

# Nutzung der regenerativen Energiequelle “Abluftreinigungsanlage” für das Kühlen und Heizen von Tierställen

Fallstudienuntersuchung



## Impressum

Projektnehmer:in: HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Institut für Tier, Technik und Umwelt, Abteilung Tierhaltungssysteme,  
Technik und Emissionen

Adresse: Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

Projektleiterin: Ing. Irene Mösenbacher-Molterer

Projektmitarbeiter\*innen: Ing. Eduard Zentner, Michael Kropsch, Lukas Lackner, Birgit  
Heidinger, Margit Freiwald, Nikolaus Kienler, Christian Bachler, Andreas  
Luidold, Manfred Leitner

Tel.: +436509579010

E-Mail: irene.moesenbacher@raumberg-gumpenstein.at

Kooperationspartner: Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nußallee 5, 53115 Bonn,  
Dr. Alexandra Lengling, Dr. Hauke Deeken, Dr. Wolfgang Büscher  
Schönhammer Wärmetauscher und Lüftungstechnik GmbH, Niederreuth 1,  
84152 Mengkofen, Martin Schönhammer

Finanzierungsstelle(n): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und  
Wasserwirtschaft

Projektlaufzeit: 2022-2023

1. Auflage

Fotonachweis: HBLFA

Mit Unterstützung von Bund und dafne.at

 Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft



Raumberg-Gumpenstein, 2023. Stand: 20. Dezember 2023

## Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
<b>Summary .....</b>	<b>5</b>
<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
Praxisrelevanz.....	6
Stand des Wissens im Forschungsbereich.....	7
<b>Material und Methode.....</b>	<b>8</b>
Anlagentechnik der Firma Schönhammer.....	8
Stallanlage der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.....	10
Messdatenerfassung .....	11
Messtechnik und Anbindung an das Lüftungssystem des Mastschweinestalles.....	11
Kosten.....	15
Zeitplan.....	15
<b>Ergebnisse .....</b>	<b>17</b>
<i>Betriebsparameter und Auslastung des Tauschwäschers .....</i>	<i>17</i>
<i>Heizleistung, rückgewonnene thermische Energie und Leistungszahl (COP).....</i>	<i>19</i>
<b>Diskussion.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>29</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>30</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>32</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>33</b>
<b>Anhang – Ergebnisüberblick .....</b>	<b>35</b>
<b>Anhang – verwendete Messtechnik .....</b>	<b>41</b>

# Zusammenfassung

In Kooperation mit der Universität Bonn war die HBLFA Raumberg-Gumpenstein Teil des Forschungsprojektes „Nutzung der regenerativen Energiequelle Abluftreinigungsanlage für das Kühlen und Heizen von Tierställen – Fallstudienuntersuchung“ (EnergARA), wo in drei Fallstudien unterschiedliche Technologien zur Wärmerückgewinnung in Kombination mit einer Abluftreinigungsanlage untersucht wurden.

Ziel des Projektes war es, durch Langzeitmessungen in der Praxis die Leistungspotentiale von drei unterschiedlichen Systemen objektiv und wissenschaftlich zu erfassen und zu evaluieren, wobei hier vor allem die ökologische und ökonomische Bewertung im Vordergrund standen. Für die Datenerhebung wurden je nach Fallstudie verschiedene Sensoren und Messtechniken eingesetzt. Ökonomische und ökologische Aspekte wurden auf Grundlage aktueller Energiepreise bzw. Emissionsfaktoren berechnet. In Raumberg-Gumpenstein wurde für die Fallstudie die in den Mastschweineforschungsstall integrierte Abluftreinigungsanlage der Firma Schönhammer Wärmetauscher und Lüftungstechnik GmbH zu einem Tauschwäscher umgebaut. Die Datenerfassung erfolgte über einen Zeitraum von zwei Mastdurchgängen im Jahr 2022. Für den Tauschwäscher konnte eine mittlere Auslastung für beide Mastdurchgänge von 77,1 % verzeichnet werden, mit Höchstleistungen von 100 % während der Übergangsjahreszeiten im Frühjahr und Winter. Neben der Heizleistung (Maximalwert von 9,7 kW) konnten ab einer Frischlufttemperatur von 15 °C auch Kühleffekte verzeichnet werden bis hin zu einer maximalen Kühlleistung von 4,9 kW. Besonders für Masttiere, die niedrigere Temperaturanforderungen haben als bspw. Ferkel, ist dies als ein für das Tierwohl besonders positiver Effekt zu benennen. Durch den Einsatz des Tauschwäschers konnte in den beiden Mastdurchgängen eine Amplitudendämpfung von -19,9 bis -22,0 % erreicht werden, und somit ein positiver Effekt für die Belüftung des Stalls und das Stallklima geschlussfolgert werden. Die Ergebnisse aller drei Fallstudien zeigten, dass der Einsatz rekuperativer Energiesysteme in der landwirtschaftlichen Tierhaltung sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bringt und auch im Hinblick auf das Tierwohl positive Effekte zu verzeichnen sind. Die in diesem Forschungsprojekt durchgeführten Studien können dazu genutzt werden, Landwirt\*innen von der Investition in erneuerbare Energiesysteme zu überzeugen.

# Summary

In cooperation with the University of Bonn, HBLFA Raumberg-Gumpenstein was part of the research project "Utilisation of the regenerative energy source exhaust air purification system for cooling and heating animal houses - case study investigation" (EnergARA), where different technologies for heat recovery in combination with an exhaust air purification system were investigated in three case studies.

The aim of the project was to objectively and scientifically record and evaluate the performance potential of three different systems through long-term measurements in practice, focusing primarily on ecological and economic evaluation. Different sensors and measurement techniques were used for data collection depending on the case study. Economic and ecological aspects were calculated on the basis of current energy prices and emission factors. In Raumberg-Gumpenstein, the exhaust air purification system from Schönhammer Wärmetauscher und Lüftungstechnik GmbH, which was integrated into the fattening pig research barn, was converted into an exchange scrubber for the case study. Data was collected over a period of two fattening cycles in 2022.

An average utilization rate of 77.1 % was recorded for the exchange scrubber for both fattening cycles, with maximum outputs of 100 % during the transitional seasons in spring and winter. In addition to the heating capacity (maximum value of 9.7 kW), cooling effects were also recorded from a fresh air temperature of 15 °C cooling effects can also be recorded up to a maximum cooling capacity of 4.9 kW. This is a particularly positive effect for animal welfare, especially for fattening animals, which have lower temperature requirements than piglets, for example. By using the exchange scrubber, an amplitude attenuation of -19.9 to -22.0 % was achieved in the two fattening runs, and thus a positive effect on the ventilation of the barn and the barn climate could be concluded.

The results of all three case studies showed that the use of recuperative energy systems in agricultural livestock farming brings both economic and ecological benefits and also has positive effects in terms of animal welfare. The studies carried out in this research project can be used to convince farmers to invest in renewable energy systems.

# Einleitung

Zielsetzung des Projektes ist die Untersuchung von Wärmerückgewinnungsanlagen in Kombination mit Abluftreinigungsanlagen in zwangsbelüfteten Schweineställen. Die Abluftreinigung ist häufig aufgrund der hohen Betriebskosten mit einem negativen Image behaftet. Wenn diese Anlagen jedoch als regenerative/rekuperative Energiequelle genutzt werden können (Wärmerückgewinnung vom Abluft- auf den Frischluftstrom) kann dies positive Folgen auf die Energiebilanz der Stallanlage haben. Brennstoff- und Heizkosteneinsparungen sind Vorteilhaft für die Wirtschaftlichkeit der Tierhaltung und die Umwelt.

Im Forschungsprojekt „EnergARA“ wird eine Stallanlage über längere Zeiträume untersucht, welche eine Abluftreinigungsanlage in Kombination mit einer Wärmerückgewinnung einsetzt. Eine Erfassung der Stromverbräuche der Einzelanlagen sowie der Luft- und Wassertemperaturen an verschiedenen Positionen innerhalb des Stallgebäudes soll hierbei genutzt werden, um die Effizienz und Leistungsfähigkeit der Wärmeübertragung bestimmen zu können. Die Auswertung der erfassten Daten soll zu einer ökonomischen, ökologischen und tierwohlbasierten Bewertung der Einzelanlagen sowie ihres kombinierten Einsatzes führen. Hierbei werden mögliche Synergieeffekte aufgezeigt, um die Frage zu beantworten, in wie weit Abluftreinigungsanlagen als regenerative Energiequellen zur Beheizung und Kühlung von Schweineställen genutzt werden können, um letztlich die Energie- und Ressourceneffizienz in der modernen Schweinehaltung zu erhöhen.

Ganzjähriger Nutzen ergibt sich vor allem durch die Heizmöglichkeit bei Kälte sowie die Kühlmöglichkeit bei Hitze. Bei guter Funktionalität sollte es möglich sein, Temperaturschwankungen der Zuluft zu reduzieren und so ein gleichmäßigeres Stallklima zu erreichen. Durch höhere Luftraten im Winter ergibt sich gleichzeitig eine verbesserte  $\text{NH}_3$ -Abführung. Durch eine energetische Nutzung von Abluftreinigungsanlagen wird die Nachhaltigkeit der Tierhaltung gefördert (Umwelt, Kosten, Sozial & Tierwohl) sowie die Rentabilität verbessert.

## Praxisrelevanz

Vor allem Betriebe, welche anlagenrechtlich oder aus Widmungsgründen den Betrieb einer Abluftreinigungsanlage in ihren nutztierhaltenden Ställen vorsehen müssen, können diese durch eine Kombination mit einem Wärmetauscher als Gesamteinheit aufwerten und somit

hinsichtlich energieeffizienter Belange Vorteile verzeichnen. Voruntersuchungen durch die Uni Bonn zeigen auf diesem Gebiet großes Potential.

## **Stand des Wissens im Forschungsbereich**

Vorangegangene Untersuchungen zeigen, dass effizienteres Wirtschaften in der Schweineproduktion durch den Einsatz eines Tauschwäschers möglich ist. Fossile Energieträger können durch Wärmeenergie aus Abluft und Waschwasser substituiert werden. Zusätzlich werden die Kohlenstoffdioxid-Emissionen verringert. Des Weiteren werden durch die Einsparung von Heizkosten die laufenden Kosten eines Tierstalles mit Abluftreinigung gesenkt. Es besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf, um eine fundierte ökonomische Bewertung des Tauschwäschers geben zu können (Büscher et.al., 2016).

# Material und Methode

In einem Verbundprojekt stellte die HBLFA Raumberg-Gumpenstein beginnend vom Umbau der bestehenden Abluftreinigungsanlage der Firma Schönhammer bis hin zur Zurverfügungstellung relevanter Messdaten sowie Betreuung und Wartung der Anlage während zwei Mastdurchgängen von März –Juli bzw. August –Dezember 2022 maßgebliches Knowhow und Equipment zur Verfügung. Vorliegender Bericht gibt die von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Arbeitsschritte sowie bereitgestellten Datengrundlagen wieder. Die abschließende Auswertung, Interpretation der Messergebnisse und Endberichtslegung über alle drei Fallstudien erfolgte durch die Uni Bonn.



Abbildung 1 Forschungsstall für Mastschweine an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

## Anlagentechnik der Firma Schönhammer

Der Tauschwäscher integriert ein Wärmetauschermodul in einen Biowäscher und kann folglich thermische Energie von Abluft und Waschwasser auf die Frischluft übertragen. Die Anlage der HBLFA ist für das Forschungsprojekt günstig aufgrund der bereits bestehenden Anlagen- und Messtechnik.



