario-Stall“ nachträglich im September 2021 im Projekt aufgenommen. In der ersten Projektphase „Bildung eines Innovationsnetzwerkes“ wurde das bereits bestehende Stallbaukonzept für einen neu zu bauenden Milchviehstall durch die Bayerischen Staatsgüter (BaySG – Bauherr) am Standort Grub zu einem ganzheitlichen Stallbaukonzept „Vario-Stall“ erweitert. Im Fokus liegt hierbei die bisher nicht ausreichend erforschte Frage nach dem tatsächlichen Ressourcenbedarf (hinsichtlich Fressplätze, Liegeplätze, Melkkapazität, etc.) einer Milchkuh. Die Erstellung des erweiterten Stallbaukonzeptes „Vario-Stall“ erfolgte federführend durch die LfL in Abstimmung mit den BaySG.
Nach dem Zuwendungsbescheid zum Stallbaukonzept „Vario-Stall“ durch die BLE Ende 2021, konnte von der LfL die Eingabeplanung vorangetrieben und fertiggestellt werden. Für die Unterstützung bei der Ermittlung der Baukosten sowie Erstellung der Unterlagen für den Bauantrag wurden vom Bauherren BaySG zusätzlich Elektro- und HLS-Fachplaner beauftragt. Der Antrag auf Baugenehmigung des „Vario-Stalls“ wurde beim Landratsamt Ebersberg im Dezember 2022 eingereicht und im März 2023 genehmigt. Von April bis September 2023 wurde das Stallkonzept in enger Abstimmung mit dem Bauherrn durch die LfL weiter vorangebracht. Bei den regelmäßigen Treffen wurde die

verfahrenstechnische Benutzung des „Vario-Stalls“ sowohl im Hinblick auf die Forschungsaufgaben als auch für die täglichen Routinearbeiten besprochen und abgestimmt. Ab September 2023 wurden Treffen federführend durch einen externen Objektplaner (hausfreunde – Architekten PartGmbB) organisiert und fanden regelmäßig zwischen Fachplanern und LfL und BaySG statt. Während der gesamten Planungsphase fand in Zusammenarbeit mit dem Forschungsteilprojekt 5 (Verbundpartner HSNB und LfL) ein Austausch mit Firmen zur möglichen Stalltechnik für den „Vario-Stall“ statt. Das Augenmerk für den „Vario-Stall“ lag hierbei neben der Funktionssicherheit auf der Gewährleistung der Variabilität des Stalls. Aufgrund der begrenzten für den Bau zur Verfügung stehenden Finanzmittel (Baukosten waren seit Beginn der Stallbauplanung gestiegen) wurde bis April 2024 zwischen Objektplaner, LfL und BaySG intensiv an einer Kosteneinsparung gearbeitet, die eine Tektur zur Folge hatte. Diese wurde im Oktober 2024 genehmigt.

Durch die Veränderung des Zuwendungszwecks des Projektes im August 2024 entfällt der Bau des „Vario-Stalls“ im Rahmen dieses Projektes. Aufgrund der ungesicherten Finanzierung wurde die Ausführungsplanung gestoppt.
Anstelle des Baus wurde in der letzten Projektphase ein 3D-Modell zur Visualisierung des Stallbaukonzeptes „Vario-Stall“ mit Hilfe externer Partner (homebase² GmbH) entwickelt. Anders als beim „Milchviehstall der Zukunft“, bei dem das im Forschungsteilprojekt 3 (Verbundpartner LBZ) erstellte 3D-Modell aus der Entwurfsphase als Basis genutzt werden konnte, musste das Modell für den „Vario-Stall“ neu entwickelt werden. Nach einem öffentlichen Ausschreibungsverfahren im November 2024 wurde auf Basis der genehmigten Tektur der hausfreunde – Architekten PartGmbB mit der Arbeit begonnen. Mithilfe von „Computer Aided Design“ und Game Engine wurden die Zeichnungen in 3D-Modelle übertragen. Aufgrund der nicht fertiggestellten Ausführungsplanung war für die Erstellung der Visualisierung des „Vario-Stalls“ ein intensiver Austausch zwischen LfL und externem Partner notwendig, um die verfahrenstechnische Funktionsweise des Stalls auch im 3D-Modell realitätsgetreu darstellen zu können. Zahlreiche Gespräche mit Landtechnikherstellern folgten, um schon bestehende 3D-Daten von Stalleinrichtungen mit weniger Zeitaufwand in die 3D-Visualsisierung aufnehmen zu können. Die Darstellung der Variabilität des Stalls wurde mit Hilfe von „zuschaltbaren“ Modulen umgesetzt. Für die realitätsnahe Visualisierung der Kühe wurden, wie beim Verbundpartner HSNB, Videoaufnahmen von unterschiedlichen Verhaltensweisen von Fleckviehkühen erhoben und bearbeitet. Unter Berücksichtigung des Tieraugensimulators (Verbundpartner LBZ) ist das 3D-Modell neben der Mensch-Perspektive auch aus der Kuh-Perspektive interaktiv begehbar.

2.3 Forschungsteilprojekt 1 „Geräuschemission im Ultraschallbereich“ (Verbundpartner FBN)

In einem ersten Versuch wurde ein Hörtest für Kälber entwickelt, bei dem künstlich erzeugte Ultraschall-Signale den Tieren zeigen sollten, auf welcher Seite der Arena sie eine Futterbelohnung erhalten. Änderungen des Versuchsdesigns, wie unterschiedliche Aufstellung der Lautsprecher, wurden vorgenommen, wenn die Kälber keine Assoziation zwischen einer Futterbelohnung und einem Geräusch zeigten. Der erste Versuch wurde mit 10 Kälbern durchgeführt.
In einem zweiten Versuch wurden Kälbern in einem Playback-Versuch unterschiedliche praxisrelevante Geräuschemissionen vorgespielt. Dafür wurden zunächst standardisiert typische Geräuschemissionen aus der Milchrindhaltung mit Hilfe spezieller Aufnahmetechnik aufgezeichnet. Die Geräuschaufnahmen wurden von Nebengeräuschen bereinigt und mittels Frequenzfiltern zu drei unterschiedlichen Playbacktypen zusammengestellt (Vollsignal, Frequenzen bis 20 kHz und Frequenzen ab 20 kHz). Um Einflüsse von akustischer Belastung in unterschiedlichen Frequenzbereichen zu analysieren, wurden die Geräuschemissionen wie folgt unterteilt: chronische Belastung sind Aufnahmen von AMS, chronisch intermittierende Belastung sind Aufnahmen vom Melkständen und akute Belastung sind Aufnahmen von Klauenpflegeständen. Diese gefilterten Geräuschaufnahmen wurden insgesamt 38 Kälbern in drei Versuchswochen pseudorandomisiert in unterschiedlichen Dauern vorgespielt. Dabei wurden neben Verhaltensparametern aus

Videoaufzeichnungen auch physiologische Parameter, wie Speichelkortisolkonzentration und Herzfrequenz, erfasst. Zur Auswertung wurde die Versuchsbucht in verschiedene Funktionsbereiche unterteilt. Die entstandenen Videoanalysen wurden zur Entwicklung von Computervision-Systemen im Forschungsteilprojekt 8 (Verbundpartner FLI) verwendet.

2.4 Forschungsteilprojekt 2 „Dateninfrastruktur und -management“ (Verbundpartner HSNB/ LfL/ FBN)

Die Erarbeitung und Entwicklung einer Wissenschaftsdatenbank für die Forschungsställe „Milchviehstall der Zukunft“ und „Vario-Stall“ sollte in den 3 Arbeitsschritten durchgeführt werden: 1) Erarbeitung eines Merkmalsspektrum für Forschungsställe, 2) Marktrecherche zu bestehenden Datenbanken und 3) Aufbau einer Wissenschaftsdatenbank mit einer integrierten Benutzeroberfläche für beide Forschungsställe.

Das Merkmalsspektrum zur wissenschaftlichen Erfassung der tier- und umweltassoziierten Daten für die Forschungsställe wurde in elf Merkmalstreffen herausgearbeitet. Darüber hinaus wurden mögliche Techniken zur Erfassung der tier- und umweltassoziierten Daten diskutiert (Vernetzung Forschungsteilprojekt 5).

Eine Marktrecherche wurde zu unabhängigen Herdenmanagement-Programmen und laufenden Forschungsprojekten durchgeführt. Erfassungstechniken, die bereits über bestehende Schnittstellen zu Herdenmanagement-Programmen oder anderen Datenbanken verfügen, wurden mit Hilfe von persönlichen Gesprächen und Vernetzungen mit laufenden Forschungsprojekten herausgearbeitet.

Vorüberlegungen zum Datenbankschema, wie Erfassungsfrequenzen und die Erfassungsart der Merkmale der Wissenschaftsdatenbank, wurden mit Excel erarbeitet. Relevante Aspekte, die bei der Datenerhebung und den Daten selbst in Hinblick auf FAIR (Findable-Auffindbarkeit, Accessible-Zugänglichkeit, Interoperable-Interoperabilität, Reusable-Wiederverwendbarkeit; Wilkinson et al., 2016) wurden berücksichtigt. Die Beschaffung von Rohdatensätzen geplanter (Sensor-)Technik konnte wegen verfahrensrechtlichen Gründen nicht erfolgen. Weitere notwendige Arbeitsschritte konnten aufgrund der politischen Rahmenbedingungen nicht umgesetzt werden.

2.5 Forschungsteilprojekt 3 „Weiterentwicklung Kuhbrille um akustischen Sinn“ (Verbundpartner LBZ)

Zur akustischen Wahrnehmung von Rindern wurden zusammen mit dem Forschungsteilprojekt 1 (Verbundpartner FBN) praxisnahe Messungen und Aufnahmen im Ultraschallbereich an technischen Einrichtungen (z.B. Melktechnik, Beleuchtung) durchgeführt. Dazu wurde einerseits die am LBZ vorhandene Technik genutzt. Andererseits wurde mit Herstellern und Entwicklern von Stalltechnik zusammengearbeitet. Die dazu notwendige Koordination wurde vom LBZ übernommen. Bei der Erfassung von Geräuschemissionen im Ultraschallbereich und der Untersuchung von aversiver Wirkung auf die Tiere im Forschungsteilprojekt 1 (Verbundpartner FBN) wurde beraten und bei der technischen Umsetzung unterstützt.

Ergebnisse aus den Playback-Versuchen vom Verbundpartner FBN (Forschungsteilprojekt 1) wurden genutzt, um in Kooperation mit einem externen Softwareentwickler den Tieraugensimulator „Echemer Kuhbrille“, um die akustische Wahrnehmung zu erweitern. Ziel ist es, durch ein Mikrofon und einer Softwareerweiterung gezielte Analysen zu möglicherweise stressinduzierender Ultraschallemittenten in Ställen zu ermöglichen.

Zur visuellen Wahrnehmung von Rindern wurde der am LBZ entwickelte Tieraugensimulator „Echemer Kuhbrille“ und die damit gesammelten Daten erweitert und in die Entwurfsplanung für den Bau des „Milchviehstalls der Zukunft“ aufgenommen. Dazu wurden vom LBZ einerseits realisierte Stallbauprojekte hinsichtlich der optischen Wahrnehmung untersucht und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Andererseits wurde das Virtual Reality-System mit Hilfe eines externen Architekturvisualisierers so weiterentwickelt, dass es bereits in der Entwurfsphase genutzt werden

kann, um 3D-Stallmodelle virtuell begehbar zu machen. Als Grundlage der digitalen Visualisierung wurden die 2D-Grundrisse und -Ansichten im Entwurfsstatus des „Milchviehstall der Zukunft“ genutzt.

2.6 Forschungsteilprojekt 4 „Bewertung des Liegekomforts und der Klauengesundheit in Ställen mit unterschiedlichem Einstreumaterialien“ (Verbundpartner TiHo)

Zur Bewertung des Liegekomforts und der Klauengesundheit von Milchkühen in deutschen Kompostierungsställen wurden Betriebe ausgewählt, die für die Liegefläche seit mindestens zwei Jahren Kompostierungsmaterial verwenden, einen regelmäßigen Klauenschnitt der gesamten Herde durchführen und keinen Weidegang anbieten. Zur Datenerhebung wurden die Betriebe zweimal besucht, einmal im Winter (Dezember – April) und einmal im Sommer (Juni – September). Der erste Besuch fand dabei zum Zeitpunkt des Klauenschnitts statt. Während des Besuches wurde ein Fragebogen mit 133 Fragen beantwortet, ein Erfassungsbogen zur Stallkondition und zum Stallbau mit 200 Parametern bearbeitet und alle laktierenden Tiere wurden auf Body Condition Score (BCS; Edmonson et al., 1989), Verschmutzungsgrad (Cook, 2002), Technopathien (Fulwider et al., 2007) und Lahmheit (Sprecher et al., 1997) gescort. Während des Klauenschnitts wurden die Klauenbefunde anhand des ICAR Atlas der Klauengesundheit mit Hilfe des Programms „KLAUE“ (dsp agrosoft, Ketzin, Deutschland) erfasst. Später wurde ein Klauengesundheitswert pro Tier der Cow Claw Score und pro Betrieb der Farm Claw Score anhand geometrischer Schweregrade errechnet (Kofler et al., 2023). Des Weiteren wurde der Kompost sensorisch auf Farbe, Geruch, Beschaffenheit und Feuchtigkeit untersucht. Außerdem wurden die Temperatur und Sauerstoffsättigung des Komposts an mehreren Punkten im Stall gemessen. An den Messpunkten wurden Proben zur Analyse auf Trockensubstanzgehalt, pH- Wert und Kohlenstoff- Stickstoff Verhältnis gesammelt und im Institut für Tierernährung der Stiftung Tierärztlichen Hochschule Hannover analysiert. Beim zweiten Besuch wurden die Tiere erneut gescort, der Erfassungsbogen erhoben und die Kompostuntersuchungen mit Probennahme wiederholt. Die Daten wurden im An-schluss in EXCEL organisiert und statistisch ausgewertet.

2.7 Forschungsteilprojekt 5 „Precision Dairy Farming“ (Verbundpartner HSNB und LfL)

Zur Konsolidierung von Erfassungstechniken, die in den Forschungs- und Demonstrationsställen eingesetzt werden sollen, wurden zuerst in elf Merkmalstreffen (zusammen mit Forschungsteilprojekt 2) tier- und umweltassoziierte Merkmale mit allen IGG-Verbundpartner*innen abgestimmt, die aufgrund von zukünftigen Forschungsfragen im „Milchviehstall der Zukunft“ und „Vario-Stall“ erfasst werden sollen. Dazu wurden vorab mögliche unterschiedliche Erfassungstechniken recherchiert und innerhalb der Merkmalstreffen Vor- und Nachteile diskutiert.

Die am Markt verfügbaren Systeme zur Prozessautomatisierung und zum Tierwohlmonitoring wurden mittels Webanalyse und Besuch der EuroTier 2022 recherchiert und eine Vorauswahl geeigneter Systeme getroffen. Daraufhin wurde eine systematische Literaturrecherche von Validierungsstudien durchgeführt. Für nicht am Markt verfügbare Erfassungs- bzw. Regulierungstechniken wurden genaue Funktionsweisen erarbeitet, Vorversuche geplant und externe Entwicklerfirmen gesucht und beauftragt.

Unter Nutzung eigener Praxiserhebungen wurden Anfang 2023 acht landwirtschaftliche Betriebe besucht, um sie zu ihren Erfahrungen bzgl. Funktionsweise und Management von Fütterungs- und Güllesammelrobotern zu befragen. Zudem wurden Treffen mit Firmen von Melk-, Fütterungs- und Entmistungsrobotern organisiert, um die Offenheit gegenüber den geplanten Forschungsvorhaben und die konkrete Umsetzung in den Ställen zu diskutieren.

Anschließend wurde eine Nutzwertanalyse mit dem Ziel, die Informationen aus Literaturreche und Befragungen systematisch auszuwerten, durchgeführt. Dafür wurde zuerst eine Rangfolge mehrerer Bewertungskriterien mittels einer Prioritätenanalyse festgelegt. Basierend darauf wurde für jedes

Kriterium ein Gewichtungsfaktor berechnet. In der anschließenden Nutzwertanalyse wurde der Gesamtnutzwert pro Technik berechnet und zur Entscheidungsfindung in eine Rangfolge gebracht.

