

EIP- Projekt Salu_T – Saubere Luft in der Tierhaltung

Emissionsminderung und Tierwohl in der Schweinemast
Abschlussbericht - Projekt Nr. 101596



Impressum

Projektnehmer: ARGE SaLu_T, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik

Adresse: Hollandstraße 10/46, 1020 Wien

Projektleiter: Ing. Eduard Zentner

Tel.: 03682-22451-370

E-Mail: eduard.zentner@rauberg-gumpenstein.at

Finanzierungsstelle(n): BML, Kooperationspartner

Fotonachweis: Sofern nicht anders angeführt - Bildquelle bei/m AutorIn

Irdning, Stand: 14. November 2023



 HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

EIP Projekt SaLu_T

Klientennummer: 10733367

SaLu_T – Saubere Luft in der Tierhaltung

Emissionsminderung und Tierwohl in der Schweinemast

Projektlaufzeit: 01.09.2020 bis 30.06.2023

Endbericht

Raumberg-Gumpenstein, am 15.11.2023



 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Endbericht der operationellen Gruppe - ARGE SaLu_T

Name und Anschrift:

ARGE SaLu_T, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Hollandstraße 10/46,
1020 Wien

Projektpartner, Mitglieder und Fachbereiche der ARGE SaLu_T:

HBLFA – Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein

- Wissenschaftliche Projektleitung
- Geruchsemissionen Tierbereich
- Tierwohlevaluierung
- Lärmemissionen
- Feinstaubemissionen
- Stallklimaparameter
- Betriebswirtschaftliche Betrachtung
- Futtermittel- und Wirtschaftsdüngeruntersuchung
- Meteorologie

ÖGUT – Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik

- Administrative Projektleitung

Fam. Neuhold – www.steirerei.st

- Landwirt, Selbstvermarktung, Bauwerber

Schauer Agrotronic GmbH mit Fa. Lorber&Partner

- Konzepterstellung, Stallplanung, -bau und Stalleinrichtung

Fachstelle für Tierhaltung und Tierschutz – BMSGPK

- Tierwohlevaluierung

TÜV Austria

- Durchführung der Geruchs-Rasterbegehungen

Land Steiermark A15

- Auswertung der Geruchs-Rasterbegehungen

LfL – Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern

- Ammoniak- und Stickstoffdepositionsmessungen

DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft

- F-TIR Schad- bzw. Fremdgasmessungen im Tierbereich

Med. Universität Graz – Diagnostik- & Forschungsinstitut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin

- Luftkeim- und Bioaerosolmessungen



Impressum

AutorInnen: E. Zentner, B. Heidinger, I. Mösenbacher-Molterer, D. Öttl, D. Haas, H. Galler, C. Auinger, C. Fritz, M. Kropsch, A. Zentner; K. Bonkoss, A. Verhas, C. Neuhold

Projektleitung und Kontakt: HR Ing. Eduard Zentner – wissenschaftliche Leitung

Dr.ⁱⁿ Erika Ganglberger, DI Marcus Feldbaumer, BSc – administrative Leitung

Layout: Sigrid Brettschuh, Daniela Vockenhuber

Inhaltsverzeichnis

1	EIP AGRI SaLu_T, Projektübersicht und Fachbereich Stallklima.....	6
1.1	Zusammenfassung.....	6
1.2	Summary.....	7
1.3	Material und Methoden	10
1.4	Ergebnisse.....	16
1.5	Literaturverzeichnis.....	32
2	„Konzepterstellung, Stallplanung, -bau und Stalleinrichtung“	33
2.1	Zusammenfassung.....	33
2.2	Summary.....	33
2.3	Konzepterstellung.....	34
2.4	Stallplanung.....	37
2.5	Funktionsbereiche	38
2.6	Technische Anlagen.....	41
2.7	Baukonstruktionen - Baufortschritt	50
2.8	Aktuelle Situation und Ausblick.....	60
3	Fachbereich Tierwohl/Tiergerechtigkeit	63
3.1	Zusammenfassung.....	63
3.2	Summary.....	65
3.3	Tiere, Material und Methoden	67
3.4	Ergebnisse und Diskussion	79
3.5	Literaturverzeichnis.....	110
3.6	Anhang.....	111
4	Fachbereich Luftreinhaltung	121
4.1	Zusammenfassung.....	121
4.2	Summary.....	121
4.3	Material und Methoden	122
4.4	Ergebnisse.....	141
4.5	Literaturverzeichnis.....	156
5	Ammoniakemissionen und Immissionen.....	158
5.1	Zusammenfassung.....	158
5.2	Summary.....	158
5.3	Material und Methoden	159

5.4	Ergebnisse.....	162
5.5	Literaturverzeichnis.....	170
6	Schallemissionen und –Immissionen.....	171
6.1	Zusammenfassung.....	171
6.2	Summary.....	171
6.3	Material und Methoden.....	172
6.4	Ergebnisse.....	175
6.5	Literaturverzeichnis.....	178
7	Bioaerosolerhebung.....	179
7.1	Zusammenfassung.....	179
7.2	Summary.....	182
7.3	Material und Methoden.....	183
7.4	Ergebnisse.....	199
7.5	Diskussion.....	224
7.6	Literaturverzeichnis.....	230
8	Staubemissionen.....	234
8.1	Zusammenfassung.....	234
8.2	Summary.....	235
8.3	Material und Methode.....	237
8.4	Ergebnisse.....	242
8.5	Literatur.....	261
8.6	Anhang.....	262
9	Fachbereich Baukosten.....	267
9.1	Zusammenfassung.....	267
9.2	Summary.....	267
9.3	Einleitung.....	267
9.4	Datenmaterial und Methodik.....	270
9.5	Ergebnisse.....	273
9.6	Diskussion und Fazit.....	278
9.7	Literatur.....	279
10	Abbildungsverzeichnis.....	280
11	Tabellenverzeichnis.....	288
12	Englische Publikationen.....	291

1 EIP AGRI SaLu_T, Projektübersicht und Fachbereich Stallklima

Eduard Zentner – wissenschaftliche Leitung Gesamtprojekt, Lukas Lackner, Stefan Danglmaier, Isabella Zamberger; Abteilung Tierhaltungssysteme, Technik und Emissionen; HBLFA Raumberg-Gumpenstein

1.1 Zusammenfassung

Über einen Zeitraum von mehr als 2 Jahren waren neben einer meteorologischen Messstation im Außenbereich bis zu 16 Datenlogger im Zuluft- und Tierbereich positioniert. Die Zuluft wurde damit messtechnisch über 24 volle Monate, von deren Eintritt im Außenbereich bis zu den Bedingungen 1,5 Meter über dem Ruhe- bzw. Liegebereich, erfasst.

Im Hinblick auf die Temperaturen ergibt sich ein maximaler Kühleffekt von 10,3 Kelvin, gemessen bei Außentemperaturen von nahezu 36° Grad. Die Zuluftvorwärmung am kältesten Tag lag bei 12,3 Kelvin. Es ist davon auszugehen, dass die im Jahresdurchschnitt kühleren Temperaturen nicht nur einen positiven Effekt im Hinblick auf das Tierwohl und die Wirtschaftlichkeit bewirken, es muss dabei zudem darauf hingewiesen werden, dass ein nicht unwesentlicher Teil der Ammoniak- und auch Geruchsminderung durch diese kühleren Bedingungen bewirkt wird.

Im Hinblick auf die relative Luftfeuchte ergeben sich, sowohl in der kältesten Woche mit bis zu minus 6°C als auch in der wärmsten Woche mit bis zu 36°C, Messdaten die innerhalb aller Empfehlungen gültiger Literatur liegen.

Dieses neue Stallsystem kommt in der kalten Jahreszeit zudem gänzlich ohne mechanische Ventilation aus. An Tagen mit bis zu 8° Grad Außentemperatur wurde ohne mechanische Ventilation und nur mit Schwerkraftwirkung im Tierbereich eine Kohlenstoffdioxidkonzentration von <2700ppm gemessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieses System über die gesamten Wintermonate lüftungstechnisch autark geführt werden kann. Ein etwaiger Blackout kann während der gesamten kalten Jahreszeit als lüftungstechnisch problemlos hingenommen werden.

Der von der Familie Neuhold errichtete Schweinemast-Tierwohlstall wurde als Praxisstall konzipiert bzw. errichtet und unter absoluten Praxisbedingungen mehr als zwei Jahre auf verschiedenste stallklimatische als auch emissions- und immissionstechnische Parameter hin untersucht. Bei diesem neuen Stallsystem handelt es sich derzeit unbestritten um den in Hinsicht konventionelle bzw. besonders tierfreundliche Haltung modernsten Stall Österreichs. Die in den folgenden Unterberichten erzielten Ergebnisse erlauben im Hinblick auf eine Emissions- und Immissionswirkung einen direkten Vergleich zu Abluftreinigungs- bzw. Abluftfilteranlagen. Eine

unabdingbare Forderung in der Projektentwicklung war neben den strukturierten Buchten und einem permanenten Zugang ins Freie, auch der Einbau einer integrierten Unterflur-Zuluftführung, welche im Sommer zur Kühlung und damit zur Verbesserung der Inanspruchnahme des Liege-Ruhebereichs und gleichzeitig mit Doppelnutzen zur Zuluftvorwärmung im Winter verwendet werden kann. Diese Forderung und deren Umsetzung waren neben dem eigentlichen Haltungskonzept und insbesondere mit der integrierten Kot-Harntrennung der Erfolgsfaktor schlechthin.

Zusammenfassend darf stellvertretend für alle Projektteilnehmer ein besonderer Dank an die Familie Neuhold für deren Innovationsbereitschaft und vor allem für deren Geduld im Bauverfahren ausgesprochen werden. Dass neben allen hygienischen und tiergesundheitlichen Bedenken, über mehr als zwei Jahre hinweg und für alle Projektteilnehmer ein ständiger Zugang in deren privaten Stall und insbesondere in den Tierbereich gestattet und ermöglicht wurde, auch für eine große Anzahl an Exkursionen und Besuchern, zeigt nicht nur Mut sondern verdient größten Respekt. Hätte es dieses Entgegenkommen der Familie Neuhold nicht gegeben, wären die durchgeführten Untersuchungen nicht möglich und die daraus resultierenden, ausnahmslos positiven Ergebnisse, niemals gemessen und damit auch nicht darstellbar gewesen.

Ebenso als sehr positiv zu bewerten und dies trotz der Covid Vorgaben und der damit verbundenen Einschränkungen durch die Behörden, war das Zusammenspiel mehrerer Organisationen innerhalb der EU-Projektschiene EIP-Agri und innerhalb der Projektpartnerschaft SaLu_T. Vielen Dank an alle KollegInnen, die teilweise unter widrigen Bedingungen und zu jeder Tages- und Nachtzeit im Außenbereich ihre Messungen durchzuführen hatten.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen sind aktuell weitere Projekte angedacht und in Vorbereitung. Die Einbindung der Praxis als auch von im landwirtschaftlichen Bereich tätigen Firmen ist für die Wissenschaft jedenfalls eine Erfahrung, die auf alle Fälle weiterhin anzustreben ist.

1.2 Summary

As part of an EIP-AGRI project, a new approach to the husbandry of fattening pigs was examined for a multiple number of questions over a period of more than two years and involving several departments and institutions. The abbreviation EIP stands for European Innovation Partnership and, within the specifications, offers the opportunity to unite both agricultural practice and companies active in the field of agriculture as well as scientific organizations in one project.

