

Schlussbericht zum Projekt

„OptiBarn – Optimised animal specific barn climatisation facing temperature rise and increased climate variability“

Zahlungsempfänger	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB)
Förderkennzeichen	2814ERA02C
Aktenzeichen	315-06.01-2814ERA02C
Vorhabenbezeichnung	Optimierte tierspezifische Stallklimatisierung vor dem Hintergrund des Temperaturanstiegs und der erhöhten Klimavariabilität (OptiBarn)
Laufzeit des Vorhabens	01.12.2014 bis 31.12.2017
Berichtszeitraum	01.12.2014 bis 31.12.2017

Antragsteller: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB)

Prof. Dr. agr. habil. Thomas Amon

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

Projektkoordination: Dr. rer. nat. Sabrina Hempel

Tel.: 0331/5699-518

Mail: SHempel@atb-potsdam.de

Priv.-Doz. Dr. Barbara Amon, Prof UZ

Tel.: 0331/5699-243

Mail: bamon@atb-potsdam.de

Univ. Prof. Dr. Thomas Amon

Tel.: 0331/5699-510

Mail: tamon@atb-potsdam.de

- 1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen**
- 2. Wichtige wissenschaftlich-technische Ergebnisse im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte Erfahrungen**
- 3. Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben**
- 4. Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit**
 - 4.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende**
 - 4.2. Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende**
 - 4.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**
- 5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer und Darstellung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses**
- 6. Einsatz von Bundesmitteln für die Erreichung des geplanten Vorhabenziels und Vergleich der entstandenen Ausgaben mit dem verbindlichen Gesamtfinanzierungsplan**
 - 6.1. Gegenüberstellungen von Ergebnissen und Zielen sowie Darstellung und Erläuterung der Angemessenheit von Aufwand und Zeit**
 - 6.2. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Klimawandel und Lebensmittelsicherheit sind zwei der am stärksten auf der Gesellschaft lastenden Probleme, die im direkten Zusammenhang mit der Landwirtschaft stehen. Die Leistungsfähigkeit agrarwirtschaftlicher Produktionssysteme sich an regionsspezifisches Klima anzupassen, ist essentiell für einen anhaltenden Produktionsanstieg. Die FACCE ERA-NET Plus Initiative „Climate Smart Agriculture: Anpassung landwirtschaftlicher Systeme in Europa“, die im 7. Forschungsrahmenplan finanziert wurde, befasste sich mit Strategien zur Anpassung der europäischen Landwirtschaft, um die Erforschung der Genetik und Zucht von Tieren und Pflanzen sowie das adaptive Management und die Optimierung landwirtschaftlicher Systeme voranzutreiben und die Widerstandsfähigkeit der Organismen / Systeme gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen.

Fragestellungen zu Anpassungsstrategien für freibelüftete Milchviehställe in Bezug auf Umwelteinflüsse, Klimawandel und suboptimales Stallinnenklima (im Hinblick auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungskapazitäten der Tiere) bilden seit mehreren Jahren einen thematischen Schwerpunkt am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB). Daher konzentrierte sich OptiBarn auf die Entwicklung regionsspezifischer, nachhaltiger Anpassungsstrategien für die Klimatisierung freigelüfteter Milchviehstallungen. Diese Ställe sind besonders anfällig gegenüber den Folgen des Klimawandels, da das Innenklima wesentlich von den Extremen und Schwankungen des Außenklimas abhängt. Ohne sinnvolle Anpassungsstrategien wird eine erhöhte Klimavarianz vielfach zu einer suboptimalen thermischen Umgebung führen, die Produktivität und Wohlbefinden der Tiere beeinträchtigt. Eine gebräuchliche Kenngröße in diesem Zusammenhang ist der Temperatur-Feuchte-Index (TFI). Er ist ein Maß für die gefühlte Wärmelast eines Organismus, die sich mit steigender Temperatur, sowie mit steigender Luftfeuchte erhöht. Letztere führt dazu, dass weniger Schweiß verdunsten kann, so dass die gefühlte Wärmelast bei gleicher Temperatur steigt. Der TFI im Inneren von freigelüfteten Ställen wird beeinflusst durch den TFI in der Stallumgebung, den horizontalen Luftstrom und direkte Sonneneinstrahlung.

Das interdisziplinäre Team von Wissenschaftlern aus Instituten aus Deutschland (ATB¹ und PIK²), Dänemark (AU³), Spanien (UPV⁴ und BC3⁵), Israel (ARO⁶) und Australien (USQ⁷) diskutierte Möglichkeiten zur Optimierung der Stallklimatisierung (d.h., Reduzierung der gefühlten Wärmelast) und führte diesbezüglich eine umfangreiche Literaturrecherche durch (eingeflossen in verschiedene Veröffentlichungen, siehe Abschnitt 5). Die Projektpartner

¹ Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie

² Potsdam Institut für Klimafolgenforschung

³ Aarhus Universität

⁴ Polytechnische Universität Valencia

⁵ Baskisches Zentrum für Klimawandel

⁶ Landwirtschaftliche Forschungsorganisation (Volcani Center)

⁷ Universität Southern Queensland

erarbeiteten auf Grundlage dieser Fakten gemeinsam eine Liste regionalspezifischer Maßnahmen zur Anpassung von Stalldesign und Management durch die Veränderung von Öffnungsgeometrien sowie den Einsatz von Lüftern und Wasserkühlung, um Hitzestress im Stallinneren zu mildern. Diese Maßnahmen wurden im Projekt hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in Ställen in Deutschland, Spanien und Israel untersucht und die Ergebnisse für gemeinsame Veröffentlichungen (auch nach Projektende) aufbereitet.