2.8 Forschungsteilprojekt 6 „Betriebswirtschaftliche Analysen und Marketingkonzepte – Expansions- und Vermarktungsstrategien“ (Verbundpartner HSNB)

Der „Milchviehstall der Zukunft“ ist als Forschungsstall konzipiert und erfüllt durch die Haltung im Familienverbund, einen Zugang zur Weide und insbesondere ein großes Platzangebot für die Tiere alle Anforderungen an einen Tierwohlstall. Zur betriebswirtschaftlichen Analyse innovativer Stallkonzepte müssen zuerst Forschungsställe in die Praxis adaptiert werden, indem auf die für Forschungszwecke notwendigen Einrichtungen, z.B. zur Datenerhebung, -speicherung und -auswertung im Praxisstall verzichtet wird. Ebenso entfällt das Bauen unter den Vorschriften der öffentlichen Hand.
Die Anpassungen des „Milchviehstalls der Zukunft“ in die Praxis wurden wie folgt festgelegt: Der adaptierte Praxisstall kommt ohne den integrierten Lichthof mit Bäumen, die Unterflurbelüftung, den Außenauslauf, die smarte Ein- und Austrittsregulierung zum Kälberschlupf und den Besichtigungsgang aus und die Anzahl der Separations- und Krankenboxen wird auf ein Minimum beschränkt. Zusätzlich wird die Färsenaufzucht auf die notwendige Anzahl Färsen für die eigene Nachzucht begrenzt (Variante 1). Mit der Auslagerung der Färsen in ein anderes „kostengünstigeres“ Gebäude wird der Familienverbund der Herde aufgegeben (Variante 2). Bei Variante 3, ebenfalls einem Kompostierungsstall entfällt die kuhgebundene Kälberaufzucht und das Platzangebot für die Kühe halbiert sich. Schließlich sollen diese Varianten mit einem herkömmlichen Liegeboxenlaufstall verglichen werden, der vom Platzangebot allerdings den EU-Öko-Anforderungen entspricht (Variante 4; Tabelle 1).

Tabelle 1: Produktionsbedingungen der IGG-Praxisadaptationen und anderer Tierwohlställe im Vergleich

Parameter	IGG-Praxis-Adaptionen		Weitere Tierwohlställe	
	Variante 1 Familienverbund, nur eigene Nachzucht	**Variante 2** externe Färsenaufzucht	**Variante 3** Kompostierungsstall	**Variante 4** Liegeboxenstall KTBL-MV 042
Haltung	Kompostierungsstall, ohne Besuchergänge, Lichthöfe, Weide/ Auslauf		Kompostierungsstall, ohne Weide/Auslauf	Tiefboxen, Schieberentmistung, ohne Weide/Auslauf
Kälber	kuhgebundene Aufzucht (4 Monate)		Verkauf der Kälber nach 4 Wochen, Kälberhaltung im Stall KTBL-KA 008	
Nachzucht	nur eigene Nachzucht, zusammen mit den Kühen	Färsenaufzucht in separatem Stall KTBL-JV 011	eigene Nachzucht, Färsenaufzucht im Stall KTBL-JV 011	
Tierplätze [Stück] | Platzangebot Stall pro Tier [1] [Brutto m²/Tier]				
- Kühe[2]	60/6 | 32	60/6 | 32	60/6 | 15	60/6 | 30
- Färsen	22 | 19	22 | 11[3]	32 | 11[3]	42 | 11[3]
- Kälber	20 | 8	20 | 8	5 | 4	5 | 4

[1] Stall ohne Auslauf; [2] Kühe: Melkende/Trockensteher; [3] Färsenaufzucht nicht im Familienverbund, sondern extern

Allen Varianten dieser Analyse gemeinsam ist zum einen, dass es sich um Tierwohlställe handelt und zweitens, dass mit Roboter gemolken wird. Um Vergleichbarkeit herzustellen, wird zunächst für alle Varianten die gleiche Größe der Kuhherde mit 66 Tieren (inklusive 6 Trockensteher) unterstellt. In Szenarien werden anschließend Skaleneffekte und die Auswirkungen einer Investitionsförderung, z.B. für Tierwohlställe aufgezeigt. Die vier Praxis-Varianten in ihrem Investitionsbedarf und ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen.

Die wirtschaftliche Beurteilung basiert auf den bereits dargestellten Unterschieden in den Investitionskosten für die verschiedenen Varianten und bezieht weitere, durch das Haltungsverfahren implizierte Einflussfaktoren bei Kosten und Preisen mit ein. Dabei werden die drei betroffenen Produktionsverfahren Milchviehhaltung, Kälberaufzucht und Färsenaufzucht gesondert betrachtet, um letztlich Mindestpreise für die erzeugten Produkte Milch und Kalbfleisch ermitteln zu können, welche zur Erarbeitung von Vermarktungsstrategien notwendig ist.

2.9 Forschungsteilprojekt 7 „Gestaltung von Systemen für die gemeinsame Haltung von Kühen und ihren Kälbern im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch (LfULG) für die Dauer von 30 Monaten“ (Verbundpartner LfULG)

Für die gemeinsame Haltung von Kühen und ihren Kälbern gibt es noch offene Fragen zur Gestaltung der Haltungsbedingungen, speziell am Anfang der Laktation. Ziel des Teilprojektes des LfULG war es, zu analysieren, ob Kälber ihnen angebotene Rückzugsmöglichkeiten aus dem gemeinsamen Haltungsbereich mit der Mutter in den ersten 5 Lebenstagen annehmen. Vorbild dieser Haltungsidee ist das natürliche Abliegeverhalten der Kälber räumlich getrennt von der Mutter, welche trotzdem jederzeit den Kuh-Kalb-Kontakt ermöglicht.

Für den Versuch standen 30 Kuh-Kalb-Paaren und 30 Kälber in Einzelhaltung im Zeitraum von der Geburt bis Tag 6 zur Verfügung. Es wurden Färsen und Kühe als Muttertiere sowie männliche und weibliche Kälber einbezogen. Die Rasse der Tiere war reinrassig Deutsche Holstein oder Kreuzungen aus Milchrind x Milchrind bzw. Fleischrind x Milchrind. Kälber wurden am Tag der Geburt zufällig in eine der beiden Haltungsgruppen eingeteilt. Kälber der Kuh-Kalb-Paarung wurden zusammen mit ihrer Mutter am Tag 0 in eine Kuh-Kalb-Box eingestallt. Am Tag 6 wurden die Kälber von ihrer Mutter getrennt.

Eine Kuh-Kalb-Box war in drei Bereiche aufgeteilt. Ein mittlerer Bereich stand Kuh und Kalb gemeinsam zur Verfügung (Abbildung 1). Auf einer Seite war die Abtrennung auf einer Höhe von 1,5 m beplankt. Die Box dahinter war auf der gesamten Fläche reichlich mit Langstroh eingestreut. Der Zugang für das Kalb war über einen offenen Durchgang möglich. Auf der gegenüberliegenden Seite war die Beplankung aus dem Rahmen der Boxenabtrennung entfernt worden. Auf einem gummierten Laufboden wurden zwei nach oben offene reichlich mit Langstroh eingestreute Kälberiglus aufgestellt.

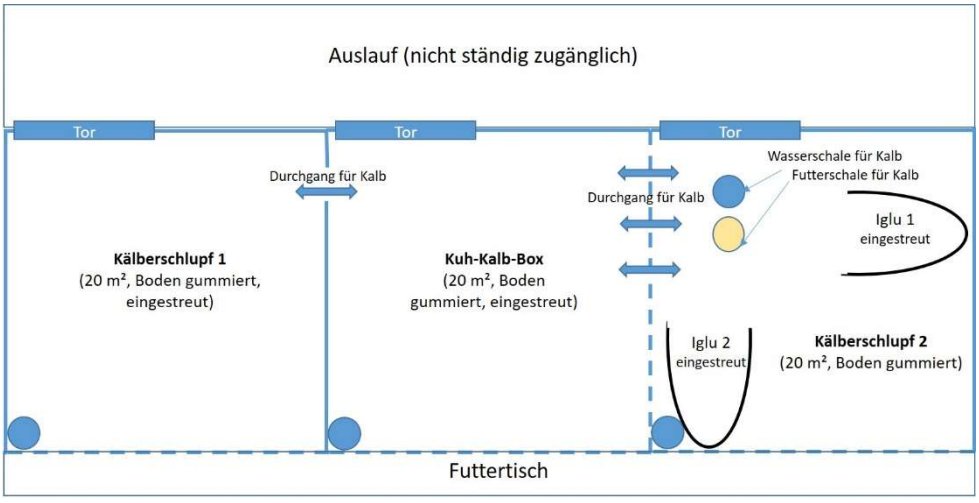

Abbildung 1: Anordnung der Beobachtungsbereiche im Haltungsbereich der Kuh-Kalb-Paare

Links und rechts davon wurde je ein Kälberschlupf in zwei verschiedenen Ausführungen eingerichtet. Jeder Bereich der Kuh-Kalb-Box hatte eine Fläche von 20 m².

Kälber in Einzelhaltung wurden in den ersten zwei Stunden nach der Geburt von ihrer Mutter getrennt und in eingestreute Boxen mit einem Innenmaß von 210 cm x 123 cm (2,58 m²) eingestallt. Diese Kälber wurden über eine CalfRail mit warmer Vollmilch getränkt.
Über jeder der drei Haltungsboxen im Haltungsbereich der Kuh-Kalb-Paare und über den Einzelboxen waren Kameras der Firma Bascom installiert. Zur datenschutzkonformen Abschaltung der Kameras wurde zusätzlich spezielle Sensoren zum automatischen Abschalten der Kameratechnik entwickelt. Mit Hilfe der Verhaltensanalyse über Mangold INTERACT wurden Verhaltensparameter, wie Liegen, Stehen, Bewegen, Trinken, Körperpflege, Sozialverhalten, Saugverhalten der Kälber und Separieren Kalb in Kälberschlupf erfasst. Zusätzlich wurde das Geburtsgewicht und das Gewicht an Tag 6 erfasst sowie die Kotkonsistenz der Kälber bis Lebenstag 6 beurteilt.

2.10 Forschungsteilprojekt 8 „Entwicklung von Computervision-Systemen im Rahmen des Precision Livestock Farming Konzepts“ (Verbundpartner FLI)

Zur Entwicklung von Computervision-Systemen zum automatischen Erfassen von Verhaltensmerkmalen stand Videomaterial vom FLI sowie den Verbundpartnern FBN und LfULG zur Verfügung. Einzelne Bilder wurden per Screenshot aus den Videosequenzen gewonnen. Auf jedem Bild wurden die gewünschten Verhaltensmerkmale mittels Bounding Boxes manuell gelabelt und klassifiziert. Für das folgende Modelltraining wurden die Bildmengen jeweils in ein Trainings- (80 %) und ein Testset (20 %) aufgesplittet.
Wegen der Genauigkeit bei der Objekterkennung wurden YOLO-Algorithmen („You only look once“) verwendet. Diese Algorithmen sind neuronale Netze, die eine hohe Geschwindigkeit aufweisen. Daher sind sie für das Echtzeit-Monitoring anwendbar. Unter Nutzung der YOLO-Algorithmen wurden vier Modelle zur Detektion von Körperhaltung, Individuen, individueller Körperhaltung und Verhalten entwickelt (Tabelle 2). Für die ersten drei Modelle wurde YOLOv4 angewendet. Der weiterentwickelte Algorithmus YOLOv8 wurde zum Training für das Verhaltensmodell genutzt.

Tabelle 2: Trainierte Objekterkennungsmodelle im Projektzeitraum einschließlich der Klassen und der genutzten YOLO-Version

	Modell	Klassen	YOLO-Version
1	Individuenmodell	Kuh1, Kuh2, Kuh3, Kuh4, Kuh5	YOLOv4
2	Körperhaltungsmodell	Stehen, Liegen	YOLOv4
3	Individuelles Körperhaltungsmodell	Kombination aus 1 und 2	YOLOv4
4	Verhaltensmodell	Stehen, Liegen in Brustlage, Liegen in Seitenlage, Fressen Saufen	YOLOv8

Zudem wurde eruiert, welche Computervision-Tools zur Erweiterung des Analysezentrums beitragen können, um auch definierte Bewegungen, Distanzen zwischen Kühen sowie die Ausrichtung der Kühe im Raum detektieren zu können. Am besten geeignet ist hierfür die Pose Estimation (Keypoint-Detektion). Dabei werden bestimmte Körperregionen, vorranging die Gelenke, aber auch Nase, Augen und Ohren, beim Labeln mit Punkten (den sog. Keypoints) versehen und nachfolgend mit YOLOv8pose trainiert.

2.11 Forschungsteilprojekt 9 „Biosicherheitskonzept“ (Verbundpartner FLI)

Zur Erarbeitung von Biosicherheitskonzepten wurde in einem ersten Arbeitspaket die Biosicherheit hinsichtlich des Vorkommens von extended spectrum ß-lactamase (ESBL) produzierenden *Escherichia (E.) coli* in 2 Milchviehbetrieben (Betrieb 1: 550 melkende Kühe, Betrieb 2: 200 melkende Kühe) in Mecklenburg-Vorpommern untersucht. Dazu wurde die Analyse von Fragebögen, der

Antibiotikaabgabebelege und eine auf Prävalenzdaten basierende repräsentative, stichprobenartige Tupferprobennahmen (Sigma Transwab Tupfer mit Amies-Medium) von den Rindern in allen Altersgruppen sowie deren direkte Umgebung, Gerätschaften oder Substrate (Nuckeleimer, Kolostrumausstattung, Einstreu, Tankmilch, Milchautomatenmilch) durchgeführt.
Die Tupfer wurden im bakteriologischen Labor auf das Vorhandensein von ESBL *E. coli* und damit auf antibiotikaresistente Keime untersucht. Dies erfolgte durch Ausplattieren der Tupferproben auf Cefotaxim-haltigem CHROMagar und anschließender Isolierung der Kolonien. Die erhaltenen Isolate werden weiter subkultiviert und charakterisiert (z. B. DNA-Isolierung, PCR, Sequenztypbestimmung).
Anhand der Ergebnisse der Erhebungen und der Auswertung der Probenahmen wurden in einem zweiten Arbeitspaket betriebsspezifische Interventionsmaßnahmen zur Senkung der Prävalenz von ESBL *E. coli* vereinbart. Diese Maßnahmen werden in Zusammenarbeit mit den Betrieben fortgeführt und regelmäßig überprüft. Um den Erfolg der Interventionsmaßnahmen abschließend beurteilen zu können, wird eine erneute Tupferprobennahme der Tiere in den Betrieben nach Projektende durchgeführt.

2.12 Forschungsteilprojekt 10 „Mikrobiologie des Komposts“ (Verbundpartner TiHo/ FLI)

Im Rahmen der Studie wurden alle Proben aus Forschungsteilprojekt 4, die aus Kompost, Einstreu und Milch entnommen wurden, auf ihren Gehalt an thermophilen aeroben Sporenbildnern untersucht sowie die mesophile Gesamtkeimzahl bestimmt. Diese Untersuchungen dienen der Analyse der mikrobiellen Belastung und Diversität in den jeweiligen Proben, was wertvolle Informationen zur Zusammensetzung und möglichen gesundheitlichen Risiken dieser Mikroorganismen liefert.
Parallel dazu wurde eine Gesamt-DNA-Extraktion aus sämtlichen Proben durchgeführt, um eine umfassende Analyse der genetischen Informationen der enthaltenen Mikroorganismen zu ermöglichen. Die Sequenzierung der Proben ist abgeschlossen. Im Rahmen einer Masterarbeit wurde eine vergleichende Analyse des Mikrobioms und Resistoms zur Einschätzung des mikrobiellen Risikos von Komposteinstreu durchgeführt.