However, the newly designed housing system for fattening pigs is not a system that was set up for research purposes, but rather a fattening stable that is set up and operated under absolute practical conditions by a farm. During planning and implementation, care was taken to ensure that no significant disadvantages arise in the management during ongoing operation, which would

ultimately also endanger the owners from a financial and economic point of view. However, there is no doubt that this new system contains all the emission-reducing innovations that are technically available at the moment.

This partial report on the stable climate is intended to provide an insight into the housing conditions in the animal area. Detailed descriptions and graphics of the new stable system can be found in particular in the immediate sub-reports 2 and 3.

Keywords: System for pig fattening, stable climate, ventilation system, temperature, humidity

1.2.1 Einleitung

Im Rahmen eines EIP-AGRI Projektes wurde über mehr als zwei Jahre und unter Einbeziehung mehrerer Fachbereiche und Institutionen, ein neuer Ansatz zur Haltung von Mastschweinen auf eine multiple Anzahl an Fragestellungen entwickelt und untersucht. Die Bezeichnung EIP steht für European Innovation Partnership und bietet innerhalb der Vorgaben die Möglichkeit, sowohl die landwirtschaftliche Praxis, sowie Firmen die im Bereich der Landwirtschaft tätig sind, als auch wissenschaftliche Organisationen in einem praxisorientierten Projekt zu vereinen.

Bei dem neu konzipierten Haltungssystem für Mastschweine handelt es sich allerdings um kein System, welches zu Forschungszwecken konzipiert und errichtet wurde, sondern um einen Maststall, welcher unter absoluten Praxisbedingungen von einem landwirtschaftlichen Betrieb errichtet und betrieben wird. Es wurde in der Planung und Umsetzung darauf Bedacht genommen, dass im laufenden Betrieb keine wesentlichen Nachteile in der Bewirtschaftung entstehen, die letztlich auch in finanzieller und wirtschaftlicher Hinsicht eine Gefährdung der Eigentümer bedeuten würde. Es steht für dieses neue System aber trotzdem außer Zweifel, dass es alles an Innovation beinhaltet, was derzeit technisch verfügbar erscheint.

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung generell und die Schweinehaltung im Besonderen geraten zunehmend in den Fokus des gesellschaftlichen beziehungsweise öffentlichen Interesses. Sie findet sich in einem Spannungsfeld aus Umweltschutz, Anrainerproblematik, Wirtschaftlichkeit und Tierwohldiskussion wieder. Die derzeit größte Problematik im ländlichen Raum besteht im schwelenden Konflikt zwischen tierhaltenden Betrieben und AnrainerInnen in den Siedlungsgebieten. Die Befürchtung, dass eine ständige Geruchsbelästigung die Wohn- und Erholungsfunktion im Siedlungsgebiet beeinträchtigt, veranlasst AnrainerInnen gegen Tierhaltungsbetriebe aufzutreten. Bei Stallneubauten tritt dieser Konflikt mitunter so massiv auf, dass behördliche Genehmigungsverfahren durchaus mehrere Jahre andauern können und letztlich häufig auch negativ beurteilt werden. Diese Problematik betrifft mittlerweile Schweinemastbetriebe im gesamten Bundesgebiet und beinhaltet durchaus auch eine europaweite Dimension. Die derzeit vorherrschende Situation führt zu einem massiven Einbruch hinsichtlich der Anzahl der TierhalterInnen und vor allem auch der Nutztiere und hat das Potenzial in naher Zukunft

durchaus die österreichische Eigenversorgung in diesem Bereich zu gefährden. Es braucht zukunftsfähige Lösungen, welche multifaktorielle Ansätze und Problemlösungen beinhalten.

Im konkreten Fall gab es in den Jahren 2016 und 2017 zahlreiche Projektbesprechungen und wurde der zu untersuchende Tierwohlstall schließlich zu Beginn des Jahres 2018 erstmals baubehördlich abgehandelt. In weiterer Folge wurde das Bauvorhaben von Anrainern und NGO`s mehrfach beeinsprucht, auch mit dem Slogan, man brauche in Österreich keine Nutztierhaltung, drohte das EIP Projekt am Behördenverfahren zu scheitern. Nach zwei Jahren wurde höchstgerichtlich zugunsten des Vorhabens entschieden und mit dem Bau begonnen. Im Herbst des Jahres 2020 wurde der Tierwohlstall schließlich in Betrieb genommen und mit den Untersuchungen begonnen.

Unter den Emissionen aus der Nutztierhaltung sind insbesondere gas- oder partikelförmige Bestandteile aus allen Bereichen der Tierhaltung zu verstehen, die besonders in der politischen Diskussion, auf Grund internationaler (NEC Guideline, Göteborg Protokoll 1999) und daraus resultierend auch nationaler Vorgaben, aber vor allem im direkten Nahbereich der Betriebe zu erhöhter Aufmerksamkeit führen.

Mit dem Emissionshöchstmengengesetz-Luft, BGBl. I Nr. 34/2003, wurde die EU-Richtlinie 2001/81/EG über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe in nationales Recht umgesetzt. Die Richtlinie ist auch als „NEC-Richtlinie“ bekannt; NEC steht hierbei für den englischen Begriff „National Emission Ceilings“.

Es werden aus den Vorgaben der EU nationale Emissionshöchstmengen für die Schadstoffe Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen außer Methan (NMVOC) und Ammoniak (NH₃) festgelegt. Diese Emissionshöchstmengen sind seit dem Jahr 2010 einzuhalten.

Aus diesem Grund muss es Ziel der Branche sein, auch auf nationaler Ebene zusammen mit Stallbaufirmen und der Wissenschaft aktiv neue (technische) Lösungen zur Reduktion der Emissionen (Ammoniak und Staub) zu erarbeiten. Das Stallkonzept des „emissionsarmen Tierwohlmaststalls“ könnte eine solche Lösungsform darstellen und wurde in den vergangenen Jahren auch einer wissenschaftlichen Prüfung hinsichtlich des Emissionsreduktionspotenzials und Kriterien des Tierwohlergehens unterzogen.

1.2.2 Offene Themen in der Nutztier- bzw. Schweinehaltung

- Ländlicher Raum – Erhaltung der Betriebe u. Strukturen
- Gewährleistung einer nationalen Lebensmittel – Eigenversorgung - Versorgungssicherheit
- Invest- und Funktionssicherheit in der Tierhaltung – Vollspaltenverbot!
- Emissionen – Immissionen (Geruch, Lärm, Gase, Feinstaub, Keime)

- Alternativen zur Abluftreinigung
- Tierwohl(initiative) – Tierschutz – Konsument - Vermarktung
- Tiergesundheit – Antibiotikadiskussion?
- Beschäftigungsmaterial, Schwanz kupieren
- Stallbau- und Energiekosten – Deckungsbeitrag - Wirtschaftlichkeit
- Biosecurity - ASP
- Lüftungsausfall – Notlüftung - Blackout
- Verbesserte Raumordnung – Emissionskennzahlen - wo sind Stallungen noch möglich?
- **Was braucht das Tier?**

Im Zuge der Erstgespräche mit den Projektpartnern wurden folgende Inhalte ausgearbeitet und versucht, diese in das Forschungsprojekt bzw. in den neuen Praxisstall zu integrieren:

- Das neue Stallkonzept soll eine zukunftsfähige Alternative zu den bisherigen Warmställen in der konventionellen Schweinemast darstellen!
- Es soll alle nur möglichen und bisher anerkannten emissionsmindernden Maßnahmen integrieren und in der Emissionsminderung bereits im unmittelbaren Tierbereich ansetzen!
- Es soll die erforderlichen Standards zum Tierwohl bestmöglich integrieren und insbesondere ein baubehördlich genehmigungsfähiges Haltungssystem darstellen!
- Es soll betriebs- als auch arbeitstechnisch kein großer Nachteil gegenüber herkömmlichen Stallungen entstehen!
- Der Stall soll energietechnisch mit einem Minimum auskommen!
- Neben den herkömmlichen Baumaterialien wie Beton, Kunststoff und Dachpaneelen soll verstärkt der Einsatz von Holz als Baustoff forciert werden!

Schlagwörter:

Maststallsystem, Tierwohl, Emissionen, Immissionen, Stallklima, Temperatur, relative Luftfeuchte

1.3 Material und Methoden

Ziel in der Etablierung eines neuen Systems in der Schweinemast war eine starke Zielausrichtung in den Bereichen Tierwohl, Tiergerechtigkeit und Tiergesundheit, bei gleichzeitiger Minimierung der Emissionen, vor allem für Ammoniak und Geruch. Ein positives Zusammenspiel aller stallklimatischen Parameter lag im Fokus der Planungsphase dieses neuen Haltungssystems.

Im Bereich der Zuluftkühlung sind wesentliche Parameter betreffend THI – temperature-humidity-index zu beachten (A. Haeussermann et al., 2007 [1]). Bei Verwendung einer Wasservernebelung oder Cool Pads könnte sich durch eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte der Kühleffekt zu einer Belastung umkehren. Der Anteil an Belastung für die Tiere steigt mit Zunahme an relativer Feuchte im Tierbereich.

In der Wahl von Kühlungssystemen sind auch der Verbrauch von Wasser und die kontinuierlichen Kosten von Interesse. In einer Untersuchung an der Landesanstalt für Schweinezucht in Boxberg war

der Verbrauch von Wasser und Energie bei einem Cool Pad höher als bei der Hochdruckbefeuchtung.

In der selben Untersuchung lag die Unterflur-Zuluftkühlung beim Stromverbrauch und damit auch bei den Energiekosten deutlich unter dem Referenzsystem mit einer zwangsbelüfteten Porenendecke, deutlich auch unter einer Hochdruckkühlung und einem Cool Pad. Das Kühlsystem müsste aber einen durch Hitzestress bedingten Rückgang der täglichen Zunahmen in einem Ausmaß von 25 und 40 g abfangen, um die damit verbundenen Mehrkosten zu decken. Die Vorteile einer Zuluftvorwärmung in der Wintersituation bei Verwendung einer Unterflur-Zuluftkühlung sind in diesen Berechnungen nicht enthalten (J. Pertagnol et al. 2013 [2]).

Zunehmend gerät, analog zum Wohnbau, die Nutzung einer Fußbodenheizung zur Kühlung der Liegeflächen in den Sommermonaten. Die gekühlte Liegefläche führte zu einer vermehrten Inanspruchnahme des Liegebereichs und zu keiner zusätzlichen Verschmutzung im Innenbereich. Dieses System hat auch den wesentlichen Vorteil, dass die Umgebungsluft nicht zusätzlich mit Feuchtigkeit gesättigt wird. Es braucht in Zukunft eine Optimierung dieser Technik und insbesondere intelligente Steuerungseinrichtungen, um damit gleichzeitig das Stallklima zu optimieren. (S. Opperbeck et al. 2020 [3]. Der im Projekt SaLu_T untersuchte Tierwohlstall verfügt über eine Fußbodenheizung, diese war zur Kühlung der Liegefläche und während der Messungen allerdings nicht aktiv.