Das interdisziplinäre⁸ Team am ATB untersuchte räumliche Variationen des Mikroklimas im Stallinneren, die Unsicherheiten bei der Angabe des TFI bedingen. Umfangreiche Messungen der mikroklimatischen Bedingungen im Inneren verschiedener freigelüfteter Ställe wurden, in enger Zusammenarbeit mit dem PIK, zur Modellierung des Einflusses des Außenklimas auf das Stallinnenklima genutzt. Eine regionspezifische Risikoanalyse, wie sich die Häufigkeit von Hitzestressereignissen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts relativ zum Anfang des Jahrhunderts ändert, wurde unter Berücksichtigung verschiedener Klimawandelszenarien durchgeführt. Mögliche technische Lösungen für Stallklimasteuerungen, die schwerpunktmäßig von den Partnern der AU untersucht wurden, wurden in diesem Zusammenhang gemeinsam diskutiert. In enger Zusammenarbeit mit Partnern in Israel und Spanien analysierte das ATB-Team tierindividuelle Stressreaktionen auf die Stallinnenklimabedingungen in gemäßigttem und mediterranem Klima. Die oben erwähnte Liste regionalspezifischer Anpassungsmaßnahmen wurde im Zusammenhang mit der Risikoanalyse und den tierindividuellen Reaktionen bewertet, um Empfehlungen für eine Optimierung der Klimatisierung von Nutztierstallungen in Hinblick auf den Klimawandel zu geben (wissenschaftliche open-access Veröffentlichung nach Projektende⁹) und so einen Beitrag zu den Zielen des Förderprogramms zu leisten. Dabei flossen, in enger Zusammenarbeit mit den Partnern in Spanien, auch Untersuchungen zu ökonomischen und ökologischen Wechselwirkungen ein.

2. Wichtige wissenschaftlich-technische Ergebnisse im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte Erfahrungen

Die Arbeiten wurden gemäß des Zuwendungszwecks als Teil eines transnationalen Verbundprojekts, federführend koordiniert durch das ATB, durchgeführt und in internationalen Fachzeitschriften und auf Tagungen präsentiert. OptiBarn bestand aus fünf Arbeitspaketen (AP):

⁸ Agrarwissenschaftler, Veterinärmediziner, Physiker, Meteorologen und Ingenieurwissenschaftler am ATB und zusätzlich Anbindung an die Freien Universität Berlin über die Professur „Umwelt-Nutztier-Wechselwirkungen“ am Fachbereich Veterinärmedizin

⁹ Hempel et al. (2019): “Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts”

AP 1 „Simulation des Klimas in freibelüfteten Ställen für regional angepasste Stallkonzepte und Untersuchung der klimatischen Randbedingungen“ analysierte Einflüsse des Außenklimas auf das Innenklima freibelüfteter Ställe und Szenarien für das künftige Klima.

AP2 „Entwicklung und Umsetzung angepasster, intelligenter, freibelüfteter Ställe unter kontrollierten Umweltbedingungen“ untersuchte nachhaltige, technische Lösungen für emissionsarme, freibelüftete Ställe, durch die gezielte, hybride¹⁰ Belüftung von Teilbereichen.

AP3 „Untersuchung von tierbezogenen Stressfaktoren in definierten Klimazonen“ untersuchte physiologische und ethologische Reaktionen von Milchkühen auf Hitzestress in Europa und Israel, um den Einfluss des Klimas auf das Tierwohl zu quantifizieren.

AP4 „Bewertung der neu entwickelten Techniken“ entwickelte Modelle für Kosten-Nutzen-Analysen und quantifizierte Auswirkungen von suboptimal gebauten / bewirtschafteten Stallgebäuden unter Berücksichtigung von Tierwohl und Emissionsreduktion.

AP5 „Koordination und Verbreitung der Ergebnisse“ widmete sich dem Projektmanagement und der Bekanntmachung im wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Bereich.

Das ATB leitet AP 1 und 5, war wesentlich in die Aufgaben in AP 1, 3 und 5 involviert und lieferte darüber hinaus punktuell Beiträge zu AP 2 und 4.

Messen und Modellieren von Stallklima (AP1 und Beitrag zu AP 2)

Im atmosphärischen Grenzschichtwindkanal des ATB untersuchten Wissenschaftler von ATB und AU ein skaliertes 1:40 Modell einer für Nordeuropa typischen Stallgeometrie (Laufstall mit Liegeboxen, Stattendach mit schmaler Dachöffnung, Seitenwände mit großen Öffnungen). Im Fokus stand der Einfluss der Öffnungsgeometrie auf die Luftwechselrate und die Strömungsmuster im Tieraufenthaltsbereich¹¹. Hierzu wurden verschiedene Öffnungsraten¹², betrachtet. Die Gesamt-Luftwechselrate (bezogen auf das Gesamtvolumen des Modells) zeigte eine nahezu lineare Abhängigkeit. Nichtlineares Verhalten konnte dagegen bei den spezifischen Luftwechselraten in den Tieraufenthaltsbereichen nachgewiesen werden. Auch die Position der Öffnungen hatte einen wesentlichen Einfluss auf die Luftwechselrate. Bei einer Öffnungsrate von 50% reduzierte sie sich für Tiere, die sich in der Mitte des Stalls aufhielten, um den Faktor 30, wenn die Öffnung nicht vom Boden bis zur halben Höhe des Stalls reichte, sondern von der halben Höhe bis zur Dachtraufe. Für Tiere auf der Luv-Seite¹³ des Stalls, zeigte die Untersuchung eine Minderung um den Faktor 8, auf der Lee-Seite¹⁴ um

¹⁰ d.h., eine Kombination aus frei- und zwangsbelüftet

¹¹ d.h., unterhalb von ca. 2 m in allen Bereichen zu denen die Tiere Zugang haben

¹² d.h. Höhe der Öffnung an den Seitenwänden relativ zur Gesamthöhe der Seitenwände, z.B. durch verschiedene Jalousie-Stellungen