Abbildung 2 Umgebaute Tauschwäscheranlage der Firma Schönhammer am Standort Gumpenstein

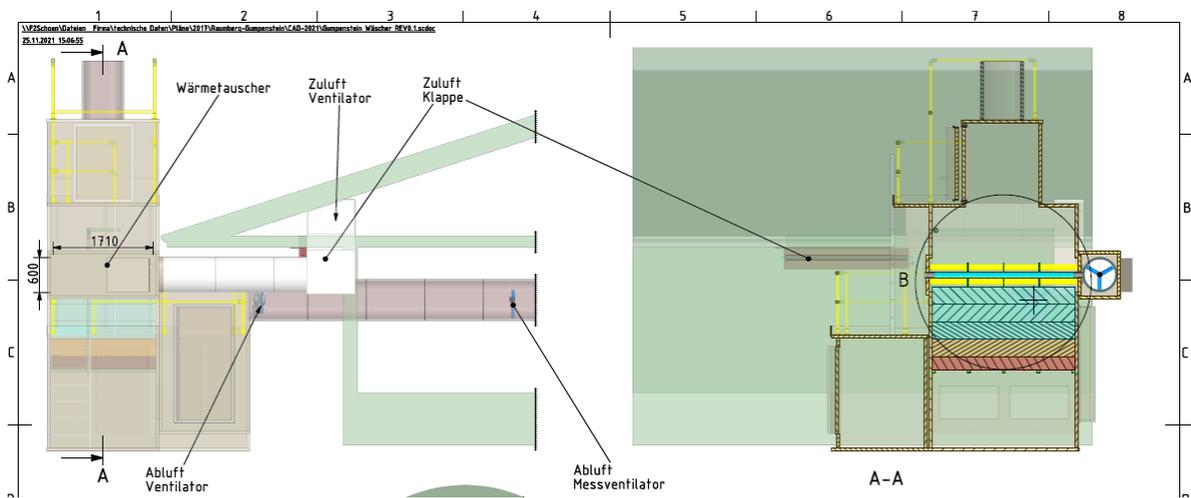


Abbildung 3 Tauschwäscheranlage HBLFA Rev0.2

## Stallanlage der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Der Schweinemaststall besteht aus 3 Abteilen. Jedes Abteil ist an eine separate Abluftreinigungsanlage angeschlossen und unterschiedlich strukturiert. Zudem erfolgte die Trennung des Dachraums in 3 Teile, so dass jedes Stallabteil eine separate Zuluftführung über die Rieseldecke aufweist und keine gegenseitigen Beeinflussungen oder Verfälschungen der Ergebnisse vorliegen können. Die Zuluft gelangt über eine herkömmliche Porendecke (Heraklithplatte mit Dämmstoffauflage, geschlossene Flächen umlaufend im Anschlussbereich Decke/Wand) vollflächig in das Abteil.



Abbildung 4 Konventionelles Stallabteil der HBLFA für 138 Mastschweine

Die als Kontrollabteil dienende und mittig zwischen zwei weiteren Versuchsabteilen (Verweis: Projekt IBeSt, Dr. Birgit Heidinger) angeordnete Kammer beinhaltet sechs Buchten (drei beidseits des Bedienganges), in denen jeweils 23 Tiere nach bisherigem Standard (0,7 m<sup>2</sup> je Endmasttier) gehalten werden können. Der Boden in den Buchten besteht aus vollperforierten Betonspalten mit einem Schlitzanteil von 13 %. Das vollunterkellerte Abteil ist mit vier Güllekanälen ausgestattet. Gefüttert wird über einen mittig in der Bucht angeordneten Kurztrog, welcher mit einer gummierten Unterlegplatte zur Vermeidung von Futterverlusten versehen ist. Weichhölzer an Ketten dienen als Beschäftigungsmaterial und die Wasserversorgung erfolgt über drei Schalentränken.

## Messdatenerfassung

Folgende Messdaten wurden kontinuierlich erfasst:

- Temperaturen
  - Waschwassertemperatur
  - Lufttemperaturen
  - Ablufttemperatur (Rohgas, vor Tauschwäscher)
  - Fortlufttemperatur (Reingas, nach Tauschwäscher)
  - Frischlufttemperatur (vor Tauschwäscher, entspricht meist der Außenluft)
  - Zulufttemperatur (nach Tauschwäscher)
- Luftstrom (Massen- oder Volumenstrom)
  - Abluftstrom
  - Zuluftstrom
- Energiekonsum
  - Ventilatoren (Zuluft- und abluftseitig)
  - Abluftreinigungsanlage (Umwälzpumpen, Dosierung etc.)
- Abluftreinigungsanlage
  - pH-Wert Waschwasser
  - Leitfähigkeit Waschwasser
  - Abscheideleistung (NH<sub>3</sub>- Konzentration in Roh- und Reingas, Kurzzeitmessung ausreichend)

Viele Messgrößen wurden bereits von der bestehenden Stall- und Messtechnik erfasst, so war der zusätzlich notwendige Aufwand im Vorhinein abschätzbar. Eine Datenfernübertragung war von Seiten der Abluftreinigungstechnik möglich, alternativ wurden die Rohdaten je nach Erfordernis durch die HBLFA per Mail zugesandt. Im Zuge der messtechnischen Grundausstattung des Forschungsstalles wurden ebenso Schadgaskonzentrationen (NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) und Leistungsdaten aller Tiere erfasst.

## Messtechnik und Anbindung an das Lüftungssystem des Mastschweinstalles

Der Stallumbau erfolgte in den Wintermonaten 2021. In diesem Zug wurde die Zuluft des Tauschwäschers traufenseitig in den Dachraum geführt (Vordach). Neben dieser Zuluftführung wurden steuerbare Luftklappen installiert, welche zur Sommerlüftung genutzt werden

sollen. Die Steuerung erfolgte über die Lüftungscomputer und wurde mit der Twinrohr-Raumheizung abgestimmt. Für eine umfassende Datenaufzeichnung und um Falschlufmessungen auszuschließen war der Einbau eines zuluftseitigen, geeichten Messventilators notwendig (520 mm Messventilator der Firma Reventa). Das Wärmetauschermodul ist eine Neuentwicklung, basierend auf den früheren Modellen aus dem vergangenen Forschungsprojekt. Dies soll zuluftseitig geringere Druckverluste ermöglichen. Abluftseitig wurden in der Vergangenheit hohe Druckverluste in der Abluftreinigungsanlage und eine Überbelastung des Abluftventilators beobachtet. Modifikationen an der bestehenden Anlage versprechen Verbesserungen. Das Wärmetauschermodul sollte geringe Druckverluste verursachen. Ein Austausch des Abluftventilators gegen ein stärkeres Modell wurde ebenso durchgeführt.

Nach Fertigstellung der Umbaumaßnahmen erfolgte eine Technikeinschulung vor Ort, um neben einer ordnungsgemäßen Steuerung der Anlage regelmäßige Datenabgleiche und Transfers durchführen zu können. Diese erfolgte am Donnerstag, den 17. Februar 2022.

Folgende Parametereinstellungen wurden festgelegt:

- Regelcomputer: Steuerung Abteil 2/Firma Schönhammer bleibt gleich wie gehabt (Temperatureinstellung sowie Kontrolle Luftleistung), Luftleistung voreingestellt auf min 10% und max 100%
- Ventilatortausch von 1,5 kW auf 2,2 kW (stärkerer Ventilator wie in den anderen zwei Abteilen mit 3,0 kW verbaut hätte 1 Jahr Lieferzeit beansprucht). Luftleistung sollte sich durch stärkeren Ventilator jedoch deutlich verbessern und mögliche Verpilzungen des Tauschwäschers künftig ausgleichen.
- Die relative Feuchte wird nun am Display wiedergegeben, ist jedoch nicht als Regelparameter eingestellt.
- Die Parameter Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit sowie Luftleistung werden künftig gemessen jeweils vor/nach Tauschwäscher (Abluft + Zuluft)

4 fiktive Abteile wurden für die neuen Messwerte angelegt, wobei keine Einstellungen vor Ort durch das Personal nötig waren:

- Rohgas (Temp, rF, m<sup>3</sup>/h)
- Reingas (Temp, rF)
- Kalt (Temp, rF)
- Warm (Temp, rF, m<sup>3</sup>/h)

Tabelle 1 Werteabgleich Regelcomputer durch Messung mit testo-Fühler vor Ort

	SOLL	IST
Abteil 2	20,1°C 46% rF	20,0°C 38,0% rF
Rohgas	14,5°C 43,0% rF	16,3°C 46,6% rF
Reingas	10,4°C 100% rF	11,9°C 95,0% rF
Kaltluft	12,2°C 39,0% rF	12,6°C 51,7% rF
Warmluft	11,2°C 45,0% rF	11,9°C 50,4% rF

Eine Angleichung der Parameter auf die Sollwerte wurde vorgenommen.



Abbildung 5 Datalogger „Testo 175H1“ zur Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit in den Abteilen

Ein Einbau eines neuen Zulüfters war erforderlich, um die bewegte, angewärmte Luft vom Tauscher in den Dachraum (neue Klappe unter Vordach) zu verbringen.

Stellung Winter: Ventilator aktiv, Klappe geschlossen

Stellung Übergangszeit: Ventilator aktiv, Klappe geöffnet

Stellung Sommer: Ventilator deaktiviert, Klappe geöffnet (Regelung automatisch)

Messventilatoren waren verbaut für die Bereiche Rohgas und Warmluft.

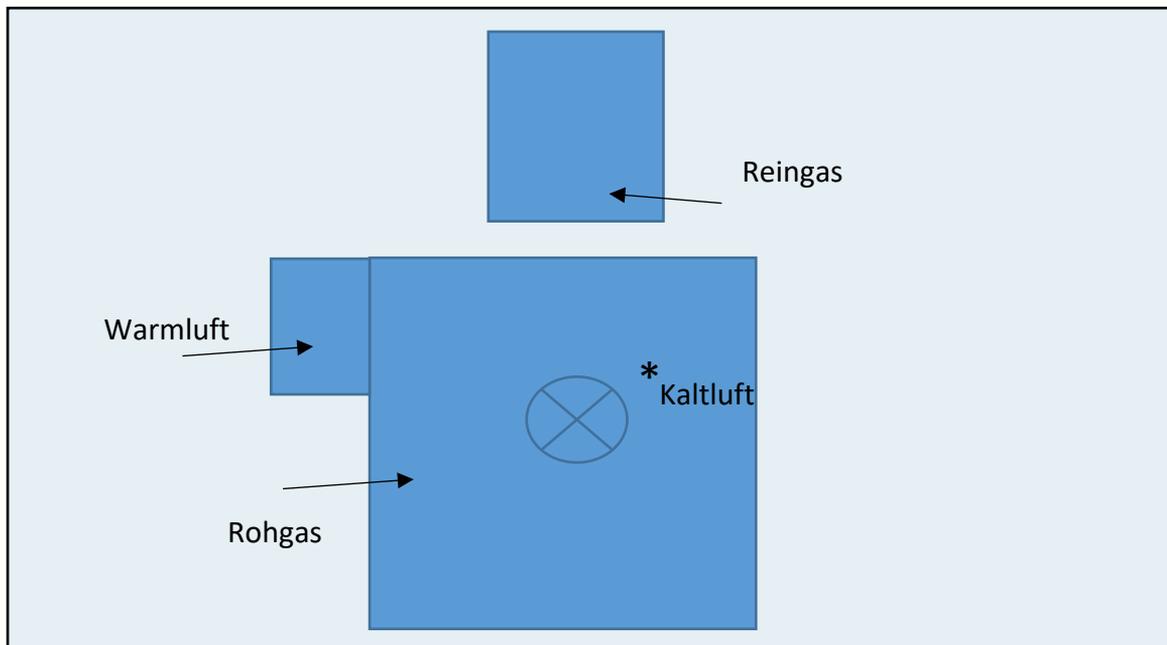


Abbildung 6 Skizze Fühlerpositionen in Front des Tauschwäschers

Der Wassertemperaturfühler am Tauschwäscher steht in Verbindung mit der zugeführten Lufttemperatur. Da die Wassertemperatur einen Einfluss auf die Biologie (Schnittpunkt 20°C) der Reinigungsanlage hat, wird hier künftig versucht, aufgrund der Wassertemperatur positiv einzuwirken.