Ammoniak- und Staubemissionen stehen häufig in Verbindung mit Lungenveränderungen bei Mastschweinen. Der direkte Einfluss von hohen Ammoniakkonzentrationen hinsichtlich funktioneller oder morphologischer Störungen auf den Atmungstrakt wurde in experimentellen Untersuchungen mehrfach bestätigt. Verglichen wurde der durchschnittliche Ammoniakgehalt zwischen Schweinebetrieben mit einer Prävalenz an Pneumonien über 70 % mit denen von weniger als 30 %. Die durchschnittliche Ammoniumkonzentration in einem Schweinebetrieb mit einer hohen Prävalenz an Pneumonien betrug 11,3 ppm im Vergleich zu 5 ppm bei Schweinen mit niedrigem Pneumonie-vorkommen. Staub, hohe Schadgaskonzentrationen, Trockenheit und extrem hohe oder niedrige Luftfeuchtigkeit erhöhen die Empfindlichkeit der Schweine gegenüber Pneumonie-Erregern. Ungünstige Umweltbedingungen können die Wirkung von Sekundärinfektionen von unter natürlichen Bedingungen entstandenen Ausbrüchen von Enzootischer Pneumonie (EP) entscheidend verschlimmern (M. Schuh, 2001 [2]).

Beim dem in diesem Bericht abgehandelten „emissionsarmen Tierwohlstall für die Schweinemast“ handelt es sich um eine Haltungsform in Dreiflächenbuchten unter Außenklimabedingungen. Ausgehend von einem reduzierten Stallinnenbereich, welcher den Schweinen als klimatisierte und wärmege-dämmte Ruhezone dient, werden die Funktionsbereiche Fressen, Aktivität und Ausscheidung in den Außenbereich verlagert. Dadurch wird den Tieren die Möglichkeit geboten, gemäß ihrer artspezifischen Verhaltensweisen Liege-, Fress- und Kotplatz zu trennen. Der Auslauf samt Kotbereich ist in der Gesamtheit überdacht und das Dach wärmege-dämmt ausgeführt. Nach VDI 3894/1- Blatt 1 [5] verringern sich die Ammoniakemissionen gegenüber der konventionellen

Schweinemast (Vollspalten) von $3,64 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1} \cdot \text{Tierplatz}^{-1}$ auf $2,43 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1} \cdot \text{Tierplatz}^{-1}$ für den überdachten Außenklimastall. Ein Festmistensystem mit Stroh-Tiefstreu in der konventionellen Schweinemast weist allerdings einen Emissionsfaktor von $4,86 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1} \cdot \text{Tierplatz}^{-1}$ auf, für einen Außenklimastall mit Haltung auf Tiefstreu liegt der Ammoniakfaktor bei $4,20 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1} \cdot \text{Tierplatz}^{-1}$.

Tendenziell tragen laut VDI 3894 Blatt 1 Maßnahmen, die zu geringeren Ammoniak- und Staubemissionen führen, auch zur Minderung der Geruchsstoffemissionen bei. Zusätzlich gelten Staubpartikel immissionsseitig als Trägermaterial für Ammoniak und Geruch. Nachdem die Haltung auf Stroh im Bereich Tierwohl als unerlässlich gilt, wurde eine automatische Einbringung von gehäckselten und entstaubtem Stroh in das neue System integriert und die Bildung von Ammoniak bereits an der Quelle durch eine gezielte Kot-Harntrennung angestrebt.

Der überdachte Auslauf ist zudem an den Öffnungen mit regelbaren Curtains ausgeführt. Damit soll zum einen eine Zugluft bei hohen Windgeschwindigkeiten und gleichzeitig tiefen Temperaturen sowie ein unnötig hoher Wärmeeintrag im Sommer und durch die Überdachung auch eine permanente Durchfeuchtung emittierender Oberflächen (Kotbereich) vermieden werden. Weitere Ausführungs- und Planungsdetails sind insbesondere den Teilberichten 2 und 3 und in weiterer Folge 4 bis 8 zu entnehmen.

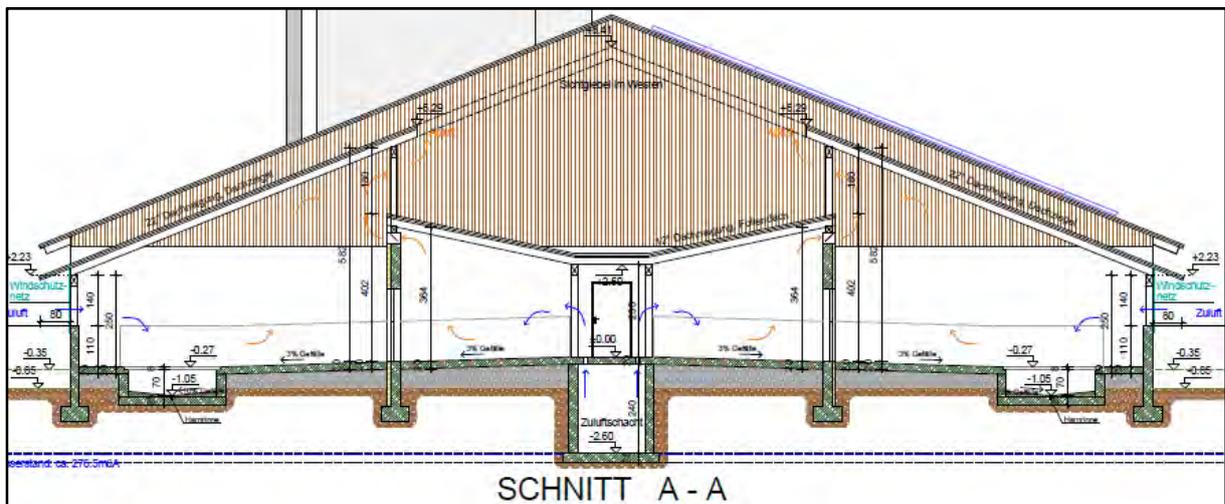


Abbildung 1: Schnitt des doppelreihigen emissionsarmen Tierwohlmaststalls mit Darstellung der Funktionsbereiche und Unterflur-Zuluftführung (Quelle: Fa. Lorber&Partner)

Funktionsbereich Ruhen:

Der Liegebereich befindet sich im wärmegeprägten Stallinnenraum (Abbildung 2: Stallinnenraum mit zuluftführendem Kontrollgang, Zuluft orange dargestellt, Liegebereich links und rechts mit verschiebbaren Buchtenrückwänden (Quelle: Raumberg-Gumpenstein)) ist in Form einer herkömmlichen Bucht (Trennwände mit Paneelen) ohne Abdeckung auf planbefestigtem Boden mit 2 % Gefälle und integrierter Bodenheizung ausgestaltet. Die rückwärtige Buchtenwand (entlang des Bedienungsganges) ist verschiebbar ausgeführt, sodass die Fläche des Ruhebereichs an die Größe der Tiere angepasst werden kann. Durch diese Maßnahme soll gewährleistet sein, dass die Tiere den

Innenbereich auch tatsächlich als ihren Ruheplatz aneignen und nicht verschmutzen. Zum Zweck der Erhöhung dieser Akzeptanz und zur Steigerung des Tierkomforts wird minimal eingestreut (0,05 kg pro Tier und Tag). Das Einstreuen erfolgt mittels Ballenauflöser samt Zyklonentstaubung und wird voll automatisiert umgesetzt.



Abbildung 2: Stallinnenraum mit zuluftführendem Kontrollgang, Zuluft orange dargestellt, Liegebereich links und rechts mit verschiebbaren Buchtenrückwänden (Quelle: Raumberg-Gumpenstein)

Funktionsbereich Fressen:

Über eine Schwenktüre, welche von den Schweinen mit dem Rüssel geöffnet wird, gelangen die Tiere in den überdachten Auslauf. Hier findet sich der planbefestigte Fressbereich, in welchem die Mastschweine am Langtrog gefüttert werden. Zu Mastbeginn liegt das Tier-Fressplatzverhältnis bei 1:1, im weiteren Verlauf der Mastperiode sinkt es bedingt durch die vorgesehenen Troglängen auf 1:2,8. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen und Empfehlungen wurde eine Multiphasenfütterung eingebaut. Die Fütterung kann trocken/breilig über Automaten oder flüssig (sensorgesteuert) erfolgen.

Funktionsbereich Ausscheidung & Entmistung:

An den planbefestigten Fressbereich schließt ein perforierter Mistbereich an. Um entsprechenden Kotdurchtritt zu gewährleisten, hat sich hier die Verwendung von Kunststoffrosten bewährt. Darunter befindet sich ein V-förmig ausgestalteter Keller (5-10 % Gefälle zur Mitte hin) mit Schieberentmistungssystem und einer Harnrinne. Die Harnrinne ist mit einem natürlichen Gefälle ausgeführt, der Harn fließt in der Folge gesondert in einen geschlossenen Behälter.

- 2-stündige Entmistungsfrequenz: hochfrequente, rasche Ausbringung von Kot aus dem Stallbereich in abgedeckte Wirtschaftsdüngercontainer und somit Reduktion der Emissionsquellen/emittierenden Flächen. Nachteil: Schmierfilmbildung mit gesteigerter Ammoniak- und Geruchsfreisetzung

- 4x tägliche Entmistungsfrequenz: längeres Verbleiben im Stallinneren, dafür Vorteil der Krustenbildung an der emittierenden Oberfläche (dadurch geringere Freisetzung) und verbesserte Abschiebung mit geringen Rückständen.

Die am Betrieb Neuhold gewählte Entmistungsform mit einer baulich-mechanisch konzipierten Kot-Harn-Trennung, die sofortige Harnableitung, die Abschiebung der Festmistanteile in einen Container und in der Folge die Kompostierung des Festmistes, war bislang in der Praxis weder üblich noch untersucht.

Die seitlichen Buchtentrennwände im Ausscheidungsbereich sind offen in Form von Trenngittern ausgeführt, sodass das natürliche Revierverhalten die Schweine dazu veranlasst, ihren Kot und Harn dort abzusetzen. Die Tränkeeinrichtungen befinden sich ebenfalls in diesem Bereich – Feuchtigkeit regt zum Harn-/Kotabsatz an.

Zuluftführung

Die Längsachse des doppelreihigen Stalles ist auf der Ost-West Achse ausgerichtet. An der Süd- und Nordseite befindet sich jeweils eine Zuluftöffnung, welche auf Basis Unterdruck unvorbelastete Außenluft einsaugt. Die Öffnungen an der Süd- und Nordseite können wechselhaft geöffnet und geschlossen werden. Im Versuchszeitraum waren beide Öffnungen ständig luftführend.

Unmittelbar in die Ansaugöffnungen integriert ist jeweils ein über den Zuluftquerschnitt vollflächig verbautes Cool Pad, welche in den Monaten April bis Oktober durchgehend in Betrieb waren.

Die Frischluft strömt mit geringer Geschwindigkeit in den Sommermonaten durch zwei Cool Pads oder im Winter an diesen vorbei in einen ca. 300m² großen Unterflur-Zuluftbereich und mündet schließlich über den belüfteten Vollspalten und über die Buchtentrennwände in den unmittelbaren Liege- bzw. Ruhebereich. Die Luftgeschwindigkeit unter dem Spaltenboden beträgt ca. 1,2 m/sec.