¹³ Dem Wind zugewandten Stallseite

¹⁴ Dem Wind abgewandten Stallseite

den Faktor 4. Die Positionierung der Öffnungsgeometrie wurde als vielversprechende Adaptionsstrategie zur Verbesserung des Tierwohls bei diesem Stalltyp identifiziert¹⁵.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde am ATB ein numerisches Strömungsmodell auf Basis der Reynolds-Averaged-Navier-Stokes (RANS) Methode implementiert. Sie stellt eine gängige Parametrisierung turbulenter Strömungsprozesse dar, die eine rechenzeiteffiziente Simulation des zeitlich-gemittelten Strömungsgeschehens ermöglicht. Das Modell wurde mithilfe von Geschwindigkeitsmessungen, die das ATB im Versuchsstall des Kooperationsbetriebs LVAT¹⁶ Groß Kreuz durchführte, validiert. Strömungsmuster wurden für zwei verschiedene Öffnungsraten an der Luv-Seite des Stalls simuliert und die Auswirkungen einer Reduzierung der dortigen Öffnungsrate untersucht. Es zeigte sich eine lokale Geschwindigkeitserhöhung im Fressbereich der Tiere nahe der Luv-seitigen Stallwand um den Faktor 2 bei Halbierung der Öffnungsfläche. Gleichzeitig bildete sich eine wesentlich größere Rezirkulationszone unterhalb des Daches bis in den Tierbereich hinein aus, was eine Entschleunigung der Strömung in weiten Teilen des Stalles (d.h., in ca. 2/3 des Gesamtstallvolumens) auf der Lee-seitigen Hälfte bewirkte. Die resultierende ungleichmäßige Verteilung der Windgeschwindigkeiten im Stall beeinflusste die lokalen Luftwechselraten negativ. In den Tieraufenthaltsbereichen auf der Lee-seitigen Stallhälfte wurden sie im Mittel um 37% gemindert, auf der Luv-seitigen Stallhälfte um 22%. Die lokale Strömungsbeschleunigung im Fressbereich durch Querschnittsverengung der Luv-seitigen Öffnung hat sich somit in Bezug auf die Luftwechselraten im Gesamtstall nicht als geeignete Anpassungsmaßnahme erwiesen. Es zeigte sich, dass für eine homogene Geschwindigkeitsverteilung mit hinreichend hohen Luftwechselraten in allen Tieraufenthaltsbereichen eine Öffnungsrate >50% bevorzugt werden sollte.

In weiteren numerischen Studien des ATB wurde der Einfluss von umgebender Bebauung / Bepflanzung auf die Durchströmung eines Stallmodells untersucht. Charakteristische Höhenverteilungen im umgebenden Gelände wurden dabei, wie bei Untersuchungen in der atmosphärischen Grenzschicht üblich, durch den Parameter Rauigkeitslänge beschrieben. Dieser gibt an wie stark der Wind in Bodennähe im Mittel durch Verwirbelungen abgebremst wird. Für die Analyse der Strömungsmuster im Stall und der Gesamtluftwechselrate wurden Rauigkeitslängen von 0,001m (~ Meeresoberfläche) bis 1,0m (~ Innenstadt) einbezogen. Bei gleicher Geschwindigkeit auf einer Referenzhöhe oberhalb des Staldaches minderte sich die Luftwechselrate mit zunehmender Rauigkeitslänge nicht-linear (von 0,001m auf 0,01m

¹⁵ Eingeflossen in „Yi, Q. et al. (2018): Investigation of discharge coefficient for wind-driven naturally ventilated dairy barns.“, „Yi, Q. et al. (2018): Wind tunnel investigations of sidewall opening effects on indoor airflows of a cross-ventilated dairy building“ und „Janke, D. et al. (2018): Validating open source CFD tools with wind tunnel measurements to simulate the air-flow through naturally ventilated barns.“

¹⁶ Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e. V. Groß Kreuz, Neue Chaussee 6, 14550 Groß Kreuz

Minderung um 12%, von 0,001m auf 0,1m Minderung um 29% und von 0,001m auf 1,0m Minderung um 102%). Ein einzelner Messwert für die lokale äußere Windgeschwindigkeit reicht somit nicht, um verlässlich auf die Luftwechselrate im Stall zu schließen. Aus diesem Grund wurden im Rahmen von Praxismessungen auch Untersuchungen zum vertikalen Windprofil bzw. der Rauigkeitslänge in der näheren Stallumgebung durchgeführt.

Praxismessungen¹⁷ und numerische Simulationen zeigten für alle untersuchten Stallungen mit großen Öffnungen, dass ein Jet-Effekt auftritt, der im vorderen Tierbereich mit erhöhten Windgeschwindigkeiten verbunden ist, während im hinteren Tierbereich fast Windstille herrscht. Die Temperaturverteilung im Stall erschien vergleichsweise homogen mit Schwankungen im Bereich von etwa $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Die Verteilung der Feuchtwerte im Stall stellte sich dagegen häufig sehr inhomogen dar (bis zu $\pm 20\%$ relative Luftfeuchte) und ihre Messung war mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies beeinflusste die Bestimmung des TFI-Wertes zur Einschätzung des Hitzestressrisikos. Typische Unsicherheiten lagen im Bereich von etwa ± 2 TFI-Einheiten. Aus den Untersuchungen wurden Empfehlungen zur Positionierung von Sensoren für Temperatur- und Feuchtemessungen abgeleitet, wenn Messungen direkt im Tieraufenthaltsbereich nicht möglich sind¹⁸.

Messdaten zu Temperatur, Feuchte und Strömungsgeschwindigkeit sowie Tierdaten (Milchleistung, Vitalparameter, Tiermerkmale, etc.) aus insgesamt vier Stallanlagen (zwei in gemäßigttem Klima in Deutschland und zwei in mediterranem Klima in Spanien und Israel) wurden in einem hochaufgelösten Datensatz zusammengefasst. Aufgrund des hohen messtechnischen und personellen Aufwandes konnten die Messungen in den Ställen nicht zeitgleich erfolgen. Die Messungen in den mediterranen Regionen konzentrierten auf die Abschätzung des Einflusses von Extremereignissen und fanden daher in Perioden mit hohem Hitzestressrisiko statt. Die Messungen im gemäßigten Klima fokussierten sich darauf die Auswirkung zeitlicher Schwankungen abzubilden und waren als Langzeitstudien angelegt. Die Messkampagnen fanden in folgenden Zeiträumen auf Kooperationsbetrieben statt: Gut Dummerstorf (Deutschland) - Januar 2015 bis Dezember 2017, LVAT Groß Kreutz (Deutschland) – Juni 2015 bis Dezember 2017, Bet Dagan (Israel) – August 2016 und August 2017 sowie Betera (Spanien) – Juni bis Juli 2016 und Juli bis September 2017. Es entstand ein Datensatz von ca. 320 GB meteorologischen Rohdaten und mehr als 1 TB Rohdaten aus physiologisch-ethologischen Messungen und numerischen Simulationen, der in vielerlei Hinsicht (z.B., regionales Hitzestressrisiko, regionale und tierindividuelle

¹⁷ Folgende Nutztierhalter erlaubten Untersuchungen in ihren Stallgebäuden durchzuführen:

Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e. V. Groß Kreutz, Neue Chaussee 6, 14550 Groß Kreutz Gut Dummerstorf GmbH, Wilhelm-Stahl-Allee 7, 18196 Dummerstorf

Untersuchungsstall der UPV, Plaça Poligono N-76. R, 6, 46117 Bétera, Provinz Valencia, Spanien

Untersuchungsstall der ARO – Campus Bet Dagan, Derech HaMaccabim 68, Rishon LeZion, Israel

¹⁸ Eingeflossen in „Hempel et al. (2018): Uncertainty in the measurement of indoor temperature and humidity in naturally ventilated dairy buildings as influenced by measurement technique and data variability.“

Anpassungsreaktion, tierindividuelle Hitzestressschwellen) Potential zur wissenschaftlichen Auswertung bot und immer noch bietet. Aufbereitete Teildatensätze¹⁹ sollen nach Projektende öffentlich zugänglich verfügbar gemacht werden.