Zuluft- und Abluftventilator sollen weiters in etwa Gleichdruck im Abteil ermöglichen (Kontrolle über Nachmessen oder Test über Öffnen und Schließen der Abteiltür):

- Soll-Luftleistung ABLUFT 14.-15.000 m<sup>3</sup>/h (Beobachten im Sommer, Rückgang der Leistung bedeutet ev. Verpilzung)
- Soll-Luftleistung ZULUFT 4.000 m<sup>3</sup>/h (ideal bei rund ¼ der Abluftmenge)

Über ein Webportal der Firma Schönhammer erfolgte die Speicherung und Auswertung der Messdaten ortsunabhängig. Über eine Bildschirmansicht vorab konnte eine Live-Beobachtung der aufgezeichneten Daten, Erstellung von Diagrammen, Datenzusammenfassung und weiteres erfolgen.

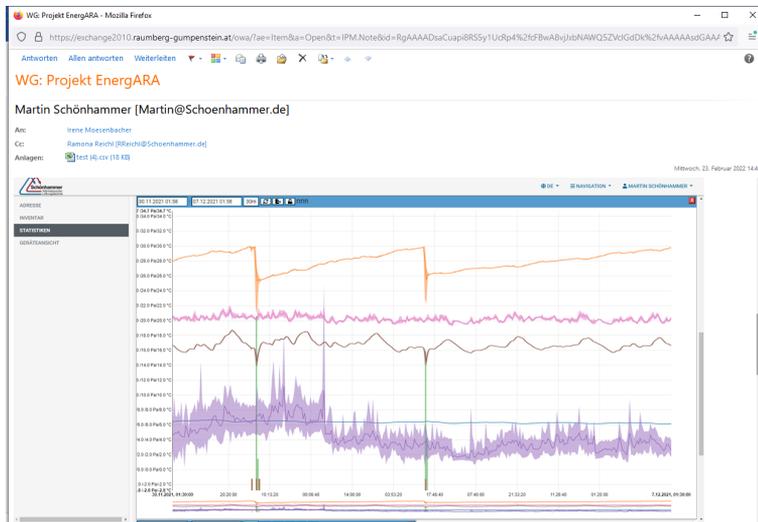


Abbildung 7 Datenansicht in der Online-Version (Firma Schönhammer)

Die Zeitbereiche zwischen den einzelnen Datenpunkten waren auswählbar (z.B. 5 Min-Mittelwert, 15 Min, 30 Min bis 1 Wochenmittelwert). Die booleschen Variablen (z.B. Frischwasserventil Ein/Aus) wurden in Prozent der gewählten Zeiteinheit ausgegeben. Beim csv-Export war auswählbar, welcher Separator verwendet werden soll (Semikolon, Doppelpunkt, Tab).

## Kosten

Die Umbaumaßnahmen sowie die Installation der zusätzlich notwendigen Technik wurden zur Gänze durch den Kostenplan der Uni Bonn sowie die Firma Schönhammer abgedeckt. Laufende Kosten durch Anlagenbetreuung und Messdatenhandling wurden im Rahmen des hausintern beantragten Projektes abgewickelt.

## Zeitplan

Der Beginn der Umbaumaßnahmen am Versuchsstall wurde mit einer Dauer von ca. 1,5 Monaten auf Mitte Dezember 2021 datiert, sodass als frühester Installtermin und Beginn der Messungen der 01.02.2022 geplant wurde.

Von Seiten der Firma Schönhammer konnten erste Vorinstallationen (z. B. Installation der Elektrik, Sensoren) bereits im Herbst 2021 durchgeführt werden. Der finale Einbau des Wärmetauschermoduls und der notwendigen Zuluftführung war erst im Dezember möglich, um die laufenden Projekte des Mastschweineforschungstalles nicht zu beeinflussen.

Durch die Umbaumaßnahmen am Versuchstall verkürzte sich die Messperiode in den Wintermonaten. Da für eine energetische Bewertung des Tauschwäschers besonders die Winterphase relevant war, wurde von Seiten der Universität Bonn eine ausgabenneutrale Projektverlängerung beantragt, um die Messungen in die nächste Kälteperiode auszudehnen.

# Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass der Einsatz rekuperativer Energiesysteme in der landwirtschaftlichen Tierhaltung sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bringt und auch im Hinblick auf das Tierwohl positive Effekte zu verzeichnen sind. Abluftreinigungsanlagen tragen zur Rückgewinnung thermischer Energie bei. Diese Anlagentechniken verdeutlichen zudem, dass der kombinierte Betrieb umwelt- (Ammoniak, Geruch und Partikel) und klimarelevante Emissionen (CO<sub>2</sub>) der Schweinehaltung in zwangsbelüfteten Ställen reduzieren kann (Lengling et.al., 2023).

Nachfolgend finden sich Auszüge aus dem Ergebnisteil des Abschlussberichtes der Uni Bonn (Lengling et.al., 2023):

## **Betriebsparameter und Auslastung des Tauschwäschers**

*„Abbildung 8 zeigt die monatliche Auslastung (Voll- und Teillast) des Tauschwäschers über die Zeiträume beider Mastdurchgänge in Prozent. Wie aus der Abbildung hervorgeht, lag die Auslastung in den Monaten März und April (MD 1) sowie September, November und Dezember (MD 2) bei über 90 %. In den Monaten Mai bis Juli lag die Auslastung bei maximal 40 % und sank im Monat Juni auf ein Minimum von nur 3 %. Im Gesamtmittel lag die Auslastung des Tauschwäschers über den Gesamtzeitraum beider Mastdurchgänge bei 77,1 %. Der Anteil der Messintervalle, in denen eine tatsächliche Heizleistung nachgewiesen wurde, war in MD 1 jedoch deutlich niedriger als in MD 2 (47,8 % bzw. 89,3 %). Die Temperaturverläufe in der Grafik zeigen die Monate März/April bzw. September/Okttober als typische „Übergangszeiten“ mit sowohl kalten Temperaturen um 0 °C als auch sehr warmen Temperaturen von bis über 25 °C. Bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen Frisch- und Abluft kann mehr thermische Energie übertragen werden, wodurch sich in den kälteren Monaten der größte Nutzen zeigt. Doch auch bei im Mittel warmen, zweistelligen Temperaturen zeigte der Tauschwäscher in den Untersuchungen Leistung. Zu beachten gilt, dass die Steuerung des Tauschwäschers während der Versuche so eingestellt war, dass ab einer Temperatur von 23 °C die Frischluft vollständig über die zusätzlichen Dachraumklappen in den Stall zugeführt wurde und der Tauschwäscher somit umgangen wurde (Ausnahme Zeitraum: 04.10.2022 – 08.10.2022;).*

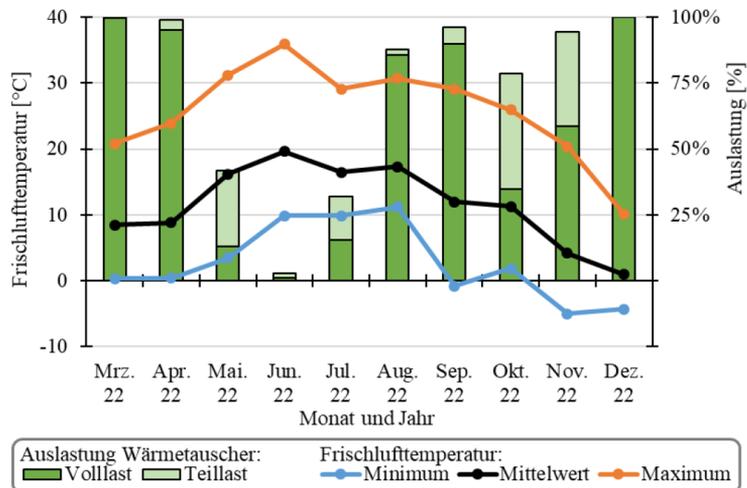


Abbildung 8 Auslastung des Tauschwäschers (Voll- und Teillast) [%] und Frischlufttemperaturen (Minimum-, Maximum- und Monatsmittelwerte) [°C] auf monatlicher Basis während MD 1 (15.03.2022 – 05.07.2022) und MD 2 (26.08.2022 – 11.12.2022). ©Deeken

Abbildung 9 zeigt den Temperaturverlauf [°C] für die Frischluft, Zuluft, Abluft (Rohgas), Fortluft (Reingas) sowie für die Abteilinnentemperatur über einen Zeitraum von drei Tagen (29. – 31.05.2022) im MD 1. Die maximale Temperaturänderung [K] zwischen Frischluft und Zuluft betrug an allen drei Tagen ca. 10 K, das heißt die Zuluft konnte durch Einsatz des Tauschwäschers um 10 K erwärmt werden, bevor sie dem Stallgebäude zugeführt wurde. Der Zusammenhang der Amplitudendämpfung wurde bereits erläutert. Die Temperaturschwankung der Frischluft war am 31. Mai mit 20,5 K am deutlichsten ausgeprägt (Minimaltemperatur 4,7 °C; Maximaltemperatur 25,2 °C). Die Temperaturschwankung der Zuluft an diesem Tag betrug dagegen nur 7,4 K. Folglich konnte die Amplitude an diesem Tag um ca. 64 % gedämpft werden. Die Vorteile einer konstanteren Zulufttemperatur wurden zuvor bereits dargelegt. Diese Vorteile können aufgrund der Ergebnisse auch für den Einsatz des Tauschwäschers angenommen werden. Die mittlere Dämpfung für den gesamten Zeitraum, in dem der Tauschwäscher aktiv und heizend war, lag für MD 1 bei -19,9 % und für MD 2 bei -22,0 %.

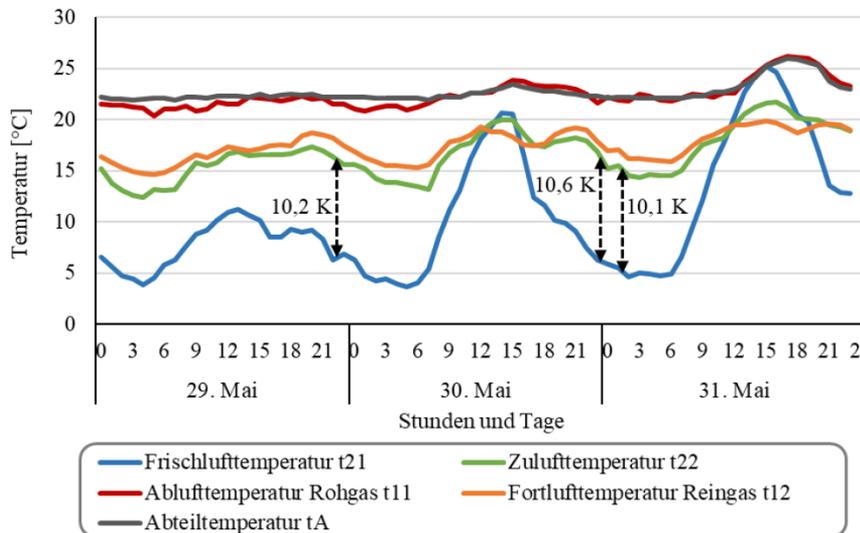


Abbildung 9 Verlauf der Frischluft- ( $t_{21}$ ), Zuluft- ( $t_{22}$ ), Abluft- ( $t_{11}$ ), Fortluft- ( $t_{12}$ ) und Abteilinnentemperatur ( $t_A$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ] im Zeitraum 29. bis 31. Mai 2022 sowie die maximalen Temperaturdifferenzen zwischen Zu- und Frischluft [ $\text{K}$ ] an den jeweiligen Tagen. ©Lengling

## Heizleistung, rückgewonnene thermische Energie und Leistungszahl (COP)

Tabelle 2 zeigt die minimalen, mittleren und maximalen monatlichen Temperaturprofile [ $^{\circ}\text{C}$ ] der Außen-, Frisch- und Zuluft für MD 1 und MD 2 sowie die Heizleistung [ $\text{kW}$ ]. Die Tabelle enthält nur die 15-minütigen Messintervalle, in denen der Tauschwäscher in Betrieb war, mit Ausnahme der Außentemperaturwerte, die für den gesamten Zeitraum angegeben sind.