1.3.1 Temperatur- und Luftfeuchtemessungen

Der oben und in den Unterberichten 2 bis 3 angeführte Weg der Zuluft, siehe auch Abbildung 3 und Abbildung 4, von der Außenluft bis zu den Bedingungen direkt über dem Ruhe- bzw. Liegebereich, wurde in allen Teilbereichen mit Datenloggern (Testo 175) bestückt. Über eine Dauer von mehr als zwei Jahren wurden permanent die Temperatur in Grad Celsius und die relative Luftfeuchte in % aufgezeichnet. Das Speicherintervall lag bei 10 Minuten, der geloggte Wert bildet den Mittelwert der letzten 10 Minuten.

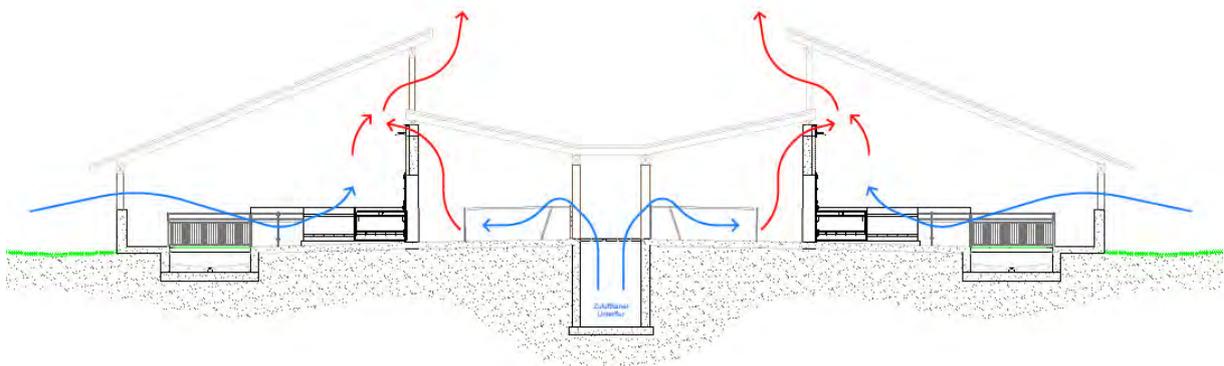


Abbildung 3: Zuluftführung in den Tierbereich (Quelle: Fa. Schauer Agrotronic)

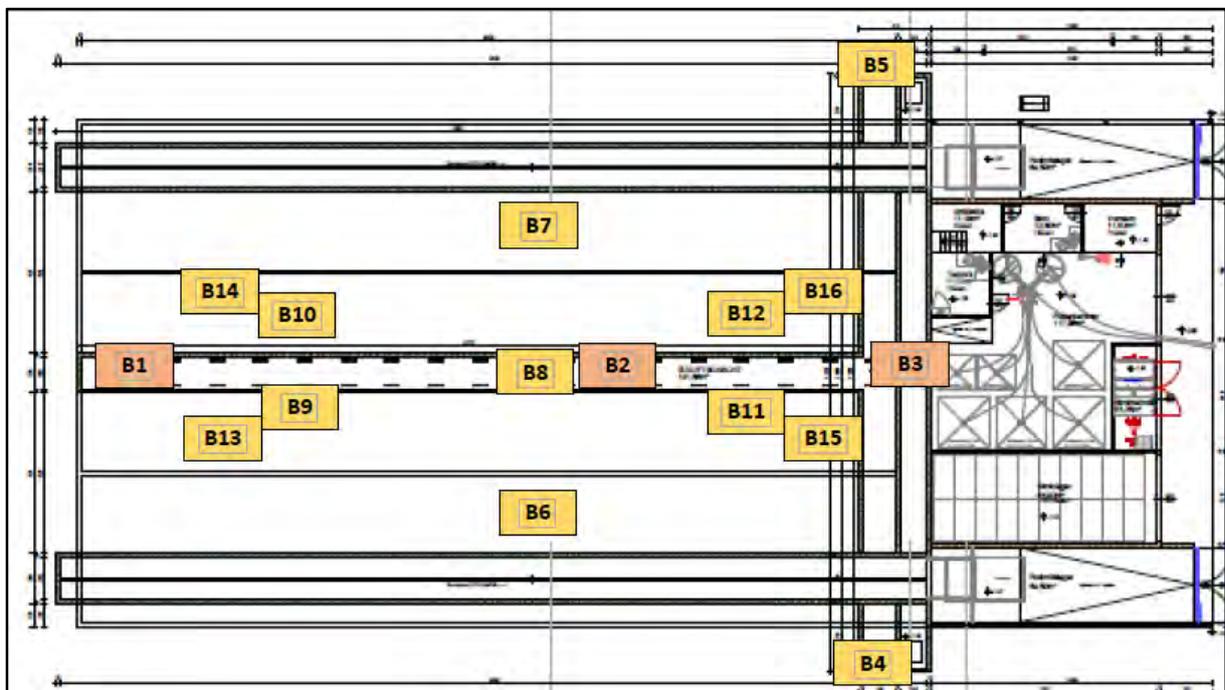


Abbildung 4: Positionierung der Logger in der Zuluft (Quelle: HBLFA Raumberg-Gumpenstein)

Beschreibung der Loggerpositionen

- B1 Unterflur Zuluft West
- B2 Unterflur Zuluft Mitte
- B3 Unterflur Zuluft Ost
- B4 Ansaugöffnung Außen Süd vor CoolPad
- B5 Ansaugöffnung Außen Nord vor CoolPad
- B6 Bewegungsbereich Außen Süd, 1,5 Meter über Tierbereich
- B7 Bewegungsbereich Außen Nord, 1,5 Meter über Tierbereich
- B8 Ruhebereich Gangboden Mitte Stall am zuluftführenden Vollspalten
- B9 Zuluft Bucht Süd-West, an der Buchtenwand zum Übergang in den Liegebereich

B10 Zuluft Bucht Nord-West, an der Buchtenwand zum Übergang in den Liegebereich
B11 Zuluft Bucht Süd-Ost, an der Buchtenwand zum Übergang in den Liegebereich
B12 Zuluft Bucht Nord-Ost, an der Buchtenwand zum Übergang in den Liegebereich
B13 Ruhebereich Süd-West, 1,5 Meter über dem Liegebereich
B14 Ruhebereich Nord-West, 1,5 Meter über dem Liegebereich
B15 Ruhebereich Süd-Ost, 1,5 Meter über dem Liegebereich
B16 Ruhebereich Nord-Ost, 1,5 Meter über dem Liegebereich

Alle Datenlogger waren so programmiert, dass für die Bereiche Temperatur und relative Luftfeuchte jeweils alle 10 Minuten ein Mittelwert geloggt wurde.

Jene zwei Logger, welche die „Ansaugöffnung“ bzw. -temperatur repräsentieren, waren in der Ansaugöffnung und vor den Cool Pads positioniert.

Die Logger mit der Bezeichnung „Unterflur“ waren ca. 50 cm über dem Betonboden positioniert.

Der Logger mit der Bezeichnung „Bediengang“ war direkt über dem luftführenden Spaltenboden positioniert.

Die Logger mit der Bezeichnung „Zuluft Bucht“ waren direkt an der Buchtentrennwand zum Liegebereich in 1 Meter Höhe positioniert.

Die Logger mit der Bezeichnung „Ruhebereich“ waren ca. 1 Meter über der Liegebucht positioniert.

Die Logger mit der Bezeichnung „Bewegungsbereich“ waren in der Mitte des überdachten Außenbereiches in einem Meter Höhe zwischen zwei Buchten positioniert.

1.4 Ergebnisse

In der Folge werden für die Jahre 2021 und 2022 jeweils der wärmste und kälteste Tag, die wärmste und kälteste Woche sowie das wärmste und kälteste Monat dargestellt. Zur besseren Übersicht werden in den Grafiken Temperatur und relative Luftfeuchte getrennt dargestellt.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass mit Juli 2021 weitere 4 Datenlogger im Bereich der unmittelbaren Zuluft zum Liegebereich mit der Bezeichnung „Zuluft Bucht“ und ergänzt mit der jeweiligen Himmelsrichtung montiert wurden. Dies sollte insbesondere der besseren Darstellung, von der Ansaugöffnung bis in den Tierbereich dienen.