3 Ergebnisse und Erkenntnisse

3.1 Forschungs- und Demonstrationsstall „Stall der Zukunft“ in Dummerstorf (Verbundpartner FBN)

In der ersten Projektphase „Bildung eines Innovationsnetzwerkes“ wurde ein Entwurf zum Stallgebäude „Milchviehstall der Zukunft“ herausgearbeitet, dass zur Forschung und Demonstration eine tiergerechte Milchproduktion unter Nutzung einer Familienherde ermöglicht. Zur Verbesserung des Wohlbefindens und damit der Gesundheit, Robustheit und Langlebigkeit von Milchkühen und deren Kälbern sollen innovative Haltungs- und Managementlösungen zukünftig erforscht werden, bevor sie in die Praxis eingeführt werden können.
In der zweiten Projektphase wurden unter Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben und Verfahrenstechnik der Entwurf zum Stallgebäude „Milchviehstall der Zukunft“ überarbeitet und weiterentwickelt. Weitere nutzungsspezifische Gebäude bzw. Bauten zur Haltung von Milchkühen wurden geplant: Zwei Lagerhallen für Stroh, Heu und Hackschnitzel, eine Futterhalle, eine Lagerhalle für Dung und Kompost, Quarantäne-Stall mit Geräteraum, Kadaverraum, Güllelager und eine Fläche für Ballensilage. Darüber hinaus ist ein Funktionsgebäude mit Seminarraum, Büroräumen, Umkleiden, Milchlager und Technik geplant worden. Das Stallbaukonzept „Milchviehstall der Zukunft“ inklusive landwirtschaftlicher Wirtschaftsgebäude hat folgende Haltungsbedingungen:

- Familienherde
    - muttergebundene Kälberaufzucht aller weiblichen und männlichen Kälber bis 16 Lebenswochen
    - Aufzucht aller weiblichen Färsen im Stall

    - Verkauf männlicher Kälber
- freie Liegefläche mit integrierten Lichthöfen mit Bäumen – Kompostierungsstall mit Unterflurbelüftung
- Fress- und Laufgänge und Vorwartehof mit emissionsmindernden Bodenbelägen
- ein zentraler Melkroboter mit anschließenden Behandlungsstand
- befestigter Außenauslauf
- Weide
- Separate Stallbereiche für Kalbinnen und deren Kälber sowie für zu separierende und kranke Tiere
- Kälberschlupf
- Platzangebot
    - Liegen: 11,7 m²/ Großvieheinheit (GV)
    - Laufen: 12,6 m²/ GV inklusive befestigter Außenauslauf
    - Weide: 2.000 m²/ GV
- smarte Fressgitter zur Regelung der alters- und laktationsspezifischen Fressbereiche

Besonderheiten für Demonstrationszwecke sind

- Besichtigungsgang um dem Liegebereich Nord
- Seminarraum mit Blick in den Stall

Mit der Ausstellung der Baugenehmigung vom Landkreis Rostock im Oktober 2024 ist das Ziel erreicht worden, ein genehmigungsfähiges Stallbaukonzept „Milchviehstall der Zukunft“ inklusive landwirtschaftlicher Wirtschaftsgebäude am Standort in Dummerstorf zur tierwohlgerechten Milchproduktion mit einer Familienherde für Forschung und Demonstration zu entwickeln.
Mit Abschluss der dritten Projektphase zur Erstellung eines 3D-Modells ist das entwickelte Stallbaukonzept „Milchviehstall der Zukunft“ inklusive Wirtschaftsgebäude und Weide nun virtuell interaktiv aus Mensch-, Kuh- und Vogel-Perspektive begehbar (Abbildung 2). Zur Ausführung der Anwendung ist ein gamefähiges Notebook bzw. Rechner notwendig.
In der Mensch-Perspektive sind Roll- und Schwenktore öffenbar, in der Kuh-Perspektive sind diese Funktionen nicht möglich und das Sichtfeld ist arttypisch eingeschränkt. Tierartspezifisches Verhalten ist im virtuellen „Milchviehstall der Zukunft“ zu zwei Tageszeiten jeweils im Sommer und Winter erlebbar. Saisonale Unterschiede in der Verfügbarkeit der Weide und dem damit verbundenen Platzangebot für die Familienherde sind visualisiert. Typische Bewegungsabläufe, wie Fressen, Gehen und Ruhen sind dargestellt.
Die Interaktion zwischen Rind und Technik, wie der Fütterungs- und Entmistungsroboter sind eingebaut. Die integrierte Sonnenstandsanalyse ermöglicht die Überprüfung der Oberlichter in Bezug auf die Optimierung des Lichteinfalls auf den Melkroboter und die Baumbegrünung. Systematische Untersuchungen, die mit den 3D-Modellen durchgeführt werden können, müssen in einem weiterführenden Projekt bearbeitet werden.

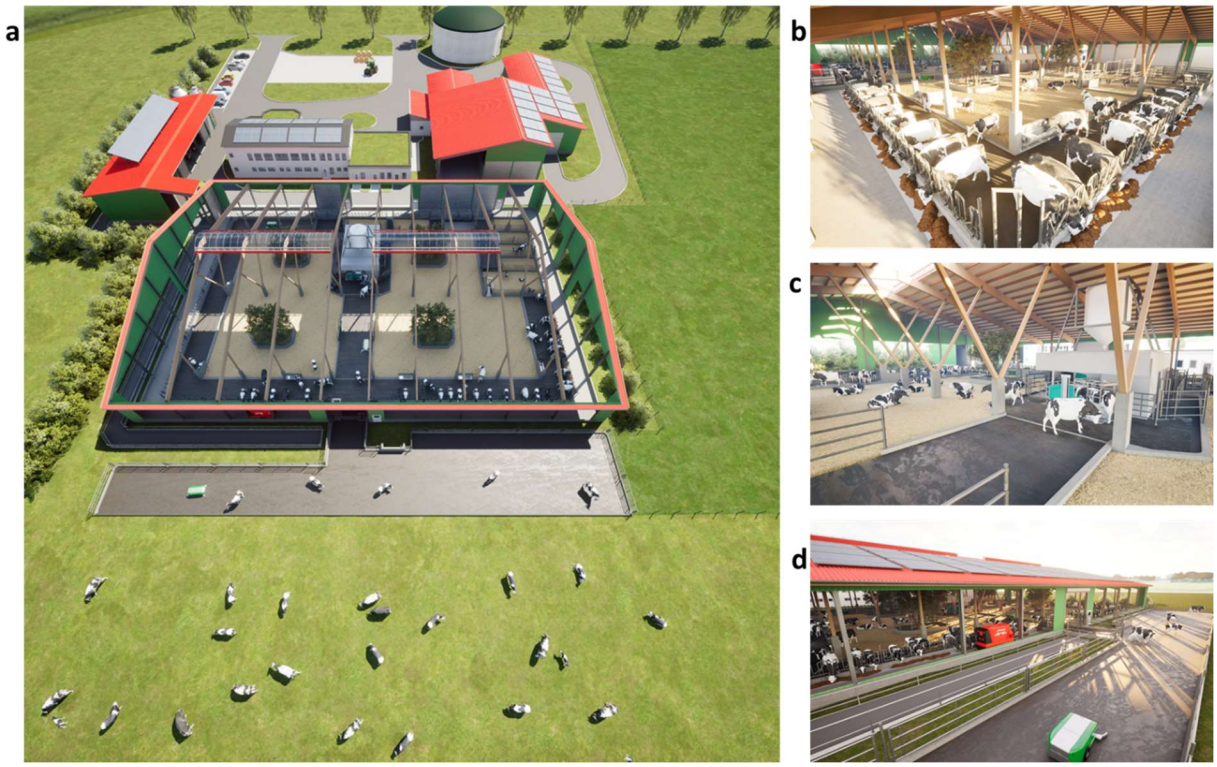

Abbildung 2: 3D-Modell des “Milchviehstalls der Zukunft” a) Überblick im Sommer, b) Fressbereich- und freie Liegefläche, c) Vorwartebereich und Melkroboter und d) automatisierte Technik (*3D-Visualisierung homebase² GmbH*)

3.2 Forschungs- und Demonstrationsstall „Vario-Stall“ in Grub (Verbundpartner LfL)

Der „Vario-Stall“ bietet hinsichtlich Melkkapazität, Laufflächen, Gangbreiten, Liege- und Fressplätzen sowie Innen-/Außenlaufhofflächen (gemessen an der konstanten Herdengröße von 65 Milchkühen) ein Vielfaches der derzeitigen Stallbauempfehlungen (Tabelle 3). Die jeweiligen Ressourcen können damit sowohl erhöht als auch bewusst verknappt variabel angeboten und somit der tatsächliche Bedarf der jeweiligen Ressource wissenschaftlich untersucht werden.

Tabelle 3: Ressourcenkapazität im "Vario-Stall" für 65 Milchkühe

Ressource	Kapazität im „Vario-Stall“
Melkroboter [Anzahl]	2
Außenlaufhof [Anzahl]	2
Innenlaufhof [Anzahl]	2
Fressplätze [Anzahl]	119
Liegeboxen [Anzahl]	96
Laufgangbreite [m]	3,0
Fressgangbreite [m]	4,0
Quergangbreite [m]	5,4
Gangfläche [m²/Tier]	13,8

Darüber hinaus können folgende Variationen ermöglicht werden:

- Unterschiedliche Art und Anzahl von Weidezugängen
- Austauschbarer planbefestigter Boden (z.B. Kot-Harn-Trennung)
- Freie Liegefläche statt Liegeboxen
- Veränderbarer Fressplatz- und Liegeboxenabstand sowie -breite

- Unterschiedliche Fütterungshäufigkeit

Neben dem Ressourcenbedarf werden daher auch Untersuchungen zu emissionsmindernden Maßnahmen (z.B. durch veränderbare planbefestigte Böden), der kombinierten Nutzung von AMS und Weide sowie Aspekte des landwirtschaftlichen Bauens bzgl. Stallklima und Holzbauweise Schwerpunkte der wissenschaftlichen Forschung sein.
Mit der Erteilung der Baugenehmigung vom Landratsamt Ebersberg im März 2023 sowie der auf Grund von Kosteneinsparungen notwendigen Tektur (Planungsstand hausfreunde – Architekten PartGmbB) im Oktober 2024 wurde das Ziel erreicht, ein genehmigungsfähiges Stallbaukonzept „Vario-Stall“ für Demonstrations- und Forschungszwecke zu entwickeln. Die Realisierung des Stallbaus konnte aufgrund der Änderung des Zuwendungszweckes nicht realisiert werden. Anstatt dessen wurde eine 3D-Visualisierung des Stallkonzeptes basierend auf verschiedenen Quellen (Eingabeplan, Tekturplan, verschiedene 3D-Modelle der Hersteller) entwickelt.
Durch das 3D-Modell ist der „Vario-Stall“ nun auch virtuell aus Mensch-, Kuh- und Vogel-Perspektive begehbar. Dabei wird nicht nur der Stall, sondern auch das zugrundeliegende Forschungskonzept in verschiedenen Modulen visualisiert:

Modul 1:	Variables Ressourcenangebot
Modul 2:	Variabler Weidezugang
Modul 3:	Variable Wandverschlüsse
Modul 4:	Variabler Bodenaufbau

Im Grundmodul wird der „Vario-Stall“ realitätsgetreu in seiner vollumfänglichen Kapazität dargestellt (Abbildung 3 und Abbildung 4).

Abbildung 3: Vorwartebereich *(3D-Visualisierung homebase² GmbH)*

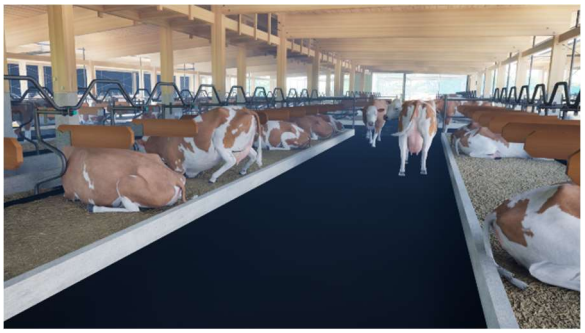

Abbildung 4: Liegeboxen/Laufgang *(3D-Visualisierung homebase² GmbH)*

Im Modul 1 („Variables Ressourcenkonzept“) werden fünf verschiedene Varianten der verfügbaren Stallressourcen visualisiert. Dabei entspricht die „Standard-Variante“ den aktuellen Stallbauempfehlungen, während bei den vier weiteren Varianten jeweils eine bestimmte Ressource im Überangebot zur Verfügung steht (Tabelle 4). Auf die Art und Weise wird sowohl die Variabilität des Stallbaukonzepts deutlich gemacht als auch ein Gefühl des unterschiedlichen Ressourcenangebots vermittelt.

Tabelle 4: Modul 1 – Variables Ressourcenangebot

Varianten	AMS	Fressplätze	Liegeboxen	Gangbreite*
Standard	1	43	65	3m/ 2m/ 3m
Max. Melkkapazität	**2**	43	65	3m/ 2m/ 3m

Max. Verkehrsfläche	1	43	65	**4m/ 3m/ 5,4m**
Max. Fressplatzangebot	1	**119**	65	3m/ 2m/ 3m
Max. Liegeboxenangebot	1	43	**96**	3m/ 2m/ 3m

*Fressgangbreite/ Laufgangbreite/ Quergangbreite

Die unterschiedliche Fressplatz- und Liegeboxenanzahl (**Abbildung 5**), die Zugänglichkeit des zweiten Melkroboters und die verschiedenen Gangbreiten (Abbildung 6) werden entsprechend der realitätsnahen Umsetzung durch gezieltes Absperren mit Gattern ermöglicht.

Abbildung 5: Max. Liegeboxenanzahl (links) und reduzierte Liegeboxenanzahl (rechts) *(3D-Visualisierung homebase² GmbH)*

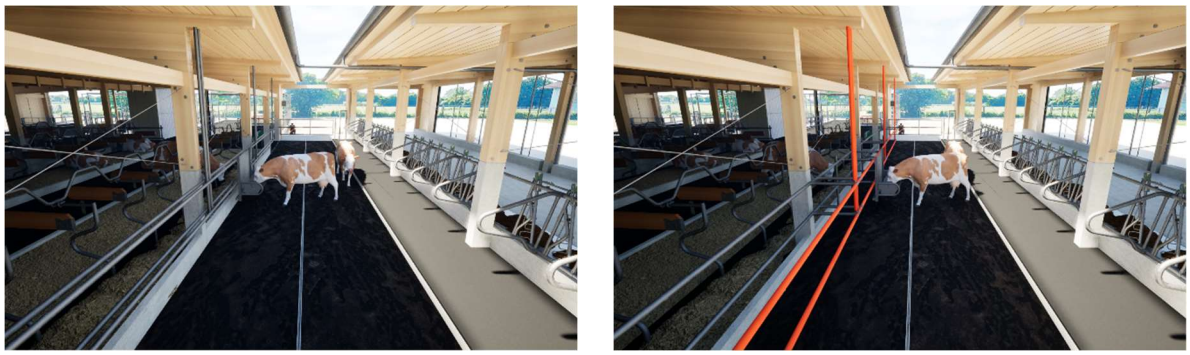

Abbildung 6: Max. Fressgangbreite (links) und reduzierte Fressgangbreite (rechts) *(3D-Visualisierung homebase² GmbH)*

Weitere Features, wie die Sonnenstandsanalyse oder das abnehmbare Dach, sind ebenfalls integriert. Typische Bewegungsabläufe der Milchkühe (wie Melken, Fressen, Gehen und Ruhen) und interaktive Logiken (z.B. Kollisionen, Öffnen und Schließen von Toren) machen die Visualisierung realistisch erlebbar.

Im Modul 2 („Variabler Weidezugang“) werden die verschiedenen Möglichkeiten des Weide- und Stallzugangs visualisiert. Der Weidezugang kann dabei über den südlichen Zugang (Bereich der Futtertischbrücke) oder über den westlichen Zugang (eine oder beide Außenlaufhöfe) erfolgen. Es soll sowohl ein zentraler Weidezugang (durch einen Bypass an den beiden AMS) als auch ein dezentraler Weidezugang (mit Selektionstor oder einer Rücklaufsperre oder einem freien Zugang) visualisiert werden. Der Stallzugang kann in Form eines freien Zugangs oder einer Rücklaufsperre entweder neben dem Weidezugang oder am anderen Stallende gelegen sein.

Im Modul 3 „Variable Wandverschlüsse“ wird der unterschiedliche Öffnungsgrad (geschlossen, teilweise offen, vollständig offen) der Seitenöffnungen an Längs- und Giebelseiten dargestellt. Die dadurch bedingte Veränderung der Licht-Schatten-Verhältnisse kann aufgezeigt werden (Abbildung 7).

Abbildung 7: Wandverschlusssystem mit Windschutznetz (links) und mit Curtains (rechts) *(3D-Visualisierung homebase² GmbH)*

Im Modul 4 „Variabler Bodenaufbau“ wird die Umbaumöglichkeit des Nord-Fressgangs für ein veränderbares Quergefälle gezeigt und unterschiedlich starke Quergefälle visualisiert (Abbildung 8).