Vergleich von Hitzestressindikatoren bei Milchkühen und Bewertung der stallklimatischen Bedingungen (AP 3 und Beiträge zu AP 4)

Literaturrecherchen zeigten, dass die gängigen Bewertungsindizes für Hitzestress bei Rindern auf mittleren Umgebungsparametern (in der Regel TFI) basieren, die empirisch für einzelne Produktionssysteme, Rassen und Klimazonen abgeleitet wurden. Um tierindividuelle Reaktionen zu messen, validierte und verbesserte das ATB-Team Sensoren für die Erfassung von Vitalparametern bei Rindern. So wurde z.B. beim eMotion Faros 90° (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finnland) durch die Kabelverlängerung und Vertauschung der Elektroden eine klarere Struktur des Elektrokardiogramms für eine leistungsfähigere Berechnung der Herzfrequenzvariabilität erreicht. Verschiedene Ansätze zur Erfassung der Atemfrequenz wurden getestet²⁰. Zudem wurden Aktivitätsverhalten und Wiederkauaktivität zur tierbasierten Bewertung von Hitzestress sensorisch erfasst.

ATB-Wissenschaftler beobachteten ein vermehrtes Stehen von Milchkühen mit steigender Umgebungstemperatur bzw. steigendem TFI, da die innere metabolische Wärme im Liegen an heißen Tagen besonders schlecht abgegeben werden kann und die Vergrößerung der Oberfläche durch das Stehen die Wärmeabgabe an die Umgebung fördert. Die Zunahme der Stehdauer war in den Nachmittagsstunden am stärksten ausgeprägt und ging mit einer Abnahme der Liegedauer einher. Die Dauer der Fortbewegungsperioden änderte sich dagegen kaum²¹. Es wurden Veränderungen in der Wiederkauaktivitätsdauer und der Herzfrequenzvariabilität nachgewiesen. Im Tagesverlauf fiel mit steigendem TFI die Dauer des Wiederkauens, vor allem in den Nachmittagsstunden und am frühen Abend. Wiederkauaktivität wurde vornehmlich während der Ruhephasen im Liegen beobachtet. Ein Abfall des Wiederkauens ließ sich bei längeren Stehphasen beobachten. Die erhobenen Daten befanden sich zum Projektende noch in der Phase der analytisch statistischen Auswertung²² und entsprechende Manuskripte in der Ausarbeitung (vgl. Abschnitt 5).

¹⁹ z.B. "Hempel, S. & Menz, C. (2019): Indoor climate projections for European cattle barns, Mendeley Data" und Kooperation mit dem ZB MED – Informationszentrum Lebenswissenschaften; siehe auch Abschnitt 4.3

²⁰ Der erste Prototyp für einen Atemfrequenzsensor stand jedoch erst zum Projektende zur Verfügung

²¹ Eingeflossen in „Heinicke et al. (2018): The presence of critical periods using the temperature-humidity index in a moderate climate zone and resulting changes in the activity behavior of lactating dairy cows.“ und „Heinicke et al. (2018): Correlation between the climate conditions and the activity behavior of lactating dairy cows in free-stall barn.“

²² Eingeflossen in Konferenzpaper "Siemens et al. (2017): Effect of heat stress on rumination activity in lactating dairy cows.“; weiterführende Veröffentlichung "Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions" 2020

Im Rahmen der in OptiBarn erfolgten Langzeitmessungen zeigte sich, dass die Korrelation von Umgebungsparametern mit tierindividuellen Stressindikatoren je nach gewähltem Indikator, mikroklimatischen Bedingungen und Tier deutlich unterschiedlich ausgeprägt ist. Eine rein auf Umweltparametern basierende Hitzestressbewertung bei Milchkühen erwies sich daher als unzureichend. Weiterhin zeigte sich, dass die tierbasierten Stressindikatoren (Vitalitäts- und Verhaltensparameter) sehr unterschiedliche Reaktionszeiten haben, wobei die Atmung als einer der wichtigsten Frühindikatoren identifiziert wurde. Die Atemfrequenz stieg mit der Temperatur, war aber bei gleicher Umgebungstemperatur bei liegenden signifikant höher als bei stehenden Kühen (siehe Erläuterung zur metabolischen Wärmeabgabe weiter oben). Es wurde eine Verringerung der Atemfrequenz durch den Wechsel der Körperhaltung in eine stehende Position beobachtet. Jedoch ließ sich einige Stunden bzw. ein bis zwei Tage später ein Abfall der Milchleistung beobachten, was vermutlich im Zusammenhang mit der geringeren Futtermittelverwertung und dem Abfall der Wiederkauaktivität durch eine „ungünstigere“ Körperhaltung, initiiert durch eine zu hohe, innere metabolische Wärme stand. Zudem gab es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Atemfrequenz und Anzahl der Laktationen bzw. Laktationstag der Kühe²³.