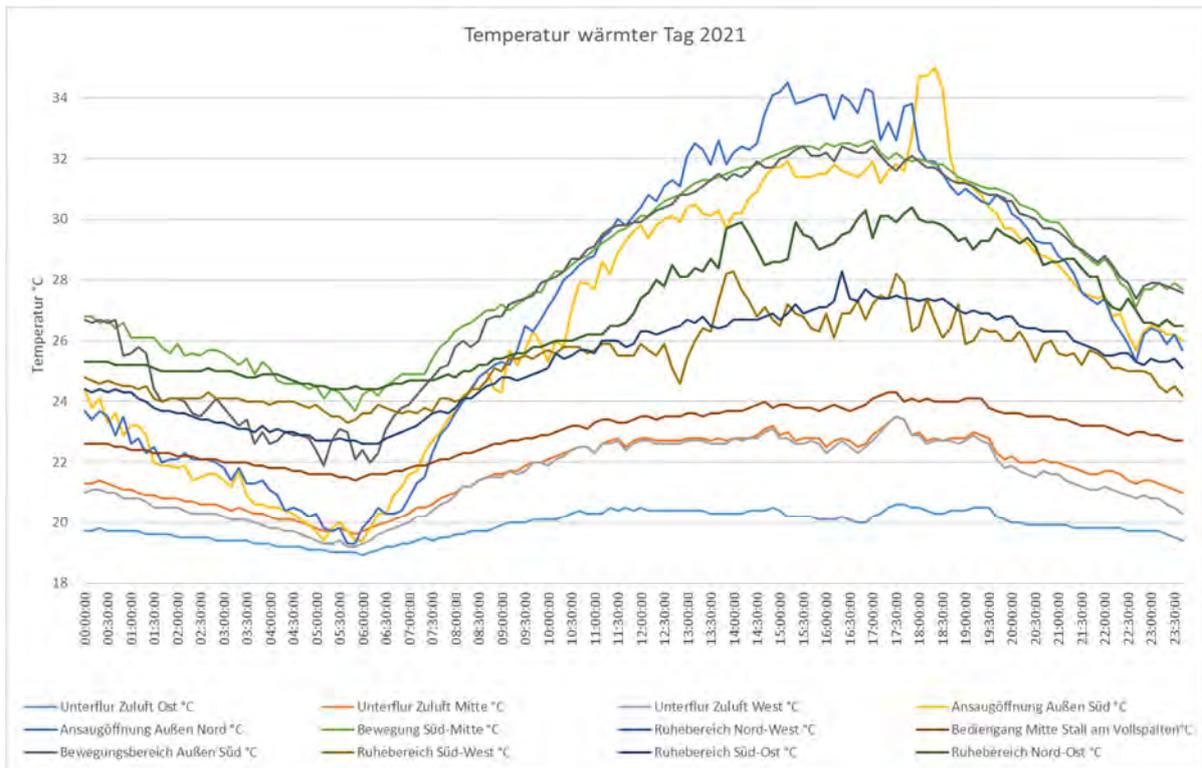


Abbildung 5: Temperatur wärmster Tag 2021

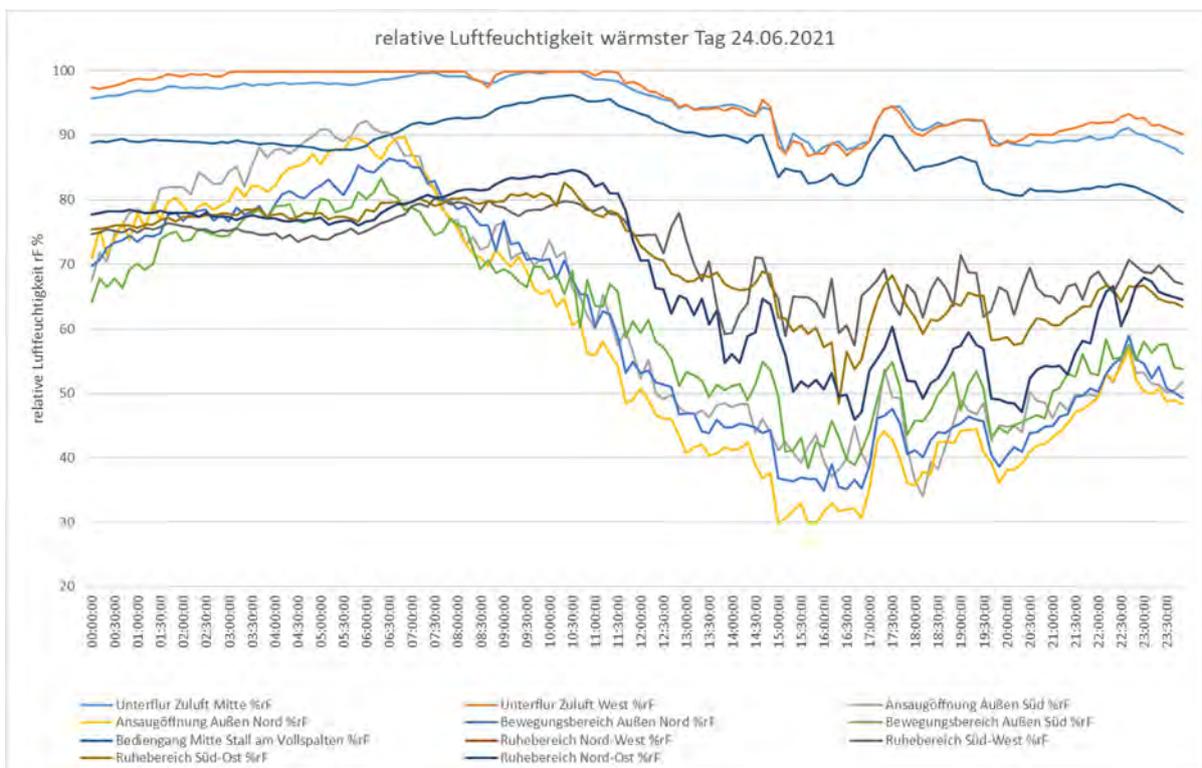


Abbildung 6: Relative Luftfeuchte wärmster Tag 2021

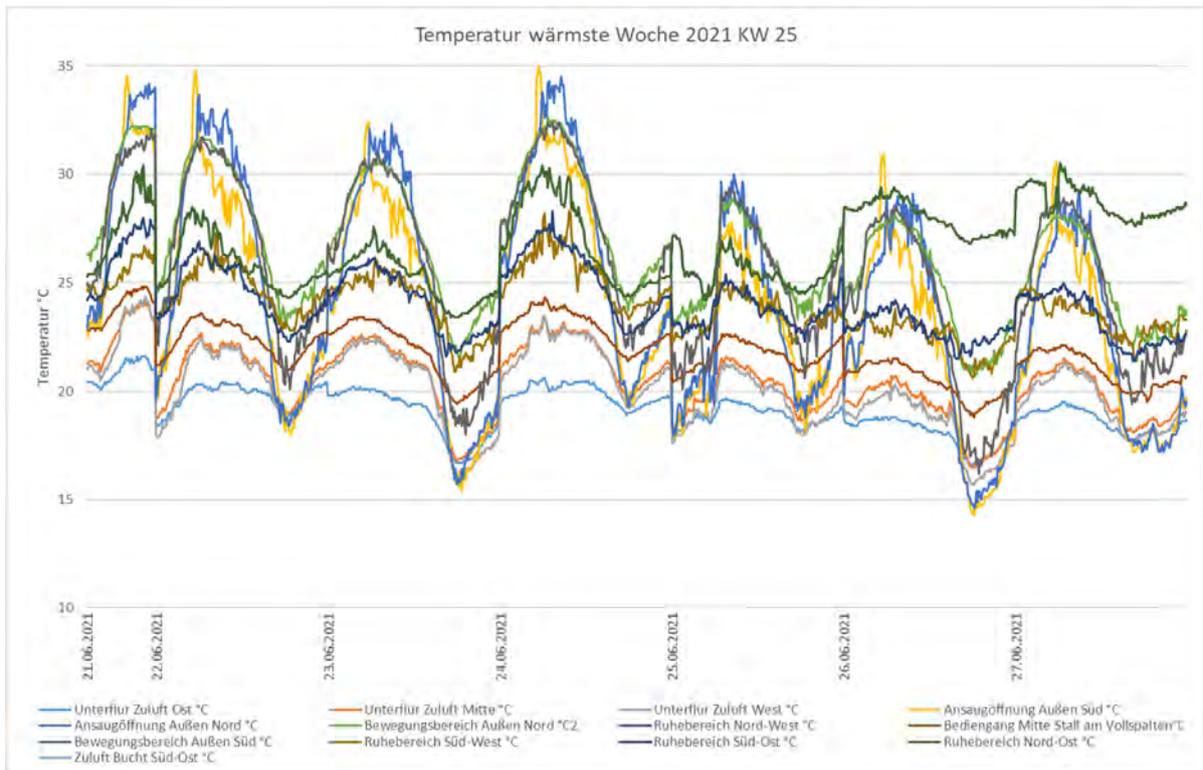


Abbildung 7: Temperatur wärmste Woche 2021

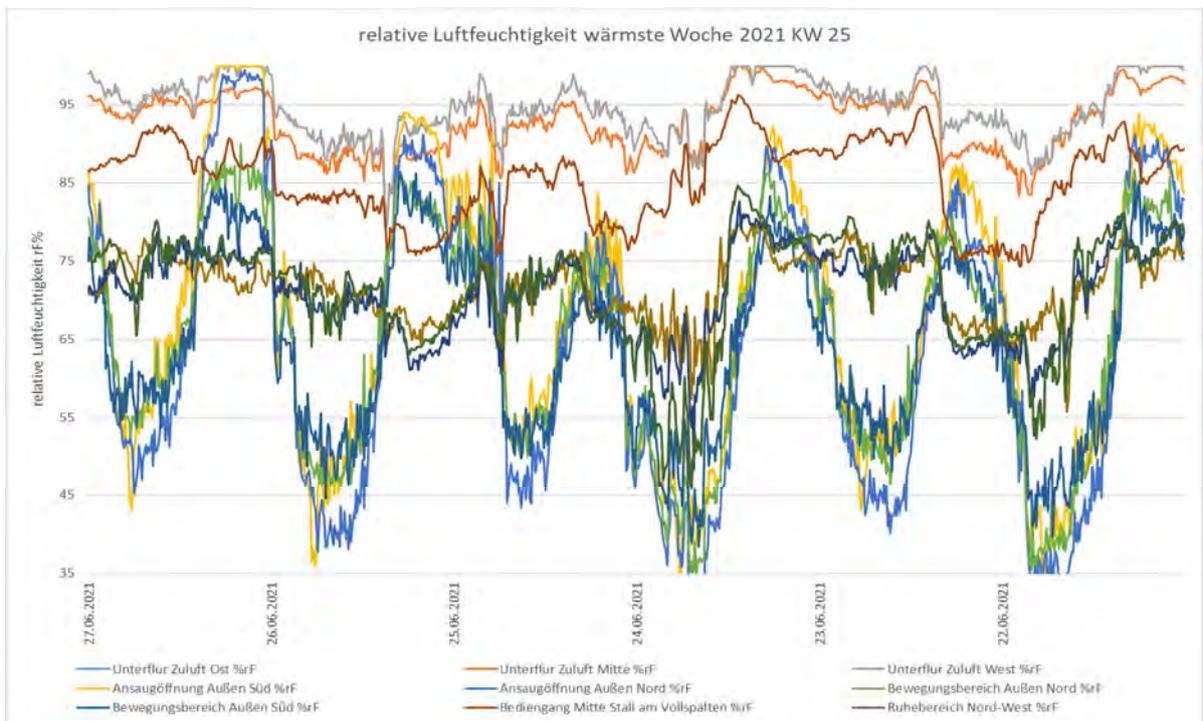


Abbildung 8: Relative Luftfeuchte wärmste Woche 2021