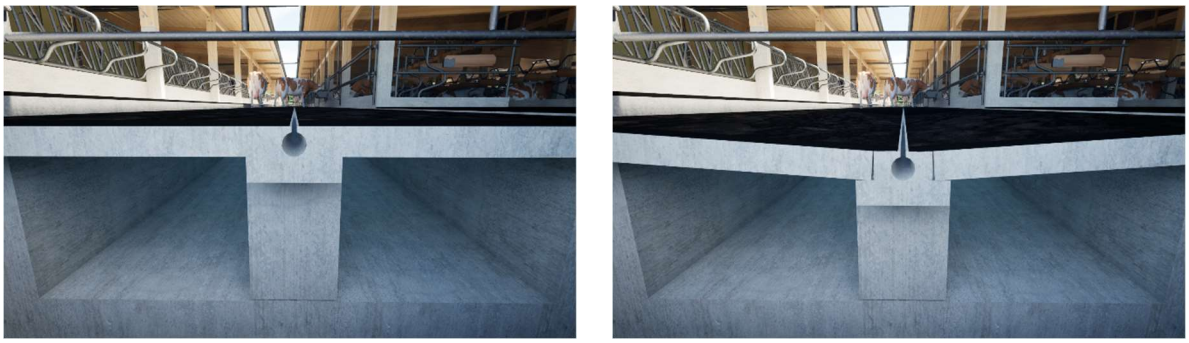

Abbildung 8: Querganggefälle 0 % (links) und Querganggefälle 7% (rechts) *(3D-Visualisierung homebase² GmbH)*

3.3 Forschungsteilprojekt 1 „Geräuschemission im Ultraschallbereich“ (Verbundpartner FBN)

Im ersten Versuch zur Assoziation von künstlich erzeugten Ultraschall-Signalen und einer Futterbelohnung konnte den Kälbern nicht beigebracht werden, dass sie beim Abspielen des Ultraschall-Signals eine Futterbelohnung erhalten. Das kann zum Beispiel daran liegen, dass Rinder nicht notwendigerweise den akustischen Sinn zur Nahrungssuche benötigen.

Im zweiten Versuch zur Assoziation von praxisrelevanter Geräuschemissionen und dem Verhalten von Kälbern konnten aus den Aufnahmen typischer Geräusche in der Milchviehhaltung zu den für den Menschen hörbaren Frequenzen auch Frequenzen gefiltert werden, die in dem von Heffner und Heffner (1983) publizierten Hörbereich von Rindern liegen. So emittierten viele der technischen Einrichtungen in den Ställen Ultraschallemissionen in dem Frequenzbereich von 20 kHz bis 35 kHz. So konnte sichergestellt werden, dass die Rinder auch diesen Emissionen in der Haltungsumgebung ausgesetzt sind.

Die erste Analyse der Daten aus dem zweiten Versuch hat gezeigt, dass die Aufteilung der Versuchsbucht in verschiedene Funktionsbereiche funktioniert hat. So war zu beobachten, dass die Tiere sich besonders häufig in Zone 1 zum Liegen aufhielten (insbesondere in der Habituation an die neue Umgebung, Abbildung 9). So konnte sichergestellt werden, dass bei dem Abspielen der Playbacks direkt vor der Zone 1 ein Meide-Verhalten dieser Zone als ein Indikator für eine Belastung durch Geräuschemissionen verwendet werden kann.

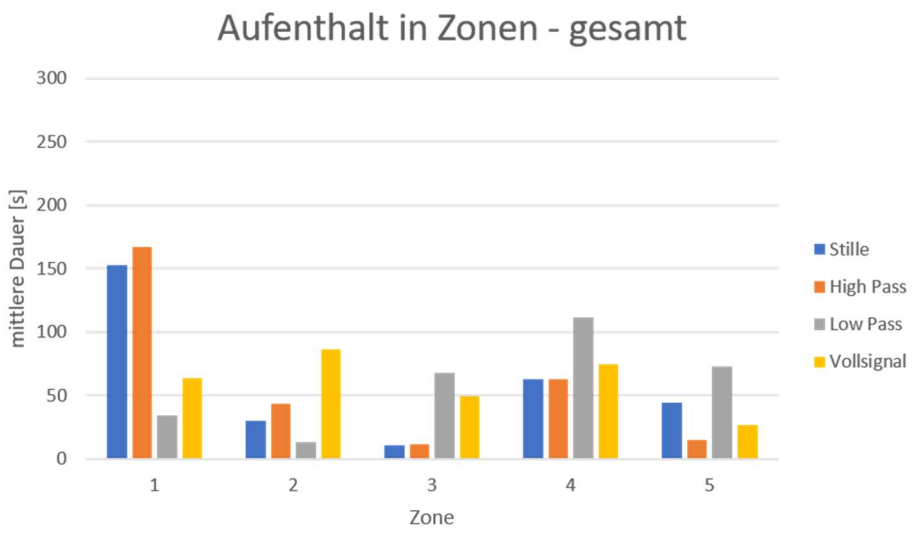

Abbildung 9: Aufenthaltszonen der Kälber

Die Auswertung der Verhaltensdaten und auch der physiologischen Daten befindet sich derzeit in der Endphase und wird weitere wichtige Erkenntnisse zu den Reaktionen von Milchrindkälbern auf Geräuschbelastungen in Haltungsumgebungen liefern.

3.4 Forschungsteilprojekt 2 „Dateninfrastruktur und -management“ (Verbundpartner HSNB/ LfL/ FBN)

Die Erfassungsfrequenzen (täglich, stündlich usw.) und die Erfassungsart (automatisch, manuell) wurden für alle Merkmale erarbeitet. Ansprüche an die Wissenschaftsdatenbank wurden, wie folgt festgelegt:

- Flexibilität der Datenbank bezüglich des Merkmalsspektrums: Neue Merkmale sollen zur routinemäßigen Erfassung zur Datenbank einfach hinzugefügt werden können.
- Flexibilität der Datenbank bezüglich der Datenquellen: Die Datenbank muss Daten aus unterschiedlichen Datenquellen unterschiedlicher (Sensor-)Techniken einlesen können.
- Rohdatenverfügbarkeit: Gewählte (Sensor-)Technik zur Erfassung von Merkmalen muss Rohdaten zur Aufnahme in die Datenbank bereitstellen.
- Dokumentation: Gerätewechsel und Störungen sollen detailliert dokumentiert werden.
- „FAIRe Daten“: hierfür ist die Bereitstellung von umfassenden Metadaten und Beschreibungen notwendig. Bisher fehlt ein etablierter Metadatenstandard in der Nutztierforschung. Als geeigneter Kandidat kristallisierte sich der „Access to Biological Collection Data“ (ABCD; Holetschek et al., 2012) Standard heraus. Die entsprechenden Arbeiten (wie Anpassungen etc.) werden über das Projektende hinaus fortgesetzt (Vernetzung mit NFDI4Biodiversität [DFG Projektnummer 442032008] und PIGWEB [European Union’s Horizon 2020 Projektnummer 101004770]).

Die genaue Struktur der Wissenschaftsdatenbank sowie die Entwicklung einer integrierten Benutzeroberfläche für das Herdenmanagement kann erst mit Hilfe eines/ einer Datenbankentwickler*in entwickelt werden.

3.5 Forschungsteilprojekt 3 „Weiterentwicklung Kuhbrille um akustischen Sinn“ (Verbundpartner LBZ)

Zur akustischen Wahrnehmung konnte gemeinsam mit dem Verbundpartner FBN (Forschungsteilprojekt 1) Ultraschallemissionen im Frequenzbereich von 20 kHz bis 35 kHz vieler technischen Einrichtungen in Ställen festgestellt werden. Das bedeutet, dass zu den für den Menschen hörbaren Frequenzen auch Frequenzen vorhanden sind, die in dem von Heffner und Heffner

publizierten Hörbereich von Rindern liegen. Damit wurden die Annahmen, die bis dahin nur aus Messungen mit einem modifizierten „Bat-Detektor“ (Vorarbeit LBZ, Eigenkonstruktion) resultierten, bestätigt und sichergestellt werden, dass die Rinder auch diesen Geräuschemissionen in der Haltungsumgebung ausgesetzt sind. Basierend auf dieser Erkenntnis wurde für den Tieraugensimulator gemeinsam mit der Firma „C.O.M. Wetzlar“ die Programmerweiterung „UltraSonic“ zur Visualisierung von Ultraschall entwickelt. Der Ultraschall kann durch Frequenzverschiebung hörbar gemacht werden (Abbildung 10).

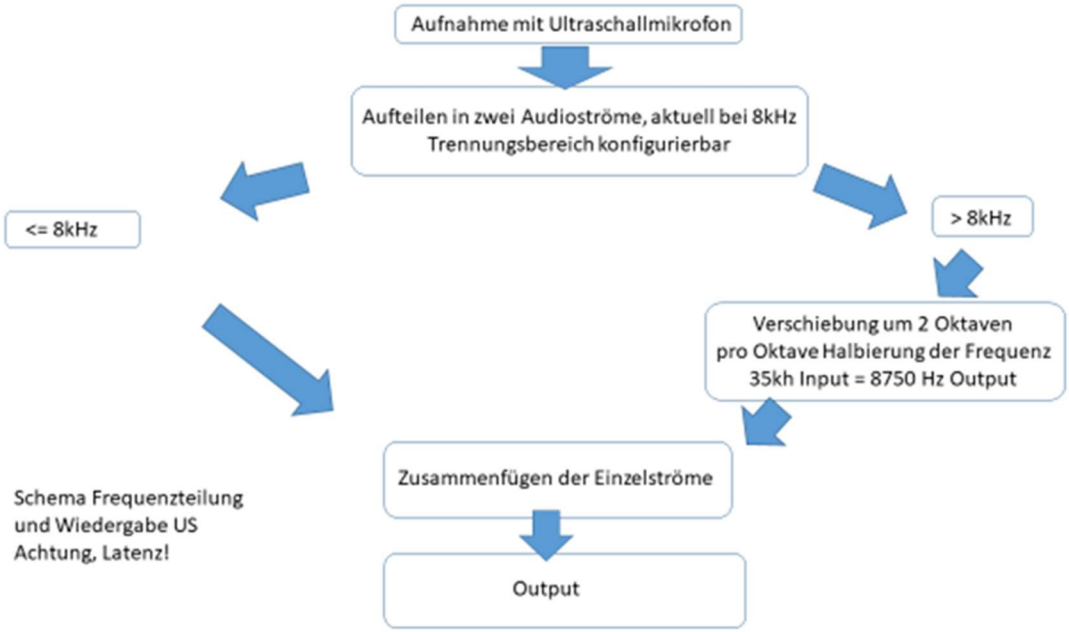

Abbildung 10: Workflow zur Visualisierung von Ultraschall

Die Programmerweiterung wird seit Januar 2025 allen Nutzern des Tieraugensimulators mit Wartungsvertrag kostenlos zur Verfügung gestellt. Für die Anwendung wird ein Ultraschallmikrofon benötigt.

Zur visuellen Wahrnehmung von Rindern konnte in Kooperation mit der Firma „homebase²“ auf Grundlage von 2D-CAD-Daten aus der Entwurfsphase des „Milchviehstalls der Zukunft“ das Stallgebäude als 3D-Modell mit Materialisierung und Ausleuchtung erstellt werden. Die visuelle Wahrnehmung der Kuh wurde eingearbeitet, insbesondere das Gesichtsfeld von ca. 330° mit 30° Schärfebereich frontal, dichromatisches Sehen und Schärfebereiche über Distanz, sowie verzögerte Hell-Dunkel-Adaption. Zusätzlich wurde ein Sonnenstandsystems erstellt, dass eine Sonnenstandsanalyse zu beliebiger Jahres- und Tageszeit im Stallgebäude ermöglicht. Bilder aber auch Filmsequenzen aus beliebigen Situationen im Stallgebäude des „Milchviehstalls der Zukunft“ sind mit dem 3D-Modell abrufbar.

Das entwickelte System erlaubt eine Schwachstellenanalyse hinsichtlich Begehbarkeit und Beleuchtung „kritischer Orte“, wie z.B. im Kuhverkehr und auf Treibewegen geplanter Bauvorhaben landwirtschaftlicher Nutztierställe. Das Sichtbarmachen von Schwachstellen bereits in der Entwurfsplanung kann damit einen wesentlichen Beitrag zur tiergerechten Stallplanung leisten.

3.6 Forschungsteilprojekt 4 „Bewertung des Liegekomforts und der Klauengesundheit in Ställen mit unterschiedlichem Einstreumaterialien“ (Verbundpartner TiHo)

Acht Betriebe in Bayern und Baden- Württemberg erfüllten die oben beschriebenen Voraussetzungen und wurden zur Datenerhebung besucht. Im Durchschnitt wurden auf den Betrieben 64,5±8,5 (median±MAD) laktierende Tiere und 10,8±4,6 (mean±SD) Trockensteher mit einer Leistung von

8417,4±879,7kg (mean±SD) gehalten. Die vorherrschende Rasse war Fleckvieh mit 82,2% aller Tiere, gefolgt von Holstein-Friesian mit 13,4%.
Während des Winterbesuches wurde auf Tierebene eine Lahmheitsprävalenz von 9,4% und im Sommer von 11,1% festgestellt (p≤0,05). Auf Betriebsebene war die Lahmheitsprävalenz im Winter bei 9,5±7,1% (mean±SD) und im Sommer bei 10,9±5,8% (mean±SD); p>0,05). Im Winter hatten 1,0% aller Tiere haarlose Stellen an mindestens einem Tarsus und im Sommer 3,8%. Zusätzlich zeigten 0,2% der Tiere im Sommer eine Schwellung des Tarsus.
Ballenhornfäule war die häufigste infektiöse Klauenerkrankung mit 38,5±26,7% (mean±SD) gefolgt von Dermatitis Digitalis mit 10,7±12,1% (mean±SD). Bei den nicht infektiösen Klauenerkrankungen kam am häufigsten der Weiße Linien Defekt mit 37,1±19,1% (mean±SD) gefolgt von umschriebenen 31,6±10,7% (mean±SD) und diffusen Sohlenblutungen 19,2±16,9% (mean±SD) vor (Abbildung 11). Die häufigste Klauendeformation waren ungleiche Klauen mit einem Vorkommen von 16,8±9,3% (mean±SD). Der errechnete Cow Claw Score (n=640) war 8±8 (median±MAD) pro Kuh und der Farm Claw Score pro Betrieb (n=8) 9±3 (median±MAD).

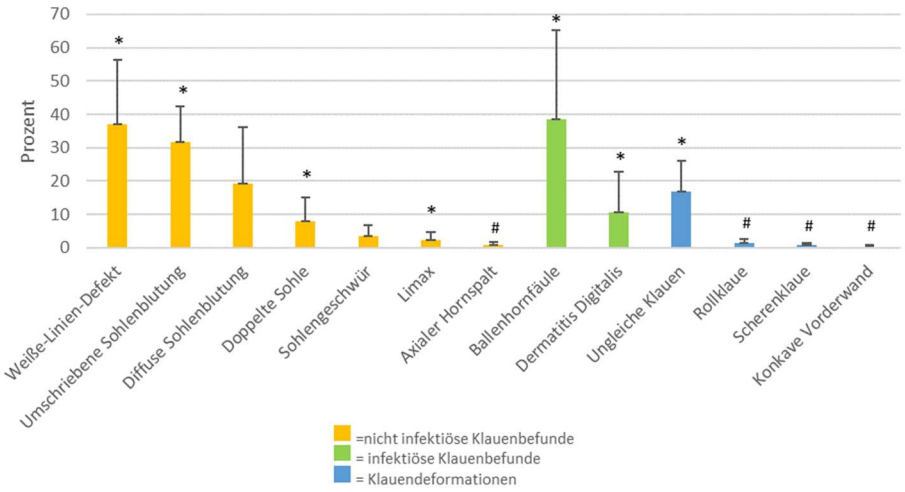

Abbildung 11: Prävalenzen der häufigsten Klauenbefunde auf Betriebsebene (n=8)

Vergleichend mit der Prävalenzstudie Rind (PraeRi) aus dem Jahr 2020 legen die in dieser Studie resultierenden Ergebnisse dar, dass in Kompostierungsställen gehaltene Tiere mit 9,4% bzw. 11,1% eine geringere Lahmheitsprävalenz haben, als Tiere aus konventioneller Haltung in der Region Süd mit 22,7% (PraeRi, 2020). Des Weiteren ist die Häufigkeit von Technopathien an den Sprunggelenken in unserer Studie geringer als in der PraeRi Studie, bei der Technopathien bei 67,8% der Tiere auftraten (PraeRi, 2020). Ein Wert unter 35 ist für den Cow Claw Score und Farm Claw Score als Marke für eine gute Klauengesundheit definiert (Kofler, 2013). Somit ist die Klauengesundheit für Tiere im Kompostierungsstall sowohl auf Tier, als auch auf Bestandsebene als gut zu beschreiben.
Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Haltung von Tieren im Kompostierungsstall anscheinend einen positiven Einfluss auf das Auftreten von Lahmheiten und Technopathien und auf die Klauengesundheit hat.