Im ersten Mastdurchgang lag die Frischlufttemperatur im Durchschnitt bei  $8,8^{\circ}\text{C}$  und die Zulufttemperatur bei  $12,0^{\circ}\text{C}$ . Damit wurde die Frischluft beim Durchströmen des Tauschwäschers um durchschnittlich  $3,2\text{ K}$  erwärmt, was einer mittleren Heizleistung von  $2,2\text{ kW}$  entspricht. Die maximale Heizleistung betrug  $6,3\text{ kW}$  bei einer Frischlufttemperatur von  $7,0^{\circ}\text{C}$  und einer erreichten Zulufttemperatur von  $11,5^{\circ}\text{C}$  (Zuluftvolumenstrom von  $4070,9\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ ). Die Temperaturdifferenz betrug somit  $4,5\text{ K}$ . Im MD 2 konnte eine maximale Heizleistung von  $9,7\text{ kW}$  erzielt werden bei einer Temperaturdifferenz von  $10,1\text{ K}$  und einem Zuluftvolumenstrom von  $2776,8\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ . Die mittlere Frischlufttemperatur in MD 2 lag bei  $8,6^{\circ}\text{C}$  und die mittlere Zulufttemperatur bei  $13,9^{\circ}\text{C}$ .

Tabelle 2 Außen-, Frisch- und Zulufttemperaturen sowie die Heizleistung des Tauschwäschers (Minimal-, Maximal- und Monatsmittelwerte) auf Monatsbasis für die Mastdurchgänge 1 (15. März – 5. Juli 2022) und 2 (26. August – 11. Dezember 2022).

Mastdurchgang	Außenluft Temp. [°C] <sup>A</sup>			Frischluf Temp. [°C] <sup>B</sup>			Zuluft Temp. [°C] <sup>B</sup>			Heizleistung [kW] <sup>B</sup>		
	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.
<b>MD 1*</b>												
März	-2,2	6,6	18,7	0,3	7,7	18,4	1,9	11,1	18,6	0,00	1,8	3,6
April	-0,8	8,0	23,1	0,4	8,5	19,8	5,7	11,6	20,1	0,00	2,7	6,3
Mai	4,2	15,7	29,2	3,5	10,5	18,6	7,8	14,2	19,4	0,00	1,7	5,9
Juni	11,4	19,6	33,6	10,6	13,3	16,3	15,3	17,2	19,9	0,01	1,8	3,7
Juli	12,2	19,0	26,9	9,9	13,1	18,2	14,4	16,9	19,7	0,00	1,9	4,0
<b>Gesamt</b>	-2,2	13,0	33,6	0,3	8,8	19,8	1,9	12,0	20,1	0,00	2,2	6,3
<b>MD 2**</b>												
August	14,1	18,3	26,6	11,2	17,2	30,7	16,5	19,6	24,4	-2,6	2,3	3,8
September	2,0	13,0	25,5	-0,8	11,8	27,7	8,2	15,9	23,4	-3,8	3,4	7,4
Oktober	4,4	11,8	21,7	1,9	11,1	25,9	9,8	15,6	20,5	-4,9	2,5	7,4
November	-1,7	5,4	17,6	-5,0	4,1	20,4	4,7	11,1	18,2	-0,3	5,3	9,7
Dezember	-2,9	2,5	10,4	-4,3	0,9	10,1	5,7	8,5	13,2	1,1	5,5	7,8
<b>Gesamt</b>	-2,9	9,7	26,6	-5,0	8,6	30,7	4,7	13,9	24,4	-4,9	3,9	9,7

<sup>A</sup> Werte (basierend auf 15-minütigen Messintervallen) unabhängig davon, ob der Tauschwäscher in Betrieb war oder nicht.

<sup>B</sup> Werte (basierend auf 15-minütigen Messintervallen) während der Tauschwäscher heizend in Betrieb war.

\* MD 1: 15. März – 5. Juli 2022 (113 Masttage berücksichtigt).

\*\* MD 2: 26. August – 11. Dezember 2022 (108 Masttage berücksichtigt).

Abbildung 10 zeigt die Korrelation zwischen der Heiz- bzw. Kühlleistung [kW] und der Frischlufttemperatur [°C] während MD 2 für die Messintervalle, in denen der Tauschwäscher aktiv war, unabhängig davon ob geheizt oder gekühlt wurde. Wie auch bereits bei den beiden anderen Systemen zeigt sich ein Trend, dass die höchsten Heizleistungen bei niedrigen Frischlufttemperaturen erreicht werden. Bei einer mittleren Frischlufttemperatur von 8,6 °C zeigte sich im Mittel eine Heizleistung von 3,9 kW. Aufgrund der deutlich geringeren Dimensionierung und signifikant geringerer Luftvolumenströme, die durch den Tauschwäscher geleitet wurden, lassen sich diese Werte jedoch nicht ohne weiteres mit den Werten der anderen Anlagensysteme vergleichen. Wie der Abbildung auch zu entnehmen ist, konnten ab einer Frischlufttemperatur von 14,0 °C Kühleffekte durch den Tauschwäscher erreicht werden bis hin zu einer maximalen Kühlleistung von -4,9 kW.

Wie bereits geschildert wurde der Tauschwäscher standardmäßig ab einer Außentemperatur von 23 °C vollständig umgangen und die Frischluft komplett über die Dachraumklappen in den Stall geleitet. Dementsprechend konnten unter den Standardeinstellungen keine Aussagen zur Leistung des Tauschwäschers bei Temperaturen über 23 °C getroffen werden. Um dennoch eine konkretere Aussage bezüglich der Kühleffekte an warmen Sommertagen treffen zu können, wurden die Standardeinstellungen im MD 2 für einen Zeitraum von vier Tagen (4. Oktober – 8. Oktober 2022) so verändert, dass der Tauschwäscher auch bei Außentemperaturen über 23 °C in Betrieb blieb.

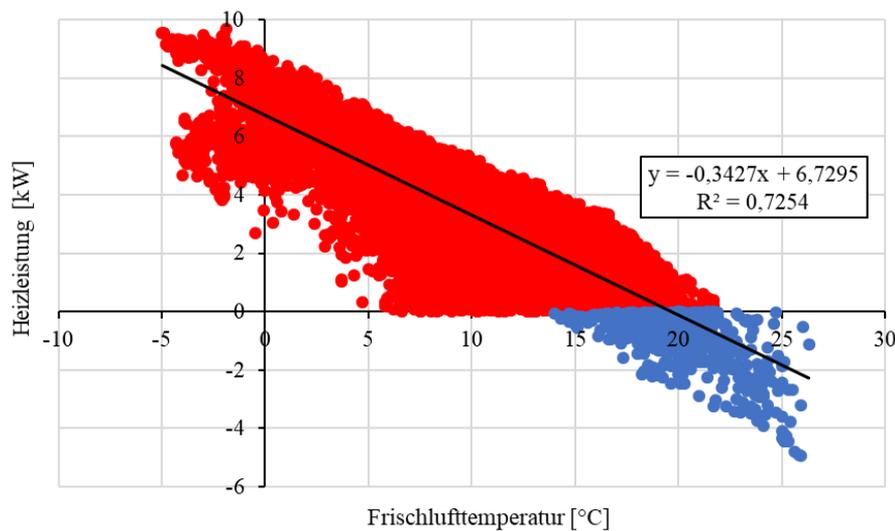


Abbildung 10 Korrelation zwischen der Heiz- bzw. Kühlleistung [kW] (rot bzw. blau) des Tauschwäschers und der Frischlufttemperatur [°C] während des Betriebs des Tauschwäschers in MD 2, unabhängig davon, ob der Tauschwäscher die Frischluft erwärmte oder abkühlte. ©Deeken

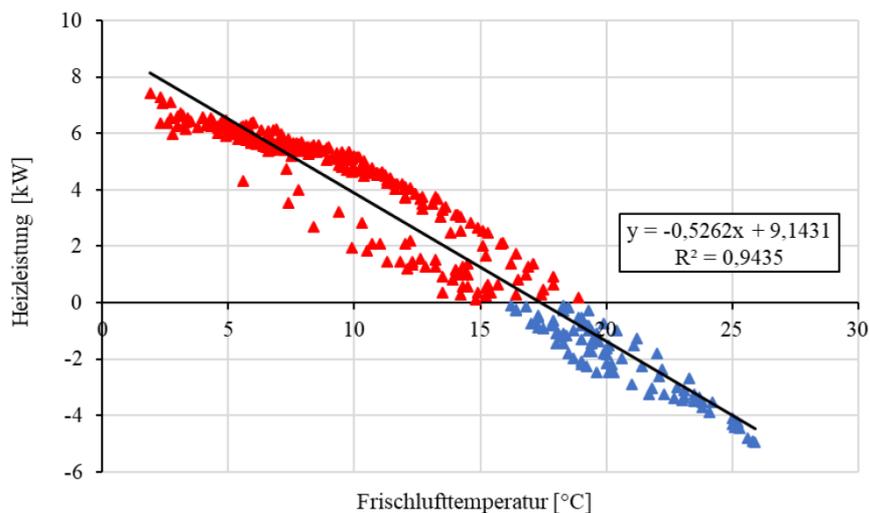


Abbildung 11 Korrelation der Frischlufttemperatur [°C] und der Heiz- bzw. Kühlleistung [kW] für den Zeitraum vom 04.10.2022 bis 08.10.2022, in dem der Tauschwäscher bei Außentemperaturen von über 23 °C nicht (wie sonst standardmäßig) umgangen wurde, sondern in Betrieb blieb. ©Deeken

Abbildung 11 zeigt die Korrelation zwischen der Frischlufttemperatur [°C] und der Heiz- bzw. Kühlleistung [kW] für den genannten Zeitraum. Wie bereits im vorherigen Absatz beschrieben, konnten so bei einer maximalen Frischlufttemperatur von 25,9 °C maximale Kühlleistungen von -4,9 kW erreicht werden. Besonders im Zusammenhang mit der Schweinemast,

wie sie in dieser Fallstudie untersucht wurde, sind solche Kühleffekte interessant, da Mast-  
schweine (18 – 24 °C im Rein-Raus-Verfahren; DIN 18910 2017) deutlich niedrigere Wohl-  
fühl- bzw. Solltemperaturen haben als Aufzuchtferkel (30 – 20 °C; DIN 18910 2017). Vor al-  
lem in warmen Sommermonaten kommen die Masttiere häufig an ihre natürlichen Tempe-  
raturtoleranzen und es besteht die Gefahr des Hitzestresses. Durch ein Abkühlen der Zuluft  
mithilfe eines Tauschwäschers kann dieser Gefahr im Sommer entgegengewirkt werden. Der  
bereits beschriebene positive Effekt für das Tierwohl durch bessere Lüftung und dadurch  
besseres Stallklima im Winter, zeigt sich somit in anderer Weise im Sommer durch reduzier-  
ten Hitzestress. Hierbei gilt jedoch zu berücksichtigen, dass der Tauschwäscher bzw. Luft-  
Luft-Wärmetauscher im Allgemeinen in ihren Dimensionen meist für Winterluftraten kon-  
zeptioniert ist, bspw. für ein Drittel der maximalen Sommerluftrate. Folglich kann bei hohen  
Außentemperaturen und benötigten Luftraten nur ein Teil der warmen Frischluft abgekühlt  
werden, bei gleichzeitig hohen Strömungswiderständen der Luftmassen im Tauschwäscher.  
Zu diesem Zeitpunkt kann keine fundierte Aussage getroffen werden, in wie weit diese Küh-  
leffekte der Teilstrombehandlung die Temperaturen der gesamten Zuluft bzw. Raumluft in  
den Abteilen tatsächlich reduzieren kann. Etwaige Anpassungen der Tauschwäscherdimen-  
sionierung könnten notwendig sein, sollten Kühleffekte in den Sommermonaten langfristig  
genutzt werden.