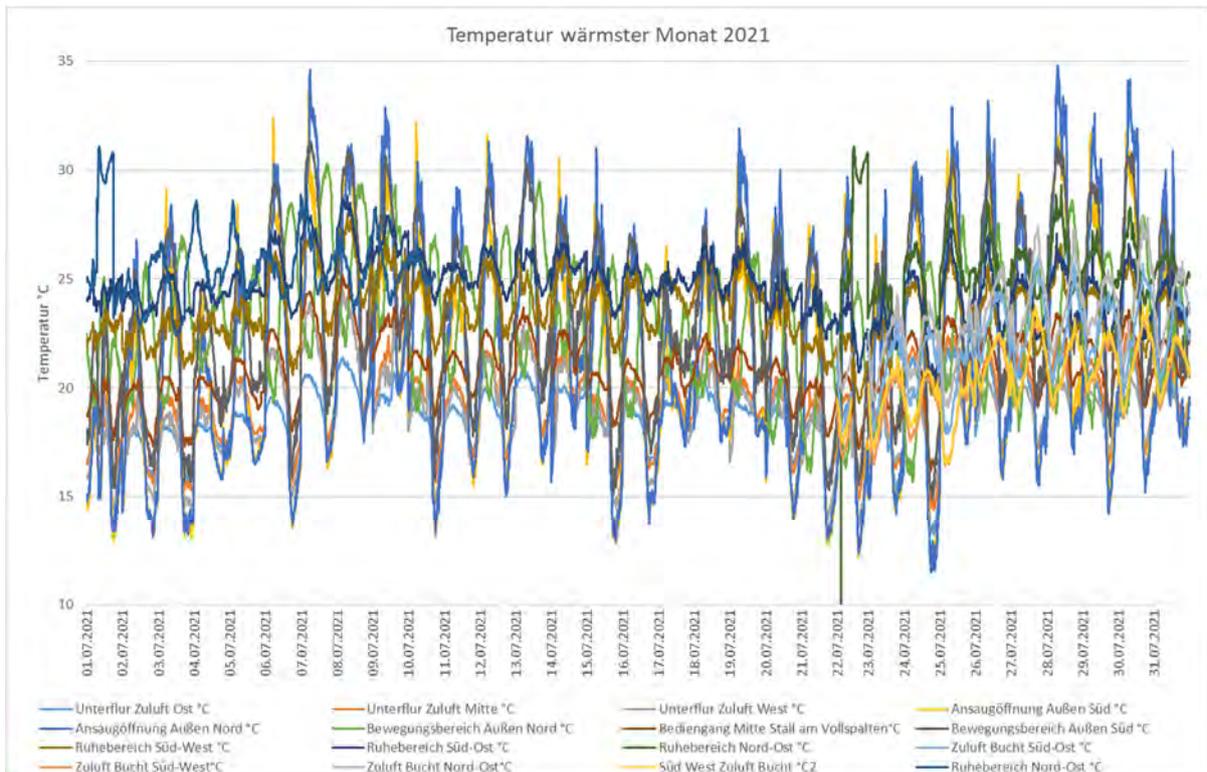


Abbildung 9: Temperatur wärmstes Monat 2021

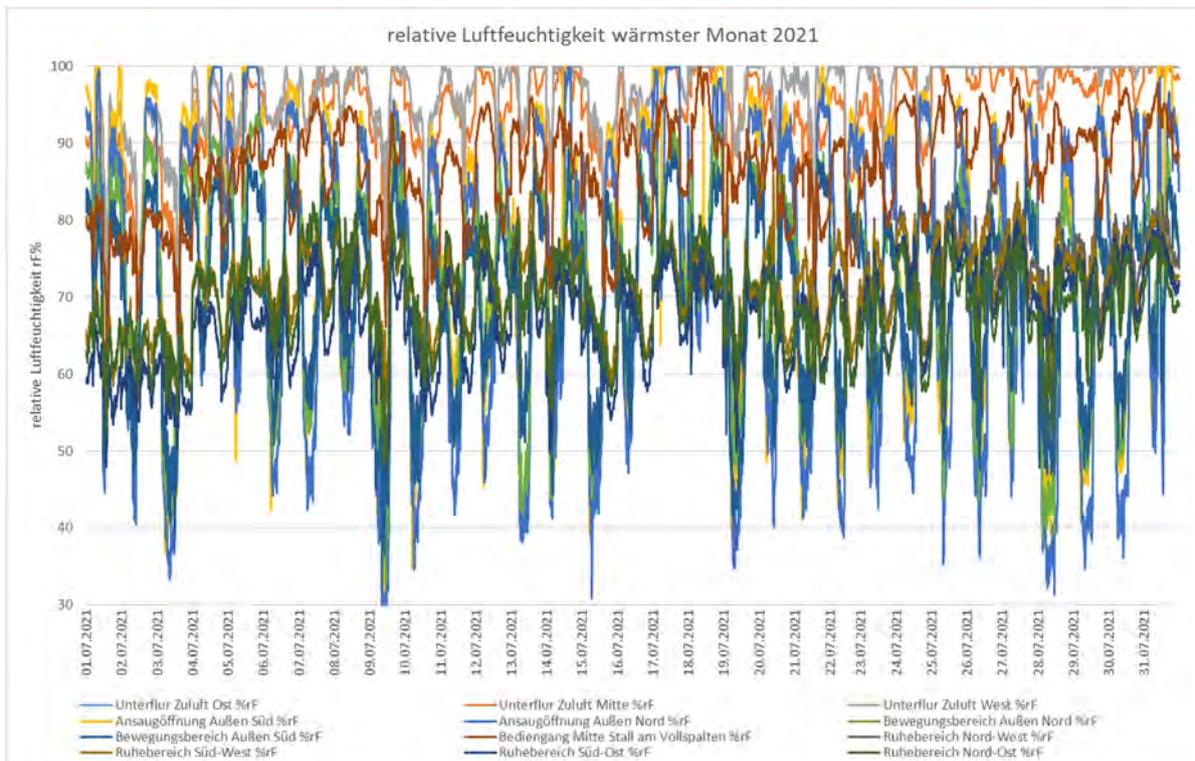


Abbildung 10: Relative Luftfeuchte wärmstes Monat 2021

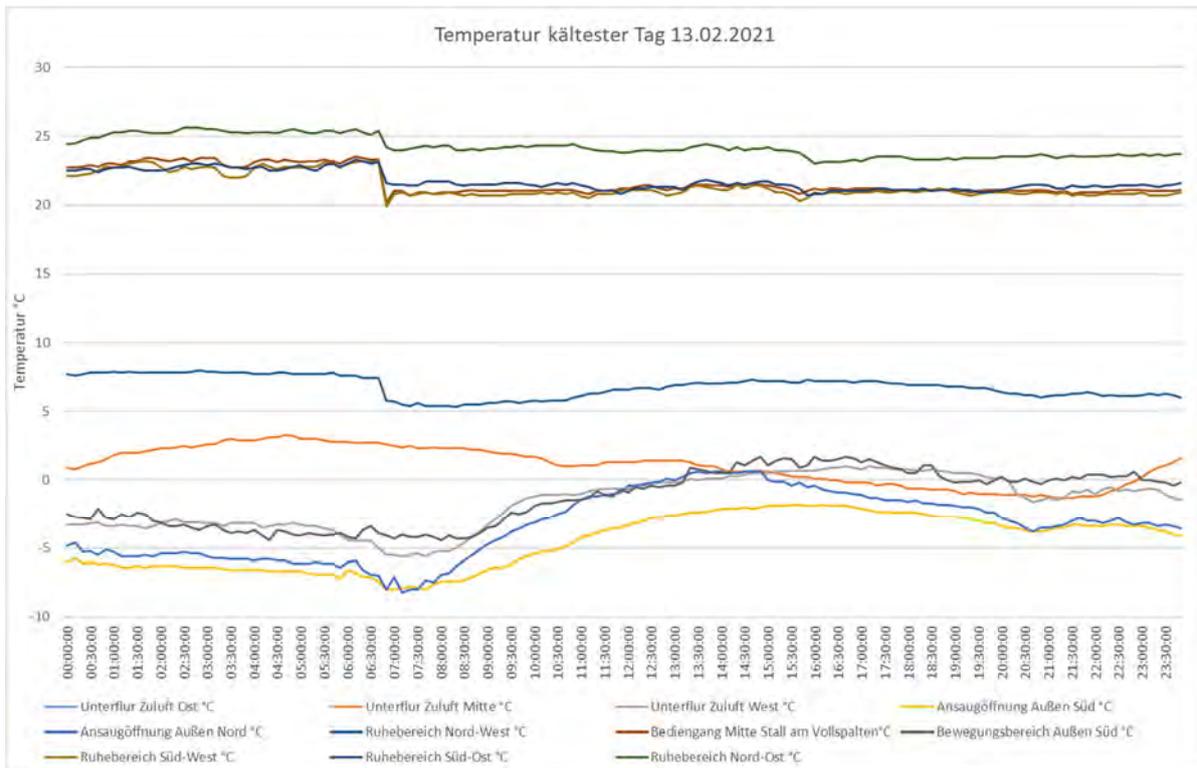


Abbildung 11: Temperatur kältester Tag 2021

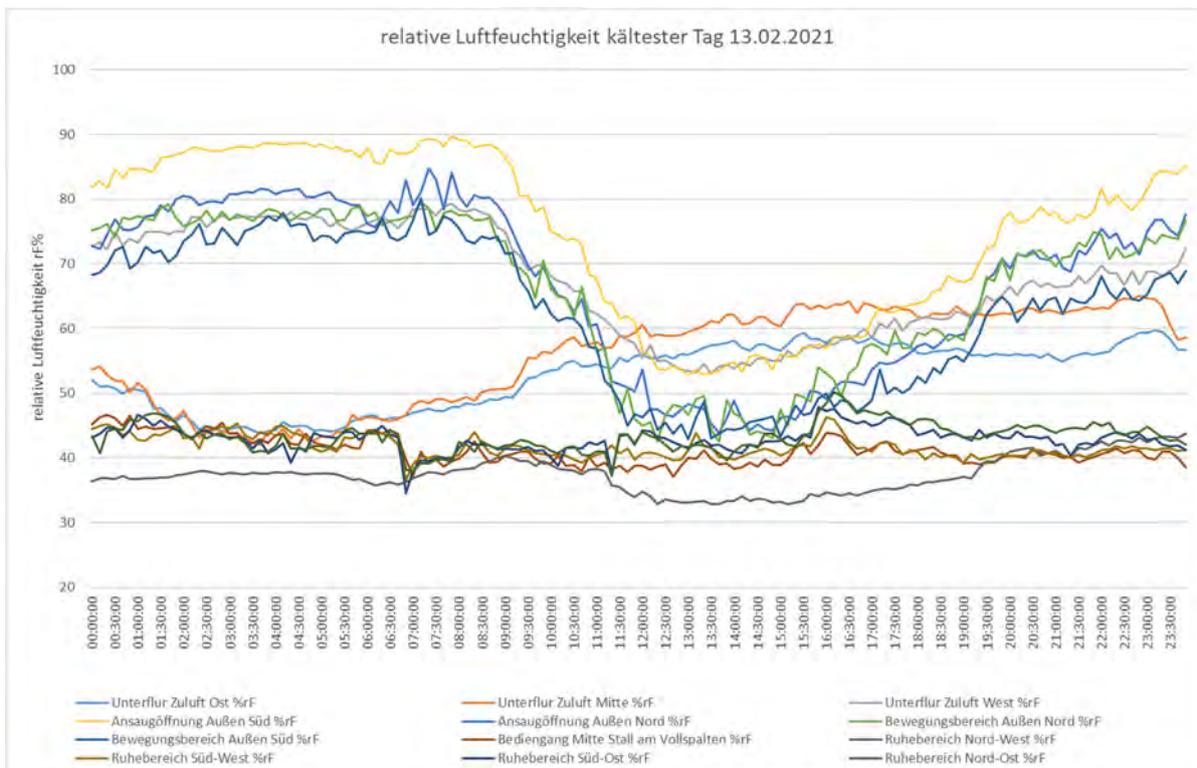


Abbildung 12: Relative Luftfeuchte kältester Tag 2021