3.7 Forschungsteilprojekt 5 „Precision Dairy Farming“ (Verbundpartner HSNB und LfL)

Die Erfassung des festgelegten tier- und umweltassoziierten Merkmalsspektrums für beide Ställe (Forschungsteilprojekt 2) soll mit verschiedenen Systemen zur Prozessautomatisierung und zum Tierwohlmonitoring erfolgen. Hinsichtlich der Automatisierungstechnik konnten zwei AMS, zwei Entmistungsroboter und ein Fütterungsroboter als geeignet identifiziert werden.
Im Hinblick auf die geplante Tierverhaltensforschung wurde ein geeignetes Tierverhaltens- und Präsenzerkennungssystem ausgewählt, das die Aktivitätsmerkmale (Aktivität, Anzahl

Abliegeereignisse, Liegedauer) und die Präsenz am Futtertisch (und ggf. anderen Funktionsbereichen, wie Ein- und Ausgängen) tierindividuell erfasst. Darüber hinaus erwies sich die automatische Bildauswertung von Videomaterial als vielversprechende Methode zur flächendeckenden Überwachung des Tierverhaltens, der Tieridentifikation und Tierlokalisation. Dazu sind jedoch noch Vorversuche zum Test der Kamerapositionen und Kameramodelle notwendig. Ein Vorversuch wurde zusammen mit den Forschungsteilprojekt 8 geplant und durchgeführt.
Damit die Familienherde als zentrales Stallkonzept implementiert werden kann, müssen unterschiedliche innovative Techniken entwickelt werden, weil sie am Markt nicht verfügbar sind. Das smarte Fressfanggitter zur Regulation des alters- und laktationsspezifischen Zugangs zur Futterration (Tieridentifikation je Fressplatz, restriktiver Fressplatzzugang) erfordert einen hohen Entwicklungsaufwand, speziell in der Softwareprogrammierung. Eine Testung des entwickelten smarten Fressfanggitter unter Praxisbedingungen muss noch durchgeführt werden. Die Entwicklung einer smarten Ein- und Austrittsregulierung in den Kälberschlupf mit integrierter Waage zur Untersuchung von unterschiedlichen Absetzmethoden konnte im Projekt nicht umgesetzt werden.
Zur Schätzung der täglichen Futteraufnahme ohne Wiegetrog wurde die am Forschungsinstitut Agroscope Tänikon installierte Futtertischwaage besichtigt und für beide Ställe binderweise eingeplant. Hier besteht jedoch noch Weiterentwicklungsbedarf hinsichtlich Überlastschutz, Wartungsmöglichkeiten und Austauschbarkeit der Wiegeabschnitte. Zudem ist noch unklar wie beliebig kurz die Wiegeabschnitte aus technischer Sicht sein können.
Die technischen Möglichkeiten zur Erfassung der tierindividuell aufgenommenen Wassermenge beschränken sich derzeit auf Wiegetrogsysteme. Vorversuche für alternative Erfassungssysteme wurden geplant. Ein Prototyp zur Wiegung eines Ausgleichsbehälters wurde entwickelt. Ein Versuchsstand zum Testen der Messgenauigkeit spezieller Wasseruhren (unter Berücksichtigung von Nachlauf usw.) wurde gebaut.
Bezüglich der Tiererkennung am Fressgitter und an den Tränken, der Ausgestaltung der Futtertischwaage und der Ein- und Austrittsregulierung in den Kälberschlupf besteht noch hoher Entwicklungsaufwand.

3.8 Forschungsteilprojekt 6 „Betriebswirtschaftliche Analysen und Marketingkonzepte – Expansions- und Vermarktungsstrategien“ (Verbundpartner HSNB)

Eine Übertragung des Forschungskonzeptes „Milchviehstall der Zukunft“ in die Praxis ist, z.B. in Anlehnung an bereits vorhandene Stalltypen, möglich. Allerdings wäre der Kapitalbedarf um ca. 30 % und damit die jährlichen Kosten um ca. 500 €/Kuh p.a. höher als bei einfachen Kompostierungsställen. Zudem verursacht die Einstreu der freien Liegefläche mit Hackschnitzel höhere Kosten gegenüber einer Stroheinstreu im Liegeboxenstall, wodurch ein weiterer Nachteil von ca. 563 €/Kuh p.a. hinzukommt. Die kuhgebundene Aufzucht, über die gesetzlich vorgeschriebene Mindesthaltung von 28 Tagen hinaus bis auf 16 Wochen, verringert den Milchverkauf um ca. 896 kg Milch pro Kalb bzw. den Milcherlös um ca. 385 €/Kuh p.a. Dem gegenüber stünde der Erlös aus dem Verkauf der vier Monate alten Kälber aus teilweiser Anpaarung mit Fleischrassen zur Weitermast oder zum Verkauf als Kalbfleisch. Dieser Erlös reicht jedoch nicht um die Kosten der kuhgebundene Kälberaufzucht zu decken, so dass zum unterstellten Marktpreis ein Zuschlag von 0,76 €/kg Kalbfleisch erforderlich wäre. Um in der Milchproduktion Break-Even zu erreichen wäre ausgehend vom durchschnittlichen Marktpreis von 0,43 €/kg Milch ein Preiszuschlag von 0,17 €/kg Milch für den adaptierten Praxisstall erforderlich (Tabelle 5).

Tabelle 5: Investitionsbedarf und Kosten ausgewählter Positionen und Break-Even-Kalkulation

	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Investitionsbedarf)	€/Kuhplatz	18.33 €	18.33 €	11.59 €	19.89 €
Gebäudekosten					
- Kuh	€ p.a.	1.687	1.687	1.185	1.69
- Färsenaufzucht	€/Tier	665 (20 Mon.)	332 (20 Mon.)	415 (23 Mon.)	415 (23 Mon.)
- Kälberaufzucht	€/Tier	51 (4 Mon.)	51 (4 Mon.)	13 (1 Mon.)	13 (1 Mon.)
Einstreukosten	€/Kuh p.a.	595 €	595 €	595 €	32 €
Nutzungsdauer	Laktationen	5	5	4	3
Nachzucht	€/Kuh p.a.	496	430	591	780
Break-Even-Kalkulation Mindestpreis (erforderlicher Preiszuschlag)					
- Milch	€/kg Milch	0,60 (+0,17)	0,59 (+0,16)	0,57 (+0,15)	0,57 (+0,14)
- Kalbfleisch	€/kg SG	6,17 (+0,76)	6,17 (+0,76)		

Bei einer Adaption in die Praxis würde ein Investor die bereits bestehenden Fördermöglichkeiten für Tierwohlställe von etwa 40% nutzen und er würde in der Regel auch einen größeren Stall als nur für 66 Kühe mit einem Melkroboter bauen (Abbildung 12). Hier werden zwei Szenarien unterschieden:

1. Bei Förderung von Tierwohl-Ställen müssen z.B. mit 40% der Investitionssumme der zusätzliche Milcherlös immer noch um 0,09 €/kg Milch höher sein als der durchschnittliche Milchpreis von 0,43 €/kg.
2. Weitere 20% Kosteneinsparungen wegen Skaleneffekten, so dass in der Summe insgesamt 60% günstiger gebaut werden könnte, bewirken, dass sich der Abstand zwischen Mindestmilchpreis und Marktpreis auf 0,05 €/kg Milch verringert.

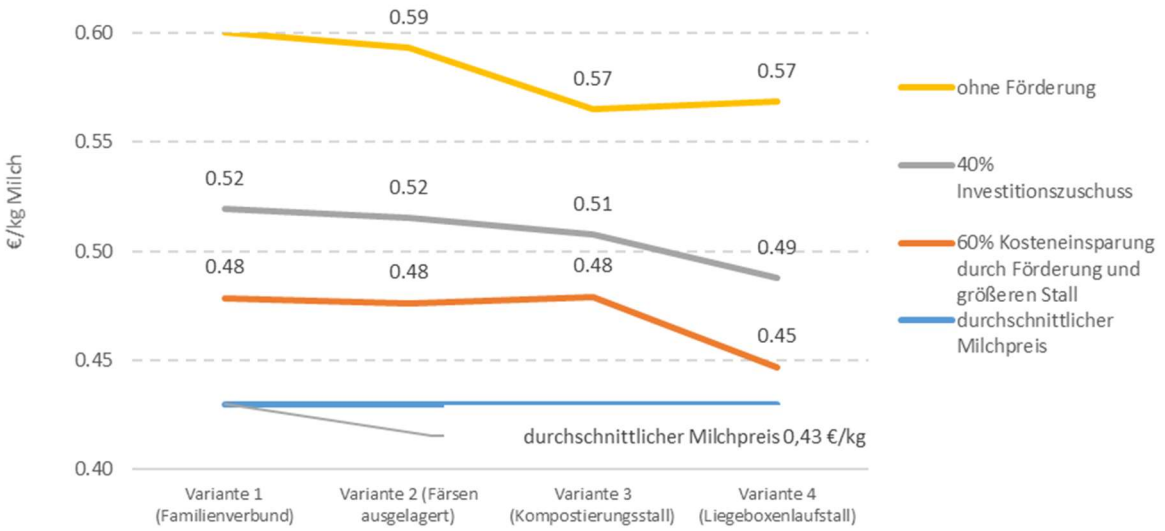

Abbildung 12: Break-Even (Mindestpreis in €/kg Milch) für adaptierte Stallkonzepte (Variante 1 und 2), Kompostierungsstall (Variante 3) sowie im Vergleich zum Liegeboxenstall (Variante 4) bei unterschiedlichem Baukostenniveau durch Senkung des Investitionsbedarfes durch Zuschüsse in Höhe von 40% oder zusätzlicher Kostendegression in Höhe von 20% der Anschaffungskosten

Die Aufgabe des „Milchviehstalls der Zukunft“ als Forschungsstall ist es offene Fragen des Tierwohls und der Tiergesundheit zu untersuchen und nach Möglichkeit Verbesserungsvorschläge auszuarbeiten. Welche Effekte mit der Familienherde darüber hinaus noch erreicht werden könnten, z.B. bezüglich Tierwohl, Tiergesundheit, alternative Einstreu, Konsumentenakzeptanz usw., kann erst geprüft werden, wenn der Stall gebaut ist. Ein Transfer aus dem Forschungsstall heraus, hinein in die Milchviehbetriebe mit Adaption an Praxisbedingungen wird dann notwendig sein. Dass Kosteneinsparungen und damit eine Annäherung an die Wirtschaftlichkeit möglich sind, konnte hier gezeigt werden.

3.9 Forschungsteilprojekt 7 „Gestaltung von Systemen für die gemeinsame Haltung von Kühen und ihren Kälbern im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch (LfULG) für die Dauer von 30 Monaten“ (Verbundpartner LfULG)

Vorläufig kann eingeschätzt werden, dass die in den ersten 5 Lebenstagen muttergebunden aufgezogenen Kälber die Möglichkeit der Separation aus dem gemeinsamen Haltungsbereich mit der Kuh mit individuell unterschiedlich ausgeprägter Intensität angenommen haben. In der Tendenz nehmen die Besuchshäufigkeit und die Aufenthaltsdauer in den separierten Bereichen bis zum 4. Lebenstag zu. Nach Erkundungsgängen in den separaten Haltungsbereich ruhen einige Kälber mehrere Stunden außerhalb der gemeinsamen Kuh-Kalb-Box. Einzelne Kälber verbrachten über 70% der Liegeperioden und bis zu 85% der Liegedauer eines Tages in einem Kälberschlupf. Alle Kälber, die einen Kälberschlupf einmal aufgesucht haben, suchen diesen auch an einem weiteren Tag auf. Es zeichnet sich ab, dass die Kälber beide Separationsboxen unterschiedlich häufig und lang aufsuchen. Die bisher ausgewerteten Kälber zeigen eine Präferenz für die große eingestreute Box (Kälberschlupf 1). Aktuell werden die Auswertungen fortgeführt und geprüft, ob Bedingungen beschrieben werden können, welche die Wahl des Kälberschlupfes bedingen und welche Parameter überhaupt dazu anregen, einen Kälberschlupf aufzusuchen. Die Kälber saugen zwischen 20-30 min pro Tag in 6-10 Mahlzeiten täglich am Euter der Kühe. Die mittlere Saugdauer pro Mahlzeit liegt bei 3-6 min.

Muttergebunden und einzeln gehaltene Kälber verbringen 18 bis 21 Stunden eines Tages in den ersten fünf Lebenstage liegend. Die Liegedauer nimmt vom ersten bis fünften Tag ab.

Die beobachteten Kälber nahmen bis zum 6. Lebenstag im Mittel 6,65 kg an Körpermasse zu, was einer täglichen Körpermassezunahme von 1.108 g entspricht. Die Mittelwerte der Zunahmen sprechen für ein intensives Wachstum in dieser Zeit, unterschieden sich zwischen den beiden Kälbergruppen aber nicht signifikant.

Aus den ersten vollständigen Verhaltensanalysen ist ein Entwurf für eine mögliche Anordnung eines Kälberschlupfes für den gemeinsamen Haltungsbereich von Kühen und Kälbern in den ersten Tagen nach der Kalbung wie in Abbildung 13 skizziert worden. Der Kälberschlupf sollte mit ca. 1,2 m hoch geschlossenen Fronten abgegrenzt sein und nur einen ggf. verschließbaren Durchgang für das Kalb aufweisen. Der Aufenthaltsbereich sollte ein barrierefreies Abliegen und Aufstehen des Kalbes ermöglichen und mindestens 2,5 m² reichlich eingestreute Liegefläche bieten. Um kein Hindernis beim Entmisten darzustellen, könnte die Begrenzung des Kälberschlupfes als faltbares System ausgeführt werden.

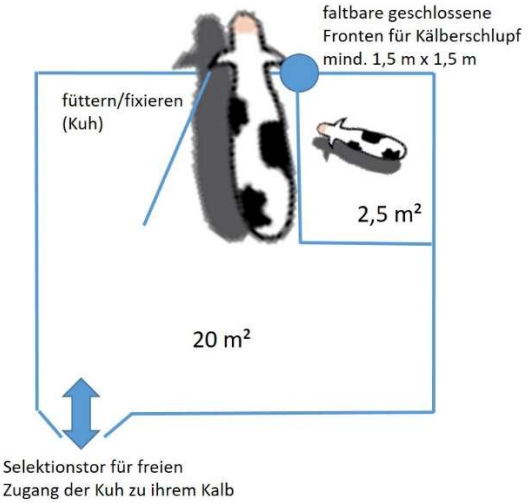

Abbildung 13: Skizzenentwurf für die Gestaltung einer Kuh-Kalb-Box mit Kälberschlupf

3.10 Forschungsteilprojekt 8 „Entwicklung von Computervision-Systemen im Rahmen des Precision Livestock Farming Konzepts“ (Verbundpartner FLI)

Durch das Individuenmodell werden die individuellen Kühe lokalisiert (Abbildung 14 A) und detektiert. Außerdem zeichnet sich dieses Modell ebenfalls durch eine hohe Genauigkeit von 99,79 % (Kuh1 und Kuh2: 99,88 %, Kuh3 und Kuh5: 100,00 %, Kuh4: 99,18 %) aus. Beide Modelle detektieren mit einer Geschwindigkeit von 71 ms pro Bild.

Das Körperhaltungsmodell detektiert herdenbasiert (Abbildung 14 B). Mit einer hohen Genauigkeit von 99,54 % (Stehen: 99,44 %, Liegen: 99,64 %) erkennt das Modell die entsprechende Körperhaltung der Kühe.

Die Kombination beider Modelle ermöglicht die kuhindividuelle Detektion der Körperhaltungen Liegen und Stehen (Individuelles Körperhaltungsmodell). Bei Anwendung können dadurch die Steh- und Liegezeiten in definierten Zeitintervallen ebenfalls kuhindividuelle erfasst und Steh- und Liegezeiten pro Stunde dargestellt werden (Abbildung 14 C).