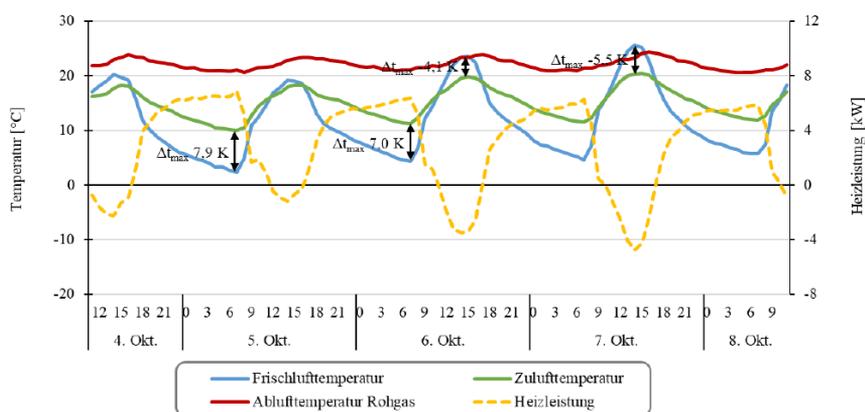


Abbildung 12 Temperaturverläufe [°C], maximale Temperaturänderung zwischen Frisch-  
und Zuluft pro Tag [K] und der Verlauf der Heiz-/Kühlleistung [kW] für den Zeitraum vom  
04.10.2022 bis 08.10.2022, in dem der Tauschwäscher auch bei Außentemperaturen von  
über 23 °C in Betrieb war. ©Lengling

Abbildung 12 zeigt die Temperaturverläufe [°C] sowie den Verlauf der Heiz-/Kühlleistung  
[kW] für den genannten Zeitraum im Oktober. Auch hier lassen sich sehr deutlich anhand  
der gegenläufig verlaufenden Kurven die möglichen Potentiale sowohl bei hohen als auch

bei niedrigeren Temperaturen erkennen. Gleichzeitig sei auch hier noch einmal auf die deutliche Absenkung der Amplitude zwischen Frisch- und Zuluft hingewiesen, die zu einem konstanteren Stallklima und damit dem Tierwohl beitragen kann. Diese lag an den vier Tagen zwischen -51 % und -59 %.

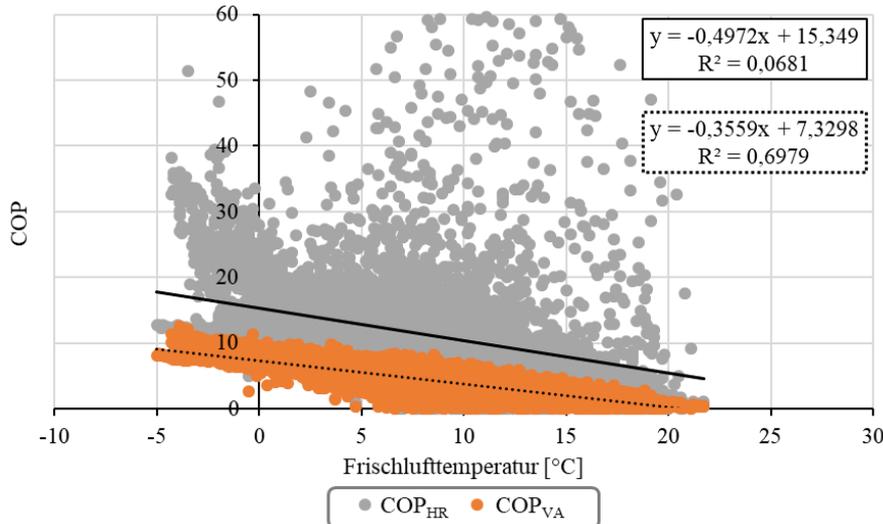


Abbildung 13 Korrelation der Leistungszahlen (COPs) des Tauschwäschers und der Frischlufttemperatur [°C] in den Messintervallen von MD 2, in denen der Tauschwäscher geheizt hat. COPVA berechnet sich dabei unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des Gesamtenergiekonsums des Tauschwäschers (Lüftung plus Abluftreinigung). COPHR berechnet sich unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des zusätzlichen Energieaufwands für die Wärmerückgewinnung (Zuluftventilator des Tauschwäschers). Für COPHR ist hier nur ein Ausschnitt der Daten gezeigt, 98 der 8898 (1,1 %) Messintervalle sind nicht gezeigt, da es sich um praxisirrelevante Ausreißer handelt (Maximalwert 137,4). ©Deeken

Abbildung 13 zeigt die Leistungszahlen für die Bezugsgrößen elektrischer Mehraufwand für den Betrieb des Tauschwäschers ( $COP_{HR,MD2}$ ; Stromkonsum Zuluftventilator) und Gesamtstromkonsum des Tauschwäschers ( $COP_{VA,MD2}$ ; Lüftungsanlage plus Abluftreinigung) in den einzelnen Messintervallen mit heizendem Tauschwäscher während MD 2. Einzelne der kalkulierten Werte (hohe Ausreißer) wurden hierbei ausgeschlossen und nicht abgebildet. Diese Ausreißer ergeben sich in einzelnen Intervallen, wenn bspw. sehr niedrige Stromaufnahmen der Ventilatoren vorliegen sollen. Da es sich hierbei um einige wenige unrealistische Intervalle handelt, kann von Ausreißern ausgegangen werden. Auch für diese Anlage lässt sich generell sagen, dass die Leistungszahlen umso größer sind, je niedriger die Frischlufttemperatur ist. Mit zunehmender Frischlufttemperatur und Heizleistung folgt hier der  $COP_{VA,MD2}$  einer linearen Korrelation.

Für den elektrischen Mehraufwand für den Betrieb des Tauschwäschers wurde einzig der Stromkonsum des Zuluftventilators berücksichtigt. Die erhöhten Energiemengen des Abluftventilators im Zuge der steigenden Strömungswiderstände nach dem Einbau des Wärmetauschermoduls in der ARA wurden nicht quantifiziert und berücksichtigt (siehe Kapitel 2.3.3). Aufgrund technischer Probleme konnten im MD 1 keine Stromzählerdaten des Zuluftventilators aufgezeichnet werden. Die Daten wurden auf Basis der Daten des MD 2 abgeleitet und sind dem entsprechend zu interpretieren. So ist die Varianz der Leistungszahlen in MD 1 höher, da der kalkulierte Stromkonsum des Zuluftventilators zu einigen Ausreißerwerten von  $COP_{HR,MD1}$  führte.

Bezogen auf den elektrischen Mehraufwand für den Betrieb des Tauschwäschers liegt der  $COP_{HR,MD1}$  im ersten Mastdurchgang bei  $21,4 \pm 60,7$  wenn der Tauschwäscher die Frischluft tatsächlich erwärmt. Im MD 2 lag der  $COP_{HR,MD2}$  im Mittel bei  $11,7 \pm 10,3$ . Verlässlicher sind die Werte von  $COP_{VA,MD1}$  mit  $2,7 \pm 1,8$  und  $COP_{VA,MD2}$  mit  $4,6 \pm 2,3$ . Wie bereits in den vorherigen Kapiteln angesprochen, konnten Krommweh et al. (2021b) in ihren Untersuchungen an einem baulich anderen Tauschwäscher  $COP_{VA}$  Leistungszahlen von 7,1 bis 11,5 feststellen. Hierbei handelt es sich jedoch um Leistungszahlen auf Basis der kumulierten Energiemengen, die über einen bestimmten Zeitraum eingebracht bzw. rückgewonnen wurden und nicht um Werte einzelner Messintervalle. Vergleicht man also die Gesamtmenge der rückgewonnenen, thermischen Energie in MD 1 (interpolierte Daten, siehe Tabelle 10) mit der eingebrachten elektrischen Energie zum Betrieb der Ventilation und Abluftreinigung ergibt sich ein Wert von  $COP_{VA,MD1,kummuliert} = 0,9$  ( $COP_{VA,MD2,kummuliert} = 4,2$ ) bzw. für den  $COP_{HR,MD1,kummuliert} = 8,8$  ( $COP_{HR,MD2,kummuliert} = 8,0$ ). Die hier berechneten Werte  $COP_{VA}$  sind folglich kleiner und zeugen von einer niedrigeren Energieeffizienz des hier verwendeten Wärmetauschermoduls. Zu beachten ist hierbei die variierende Dimensionierung und Heizleistung der Anlage sowie der unterschiedliche Aufbau des verbauten Tauschermoduls. So zeigten sich bei Krommweh et al. (2021b) eine maximale Heizleistung von 19,1 kW, eine mittlere Heizleistung von 9,3 kW sowie ein mittlerer Zuluftmassenstrom von 4.809 kg h<sup>-1</sup> (zum Vergleich in MD 1: 2.878 kg h<sup>-1</sup>, in MD 2: 2.602 kg h<sup>-1</sup>). Wie bereits erläutert wurde, ist auch hier der Vergleich anhand der COP zwischen verschiedenen Studien nur bedingt möglich, da Faktoren wie die aufgezählten Unterschiede im Studiendesign die Versuchsbedingungen und die berechneten COPs beeinflussen.