Messungen in Ställen mit Sprinkler-Anlage in Kooperation mit der UPV (Spanien) und der ARO (Israel) zeigten, dass die Wasserkühlung von Milchkühen in regelmäßigen Abständen über Tage mit kritischem TFI eine effektive Reduktion der Wärmebelastung bewirken kann²⁴. Sprinkler sind in Teilen Südeuropas sowie in Israel in Ställen weit verbreitet und werden bei der Planung von Stallgebäuden berücksichtigt. Für Mitteleuropa erscheinen solche Anpassungsmaßnahmen erstrebenswert, da unter Klimawandel zunehmend mit heißen, trockenen Phasen in den Sommermonaten zu rechnen ist. Durch die zusätzliche gezielte Wasserkühlung könnte das Tierwohl durch Minderung von Hitzestress verbessert und Abgangsraten aufgrund hitzestressbedingter Krankheiten (z. B. Klauenläsionen durch zu lange Stehphasen an Tagen mit kritischem TFI) reduziert werden. Auch der Abfall der Fressaktivität und die damit einhergehende Abnahme der Wiederkaudauer, die in einer Milchproduktionseinbuße enden kann, könnten eingedämmt werden.

Die Informationen zu tierspezifischen Reaktionen auf das Stallinnenklima wurden vom AP3 zur Verfügung gestellt und zur Einschätzung von Hitzestressereignissen genutzt. Zudem wurden Zusammenhänge zwischen Stallklima, Hitzestress und Emissionen von Ammoniak und Methan identifiziert. Die Ergebnisse wurden in einem integrierten Modellierungsansatz zusammengeführt, der die Bewertung von Risiken, Unsicherheiten und Auswirkungen in AP4 unterstützte. Damit trug das ATB zur regionalen Analyse der ökonomischen und

²³ Eingeflossen in „Pinto, S. et al. (2018): Influence of barn climate on respiration rate of dairy cows considering different cow-related factors.“

²⁴ Eingeflossen in „Pinto, S. et al. (2018): Cooling influences on respiration rate of lactating dairy cows in different environmental conditions and barn managements.“

ökologischen Auswirkungen²⁵ verschiedener Szenarien für das Stallklima bis 2100 in den Regionen Nordeuropa, Mitteleuropa und in mediterranen Gebieten bei.

Aufbau einer Koordinations- und Kommunikationsstruktur (AP 5)

Initialisiert durch einen, vom ATB organisierten Kick-Off Workshop in Potsdam im Dezember 2014 wurde die Aufgabenverteilung in den Arbeitspaketen präzisiert und ein Methoden für den Informations- und Datenaustausch etabliert. Ein gemeinsamer Cloud-Ordner erlaubte den Austausch größerer Datenmengen, sowie das Archivieren von Basisinformationen und monatlichen Statusberichten der einzelnen Arbeitspakete. Eine Projekthomepage und Präsentationen²⁶ auf verschiedenen Konferenzen und Workshops erhöhten die externe Sichtbarkeit des Forschungsprojekts. Treffen zwischen Vertretern einzelner Projektpartner (z. B. ATB & PIK: Identifikation von Risikofaktoren; ATB & AU: Validierung numerischer Simulationen) und Gastwissenschaftleraufenthalte verschiedener Projektpartner förderten die institutsübergreifende Zusammenarbeit. Im Speziellen gab es folgende Gastwissenschaftleraus-tausche mit ATB-Beteiligung:

- Severino Pinto (ATB/Deutschland) und Theresa Siemens (ATB/Deutschland) an der UPV/Spanien für Messungen tierspezifischer Hitzestressreaktionen (Juni 2016)
- Severino Pinto (ATB/Deutschland) an der ARO/Israel für Messungen tierspezifischer Hitzestressreaktionen und Gegenregulierungsmaßnahmen (August 2016)
- Qianying Yi (AU/Dänemark) am ATB/Deutschland für Messungen im atmosphärischen Windkanal (September bis Dezember 2016)
- Ilan Halachmi (ARO/Israel) am ATB/Deutschland für Informationsaustausch und Planung weiterer Hitzestressexperimente (November 2016)
- Severino Pinto (ATB/Deutschland) an der ARO/Israel für Messungen tierspezifischer Hitzestressreaktionen und Gegenregulierungsmaßnahmen (Juli / August 2017)
- Li Rong (AU/Dänemark) am ATB/Deutschland für Messungen im atmosphärischen Windkanal (August 2017).

Die Interessenvertreter aus der Industrie sorgten für eine Vernetzung des Projektes mit der Praxis. Um die wissenschaftliche Relevanz und Qualität zu wahren, nahmen internationale Experten als wissenschaftlicher Beirat eine Beratungsfunktion während der Projektarbeiten

²⁵ Ausgehend von „Hempel et al. (2016): Non-linear temperature dependency of ammonia and methane emissions from a naturally ventilated dairy barn“; weitere Veröffentlichung nach Projektende in Hempel et al. (2019): „Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts“

²⁶ z.B. Konferenz Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU) 2015 - Sitzung: „Tiergerechte Haltungsverfahren“; Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture Network (RAMIRAN) 2015 - Sitzung: „Advances in Emission Prevention“; Konferenz des FACCE Wissenzzentrums „Modelling the Impacts of Climate Change on Food Security“ (MACSUR Science Conference) 2017 - Sitzung: „Moo may represent an idea, but only the cow knows.“; European Climate Change Adaptation Conference (ECCA) 2017 - Sitzung: Adaptation of crop and livestock production to climate change and mitigation policies in a +1.5K world; Konferenz der European Federation of Animal Science (EAAP) 2017 - Sitzung: OptiBarn

ein. Durch turnusmäßige Telefonkonferenzen konnte die Abstimmung zwischen den Projektpartnern und die Staturevaluierung der einzelnen Arbeitspakete im Hinblick auf das Gesamtprojekt unter Einbeziehung des Beirats stetig vorangetrieben werden. Die Industriepartner erhielten regelmäßig Kurzzusammenfassungen der Forschungsarbeiten und Gelegenheit Hinweise und Fragen an die Projektpartner zu kommunizieren.

Im Januar 2016 fand planmäßig der erste Projekt-Workshop zur Staturevaluierung an der Aarhus-Universität in Dänemark statt (koordiniert durch AU und ATB). Dort wurden für den Sommer 2016 gemeinsame Messkampagnen in Spanien (Wissenschaftler von ATB & UPV im Juni/Juli) und Israel (Wissenschaftler von ATB & ARO im August) geplant.