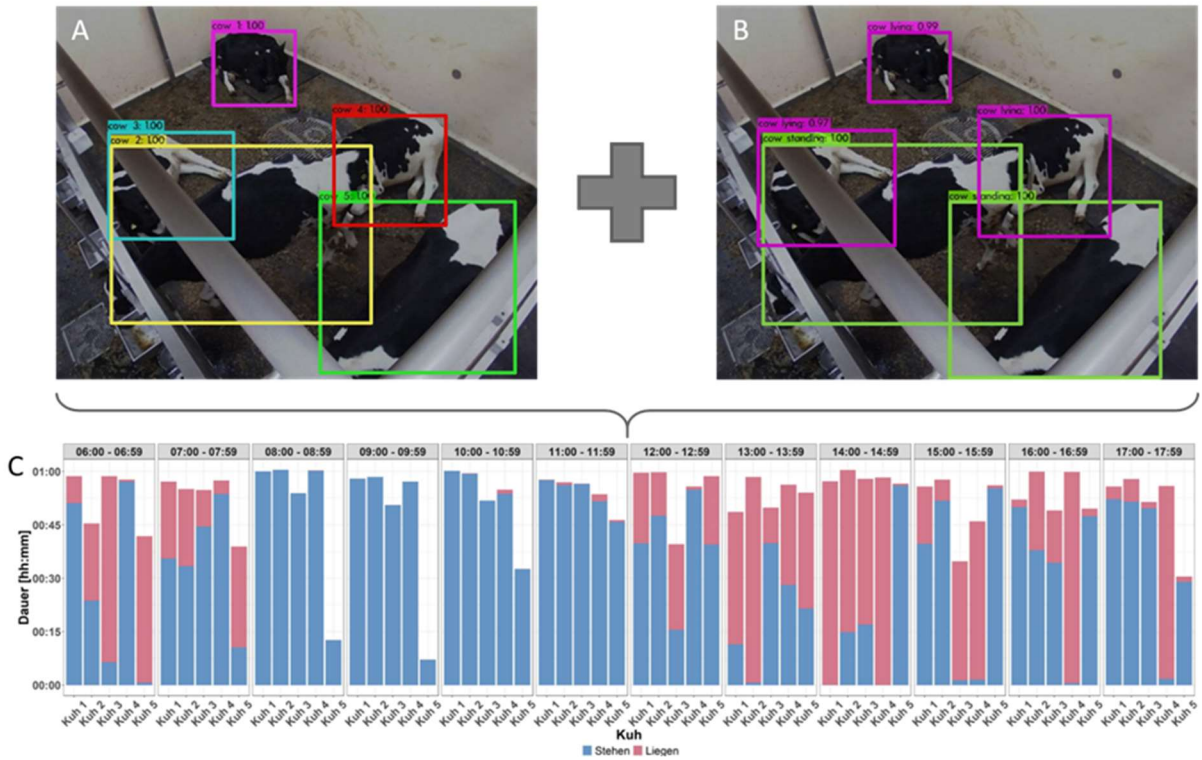

Abbildung 14: Kombination der beiden Detektoren mit automatisierter Erfassung der individuellen Steh- und Liegezeiten pro Kuh und Stunde. A: Individuendetektor, B: Körperhaltungsdetektor, C: automatisch erfasste Steh- und Liegezeiten pro Stunde und Kuh.

Da das effizientere neuronale Netz YOLOv8 als Trainingsalgorithmus für das Verhaltensmodell angewendet wurde, ist dieses Modell mit einer Erkennungsrate vom 5,1 ms pro Bild schneller als die vorherigen Modelle mit YOLOv4. Deswegen kann dieses Verhaltensmodell bei Videoüberwachungen mit höheren Bildraten angewendet werden. Die Genauigkeit lag bei 98,7 % (Stehen und Liegen in Brustlage: 99,1 %, Liegen in Seitenlage: 98,7 %, Saufen: 97,1 %, Fressen: 99,5 %).
Die Entwicklung des Modells zur Detektion von definierten Bewegungen, Distanzen zwischen Kühen sowie die Ausrichtung der Kühe im Raum mittels Pose Estimation bzw. Keypoint-Detektion befindet sich im Labeling-Prozess.

3.11 Forschungsteilprojekt 9 „Biosicherheitskonzept“ (Verbundpartner FLI)

Auf Betrieb 1 wurden insgesamt 589 Tupferproben von Rindern aller Altersgruppen und deren Umgebung genommen. In 244 Proben (41 %) konnten dabei ESBL *E. coli* nachgewiesen werden. Eine auffallend hohe Prävalenz zeigte sich vor allem in den jüngeren Altersklassen der Kälber und Jungrinder mit Prävalenzen von meist über 90 %, bei Kälbern mit Durchfall bis zu 100 %. Bei den Rindern der älteren Altersklassen (Färsen, Trockensteher, laktierende Kühe) lag die Prävalenz bei ca. 10 %, mit Ausnahme der frisch abgekalbten Kühe (24 %) und der Bullen eines externen Betriebsstandortes (64 %). Bei den Umgebungsproben von Kälbern betrug die Prävalenz 100 %, sowohl bei den 15 Proben aus der Einstreu und den 20 Proben aus den Nuckeleimern. Positive Erregernachweise gab es auch in der Tankmilch, der Gülle, einem Kälberdrencher und mehreren Einstreuproben verschiedener Altersgruppen.
Auf Betrieb 2 wurden insgesamt 308 Tupferproben von den Rindern in allen Altersgruppen sowie deren Umgebung genommen. In 28 Proben (9 %) wurden dabei ESBL *E. coli* nachgewiesen. Alle positiven Proben sind mit Rindern jüngerer Altersklassen assoziiert. Die Prävalenz von ESBL *E. coli* unter den untersuchten Kälbern betrug ca. 50 % und in der untersuchten Kälbereinstreu 100 %. Zusätzlich wurde

der Erreger bei einem Jungrind (aus 35 Proben) nachgewiesen. Bei adulten Tieren und deren Einstreu konnte der Erreger nicht nachgewiesen werden. Die begonnene genetische Untersuchung der Isolate ergab, dass 9 verschiedene Isolate in dem Betrieb auftraten.
Basierend auf den individuellen Erhebungen und Probenahmen wurden betriebsspezifische Interventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Biosicherheit erarbeitet (Abbildung 15). Interventionsmaßnahmen sind im Kälberbereich u.a. die Intensivierung der Reinigung und Desinfektion der Tränkeeimer und Drencher, die Einführung einer Mutterschutzimpfung, die Abschaffung der Sperrmilchfütterung für Bullenkälber oder die Einführung von Schnelltests und eines Behandlungsschemas bei Kälberdurchfall. Im Bereich der Kühe bezogen sich die Maßnahmen auf eine Umstellung der Mastitis- und Metritisbehandlung sowie weiterhin auf allgemeine Hygieneverbesserungen. Das Projekt wird hinsichtlich der Prävalenzerhebung nach 12 Monaten sowie der Auswertung der Antibiotikaverabreichungsbelege und der Sequenzierung der Isolate weiterverfolgt.

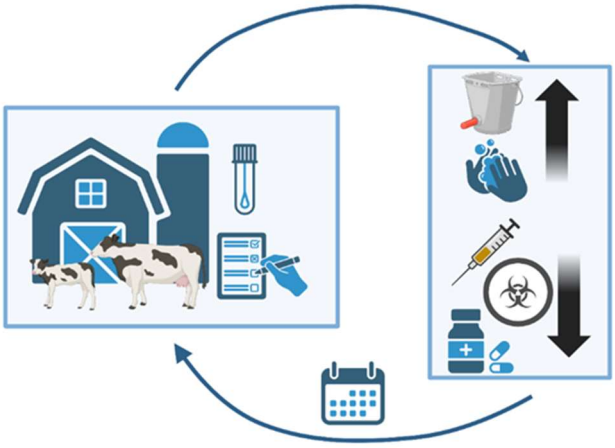

Abbildung 15: Betriebsspezifische Interventionsmaßnahmen *(Quelle: Erstellt mit Biorender.com)*

3.12 Forschungsteilprojekt 10 „Mikrobiologie des Komposts“ (Verbundpartner TiHo/ FLI)

In einer umfassenden Vergleichsanalyse wurden die Keimzahlen mesophiler Organismen sowie die Anzahl thermophiler aerober Sporenbildner in Kompostproben verschiedener Betriebe aus Forschungsteilprojekt 4 untersucht. Ziel der Analyse war es, ein besseres Verständnis für die mikrobiologische Qualität des Komposts zu gewinnen und mögliche betriebsübergreifende Unterschiede aufzudecken. Die Ergebnisse zeigten, dass die Keimzahlen mesophiler Organismen, also solcher Mikroorganismen, die bei mittleren Temperaturen optimal wachsen, in den Proben aller untersuchten Betriebe auf einem vergleichbaren Niveau lagen. Auch bei wiederholten Messungen innerhalb der einzelnen Betriebe blieb das Niveau der mesophilen Keimzahlen weitgehend konstant, was auf stabile mikrobiologische Bedingungen bei der Kompostierung hinweist.
Ein ähnliches Bild ergab sich bei den thermophilen aeroben Sporenbildnern. Diese wärmeliebenden Mikroorganismen waren in allen Proben nachweisbar und lagen in ähnlichen Konzentrationen vor. Das Vorhandensein thermophiler Sporenbildner zeigt an, dass die Proben hohen Temperaturen ausgesetzt waren, was für bestimmte Phasen der Kompostierung charakteristisch ist. Auch hier zeigten die Ergebnisse ein gleichmäßiges Niveau, sowohl im Vergleich zwischen den verschiedenen Betrieben als auch bei wiederholten Messungen innerhalb der einzelnen Betriebe.
Zusätzlich wurde das Vorhandensein von Resistenzgenen in den Proben untersucht, da deren Verbreitung im Kompost aus hygienischen und umweltrelevanten Gesichtspunkten bedeutsam ist. Die Ergebnisse waren positiv: Die Proben wiesen nur sehr geringe Gehalte an Resistenzgenen auf, und es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Betrieben. Innerhalb der einzelnen Betriebe waren

die Resistenzgene gleichmäßig in den Proben verteilt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Resistenzsituation insgesamt stabil ist und dass die untersuchten Kompostproben keine erhöhten Risiken im Hinblick auf die Verbreitung von Resistenzgenen darstellen. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die mikrobiologische Qualität des Komposts, was auf eine verantwortungsvolle Verarbeitung und stabile Produktionsbedingungen schließen lässt.

4 Interpretation der Ergebnisse

4.1 Bezug und Nutzen der Ergebnisse und Erkenntnisse hinsichtlich der Ziele der zugrundeliegenden Bekanntmachung bzw. Richtlinie

Mit den geplanten Neu- und Erweiterungsbauten „Milchviehstall der Zukunft“ und „Vario-Stall“ konnten innovative zukunftsfähige Konzepte im Experimentierstadium entwickelt und visualisiert werden, die das Tierwohl verbessern sollen, Zielkonflikte minimieren und, wenn sie gebaut werden, zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Milchproduktion beitragen können.

Der „Milchviehstall der Zukunft“ bietet Möglichkeiten zur Erforschung von

- ganzheitlichen Ansätzen zum Tierwohl in Langzeitstudien unter gleichbleibender Haltungsumwelt
- unterschiedlichen Einstreumaterialien
- Automatisierung und Digitalisierung

Das ganzheitliche Haltungskonzept „Milchviehstall der Zukunft“ bietet Lösungsstrategien

- zur Verbesserung des Tierwohls durch Einführung einer Familienherde als alternative Haltungsform
- zur Verbesserung der Klauengesundheit von Milchkühen und Jungrinder durch tiergerechte Gestaltung der Böden
- zum Entgegnen des Fachkräftemangel durch einen hohen Grad an Automatisierung und Digitalisierung
- zur Weiterentwicklung alternativer Verfahren in der tiergerechten Aufzucht von weiblichen und männlichen Kälbern bis zur 16. Lebenswoche durch muttergebundene Kälberaufzucht
- zur Emissionsminderung durch den Einsatz emissionsmindernder Böden
- zur bedarfsgerechten Fütterung in Haltungen von Rindern unterschiedlichen Alters- und Laktationsstadien
- zur kontinuierlichen Gewichtserfassung und zur Durchführung unterschiedlicher Absetzverfahren in muttergebundener Kälberaufzucht

Der „Vario-Stall“ bietet Forschungsmöglichkeiten in folgenden Bereichen

- hoher Automatisierungsgrad
- emissionsmindernde planbefestigte Böden
- Erfassung von Tiergewichten, Futter- und Wasseraufnahme, Leistung und Verhalten

Darüber hinaus bietet er variable Forschungsmodule im Hinblick auf

- Melkkapazität
- Laufflächen / Gangbreiten
- Liegeplätze
- Fressplätze
- Innen- und Außenlaufhofflächen
- Unterschiedliche Art/Anzahl von Weidezugängen
- Austauschbare planbefestigter Böden (Kot-Harn-Trennung)

Gemessen an einer konstanten Herdengröße von 65 Milchkühen hält der „Vario-Stall“ hinsichtlich Melkkapazität, Laufflächen, Gangbreiten, Liege- und Fressplätzen sowie Innen-/Außenlaufhofflächen ein Vielfaches der derzeitigen Stallbauempfehlungen vor, wodurch die Überprüfung der Ressourcennutzung gewährleistet wird. Zusätzlich können Untersuchungen zu emissionsmindernden Maßnahmen, der kombinierten AMS- und Weidenutzung und zum landwirtschaftlichen Bauen bzgl. Stallklima und Holzbauweise durchgeführt werden.
Damit konnten gesellschaftlich akzeptierte und mit den erteilten Baugenehmigungen für beide Forschungs- und Experimentierställe auch für die landwirtschaftliche Praxis realisierbare Stallbaukonzepte entwickelt werden. Das Ziel der Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung der Einrichtung von Innovationsnetzwerken und Experimentierställen zur Entwicklung von „Ställen der Zukunft“ für die Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung im Rahmen des Bundesprogramms Nutztierhaltung, das Tierwohl in der Nutztierhaltung weiter zu verbessern, die Wirkungen auf die Umwelt deutlich zu vermindern und gleichzeitig die wirtschaftliche Grundlage für die Betriebe und die Versorgung der Verbraucher*innen mit nachhaltig erzeugten tierischen Produkten zu sichern, ist damit erfüllt.
Die 3D-Modelle der Experimentier- und Demonstrationsställe für die Tierart Rind - der „Milchviehstall der Zukunft“ und der „Vario-Stall“ - tragen dazu bei, mehrere Herausforderungen der Rinderhaltung, wie Tierwohl und gesellschaftliche Akzeptanz, zu visualisieren. Dadurch wird es möglich Fragestellungen und Ideen, insbesondere bezogen auf das Tier, seine Bedürfnisse, sein Verhalten, seine Sinneswahrnehmung und Haltungsumwelt, vor der Durchführung von Untersuchungen bildhaft zu machen, die öffentliche Wahrnehmung zu erhöhen und ihre Nutzbarkeit für Landwirt*innen, Lebensmitteleinzelhandel und Verbraucher*innen eingehend zu prüfen. Fragestellungen können jedoch aufgrund der fehlenden Umsetzung der Stallbauten nicht abschließend in der Realität geprüft werden. Denn so müssen u.a. unterschiedliche Konzepte für die Haltung von Kälbern und Kühen in Familienherden und Ressourcennutzung hinsichtlich Verfahrenstechnik, Arbeitswirtschaftlichkeit und -sicherheit sowie langfristiger Tiergesundheit mit echten Daten hinterlegt werden, um zukunftsfeste Handlungsanweisungen für Landwirt*innen zu erarbeiten und den Umbau der Tierhaltung auf wissenschaftlich fundierten Daten zu gewährleisten.
Das „Innovationsnetzwerk für gesunde und ‚glückliche‘ Kühe“ mit Fachexpertise aus Tiermedizin, Verhaltensphysiologie, Bioinformatik, landwirtschaftliche Betriebslehre, Landtechnik, Systeme der tierischen Erzeugung, sowie Tierhaltung und Tierfütterung von Milchkühen und Kälbern wurde etabliert und wird seine Arbeit nach dem Förderzeitraum hinaus erhalten und die Verbundpartner*innen werden themenübergreifend zusammenarbeiten. Eine weiterführende Vernetzung mit dem Innovationsnetzwerk Rind ist bereits kommuniziert. Ergebnisse und Erkenntnisse des IGG-Projektes wurden und werden national und international durch das Innovationsnetzwerk präsentiert. Der Wissenstransfer erfolgte und wird auch nach Projektende in folgenden Themenfeldern erfolgen

- Forschung durch Publikationen und Beiträge auf Tagungen,
- Landwirtschaftliche Ausbildung durch den Einsatz der 3D-Modelle in Lehre und Ausbildung
- Praxis durch Beratung zu tierwohlgerechten Stallkonzepten und Beiträge in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften
- Gesellschaft durch Teilnahme am „Tag der offenen Tür“

Besonders in Bezug auf die Stallkonzepte kann durch die 3D-Modelle ein größeres interessiertes Publikum erreicht werden. Durch die einfache Darstellung von unterschiedlichen Haltungsformen für die Tierart Milchrind, wie „Frischluftstall“ und „Auslauf/Weide“, können Tierhaltungskennzeichnungen für Milchrinder einfach verbildlicht werden. Verbraucher*innen haben einen besseren Einblick in zukunftsfähige Milchviehställe, auch wenn sie nicht vor-Ort sind. Der Einsatz der 3D-Modelle in z.B. Lehre und Ausbildung sowie daraus resultierende Erkenntnisse können erst nach Projektende

erarbeitet und umgesetzt werden. Welche Innovationen dadurch erlangt werden, kann gegenwärtig noch nicht abgeschätzt werden.