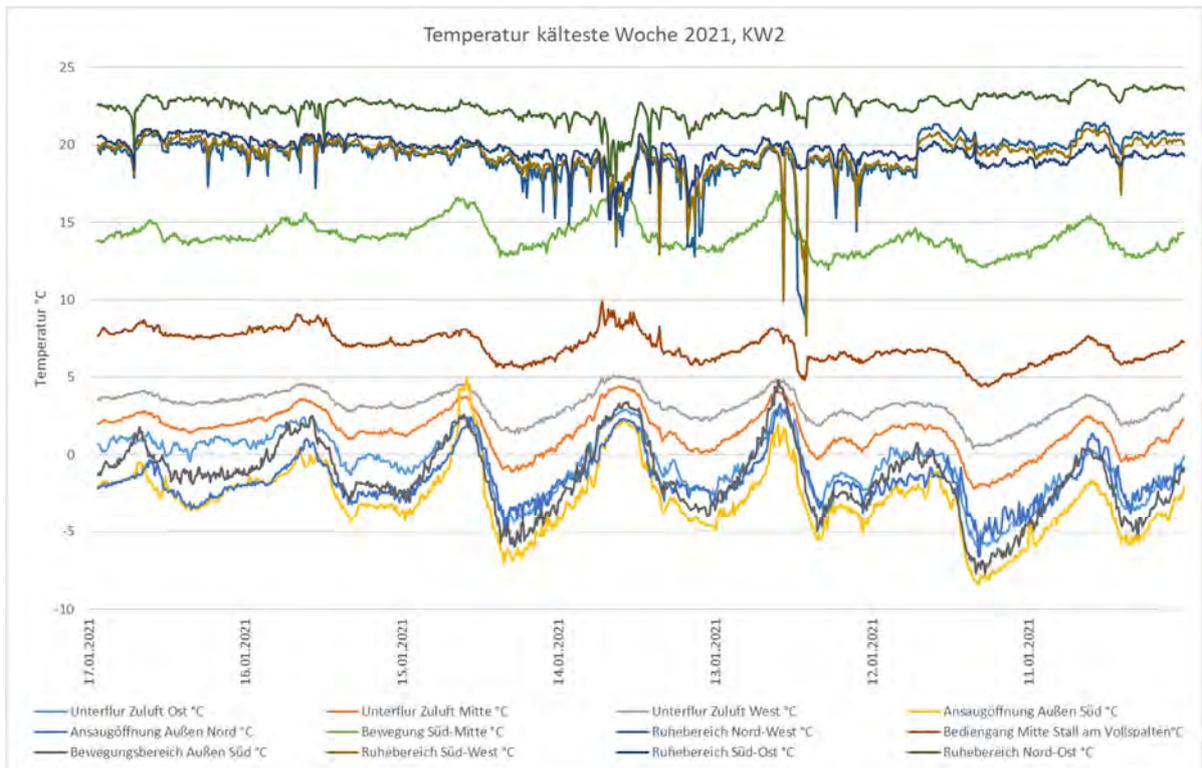


Abbildung 13: Temperatur kälteste Woche 2021

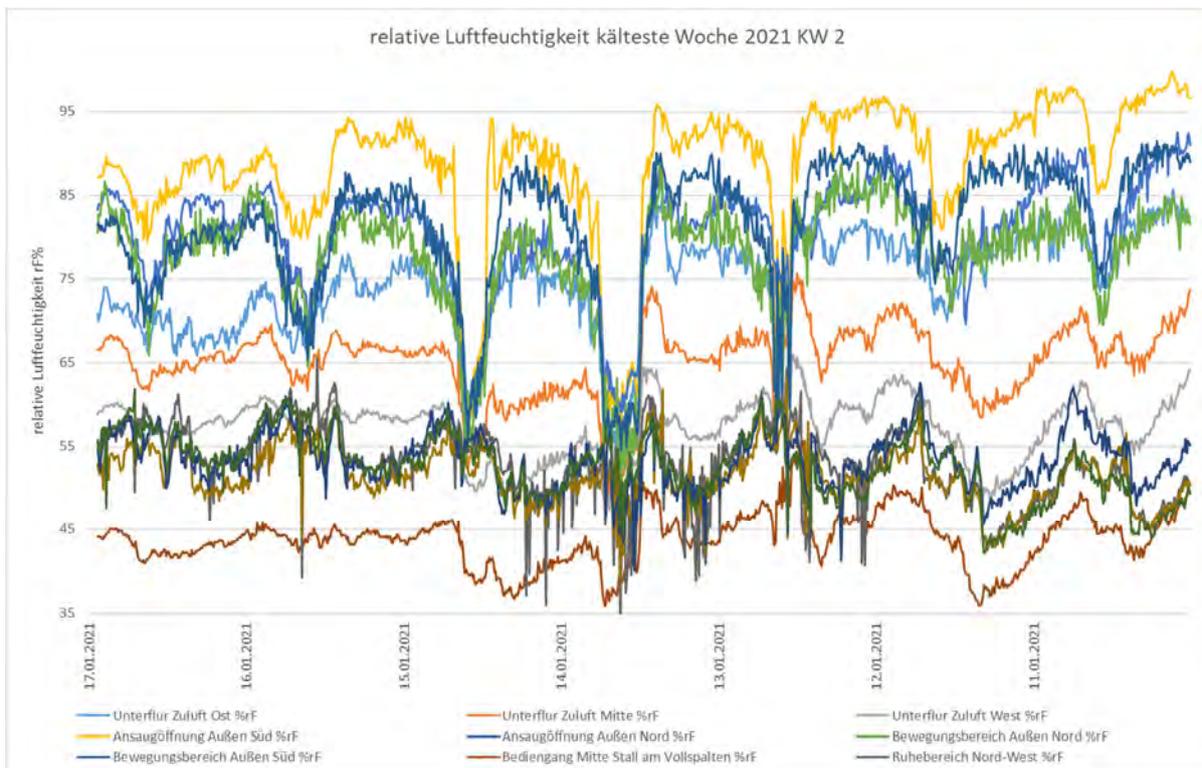


Abbildung 14: Relative Luftfeuchte kälteste Woche 2021

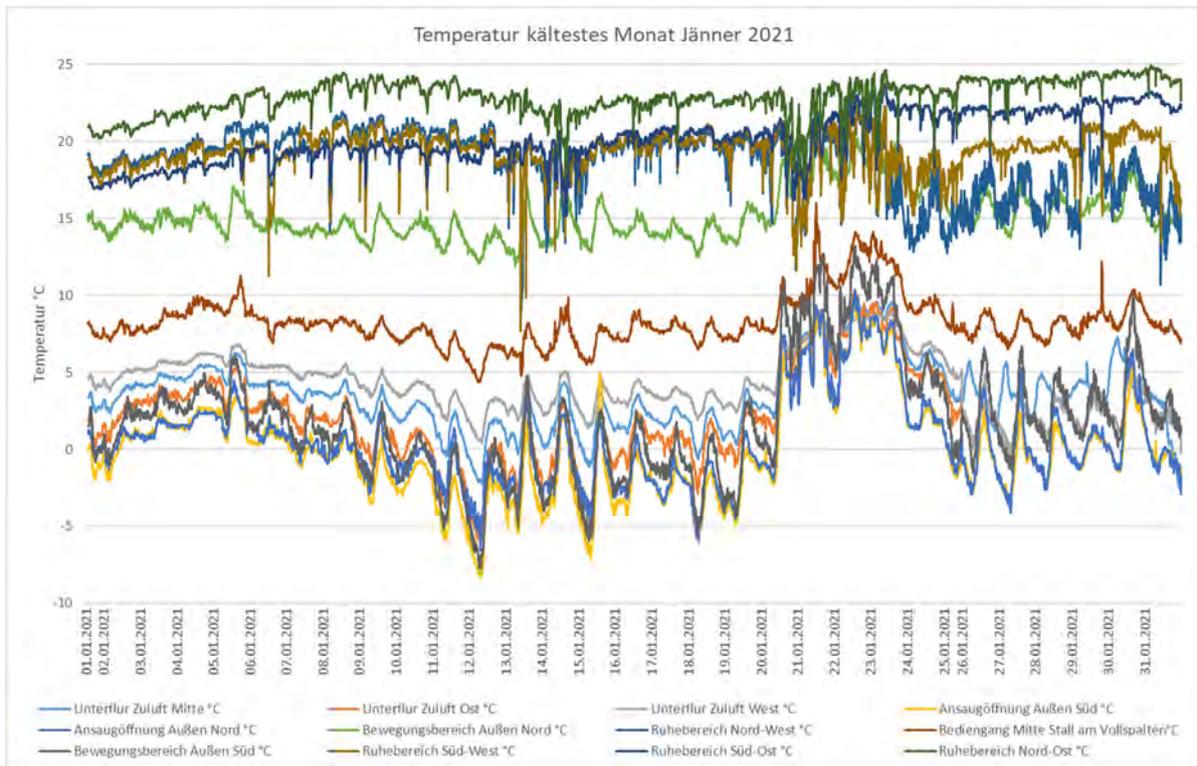


Abbildung 15: Temperatur kältestes Monat 2021

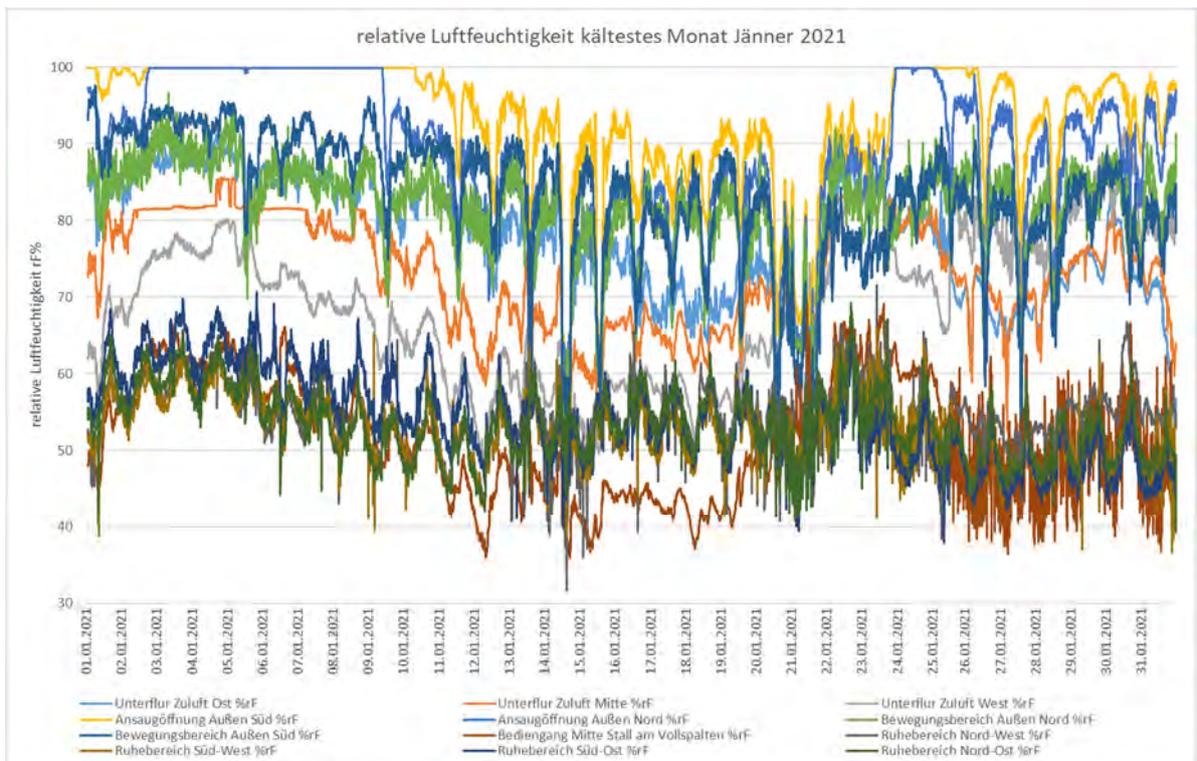


Abbildung 16: Relative Luftfeuchte kältestes Monat 2021