Das zweite Jahrestreffen fand im Januar 2017 an der Polytechnischen Universität in Valencia in Spanien statt (koordiniert durch UVP und ATB). Am ersten Tag wurden OptiBarn-Ergebnisse für eingeladene, externe Wissenschaftler²⁷ unterschiedlicher Expertisen (z.B. Umwelteinflüsse auf und Reaktionen von Nutztieren, Umweltwirkung von Nutztieren, regionale Klimawandelszenarien, Anpassungsstrategien auf Betriebs- und Systemebene sowie genetische Anpassungsstrategien) präsentiert. Die geladenen Experten erhielten Gelegenheit für OptiBarn relevante Forschungsergebnisse vorzustellen. Anschließend erfolgte, unter Beteiligung des wissenschaftlichen Beirats, eine weitere Staturevaluierung des Projekts. Es wurden vertiefende Untersuchungen im Sommer 2017 in Israel geplant.

Zusammenfassungen zu den OptiBarn-Jahrestreffen finden sich unter: <http://optibarn.eu/>.

Das Projekt wurde auf zahlreichen Konferenzen, Messen und Workshops²⁸, sowie in Funk und Fernsehen (siehe Abschnitt 5) vorgestellt. Durch die Teilnahme an Messen und die Kommunikation mit Betrieben im Rahmen der Praxismessungen sowie mit den Industriepartnern konnte die Verbreitung der Erkenntnisse auch im nicht-wissenschaftlichen Bereich vorangetrieben werden.

Im November 2017 fand ein Abschlussworkshop mit Vertretern des OptiBarn-Konsortiums, des FACCE-Netzwerkes, verschiedener Interessensgruppen (insbesondere assoziierte Industriepartner in OptiBarn) und des wissenschaftlichen Beirats in Brüssel statt. Es wurden

²⁷ Teilgenommen haben als Vertreter des wissenschaftlichen Beirats von OptiBarn M. Hassouna (Institut National de la Recherche Agronomique, Frankreich), N. Ogink (Wageningen University and Research, Niederlande) und T. Misselbrook (Rothamsted Research, Großbritannien). Darüber hinaus nahmen teil M. J. Estrella (Universität de Valencia, Spanien), P. Llonch (Universität Autonoma de Barcelona, Spanien), T. Bartzanas (The Centre for Research and Technology, Griechenland) und M. J. Carabano (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Agroalimentaria, Spanien)

²⁸ Internationale Grüne Woche, Lange Nacht der Wissenschaften, Fachausstellung für Tiertierhaltung und -management der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (EuroTier), Konferenzen der International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR) und der European Federation of Animal Science (EAAP), eine Konferenz des FACCE Wissenszentrums „Modelling the Impacts of Climate Change on Food Security“ (MACSUR Science Conference) und ein Workshop von dessen Untergruppe „Modelling of livestock, permanent grasslands, and farms (MACSUR LiveM), sowie die European Climate Change Adaptation Conference (ECCA) und die Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“ (BTU)

wissenschaftliche Ergebnisse aus OptiBarn präsentiert sowie neue Forschungsansätze für zukünftig Zusammenarbeit und gemeinsame Veröffentlichungen diskutiert.

3. Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

Bisher ist es, bei den Bauformen an den Messstandorten Standorten in Deutschland nicht gelungen, die im Stall gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten mit der gewünschten Genauigkeit in einen statistischen Modellzusammenhang zu den gemessenen äußeren Windgeschwindigkeiten zu bringen. Als Grund wird der statistisch nicht hinreichend erfassbare Einfluss der Baugeometrie auf die Entwicklung von Strömungsmuster im Stall angenommen. Dieser Zusammenhang soll daher in einem Folgeprojekt systematisch mittels numerischer Strömungssimulationen untersucht werden (vgl. Abschnitt 4.3).

Ursprünglich war geplant, mit dem OpenSource Paket *OpenFOAM* zusätzlich zur Durchströmung der Ställe auch die Verteilung von Temperatur und Feuchte zu simulieren. Der zeitabhängige numerische Lösungsalgorithmus für dieses Problem (*bouyantPimpleFoam*) existiert aber nur für Innenraumströmungen. Bei der Implementierung von atmosphärischen Randbedingungen sind immer wieder Instabilitäten aufgetreten. Von einer aufwendigen Bearbeitung des Lösungsalgorithmus und der Randbedingungen wurde abgesehen und stattdessen das kommerzielle Paket *ANSYS* mit einem stationären Strömungslöser genutzt. Weiterhin ist es noch nicht gelungen, eine Liste mit Basis- und Grenzwerten für tierindividuelle Reaktionen zu veröffentlichen, da die extreme Variabilität und Individualität der Daten noch weitere Untersuchungen und Auswertungen erfordern.

4. Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit

4.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Ziel war es, Haltungsverfahren hinsichtlich Stressbelastung, Tiergesundheit und Emissionsgeschehen zu optimieren. Freibelüftete Ställe sollen langfristig mit selbstlernenden Techniken ausgestattet werden, die als Frühwarnsysteme Wohlbefinden, Gesundheit und Produktivität der Tiere garantieren und Schadgasemissionen mindern. Bauliche Maßnahmen stehen im Mittelpunkt, wobei die Anpassung der Öffnungsgeometrie als vielversprechend für Stallbauten in gemäßigttem Klima identifiziert wurde. In der Folge können wirtschaftliche Verluste durch hitzestressbedingte Leistungseinbußen bzw. Erkrankungen durch die in OptiBarn erlangten Erkenntnisse minimiert werden (vgl. Abschnitt 4.3). Ein Rahmenmodell zur Vorhersage von Emissionen (Ammoniak und Treibhausgase) von Rinderställen im Zuge des Klimawandels, das im **AP4** unter Mitwirkung des ATB entwickelt wurde, kann für künftige Abschätzungen genutzt werden.

4.2. Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Ziel war es auch ein Prognosemodell für das Stallklima 2050 zu entwickeln und Risiken für klimabedingte Stressreaktionen der Tiere abzuschätzen. Durch die Komplexität und Menge der gewonnenen Daten gestaltete sich die Auswertung zeitintensiver als ursprünglich angenommen. Die Kernziele und Meilensteine blieben davon jedoch unberührt und wurden durch zusätzliche Messungen und Auswertungen über den ursprünglich geplanten Projektrahmen hinaus erweitert. Ein erster Prototyp des Prognosemodells²⁹ stand zum Projektende zur Verfügung, muss aber hinsichtlich der Unsicherheiten, Anwendungsbereiche und Erweiterungsmöglichkeiten im Detail noch genauer charakterisiert werden.