Die Forschungsteilprojekte haben in Bezug auf die Bekanntmachung folgenden Nutzen:

- Mit Hilfe des Tieraugensimulators und der Programmerweiterung „UltraSonic“ können sehr praxisnah bestehende Haltungsumgebungen hinsichtlich möglicher Lärm- und Ultraschallstressoren evaluiert werden.
- Die Haltung von Tieren im Kompostierungsstall hat anscheinend einen positiven Einfluss auf das Auftreten von Lahmheiten und Technopathien und auf die Klauengesundheit.
- Eine Wirtschaftlichkeit des „Milchviehstalls der Zukunft“ mit hohem Tierwohl-Standard in der Praxis kann durch Kosteneinsparungen und Preisaufschläge beim Verkauf von Milch und Fleisch erreicht werden.
- Die Biosicherheit von Ställen kann durch die Erarbeitung eines betriebsindividuellen Biosicherheitskonzeptes erhöht werden.

4.2 Bezug und Nutzen der Ergebnisse und Erkenntnisse hinsichtlich einer Verbesserung des Tierwohls in der Tierhaltung

Das IGG-Projekt trägt mit den Stallbaukonzepten und Untersuchungen zur Verbesserung des Tierwohls in der Tierhaltung wie folgt bei:

- Mit der Familienherde wurde ein alternatives Haltungskonzept entwickelt, dass zur Verbesserung des Tierwohls beiträgt. Untersuchungen sind vom Kalb bis zur Kuh in einer stabilen Sozialstruktur und unter gleichbleibender Haltungsumwelt möglich.
- Das Vario-Konzept ermöglicht erstmals die wissenschaftliche Untersuchung des tatsächlichen Ressourcenbedarfs einer Milchviehherde. Durch das Überangebot an Melkkapazität, Liegeboxen-/ Fressplatzanzahl und Gangbreiten kann durch Wegnehmen von einzelnen Ressourcen oder ganzen Stallbereichen die Ressourcenverfügbarkeit bei gleichbleibender Milchkuhzahl gezielt verändert und erforscht werden.
- Der Kompostierungsstall kann das Auftreten von Lahmheiten und Technopathien reduzieren und trägt damit zur Verbesserung des Tierwohls bei. Zusätzlich bestehen keine erhöhten Risiken im Hinblick auf die Verbreitung von Resistenzgenen.
- Die Kuh-Perspektive der 3D-Modelle macht haltungsbedingte Beeinträchtigungen für den Menschen erlebbar und sichtbar. Die Reduktion von Baufehlern in der Entwurfs- und Genehmigungsplanung trägt zur Verbesserung von Tierwohl in der Tierhaltung bei.
- Um das Tierwohl in Milchviehherden in der Praxis zu erhöhen, sind Preisaufschläge beim Verkauf von Milch und Fleisch notwendig, um den höheren Kapitalbedarf zu decken.
- Nur in die Realität umgesetzte Forschungsställe bieten die Möglichkeit alternative Haltungskonzepte, neue innovative Techniken aus der Praxis systematisch und unabhängig zu validieren und Vor- und Nachteile für die Landwirt*innen herauszuarbeiten. Damit können auch Systemvernetzung verschiedener (Sensor-)Techniken unterschiedlicher Hersteller vorangebracht werden.
- Die Erkenntnisse zur Geräuschemission könnten Einflüsse auf die Gestaltung und Planung von Ställen und Stalleinrichtungen (insbesondere technischen Einrichtungen) haben, die durch die Anordnung im Stall oder Abschirmung in den technischen Einrichtungen die Stressbelastung der Rinder verringern können. Zudem können mit Hilfe des Visualisierungstools Stallbauvorhaben bereits in der Planungsphase auf Schwachstellen insbesondere aus Kuhperspektive evaluiert werden.

4.3 Bezug und Nutzen der Ergebnisse und Erkenntnisse hinsichtlich einer Reduzierung negativer Umweltauswirkungen

Das IGG-Projekt trägt mit den Stallbaukonzepten und Untersuchungen zur Reduzierung negativer Umweltauswirkungen wie folgt bei:

- Geräuschemissionen sind ein wichtiger Faktor für die Stressbelastung und bisher bei Menschen gut untersucht. Eine Reduktion dieser Emissionen in den landwirtschaftlichen Betrieben führt wahrscheinlich nicht nur zu einer verringerten Stressbelastung der Tiere, sondern auch zu einer geringeren Belastung der Umwelt. Zudem kann es durch die Reduktion der Stressbelastung der Tiere auch zu weniger Erkrankungen der Tiere kommen, was ebenfalls positive Auswirkungen auf die Umweltbelastung durch Tierhaltung hat.
- Mit der empfohlenen Gestaltung eines gemeinsamen Haltungsbereiches für Kühe und Kälber sind keine negativen Umweltauswirkungen zu erwarten. Für die Abgrenzung eines separaten Aufenthaltsbereiches für das Kalb können nachhaltige Werkstoffe verwendet werden. Das empfohlene Haltungssystem, entspricht besser den natürlichen Bedürfnissen der Kälber. Gesunde und frohwüchsige Kälber erfordern weniger Behandlungen von erkrankten Kälbern und ermöglichen eine hohe Futterverwertung für das Wachstum, was die Umweltwirkung positiv beeinflusst.
- Der tatsächliche Bedarf der jeweiligen Ressource wird im „Vario-Stall“ nicht nur im Hinblick auf das Tierwohl erforscht, sondern auch im Hinblick auf die Zielkonflikte bezüglich Umweltwirkung und Wirtschaftlichkeit, die mit einem erhöhten Bedarf an Fläche einhergehen. Neben dem Tierwohl werden zudem durch den veränderbaren planbefestigten Boden emissionsmindernden Maßnahmen untersucht. Das landwirtschaftliche Bauen mit Holz und ressourceneffiziente Stallklimaforschung (natürliche Durchströmung, Gründach) sind ebenfalls Schwerpunkte der wissenschaftlichen Forschung im „Vario-Stall“ u.a. zur Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen.

4.4 ggf. sonstige Erkenntnisse

Das IGG-Projekt hat folgende sonstige Erkenntnisse:

- Die automatisierte Echtzeitanalyse von Videoaufzeichnungen bietet eine Möglichkeit, die Nachteile etablierter Sensortechnologien zu kompensieren und gleichzeitig online rund um die Uhr Informationen über die Tiere in ihrer Umgebung zu sammeln. Mit Hilfe von KI-Methoden (neuronale Netze, Deep Learning) können die gesammelten Informationen online im Hinblick auf raum-zeitliche Veränderungen und Abweichungen von Standardwerten ausgewertet werden. Diese Veränderungen können auf die Dauer der Liege-, Steh- und Fressphasen der Tiere sowie auf Schmerzen oder Stress hinweisen. Durch eine kontinuierliche Videoüberwachung mit KI-Methoden wird die Möglichkeit geboten kleinste Abweichungen vom Normalverhalten effizient zu erkennen. Um eine lückenlose Videoüberwachung zu gewährleisten ist bei der Anbringung und Ausrichtung der Kameras darauf zu achten, dass keine toten Winkel oder Verdeckungen durch Stalleinrichtungen entstehen. Von Vorteil ist das Filmen aus einer Höhe mit entsprechendem Blickwinkel.
- Interventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Biosicherheit für Milchviehbetriebe müssen anhand von betriebsspezifischen Risikofaktoren identifiziert werden. Basierend auf den Ergebnissen müssen die Maßnahmen mit den jeweiligen Betrieben besprochen und entsprechende Interventionen eingeleitet und der Erfolg der Maßnahmen dokumentiert werden. Interventionsempfehlungen umfassen im Kälberbereich z.B. die Intensivierung der Reinigung und Desinfektion der Tränkeeimer und Drencher, die Einführung einer Mutterschutzimpfung, die Abschaffung der Sperrmilchfütterung für Bullenkälber oder die Einführung von Schnelltests und eines Behandlungsschemas bei Kälberdurchfall. Im Bereich

der Kühe sollten Maßnahmen bei der Umstellung der Mastitis- und Metritisbehandlung sowie zur allgemeinen Hygieneverbesserungen berücksichtigt werden.

- Die Untersuchungen legen nahe, dass die hygienische Qualität des Komposts in Bezug auf mesophile Keimzahlen und thermophile aerobe Sporenbildner weitgehend stabil ist und innerhalb der Betriebe ein konsistentes mikrobiologisches Profil aufweist. Auch die niedrigen Werte an Resistenzgenen sprechen für eine geringe Belastung und potenzielle Sicherheit des Komposts im Hinblick auf antimikrobielle Resistenzen. Das Vorhandensein thermophiler Sporenbildner zeigt an, dass die Proben hohen Temperaturen ausgesetzt waren, was für bestimmte Phasen der Kompostierung charakteristisch ist.

5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Erfolgte Veröffentlichungen

Publikation

- Jahn, S., G. Schmidt, L. Bachmann, H. Louton, T. Homeier-Bachmann, and A.K. Schütz. 2025. Individual behavior tracking of heifers by using object detection algorithm YOLOv4. *Front. Anim. Sci.* 5:1499253. doi: 10.3389/fanim.2024.1499253
- Guhl, P. A.; A. Steiner, L. Bachmann, M. Heppelmann. 2025. The effect of compost-bedded pack barns on claw health and lameness in dairy herds in southern Germany. *Animals*. *15*(9): 1347. doi: 10.3390/ani15091347

Vorträge/ Poster

- „Innovationen für gesunde und "glückliche" Kühe (IGG) - Zwei von der BLE geförderte Experimentierställe“, 22. Jahrestagung der Wissenschaftlichen Gesellschaft der Milcherzeugerberater (WGM) e.V. am 05. und 06. Oktober 2022 an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub [Vortrag]
- „Milchviehstall der Zukunft – „Glückliche“ Kühe und Verbraucher?!“, 12. Berliner Milchforum, 16./17. März 2023 in Berlin [Vortrag]
- „Kuh-Kalb-Box - Gemeinsame Haltung von Kuh und Kalb über fünf Tage“ zur agra 11.-14. April 2024 [Poster]
- „Das Spannungsfeld Tierwohl und Wirtschaftlichkeit - Ökonomische Betrachtung des Tierwohlkonzepts des IGG-Milchviehstalls“, 8. Hochschulforum, 11. Mai 2023, Neubrandenburg [Vortrag]
- „Milchviehstall der Zukunft“, Netzwerktreffen des ArtIFARM-Bündnisses, 15.06.2023 in Neubrandenburg [Vortrag]
- „Milchviehstall der Zukunft“ und „Vario-Stall“ beim Fachgespräch Landwirtschaftliche Tierhaltung, 12./ 13. September 2023 in Bonn [Poster]
- „Innovationen für gesunde und "glückliche" Kühe - ein Milchviehstall der Zukunft in Dummerstorf“, 28. Oranienburger Milchforum, 21. September 2023 in Oranienburg [Vortrag]
- "Gleichstellung in der Landwirtschaft - von der Praxis bis zur Wissenschaft", Vortragsveranstaltung "Frauen + Innovationen + Technik" an der HSNB, 23. Oktober 2023 [Vortrag]
- Vortrag im Rahmen des Ministerbesuchs durch Minister Backhaus am 17. August 2023 auf der Station am FBN der Sommer Tour des Ministers (PM FBN vom 18.08.2023) [Vortrag]
- Im Rahmen des Besuches durch die Abgeordneten Frau Dr. Sitte und Frau Latendorf am 23. November 2024 wurde der „Stall der Zukunft“ und das begleitende Forschungsprojekt zur

akustischen Wahrnehmung des Rindes in Form eines Vortrages mit anschließender Diskussion vorgestellt

- Vorstellung des „Vario-Stalls“ als „Gläserner Forschungsstall - Konzept „CowREAD“ Aktueller Stand“ beim Öko-AK, 18. April 2023 in Grub
- Vorstellung „Vario-Stall“ bei Treffen der Landtechnik-Referenten der Ländereinrichtung – KTBL, 11.05.2023 in Schwandorf
- Vorstellung „Vario-Stall“ vor Fleischrinderverband, 06. Juni 2023 in Grub
- Vorstellung „Vario-Stall“ am Sommerschultag der landw. Fachschüler, 04. Juli 23 bzw. 11. Juli 23 in Grub
- „Innovationen für gesunde und „glückliche“ Kühe (IGG): Ein „Milchviehstall der Zukunft“ für Dummerstorf“; Lisa Bachmann; 1. Nutztierforum; 29. Januar bis 01. März 2024, Dummerstorf [Vortrag]
- „Lameness and claw health of dairy cows in German compost bedded pack barns”; Phillip Andreas Guhl, Lisa Bachmann, Adrian Steiner, Maike Heppelmann; Poster auf dem 32. World Buiatrics Congress, 20.-24. Mai 2024, Cancun, Mexiko [Poster]
- „Using ABCD as comprehensive metadata standard for livestock”; Sarah Fischer, J. Holetschek, Nina Melzer; NFDI4Biodiversity All Hands Conference 2024 [Poster]
- “Advancing FAIR Data Management in Livestock: Towards Standardized Metadata”, Nina Melzer, FAIRagro Community Summit 2024, Leibniz-Gemeinschaft, Berlin, 17.-18. Juni 2024 [Poster]
- “Klauengesundheit in Kompostierungsställen”; Phillip Andreas Guhl, Lisa Bachmann, Adrian Steiner, Maike Heppelmann; Vortrag auf der Sommertagung Klaue – „Klaue wund- wie gesund?“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen; 21. Juni 2024, Echem [Vortrag]
- “Is the ABCD standard appropriate for comprehensive metadata description for pig data?”; Nina Melzer, Sarah Fischer, R. E. Jahnel, J. Holetschek, C. Kasper; 75th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP), Florence, Italien; 1.-5. September 2024 [Poster]
- „3D-Visualisierung von Stallbauplänen unter Berücksichtigung der Kuh-Perspektive zur optimalen Gestaltung von Ställen“; Thilo Aschmutat, Benito Weise, Ramona Wulf, Lisa Bachmann; Vortrag auf der 16. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU), 10.-12. September 2024, Freising [Vortrag]
- „Innovatives Stallbaukonzept zur tierwohlgerechten Milchproduktion in einer Familienherde − Milchviehstall der Zukunft“; Ramona Wulf, Susanne Demba, Lisa Bachmann; Poster auf der 16. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU), 10.-12. September 2024, Freising [Poster]
- „Vario-Stall“, ein vielseitiger Experimentierstall zur Beantwortung der Frage: Von welcher Ressource benötigt die Kuh wie viel?“; Jan Harms, Diana Andrade, Ulrike Bauer, Agnes Sixt, Jochen Simon; Poster auf der 16. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU), 10.-12. September 2024, Freising [Poster]
- „Lahmheiten und Klauengesundheit bei Milchkühen in Kompostierungsställen”; Phillip Andreas Guhl, Lisa Bachmann, Adrian Steiner, Maike Heppelmann; Vortrag auf der Veranstaltung „BOVINELLA 2024 - Hot topics der Buiatrik“; 12. September 2024; Webinar, Bern, Schweiz [Vortrag]
- „Claw health and lameness in German compost bedded pack barns”; Phillip Andreas Guhl, Lisa Bachmann, Adrian Steiner, Maike Heppelmann; “22nd International Symposium and 14th International Conference on Lameness in Ruminants”; 16.-20. September 2024, Venedig, Italien [Poster]