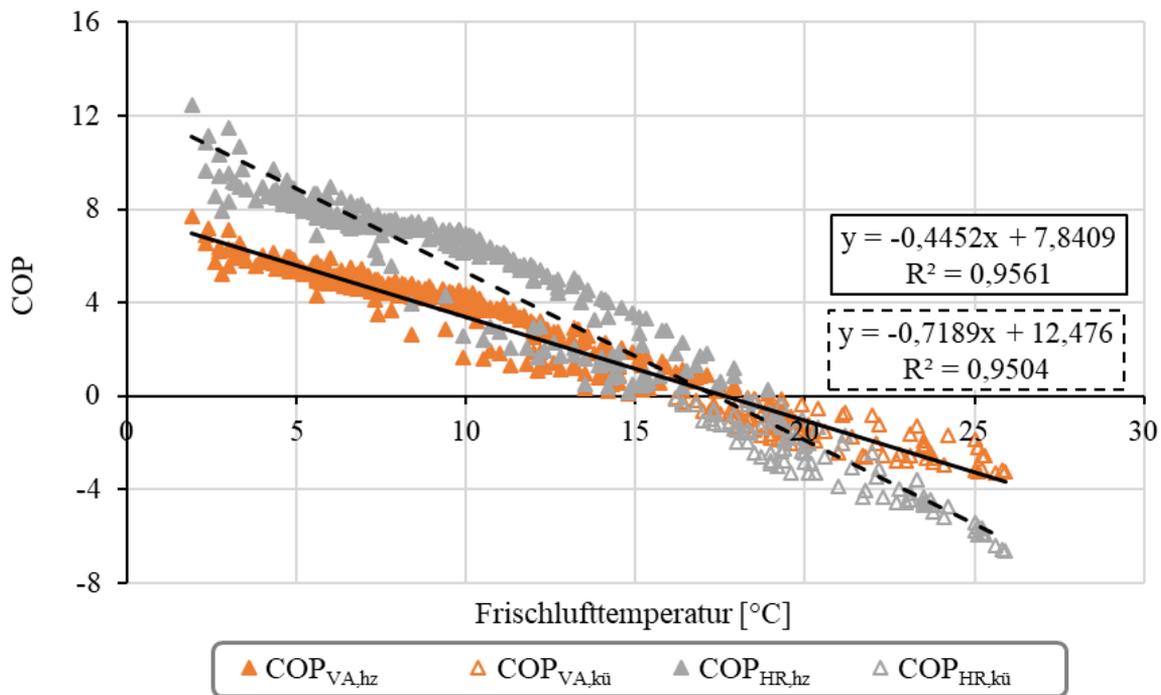


Abbildung 14 Korrelation der Leistungszahlen (COPs) des Tauschwäschers und der Frischlufttemperatur [°C] in den Messintervallen vom 4. bis zum 8. Oktober 2022.  $COP_{VA,hz}$  berechnet sich dabei unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des Gesamtenergiekonsums des Tauschwäschers (Lüftung plus Abluftreinigung) in Intervallen mit Heizleistung;  $COP_{VA,kü}$  in Intervallen mit Kühlleistung.  $COP_{HR,hz}$  berechnet sich unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des zusätzlichen Energieaufwands für die Wärmerückgewinnung (Zuluftventilator des Tauschwäschers) in Intervallen mit Heizleistung;  $COP_{HR,kü}$  in Intervallen mit Kühlleistung. ©Deeken“

### Der vollständige Forschungsbericht der Uni Bonn

**Nr. 197** Nutzung der regenerativen Energiequelle „Abluftreinigungsanlage“ für das Kühlen und Heizen von Tierställen – Fallstudienuntersuchungen (Lengling et.al., 2023)

ist online abrufbar unter folgendem Link:

<https://hdl.handle.net/20.500.11811/10857>

# Diskussion

Die Durchsicht der aufgezeichneten Messdaten zeigte hohe Tauschwäscherleistungen vor allem in den Monaten März und April 2022, mit einer Minderung im Mai sowie geringeren Leistungswerten in Juni und Juli (entsprechend steigendem Tiergewicht). Wie vorhergesagt, war die Wärmerückgewinnung im Sommer mäßig, interessante Zeiträume waren aufgrund der bereits durchgeführten Fallstudien erwartungsgemäß die Wintermonate.

Die Funktionalität der neuen Anlage war in der Übergangszeit somit als sehr gut zu bezeichnen – im Vergleich zu bestehenden Untersuchungen gäbe es jedoch Potential, auch im Sommer höhere Leistungen abrufen zu können.

In diesem Zusammenhang wurde auf die bisherigen Systemeinstellungen des Tauschwäschers an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein eingegangen. Bei den bisherigen Einstellungen wurde ein Drittel der Gesamtluftrate durch den Tauschwäscher geführt und ab einer Luftrate von 35 % zusätzlich die äußere Zuluftklappe geöffnet. Ab einer Außentemperatur von 23°C wurde die gesamte Luft am Tauschwäscher vorbeigeführt und die Zuluft ausschließlich durch die Zuluftklappe in den Stall geleitet. Dies hatte zur Folge, dass der Tauschwäscher bei warmen Temperaturen vollständig umgangen wurde und keine Kühleffekte ermittelt werden konnten.

Eine Anpassung dieser Einstellungen sollte künftig auch Kühleffekte nachweisbar machen, vor allem bezogen auf den Hintergrund, dass die Mastabteile 1 und 3 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein um Coolpads ergänzt wurden.

Regelungstechnisch sollte eine Kühlung möglich sein mit einem Maximum von 50% der Sommerluftrate. Nach derzeitiger Auslegung der Anlage wäre eine Teilstrombehandlung möglich ab 25°C – 30°C Abteilstemperatur. Bedenken bezüglich eines Überkühleffektes mit steigenden Waschwassertemperaturen muss beobachtet werden.

Relative starke Temperaturunterschiede zwischen der Abteilstemperatur und der Ablufttemperatur des Rohgases wurden im Versuchsverlauf erkannt, welche durch eine zusätzliche Isolierung des Abluftkamins vermindert und somit ein höherer Temperaturwir-

kungsgrad im Tauschwäscher erreicht werden könnte. Anpassungen am Tauschwäscher sowie der Temperatursensoren durch die Fa. Schönhammer glichen diesen Mangel aus und reduzierten das Erfordernis der nachträglichen Dämmung.

Zur Verbesserung der Effektivität (Erhöhung der Ablufttemperatur) war eine nachträgliche Isolierung des Abluftrohres zwischen Außenwand und Tauschwäscher mit 5-10cm Isolierung (vgl. Isolationsmaterial Heiztechnik) nötig. Der Wäscher ist aus Hohlkammerpaneelen (U-Wert 2) gefertigt. Hier könnte man die Isolierung mit Isolierplatten verbessern, was nachträglich jedoch sehr schwer möglich ist. Die ARA war ursprünglich jedoch nicht für die jetzige Funktion angedacht.

Am Aufstellort der ARA ist keine Bodenplatte vorhanden, nur Mutterboden/Vliesschicht. Bei neuen Ställen sollte auch hier an eine Isolierung gedacht werden.

Aufgrund der Zuluftklappenregelung über die Luftrate ergab sich eine hohe Anpassungsaktivität des Systems (andauernde Klappenöffnung/-schließung).

Systemeinstellung:

- Öffnung ab 1/3 Luftrate, welche abteilseitig angefordert wird
- ab 2/3 Luftrate reiner Unterdruckbetrieb ohne Wärmerückgewinnung (keine Temperaturregelung)

Übliche Praxisbedingungen sollen in diesem Zusammenhang untersucht und widerspiegelt werden. Ein reiner Winterdurchgang läge vorherigen Berechnungen zufolge bei etwa 90% Tauschwäscherleistung und höher durch niedrigere Außentemperaturwerte.

Im Vergleich zu Erkenntnissen aus der Ferkelaufzucht war die Tauschwäscherleistung an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein im Mastschweinebereich geringer. Hier sind jedoch unterschiedliche Versuchsbedingungen (Stallgröße, Produktion, Luftleistung etc.) als grundlegend verschieden zu bezeichnen, sodass ein Vergleich hier nur sehr eingeschränkt möglich war. Zudem ist der Temperaturanspruch von Ferkeln different zu dem von Mastschweinen und ebenso ist der Einfluss der Anlagengestaltung bedeutend (Auslegung/Kapazität der Technik an der HBLFA entspricht einer Kleinanlage).

Um mögliche Verpilzungen in der ARA (Tropfenabscheider, Füllkörper) zu verhindern, um ein gleiches Verhältnis von Zu- und Abluft zu erreichen, ist eine regelmäßige Behandlung nötig.

Empfohlene Gaben (Bsp. Folicur):

- 1-2 Monate nach Einstellen – Folicur einbringen
- Nach 4 Wochen noch eine Gabe – Folicur einbringen

Minimaldosierung (etwa 100ml – Empfehlung am Mittel einhalten)

**Das verbaute Tauschermodul ist eine Nachrüstlösung, welche in diesem Zusammenhang vor allem für die Praxis mit Bestandanlagen einen sehr hohen Wert hat.**

Die im Modul verwendeten Kunststoffröhren mit einer inneren Dichtheit von 95% sind insgesamt weniger wartungsanfällig und sehr gut zu reinigen. Die Leistung des Moduls im Sinne der Wärmeübertragung ist aufgrund der Rippenrohrtechnik voraussichtlich leicht verringert, die anfallenden Materialkosten jedoch ähnlich zu anderen Systemen. Statt Rippenrohren gibt es die Möglichkeit, auf glatte Materialien zurückzugreifen.

Die Innovation des Systems vor allem für größere Stallanlagen für Aufzucht und Mast ist im Hinblick auf ökonomische Aus- und Umweltwirkungen sehr positiv und in diesem Sinne in künftige Planungen einzubeziehen.

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 Werteabgleich Regelcomputer durch Messung mit testo-Fühler vor Ort .....	13
<i>Tabelle 2 Außen-, Frisch- und Zulufttemperaturen sowie die Heizleistung des Tauschwäschers (Minimal-, Maximal- und Monatsmittelwerte) auf Monatsbasis für die Mastdurchgänge 1 (15. März – 5. Juli 2022) und 2 (26. August – 11. Dezember 2022).....</i>	<i>20</i>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Forschungsstall für Mastschweine an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....	8
Abbildung 2 Umgebaute Tauschwäscheranlage der Firma Schönhammer am Standort Gumpenstein .....	9
Abbildung 3 Tauschwäscheranlage HBLFA Rev0.2.....	9
Abbildung 4 Konventionelles Stallabteil der HBLFA für 138 Mastschweine.....	10
Abbildung 5 Datalogger „Testo 175H1“ zur Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit in den Abteilen.....	13
Abbildung 6 Skizze Fühlerpositionen in Front des Tauschwäschers.....	14
Abbildung 7 Datenansicht in der Online-Version (Firma Schönhammer).....	15
Abbildung 8 Auslastung des Tauschwäschers (Voll- und Teillast) [%] und Frischlufttemperaturen (Minimum-, Maximum- und Monatsmittelwerte) [°C] auf monatlicher Basis während MD 1 (15.03.2022 – 05.07.2022) und MD 2 (26.08.2022 – 11.12.2022). ©Deeken .....	18
Abbildung 9 Verlauf der Frischluft- (t <sub>21</sub> ), Zuluft- (t <sub>22</sub> ), Abluft- (t <sub>11</sub> ), Fortluft- (t <sub>12</sub> ) und Abteilinnentemperatur (t <sub>A</sub> ) [°C] im Zeitraum 29. bis 31. Mai 2022 sowie die maximalen Temperaturdifferenzen zwischen Zu- und Frischluft [K] an den jeweiligen Tagen. ©Lengling.....	19
Abbildung 10 Korrelation zwischen der Heiz- bzw. Kühlleistung [kW] (rot bzw. blau) des Tauschwäschers und der Frischlufttemperatur [°C] während des Betriebs des Tauschwäschers in MD 2, unabhängig davon, ob der Tauschwäscher die Frischluft erwärmte oder abkühlte. ©Deeken .....	21
Abbildung 11 Korrelation der Frischlufttemperatur [°C] und der Heiz- bzw. Kühlleistung [kW] für den Zeitraum vom 04.10.2022 bis 08.10.2022, in dem der Tauschwäscher bei Außentemperaturen von über 23 °C nicht (wie sonst standardmäßig) umgangen wurde, sondern in Betrieb blieb. ©Deeken .....	21
Abbildung 12 Temperaturverläufe [°C], maximale Temperaturänderung zwischen Frisch- und Zuluft pro Tag [K] und der Verlauf der Heiz-/Kühlleistung [kW] für den Zeitraum vom 04.10.2022 bis 08.10.2022, in dem der Tauschwäscher auch bei Außentemperaturen von über 23 °C in Betrieb war. ©Lengling.....	22
Abbildung 13 Korrelation der Leistungszahlen (COPs) des Tauschwäschers und der Frischlufttemperatur [°C] in den Messintervallen von MD 2, in denen der Tauschwäscher geheizt hat. COP <sub>VA</sub> berechnet sich dabei unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des Gesamtenergiekonsums des Tauschwäschers (Lüftung plus Abluftreinigung). COP <sub>HR</sub> berechnet sich unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des zusätzlichen Energieaufwands für die Wärmerückgewinnung	