Aufgrund der großen Datenmengen, die die Sensoren erzeugen, und der Vielfalt der Datensätze können herkömmliche Methoden der Datenauswertung die Umsetzung einer sensorbasierten, individuellen Tierwohlbeobachtung nicht vollständig gewährleisten. Deshalb widmet sich das ATB verstärkt datenwissenschaftlichen Methoden und hat hierfür sowohl seine fachliche Kompetenz als auch infrastrukturelle Ausstattung gezielt verstärkt.

Weitere Veröffentlichungen der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse in Fachjournalen sowie in Form von Fachbeiträgen auf nationalen und internationalen Tagungen bzw. Konferenzen sind geplant (siehe Abschnitt 5). Darüber hinaus sollen die Daten und Ergebnisse in den Aufbau einer Forschungsdatenbank einfließen.

4.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Auf Basis der gewonnenen Projektergebnisse wurden und werden weitere Projektideen formuliert, um entsprechende Fördermittel zu akquirieren. Ein Projekt zur Bestimmung der Luftwechselrate an freibelüfteten Ställen – Validierung von Prognosemodellen (kurz BeLuVa) startete am 01.03.2018, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Die OptiBarn Ergebnisse und eine intensive Literaturrecherche zu physiologischen Frühindikatoren zeigten zudem, dass bisher unklar ist, wie schnell und in welcher Reihenfolge Vitalparameter (z.B. Atmung oder Körpertemperatur) auf Wärmebelastung reagieren und eine Veränderung anderer Parameter / Verhaltensaspekte bewirken. Um die Individualität von Milchkühen und die Zusammenhänge zwischen den Tierreaktionen besser verstehen zu können, sind weitere Untersuchungen zu physiologischen Wechselwirkungen der einzelnen Parameter unter- und miteinander geplant. Mit der ARO und der Freien Universität Berlin laufen zum Ende des OptiBarn-Projekts daher intensive Projektplanungen, um eine Hitzestresssensorentwicklung voranzubringen. Es ist ferner beabsichtigt, die

²⁹ Beschrieben in Hempel et al. (2019): "Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts" und vorgestellt auf der Konferenz der European Federation of Animal Science (EAAP) 2019

Ergebnisse im Rahmen weiterer Abschluss- und Promotionsarbeiten³⁰ zu vertiefen. In diesem Zusammenhang wurde am 05.06.2019 das Projekt „Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung“ (DigiMuh) zur Förderung im Rahmen der BMEL Ausschreibung „Digitalisierung in der Nutztierhaltung“ empfohlen.

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts mit dem *ZB MED – Informationszentrum Lebenswissenschaften* in Bonn sollen große Mengen an Messdaten, die unter anderem in OptiBarn erhoben wurden, in den nächsten Jahren nach und nach in Form einer Datenbank wissenschaftlich als open-access Daten verfügbar gemacht werden. Durch die Aufnahme der Daten in das Publisso-Fachrepositorium Lebenswissenschaften stehen die Daten dann vielfältigen Nutzern zur Verfügung und sind zitierbar.

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer; Ergebnisberichte zum Zeitpunkt der Erstellung des Abschlussberichts

Zum Ende des Projektes waren folgende referierte Veröffentlichungen³¹ mit Beteiligung von ATB-Autoren erschienen (Stand Januar 2018):

- **Hempel, S., Saha, C., Fiedler, A., Berg, W.,** Hansen, C., **Amon, B., Amon, T.** (2016). Non-linear temperature dependency of ammonia and methane emissions from a naturally ventilated dairy barn. *Biosystems Engineering*. 145 (May): 10-21. Online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.02.006>
- **Hempel, S., Janke, D., König, M.,** Menz, C., **Englisch, A., Pinto, S.,** Sibony, V., Halachmi, I., Rong, L., Zong, C., Zhang, G., Sanchis, E., Estellés, F., Calvet, S., Galán, E., del Prado, A., Ammon, C., **Amon, B., Amon, T.** (2016). Integrated modelling to assess optimisation potentials for cattle housing climate. *Advances in Animal Biosciences* (Special Issue for MACSUR LiveM Conference Potsdam 2016). (7:3): 261-262. Online: <https://doi.org/10.1017/S2040470016000352>
- **Hempel, S., König, M.,** Menz, C., **Janke, D., Amon, B.,** Banhazi, T., Estellés, F., **Amon, T.** (2018). Uncertainty in the measurement of indoor temperature and humidity in naturally ventilated dairy buildings as influenced by measurement technique and data variability. *Biosystems Engineering*. 166: 58-75. Online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511016307966>

³⁰ Zwei im Rahmen von OptiBarn begonnenen Dissertationsarbeiten (J. Heinicke und T. Siemens) werden 2020 abgeschlossen. Aufbauend auf den OptiBarn-Arbeiten begann im zweiten Quartal 2019 eine weitere Arbeit (S. Scappini)

³¹ ATB-Autoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung fett hervorgehoben

- Yi, Q.; Zhang, G.; **König, M.; Janke, D.; Hempel, S.; Amon, T.** (2018). Investigation of discharge coefficient for wind-driven naturally ventilated dairy barns. Energy and Buildings. 165 (April): 132-140 Online: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.038>

Folgende Konferenzbeiträge mit ATB-Erstautoren waren zum Projektende erschienen:

- **Hempel, S., Wiedemann, L., Ammon, C., Fiedler, A., Saha, C.; Janke, D.,** Loebstin, C., Fischer, J., **Amon, B., Hoffmann, G.,** Menz, C., Zhang, G., Halachmi, I., del Prado, A., Estellés, F., **Berg, W., Brunsch, R., Amon, T.** (2015). Determine the flow characteristics of naturally ventilated dairy barns to optimize barn climate (Bestimmung der Durchströmungscharakteristik frei gelüfteter Milchviehställe zur Optimierung des Stallklimas). In: 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2015 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2015. KTBL, Darmstadt, (978-3-945088-09-8), p. 346-351.
- **Hempel, S., Amon, B., Ammon, C., Hoffmann, G., Berg, W.,** Menz, C., Zhang, G., Halachmi, I., del Prado, A., Estélles, F., **Brunsch, R., Amon, T.** (2015). OptiBarn: Optimised animal specific barn climatisation facing temperature rise and increased climate variability. In: 16th International Conference Rural-Urban Symbiosis (RAMIRAN). p. 1-4.
- **Pinto, S., Pauw, W., Englisch, A., Ammon, C., Heinicke, J.,** Heuwieser, W., **Amon, T.** (2016). Influence of cow-related factors on respiration rate of dairy cows under hot climate conditions. In: Precision Dairy Farming Conference Leuwaarden (NL) 2016. Book of Abstracts.
- **Siemens, T., Pinto, S., Heinicke, J., Hempel, S., Hoffmann, G., Ammon, C., Amon, T., Amon, B.** (2017). Influence of environmental climate conditions on animal welfare criteria of lactating dairy cows. In: MACSUR Science Conference Berlin 2017. Book of Abstracts.
- **Pinto, S.** (2017). Climate and animal monitoring for adapted smart dairy barns. In: 3rd European Climate Change Adaptation Conference, ECCA, Glasgow (UK) 2017. In: Book of Abstracts.
- **Hempel, S., König, M., Janke, D., Pinto, S., Siemens, T., Ammon, C., Amon, B., Amon, T.** (2017). Microclimate monitoring as basis for smart cattle barns. In: 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, EAAP, Tallinn (EST) 2017. In: Book of Abstracts.
- **Siemens, T., Pinto, S., Heinicke, J., Hempel, S., Hoffmann, G., Ammon, C.,** Halachmi, I., **Amon, T., Amon, B., Janke, D.** (2017). Influence of environmental conditions on animal welfare criteria of lactating dairy cows. In: 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, EAAP, Tallinn (EST) 2017. In: Book of Abstracts.

- **Heinicke, J., Hempel, S., Pinto, S., Ammon, C., Amon, T., Englisch, A., Hoffmann, G.** (2017). Wirkung von Hitzestress auf Verhaltens- und Vitalitätsparameter von Milchkühen. Effect of heat stress on behaviour and vitality parameters of dairy cows. In: 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017. 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017. KTBL, Darmstadt, (978-3-945088-46-3), p. 64-69.
- **Siemens, T., Hoffmann, G., Hempel, S., Ammon, C., Heinicke, J., Pinto, S., Amon, T., Amon, B.** (2017). Wirkung von Hitzestress auf das Wiederkauverhalten von Milchkühen. Effect of heat stress on rumination activity in lactating dairy cows. In: 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017. 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017. KTBL, Darmstadt, (978-3-945088-46-3), p. 182-186.
- **Yi, Q., Zhang, G., König, M., Janke, D., Amon, T., Hempel, S.** (2017). Determining Discharge Coefficient of Large Openings of Wind-driven Cross Ventilation Barns by Wind Tunnel Tests. In: Proceedings. ASABE 2017 Annual International Meeting. Washington, USA, p. 1-8. Online: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=5&AID=47904&CID=spo2017&T=1>

Weitere Beiträge mit ATB-Erstautoren in referierten internationalen Zeitschriften waren Ende 2017 zur Veröffentlichung nach Projektende geplant und sind in den folgenden 3 Jahren erschienen³²:

Autor	Institute ³³	Titel	Zeitschrift, Jahr
Heinicke et al.	ATB	Effects of the daily heat load duration exceeding determined heat load thresholds on activity traits of lactating dairy cows.	Journal of Thermal Biology, 2018
Heinicke et al.	ATB	Cow-individual activity response to the accumulation of heat load duration	Journal of Thermal Biology, 2019
Müschner-Siemens et al.	ATB	Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions	Journal of Thermal Biology, 2020
Pinto et al.	ATB, ARO	Influence of barn climate, body postures and milk yield on the respiration rate of dairy cows	Annals of Animal Science, 2019
Pinto et al.	ATB, ARO	Critical THI thresholds based on the physiological parameters of lactating dairy cows	Journal of Thermal Biology, 2020
Pinto et al.	ATB, ARO	Effect of two cooling frequencies on respiration rate in lactating dairy cows under hot and humid climate conditions	Annals of Animal Science, 2019

³² „Janke et al.: Validating open source CDF tools with wind tunnel measurements to simulate the air-flow through naturally ventilated barns. Computers and Electronics in Agriculture“ in Kooperation mit dem WIAS: Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (DEU) und dem TROPOS: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. (DEU) befindet sich im Begutachtungsprozess

³³ATB: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (DEU); ARO: Agricultural Research Organization, Volcani Center (ISR); AU: Aarhus Universität (DNK); PIK: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (DEU); UPV: Polytechnische Universität von Valencia (ES); USQ: University of Southern Queensland (AUS)

Hoffmann et al.	ATB	Review paper: Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows.	Biosystems Engineering - Special Issue, 2019
König et al.	ATB	Variabilities in determining air exchange rates in naturally ventilated dairy buildings using the CO ₂ production model	Biosystems Engineering, 2018
Hempel et al.	ATB, UPV, PIK, USQ	Heat stress risk in European dairy cattle husbandry and associated production losses under different climate change scenarios	Earth System Dynamics, 2019

Darüber hinaus wurde das Projekt durch folgende ATB-Aktivitäten bekannt gemacht:

Forschung: Kann man Tierwohl messen? Bayerischer Rundfunk (BR)	10.03.2016
Kühe im Windkanal Bioökonomie.de, https://biooekonomie.de/video/kuehe-im-windkanal	20.09.2017
Konzepte zur Anpassung des Stallklimas an den Klimawandel (Projekt OptiBarn) Internationale Grüne Woche 2016, Messe Berlin	19.01.2016 - 28.01.2016
Konzepte zur Anpassung des Stallklimas an den Klimawandel Zentrales Landwirtschaftsfest der DLG ³⁴ , München	17.09.2016 - 25.09.2016
Konzept für die optimierte Klimatisierung frei gelüfteter Milchviehställe EuroTier 2016 im Rahmen des BMEL-Standes, Hannover	15.11.2016 - 18.11.2016
Parlamentarischer Abend von ProWissen Potsdam e. V. und Lauf e. V. Landtag Potsdam (Thema Tierwohl u.a.)	05.04.2017
Rund um die Kuh (Tierwohl, Stallklima) Potsdamer Tag der Wissenschaften	13.05.2017
Tierwohl, Stall der Zukunft Lange Nacht der Wissenschaften, FU Berlin, Berlin	24.06.2017

³⁴ Deutschen landwirtschaftlichen Gesellschaft