- „Projekt: ‚Milchviehstall der Zukunft'"; Ramona Wulf; Poster und erster virtueller Einblick in das Stallbaukonzept auf dem Tag der offenen Tür am FBN, 21. September 2024, Dummerstorf
- „'Milchviehstall der Zukunft' – Ein innovativer und zukunftsfähiger Forschungsstall für Milchkühe", Ramona Wulf, Susanne Demba, Lisa Bachmann; Vortrag bei der fachgruppenübergreifende Buiatrik-Tagung während der DVG-Tagung, 01. - 02. November 2024, Berlin [Vortrag]
- „Milchviehstall der Zukunft"; Ramona Wulf, Lisa Bachmann, EuroTier 2024auf dem Stand des FBNs, 12.-14. November 2024, Hannover
- „Neue Tierwohl-Forschungsställe für Milchkühe und Möglichkeiten von Adaptionen für die Praxis – eine ökonomische Analyse", 10. Hochschulforum „Ökonomie und Innovation in der Agrar- und Ernährungswirtschaft", 15. Mai 2025 in Nürtingen [Poster]

Artikel

- „Forscher entwickeln für Kühe in Grub den perfekten Wohlfühlstall", merkur, 06. Februar 2022
- „Ställe der Zukunft in Nord und Süd geplant", agrarzeitung, 07. Februar 2022
- „Ein Paradies für Milchvieh", Praktischer Tierarzt, März 2022
- „Kühe in der Großfamilie", DLG-Mitteilungen, September 2022
- „Milchviehstall der Zukunft" - Innovative Haltungs- und Managementlösungen zur tierwohlgerechten Milchproduktion in einer Familienherde", FOOD-Lab 04/2023, 16-18
- „Virtueller Stall: Baufehler vermeiden", ELITE 06/2023
- „Wir entwickeln in Grub den Milchviehstall der Zukunft" – 20 Jahre LfL – Heute für die Zukunft handeln – Wir bringen Landwirtschaft und Forschung zusammen, 14 – 21, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/verschiedenes/dateien/lfl-magazin-2023_heute-_fuer-die-zukunft-handeln.pdf
- „Die Zumutung", ZEIT WISSEN, 16. Februar 2024, S. 71 - 75
- „Die dunkle Seite der Milch", Süddeutsche Zeitung, 08. Juni 2024, S. 31
- „Vor Baubeginn den Stall besichtigen", Land&Forst, 25/2024
- "Ultraschall im Stall - Was Rinder hören", agrarheute November 2024

Hörfunk

- „Psychische Erkrankungen bei Tieren - Wenn Stress Tiere krank macht - radioWissen | BR Podcast", Bayrischer Rundfunk, VON: Alexandra Hostert; Ausstrahlung am 17. März 2023
- „Bundeslandwirtschaftsministerium stoppt Forschung zur Milchviehhaltung", Norddeutscher Rundfunk, von: Franziska Drewes; Ausstrahlung am 18. Oktober 2024; https://www.ndr.de/radiomv/Bundeslandwirtschaftsministerium-stoppt-Forschung-zur-Milchviehhaltung,audio1737046.html

Fernsehen

- „Focus Special", npo2 (niederländische Fernsehen), von: Corlijn de Groot; Ausstrahlung am 08.07.2024; YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=28ZDzkrjwkM (4:25 - 7:23)

Einbindung in Lehre der Hochschule Neubrandenburg

- Interdisziplinäre Projektseminare (Muttergebundene Kälberaufzucht, Smart Farming Technologien)
- Interdisziplinäres Forschungsprojekt (Smarte Fressfanggitter), Agrarökonomisches Seminar

- Masterarbeiten („Tiergesundheitsüberwachung von Rindern via Videosystem und Objekterkennung“, Gabriel Schmidt; Vergleich von Haltungssystemen in der Milchviehhaltung – Boxenlaufstall versus freie Liegefläche (Kompostierungsstall), Lina Kersten; Metagenomanalytik verschiedener Einstreumaterialien aus der Milchviehhaltung, Karin Alena Krangemann))
- Bachelorarbeit („Mastitiserkennung mittels Thermographie“, Sophie Gropp)

Geplante Veröffentlichungen

Publikation

- Wulf, R., S. Demba, V. Röttgen, J. Langbein, S. Düpjan, B. Weise, I. Steinhöfel, H.-S. Bruckert, P.A. Guhl, M. Heppelmann, T. Homeier-Bachmann, S. Jahn, M.J. Oettler, A. Sixt, J. Harms, S. Rose, L. Bachmann. 2025. Invited review: Development of a dairy barn concept focusing on the natural behavior of cattle to improve animal welfare. under revision in Journal of Dairy Science
- Wulf, R., C. Fuchs. 2025. Neue Tierwohl-Forschungsställe für Milchkühe und Möglichkeiten von Adaptionen für die Praxis – eine ökonomische Analyse. under revision Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft.
- Düpjan, S., V. Röttgen, V., J. Langbein. Ergebnisse des Playback-Versuchs. Applied Animal Behaviour Science
- Steinhöfel, I. Gestaltung von Systemen für die gemeinsame Haltung von Kühen und ihren Kälbern, Schriftenreihe LfULG
- Guhl, P. A., L. Bachmann, M. Heppelmann. 2025. Hock lesions, animal hygiene and compost quality in German compost bedded pack barns. *Animals*

Vorträge/ Poster

- Düpjan, S., V. Röttgen, V., J. Langbein. Ergebnisse des Playback-Versuchs. DVG-Fachtagung Angewandte Ethologie

6 Zusammenfassung

Die politischen und gesellschaftlichen Anforderungen an Landwirt*innen in Deutschland und der Europäischen Union steigen im Hinblick auf eine tierwohlgerechte und nachhaltige Produktion von Lebensmitteln. Trotz umfassender Investitionen in neue und modernisierte Ställe für Milchkühe in den letzten Jahren, die die Haltungsbedingungen für die Tiere verbessern konnten, besteht weiterhin noch viel Handlungsbedarf in Bezug auf Tierwohl und gesellschaftlicher Akzeptanz der Tierhaltung. Bevor alternative Haltungskonzepte in die Praxis eingeführt werden, besteht Forschungsbedarf. Ausgehend vom Tier mit seinen Bedürfnissen, seinem Verhalten, seiner Sinneswahrnehmung und seiner Haltungsumwelt waren deswegen die Ziele des Verbundprojektes „Innovationen für gesunde und ‚glückliche' Kühe" (IGG) (1) die Bildung eines Innovationsnetzwerks zur Entwicklung eines innovativen Stallkonzeptes zu Forschungs- und Demonstrationszwecke, (2) die Umsetzung der Neu- bzw. Erweiterungsbauten der entwickelten Forschungs- und Demonstrationsställe „Milchviehstall der Zukunft" am Standort Dummerstorf und „Vario-Stall" am Standort in Grub, sowie (3) die Durchführung von baubegleitenden Forschungsprojekten u.a. zur Analyse von Ultraschallemissionen bei Rindern, zur Untersuchung von muttergebundener Kälberaufzucht, zur Erstellung eines Precision Dairy Farming Konzeptes und zur ökonomischen Bewertung tiergerechter Haltungssysteme. Durch veränderte politische Rahmenbedingungen während der Projektlaufzeit wurde nach 38 Projektmonaten die Zielstellung (2) verändert. Die beiden geplanten Ställe, der „Milchviehstall der Zukunft" und der „Vario-Stall", sollten nun als virtuelle, interaktiv begehbare 3D-Modelle erstellt werden.

Das Innovationsnetzwerk IGG vereint Expert*innen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen der Nutztierforschung und Tiermedizin von 7 nationalen Institutionen. Mit den geplanten Neu- und Erweiterungsbauten „Milchviehstall der Zukunft" und „Vario-Stall" konnten innovative zukunftsfähige Konzepte im Experimentierstadium entwickelt und visualisiert werden, die das Tierwohl verbessern, Zielkonflikte minimieren und, wenn sie gebaut werden, zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Milchproduktion beitragen können. Das wurde u.a. erreicht durch die Entwicklung eines alternativen Haltungskonzepts zur Milchproduktion mit einer Familienherde. Mit den Ausstellungen der Baugenehmigungen wurde das Ziel erreicht, genehmigungsfähige Forschungs- und Demonstrationsställe zu entwickeln. Die 3D-Modelle beider Ställe für die Tierart Rind machen Tierwohlställe digital erlebbar und fördern den konstruktiven Diskurs zwischen Landwirt*innen, Lebensmitteleinzelhandel und Verbraucher*innen. Praxisnahe Fragestellungen können jedoch aufgrund der fehlenden Umsetzung der Stallbauten nicht abschließend in der Realität geprüft werden.

Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Forschungsteilprojekten können zur Weiterentwicklung von aktuellen Haltungssystemen beitragen:

- Rinder sind in Ställen Geräuschemissionen in dem Frequenzbereich von 20 kHz bis 35 kHz ausgesetzt. Der Ultraschall kann durch Frequenzverschiebung im Tieraugensimulator „Echemer Kuhbrille" hörbar gemacht werden.
- Das Abspielen eines künstlich erzeugten Ultraschall-Signals kann nicht genutzt werden, um Kälbern eine Futterbelohnung beizubringen.
- Zur Forschung und Demonstration in innovativen Haltungssystemen für Milchkühe sind 45 tier- und 39 umweltassoziierte Merkmale in unterschiedlichen Erfassungsfrequenzen geeignet.
- Die Klauengesundheit für Tiere im Kompostierungsstall ist sowohl auf Tier, als auch auf Bestandsebene als gut zu beschreiben.
- Zur Erfassung von Verhaltensmerkmalen sind geeignete Systeme am Markt. Jedoch besteht noch erheblicher Weiterentwicklungsbedarf zur gesamtheitlichen automatisierten Merkmalserfassung.

- Um das Tierwohl in Milchviehherden in der Praxis zu erhöhen, sind Preisaufschläge für Milch und Fleisch erforderlich, um den höheren Investitionsbedarf zu decken.
- Kälber in der Stallhaltung, die die ersten 6 Lebenstage muttergebunden aufgezogen werden, suchen für ihre Liegeperioden einen separaten, für die Kuh unzugänglichen Haltungsbereich auf.
- Die automatisierte Erfassung von Verhaltensmerkmalen, wie Steh- und Liegezeiten, ist durch Videoaufnahmen im Stall kuhindividuell möglich.
- Betriebsspezifische Interventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Biosicherheit können mit Hilfe von Fragebögen und Tupferproben erarbeitet werden.
- Die mikrobiologische Qualität von Kompost weist auf stabile mikrobiologische Bedingungen beim Kompostierungsprozess, wie hohe Temperaturbedingungen hin. Zusätzlich bestehen keine erhöhten Risiken im Hinblick auf die Verbreitung von Resistenzgenen darstellen.

7 Literaturverzeichnis

BLE, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, (2020). Meldungsarchiv > Analyse der deutschen Milchviehhaltung: Studie gibt Empfehlung für die Praxis. https://www.ble.de/SharedDocs/Meldungen/DE/2020/201103_StudieMilchvieh.html

Cook, N.B. (2002). The Influence of Barn Design on Dairy Cow Hygiene, Lameness and Udder Health. American Association of Bovine Practitioners. 35

Devant, M. and S. Marti (2020). Strategies for Feeding Unweaned Dairy Beef Cattle to Improve Their Health. Animals 10(10): 1908

DGfZ, Deutsche Gesellschaft für Züchtungskunde, (2020). Zukunftsfähige Konzepte für Zucht und Haltung von Milchvieh im Sinne von Tierschutz, Ökologie und Ökonomie. Züchtungskunde 92(2): 57-75

Edmonson, A.J., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver, G. Webster (1989). A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. Journal of Dairy Science. 72(1): 68-78

Europäische Kommision (2020). Farm to fork strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farmfork-strategy_de

FAWC (2009). Farm Animal Welfare in Great Britain: Past, Present and Future. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/319292/Farm_Animal_Welfare_in_Great_Britain_-_Past__Present_and_Future.pdf.

Fulwider, W.K., T. Grandin, D.J. Garrick, T.E. Engle, W.D. Lamm, N.L. Dalsted, B.E. Rollin (2007). Influence of free-stall base on tarsal joint lesions and hygiene in dairy cows. Journal of Dairy Science 90(7): 3559-66.

Gieseke, D., C. Lambertz and M. Gauly (2020). Effects of cubicle characteristics on animal welfare indicators in dairy cattle. Animal 14(9): 1934-1942

Heffner, R.S. and Heffner, H.E. (1983) Hearing in large mammals: horse (Equus caballus) and cattle (Bos taurus). Behavioral Neuroscience 97(2), 299–309

Holetschek, J., Dröge, G., Güntsch, A., & Berendsohn, W. G. (2012). The ABCD of primary biodiversity data access. Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology, 146(4), 771–779. https://doi.org/10.1080/11263504.2012.740085

Kofler, J., Hoefler, M., Hartinger, T., Castillo-Lopez, E., Huber, J., Tichy, A., Reisinger, N., Zebeli, Q. (2023). Effects of High Concentrate-Induced Subacute Ruminal Acidosis Severity on Claw Health in First-Lactation Holstein Cows. Animals, 13(8), 1418

Kofler, J. (2023). Computerised claw trimming database programs as the basis for monitoring hoof health in dairy herds. Vet J. 198(2): 358-61.

Krummel, K. (2013). Spezifizierung der Lokalisation von Technopathien unter besonderer Berücksichtigung von Dekubitus am Tarsus von Kühen mit der Erarbeitung von Grundlagen für die Erstellung einer Systematik zu Ort und Grad der Veränderungen. Dissertation, LMU München https://edoc.ub.unimuenchen.de/15755/.

Meagher, R. K., A. Beaver, D. M. Weary and M. A. G. von Keyserlingk (2019). Invited review: A systematic review of the effects of prolonged cow–calf contact on behavior, welfare, and productivity. Journal of Dairy Science 102(7): 5765-5783

PraeRi (2020). Tiergesundheit, Hygiene und Biosicherheit in deutschen Milchkuhbetrieben – eine Prävalenzstudie (PraeRi). Abschlussbericht 30.06.2020

Sehested, J., C. Gaillard, J. Lehmann, G. Maciel, M. Vestergaard, M. Weisbjerg, L. Mogensen, L. Larsen, N. Poulsen and T. Kristensen (2019). Extended lactation in dairy cattle. Animal 13(S1): s65-s74

Sprecher, D.J., D.E. Hostetler, and J.B. Kaneene (1997) A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. Theriogenology 47.

Tautenhahn, A. (2017). Risikofaktoren für eine erhöhte Kälbersterblichkeit und geringe Tageszunahmen von Aufzuchtkälbern in nordostdeutschen Milchkuhhaltungen. Dissertation, FU Berlin

USDA, US Department of Agriculture (2014). Dairy 2014 Health and Management Practices on U.S. Dairy Operations. https://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/dairy/downloads/dairy14/Dairy14_dr_PartIII.pdf

VIT, Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung (2019). Jahresbericht.

Wenge, J., I. Steinhöfel, C. Heinrich, M. Coenen and L. Bachmann (2014). Water and concentrate intake, weight gain and duration of diarrhea in young suckling calves on different diets. Livestock Science 159: 133-140

Wilkinson, M. D., M. Dumontier, I. J. Aalbersberg, G. Appleton, M. Axton, A. Baak, N. Blomberg, J. W. Boiten, L. B. da Silva Santos, P. E. Bourne, J. Bouwman, A. J. Brookes, T. Clark, M. Crosas, I. Dillo, O. Dumon, S. Edmunds, C. T. Evelo, R. Finkers, A. Gonzalez-Beltran, A. J. Gray, P. Groth, C. Goble, J. S. Grethe, J. Heringa, P. A. t Hoen, R. Hooft, T. Kuhn, R. Kok, J. Kok, S. J. Lusher, M. E. Martone, A. Mons, A. L. Packer, B. Persson, P. Rocca-Serra, M. Roos, R. van Schaik, S. A. Sansone, E. Schultes, T. Sengstag, T. Slater, G. Strawn, M. A. Swertz, M. Thompson, J. van der Lei, E. van Mulligen, J. Velterop, A. Waagmeester, P. Wittenburg, K. Wolstencroft, J. Zhao, and B. Mons (2016) The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data 3(1):160018

Neubrandenburg, 30.05.25

Ort, Datum

Prof´in Dr. Lisa Bachmann