*(Zuluftventilator des Tauschwäschers). Für COP<sub>HR</sub> ist hier nur ein Ausschnitt der Daten gezeigt, 98 der 8898 (1,1 %) Messintervalle sind nicht gezeigt, da es sich um praxisirrelevante Ausreißer handelt (Maximalwert 137,4). ©Deeken..... 23*

*Abbildung 14 Korrelation der Leistungszahlen (COPs) des Tauschwäschers und der Frischlufttemperatur [°C] in den Messintervallen vom 4. bis zum 8. Oktober 2022. COP<sub>VA,hz</sub> berechnet sich dabei unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des Gesamtenergiekonsums des Tauschwäschers (Lüftung plus Abluftreinigung) in Intervallen mit Heizleistung; COP<sub>VA,kü</sub> in Intervallen mit Kühlleistung. COP<sub>HR,hz</sub> berechnet sich unter Berücksichtigung der rückgewonnenen Wärme und des zusätzlichen Energieaufwands für die Wärmerückgewinnung (Zuluftventilator des Tauschwäschers) in Intervallen mit Heizleistung; COP<sub>HR,kü</sub> in Intervallen mit Kühlleistung. ©Deeken..... 25*

## Literaturverzeichnis

**BÜSCHER, W., et.al. (2016):** Entwicklung eines "Tauschwäschers" zur umweltfreundlichen und energiearmen Haltung von Schweinen. Schlussbericht, Universität Bonn, Institut für Landtechnik.

**LEGLING, A.; DEEKEN, H. F.; KROMMWEH, M. S. UND BÜSCHER, W. (2022):** Abschlussbesprechung EnergARA, Nutzung der regenerativen Energiequelle „Abluftreinigungsanlage“ für das Kühlen und Heizen von Tierställen – Fallstudienuntersuchung. Düsseldorf & Bonn, 25. November 2022

**LEGLING, A.; DEEKEN, H. F.; KROMMWEH, M. S. UND BÜSCHER, W. (2023):** Nutzung der regenerativen Energiequelle „Abluftreinigungsanlage“ für das Kühlen und Heizen von Tierställen – Fallstudienuntersuchungen. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 197, 51-59, 87-88.

## Abkürzungsverzeichnis

ARA	Aluftreinigungsanlage
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
COP	Coefficient of performance (auch bekannt als Leistungszahl)
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
°C	Grad Celsius
GVE	Großvieheinheit
GV	Großvieheinheit (1 GV = 500 kg Tierleibendmasse)
hz	Heizen (Betriebszustand WRGA)
HBLFA	Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
K	Kelvin (zur Angabe von Temperaturdifferenzen)
kg/h	Kilogramm pro Stunde
kW	Kilowatt
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
m <sup>3</sup> /h	Kubikmeter pro Stunde

COP <sub>v</sub>	Leistungszahl Lüftungsanlage
COP <sub>VA</sub>	Leistungszahl Lüftungsanlage und Abluftreinigung
COP <sub>HR</sub>	Leistungszahl Wärmerückgewinnung
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Min	Minute
%	Prozent
rF	Relative Feuchte
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
cpl	Spezifische Wärmekapazität der trockenen Luft
h	Stunde
Tab.	Tabelle
HR	Wärmerückgewinnung (engl. heat recovery)
z.B.	zum Beispiel

## Anhang – Ergebnisüberblick

Präsentation der Projektergebnisse EnergARA in Düsseldorf & Bonn am 25. November 2022 (alle Folien: Lengling et.al., 2022):



Dr. Alexandra Lengling, Hauke F. Deeken,  
Dr. Manuel S. Krommweh, Prof. Dr. Wolfgang Büscher  
Düsseldorf & Bonn, 25. November 2022

### Abschlussbesprechung

#### EnergARA

Nutzung der regenerativen Energiequelle  
„Abluftreinigungsanlage“ für das  
Kühlen und Heizen von Tierställen – Fallstudienuntersuchung

Projektzeitraum: 01. Juli 2019 – 31. Dezember 2022

Gefördert vom:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Projektpartner:



HBLFA  
Raumberg-Gumpenstein  
Landwirtschaft



## Hintergründe Emissionen & Energie

- Schweinehaltung relevante Emissionsquelle
  - Abluftreinigungsanlagen zur Reduktion
  - Bisherige Relevanz:  
Meist Genehmigung von BlmschG-Neubauten
  - Neufassung der TA-Luft: (BMUV, 2021)  
Nachrüstung vermehrt erforderlich
- Schweinehaltung mit hohem Energiebedarf
  - Stromkonsum zum Betrieb der  
(luft-)technischen Anlagen
  - Thermische Energie für Wohlfühltemperatur
    - Ferkelhaltung: 30–20 °C (DIN 18910, 2017)
    - 85 % Energiebedarf für Raumheizung (KTBL, 2014)

#### Abluftreinigung:

- + Minderung umweltrelevanter Emissionen  
→ Ammoniak, Geruch, Staub
- Anstieg Anschaffungskosten & Strombedarf  
→ CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energiekosten

#### Wärmerückgewinnung:

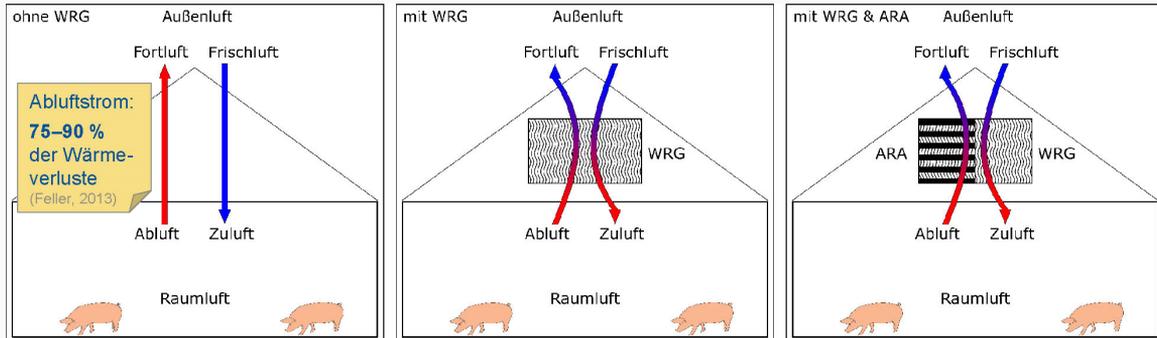
- + Minderung fossiler Brennstoffe  
→ Einsparung CO<sub>2</sub> & Energiekosten
- Anstieg Anschaffungskosten & Strombedarf  
→ CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energiekosten

25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

2

## Hintergründe Wärmerückgewinnung & Abluftreinigung



WRG = Wärmerückgewinnung, ARA = Abluftreinigung

25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

3

## Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) März 2022 – Dezember 2022

### Tauschwäscher Fa. Schönhammer

Versuchsmaststall der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für  
Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein, Österreich

2 Mastdurchgänge: März – Juli bzw. August – Dezember 2022



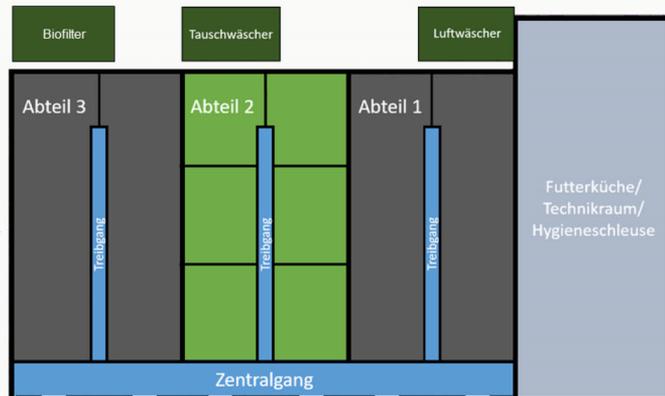
25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

24

## Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) Versuchsbetrieb der HBLFA

- 3 Abteile zur Mast. Versuchsdurchführung in **Abteil 2** mit 138 Tierplätzen
- 6 Buchten à 23 Tierplätze je links bzw. rechts vom Treibgang
- Unterdruck-Lüftung mit dezentraler Oberflurabsaugung innerhalb jedes Abteils
- Dachraum über jedem Abteil getrennt



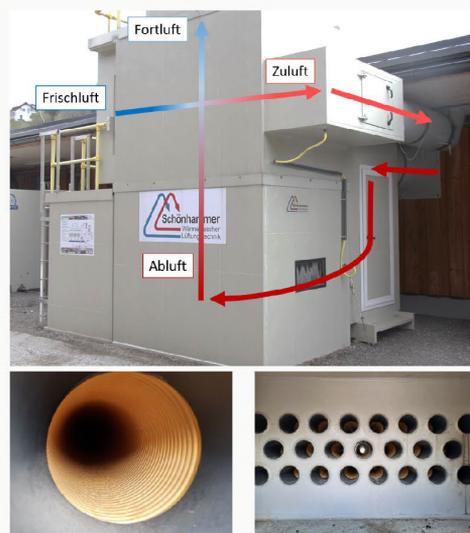
25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

25

## Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) Tauschwäscher

- Kombinierte Anlagentechnik: Wärmetauscher + Biowäscher (KROMMWEH, 2016)
- Wärmetauschermodul zwischen Füllkörper und Wasserberieselung (KROMMWEH ET AL. 2021)
- Abluftstrom aus dem Stall strömt von unten nach oben durch den Tauschwäscher
- Kalter Zuluftstrom kreuzt Abluftstrom im Tauschermodul nach der Reinigung



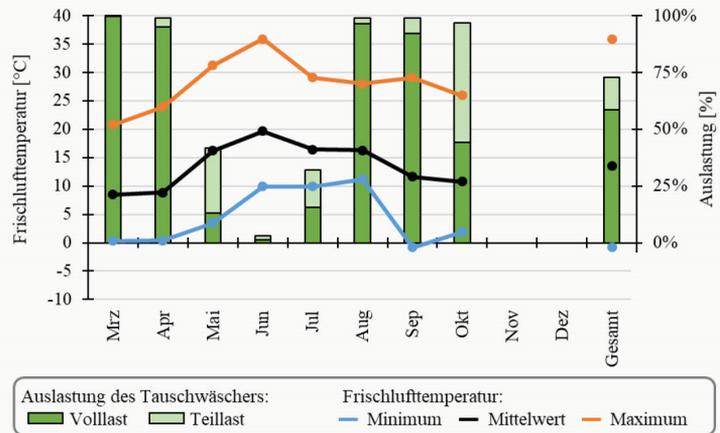
25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

26

### Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) Auslastung des Tauschwäschers

- Übergangszeiten nahezu 100% Auslastung
- Minimum Juni: 3%
- Gesamtauslastung in beiden Mastdurchgängen: >70%
- Vollständige Umgehung des Tauschwäschers ab 23°C Außentemperatur



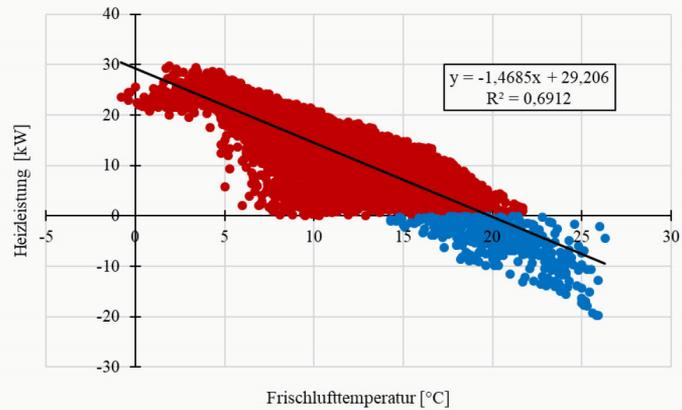
25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

27

### Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) Heiz- & Kühlleistung

- Korrelation für Mastdurchgang 2
- Mittlere Heizleistung: 13,8 kW bei mittlerer Frischlufttemperatur von 10,8°C
- In MD1 mittlere HL von 8,6 kW bei 9,1°C



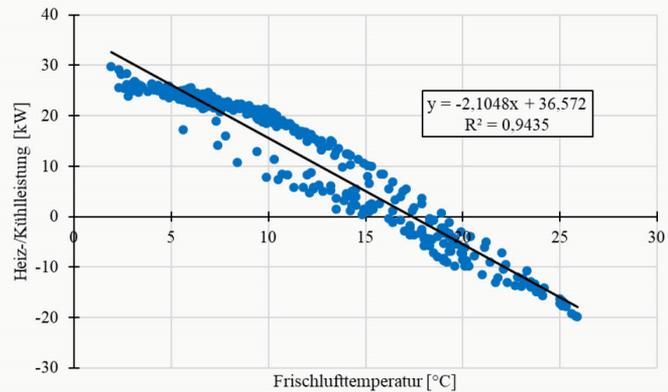
25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

28

## Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) Kühlung

- Zeitraum 04. Oktober – 08. Oktober 2022
- Voller Betrieb des TW auch bei Temperaturen >18°C
- Maximale Kühlleistung: -19,8 kW bei Frischlufttemperatur von 25,9°C
- Erste Kühleffekte ab ca. 15°C



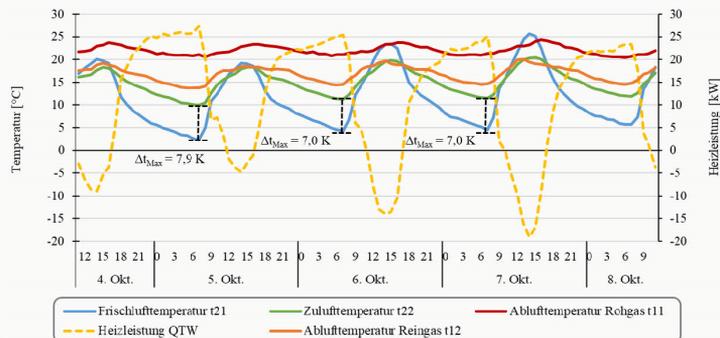
25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

29

## Fallstudie 3 – Integrierte Lösung (Schönhammer) Amplitudendämpfung

- Max. Temperaturänderung: 7,9 K
- Max. Amplitude Frischluft: 21,5 K  
Zuluft: 9,1 K
- Amplitudendämpfung in diesem Zeitraum: 51-59%
- Höhere Lüftungsraten bei kalten Temperaturen möglich → Tierwohl



25.11.2022

EnergARA - Abschlussbesprechung

30

## Forschungsprojekt Schlussfolgerungen für die Praxis

Wärmerückgewinnung reduziert...  
... den Energiebedarf,  
... die ökonomischen Aufwände,  
... die Treibhausgasemissionen.

Wärmerückgewinnung verbessert...  
... die Haltungs- & Arbeitsbedingungen,  
... **die Nachhaltigkeit der Ferkelhaltung:**  
**Ökonomie, Ökologie + Sozial/Tier**

Kombination mit Abluftreinigung:  
Senkung der Ammoniak-, Geruchs-, Staub- & CO<sub>2</sub>-Emissionen von Tierställen

- Verschiedene Systemlösungen in der Praxis umsetzbar, auch Nachrüstlösungen möglich (siehe Fallstudie 3)
  - Variierende, systembedingte Stärken und Schwächen
  - Nachrüstung mit speziellen Herausforderungen

➔ **Aktuell und zukünftig steigende Relevanz (z. B. TA-Luft 2021, Klimawandel, Energiekrisen)**

## Anhang – verwendete Messtechnik

### Messreihenprotokoll 575



Graue Felder bitte ausfüllen!

Beginn **08.07.2019**

Ende

Bezeichnung **HBLFA Schweinestall Klimaaufzeichnung**

Betrieb **HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Schweineforschungsstall**

Straße **Altirdning 11**

PLZ und Ort **8952 Irdning-Donnersbachtal**

Handy

e-mail

Projektverantwortlicher **Kropsch Michael**

Telefonnummer **03682 22 4 51 - 376**

e-mail **michael.kropsch@raumberg-gumpenstein.at**

Installation am (Datum/Zeit)

**08.07.2019**

Deinstalliert am (Datum/Zeit)

#### Messtechnik

<b>B 101</b>	<b>Testo 175 H1 (40342119 409)</b>	Start: <b>10.08.2023</b>	Intervall: <b>10 min</b>
Montageort:	Abteil1 Zweitlogger	Ende:	Akku: <b>99 %</b>
<b>B 182</b>	<b>Testo Saveris Funktfühler H2D (61804867)</b>	Start: <b>08.07.2019</b>	Intervall: <b>15 min</b>
Montageort:	Abteil 1	Ende:	Akku: <b>%</b>
<b>B 183</b>	<b>Testo Saveris Funktfühler H2D (61804872)</b>	Start: <b>08.07.2019</b>	Intervall: <b>15 min</b>
Montageort:	Abteil 2	Ende:	Akku: <b>%</b>
<b>B 184</b>	<b>Testo Saveris Funktfühler H2D (61846319)</b>	Start: <b>08.07.2019</b>	Intervall: <b>15 min</b>
Montageort:	Abteil 3	Ende:	Akku: <b>%</b>
<b>B 185</b>	<b>Testo Saveris Funktfühler H2D (61804864)</b>	Start: <b>08.07.2019</b>	Intervall: <b>15 min</b>
Montageort:	Dachraum	Ende:	Akku: <b>%</b>
<b>B 217</b>	<b>Testo 175 H1 (44626620)</b>	Start: <b>10.08.2023</b>	Intervall: <b>10 min</b>
Montageort:		Ende:	Akku: <b>94 %</b>

Kontakt für technische Antworten: **Gregor Huber, gregor.huber@raumberg-gumpenstein.at**

**Altirdning 11, 8952 Irdning-Donnersbachtal, Telefon: 03682 22451 367**

Montag, 11. Dezember 2023

Seite 1 von 2

# Messreihenprotokoll 575

HBLFA  
Raumberg-Gumpenstein  
Landwirtschaft

Graue Felder bitte ausfüllen!

<b>B 222</b>	<b>Testo 175 H1 (44626634)</b>	Start: 22.03.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 1 (Zweitlogger)		Ende: 11.07.2023	Akku: %
<b>B 229</b>	<b>Testo 175 H1 (44627015)</b>	Start: 22.03.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 2 (Zweitlogger)		Ende: 11.07.2023	Akku: %
<b>B 231</b>	<b>Testo 175 H1 (44627017)</b>	Start: 22.03.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 3 (Zweitlogger)		Ende: 11.07.2023	Akku: %
<b>B 241</b>	<b>Testo 175 H1 (44626629)</b>	Start: 10.08.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 3 Zweitlogger		Ende:	Akku: %
<b>B 263</b>	<b>Testo 150 TUC4 (0054766370)</b>	Start: 09.08.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 1		Ende:	Akku: %
<b>B 264</b>	<b>Testo 150 TUC4 (0054767288)</b>	Start: 09.08.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 2		Ende:	Akku: %
<b>B 265</b>	<b>Testo 150 TUC4 (0054767151)</b>	Start: 09.08.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Abteil 3		Ende:	Akku: %
<b>B 266</b>	<b>Testo 150 TUC4 (0054768925)</b>	Start: 09.08.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Dachraum Abteil 1		Ende:	Akku: %
<b>B 267</b>	<b>Testo 150 TUC4 (0054767107)</b>	Start: 09.08.2023	Intervall: 10 min
Montageort: Dachraum Abteil 2		Ende:	Akku: %
<b>B 268</b>	<b>Testo 150 TUC4 (0054767113)</b>	Start: 09.08.2023	Intervall: min
Montageort: Dachraum Abteil 3		Ende:	Akku: %

Anzahl Messgeräte: 16

## -Bitte Beachten-

Tägliche Überprüfung: - Kontrolle auf mechanische Beschädigung  
- Bei Datenloggern mit Display die angezeigten Werte auf Richtigkeit überprüfen  
Flüssigkeiten, hochfeuchte Messpunkte (>80%rF bei <30°C / >60%rF bei > 30°C für länger als 12 Std.)  
beschädigen die Messgeräte. In diesem Fall die Messtechnik vom Messort entfernen!

Kontakt für technische Antworten: Gregor Huber, gregor.huber@raumberg-gumpenstein.at  
Altbirning 11, 8952 Irnding-Donnersbachtal, Telefon: 03682 22451 367

Montag, 11. Dezember 2023

Seite 2 von 2

# Messreihenprotokoll 308

HBLFA  
Raumberg-Gumpenstein  
Landwirtschaft

Graue Felder bitte ausfüllen!

Beginn 04.04.2018

Ende

Bezeichnung Gasmessung Schweinestall

Betrieb HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Schweineforschungsstall

Straße Altirdning 11

PLZ und Ort 8952 Irdning-Donnersbachtal

Handy e-mail

Projektverantwortlicher Kropsch Michael

Telefonnummer 03682 22 4 51 - 376

e-mail michael.kropsch@raumberg-gumpenstein.at

Installation am (Datum/Zeit) 26.03.2018

Deinstalliert am (Datum/Zeit)

## Messtechnik

<b>A 9</b>	<b>LumaSense 1412i (713-557)</b>	Start:	26.03.2018	Intervall:	min
	Montageort: Technikraum Schweinestall	Ende:	15.03.2022	Akku:	%
<b>A 10</b>	<b>LumaSense Multipoint Sampler- INNOVA 1409 (670-046)</b>	Start:	26.03.2018	Intervall:	min
	Montageort: Technikraum Schweinestall	Ende:	15.03.2022	Akku:	%
<b>A 16</b>	<b>Gasera ONE (030062)</b>	Start:	15.03.2022	Intervall:	min
	Montageort: Technikraum Schweinestall	Ende:		Akku:	%
<b>A 17</b>	<b>Gasera Multipoint Sampler (090036)</b>	Start:	15.03.2022	Intervall:	min
	Montageort: Technikraum Schweinestall	Ende:		Akku:	%

Anzahl Messgeräte: 4

### -Bitte Beachten-

Tägliche Überprüfung: - Kontrolle auf mechanische Beschädigung  
- Bei Datenloggern mit Display die angezeigten Werte auf Richtigkeit überprüfen  
Flüssigkeiten, hochfeuchte Messpunkte (>80%rF bei <30°C / >60%rF bei > 30°C für länger als 12 Std.)  
beschädigen die Messgeräte. In diesem Fall die Messtechnik vom Messort entfernen!

Kontakt für technische Antworten: Gregor Huber, gregor.huber@raumberg-gumpenstein.at

Altirdning 11, 8952 Irdning-Donnersbachtal, Telefon: 03682 22451 367

Montag, 11. Dezember 2023

Seite 1 von 1

**HBLFA Raumberg-Gumpenstein**

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

[raumberg-gumpenstein.at](http://raumberg-gumpenstein.at)