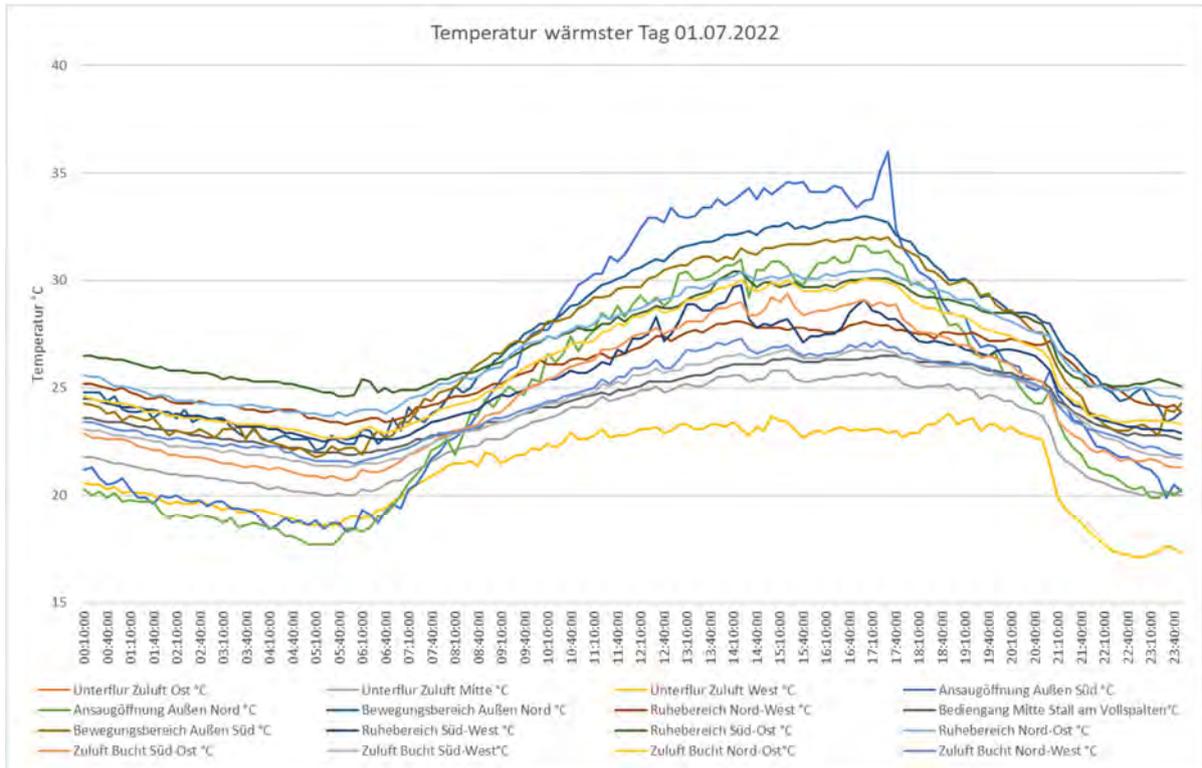


Abbildung 17: Temperatur wärmster Tag 2022

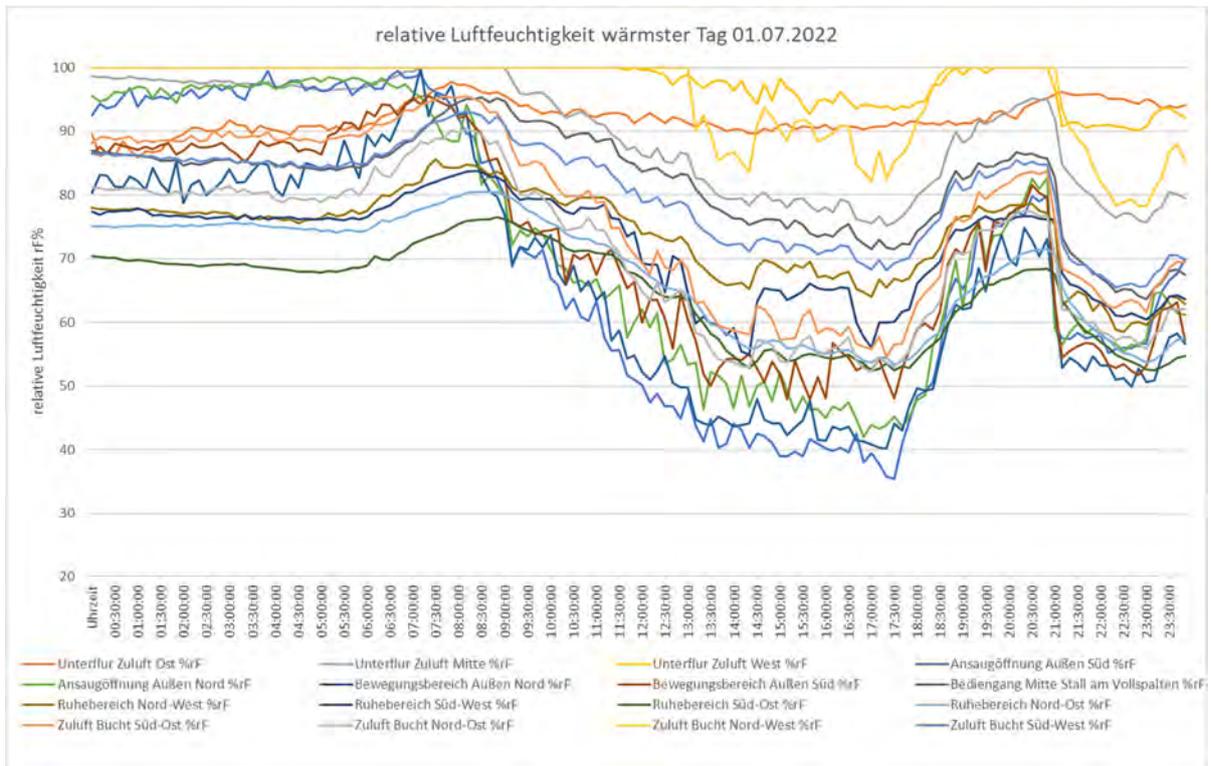


Abbildung 18: Relative Luftfeuchte wärmster Tag

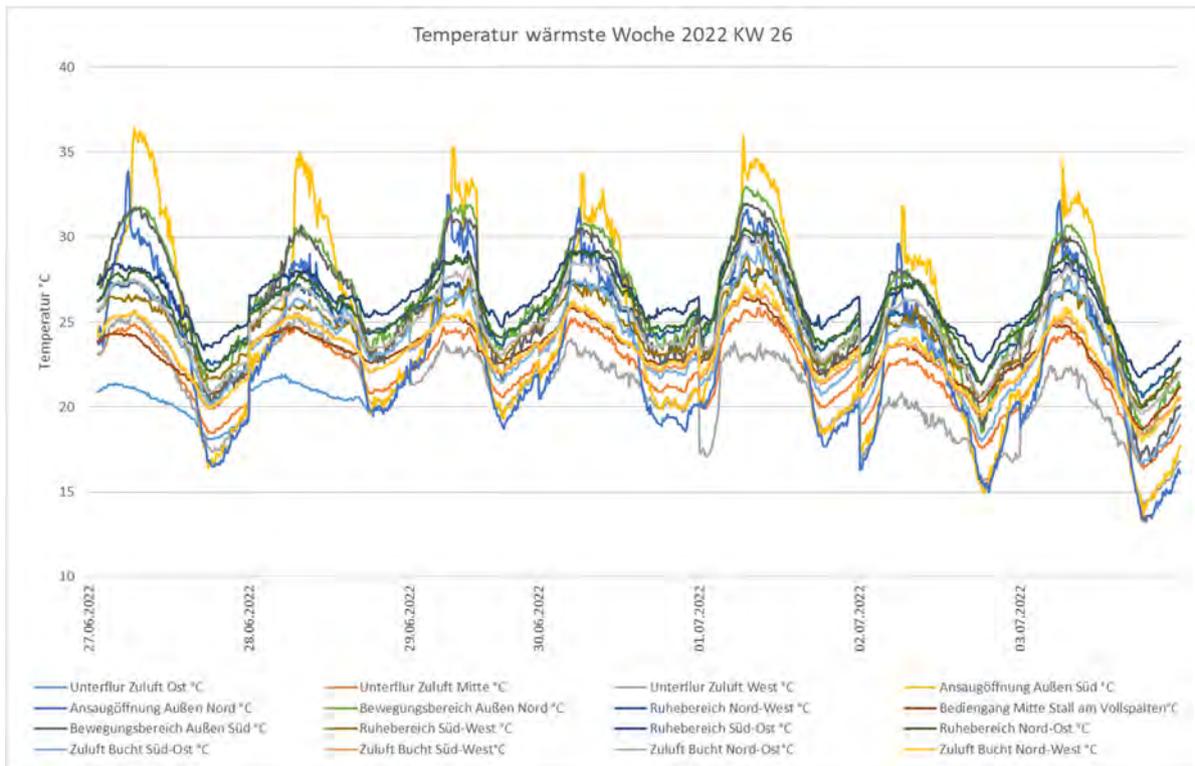


Abbildung 19: Temperatur wärmste Woche 2022

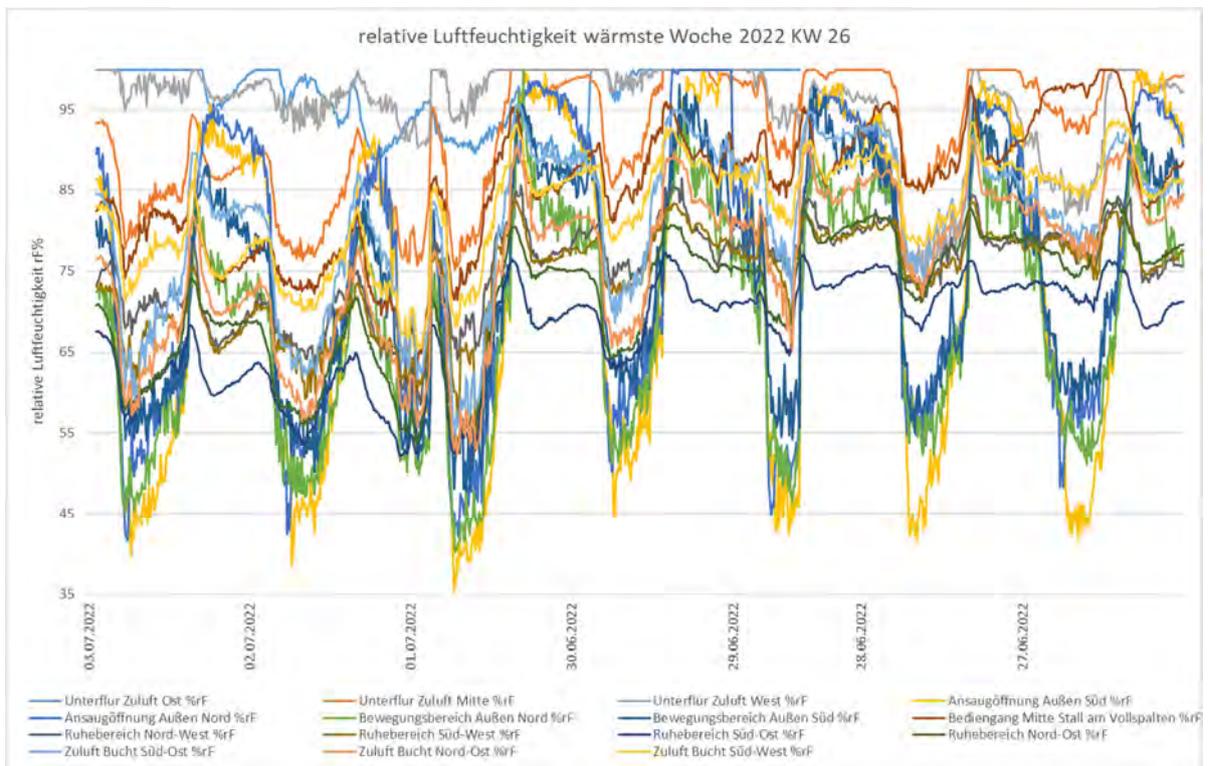


Abbildung 20: Relative Luftfeuchte wärmste Woche 2022

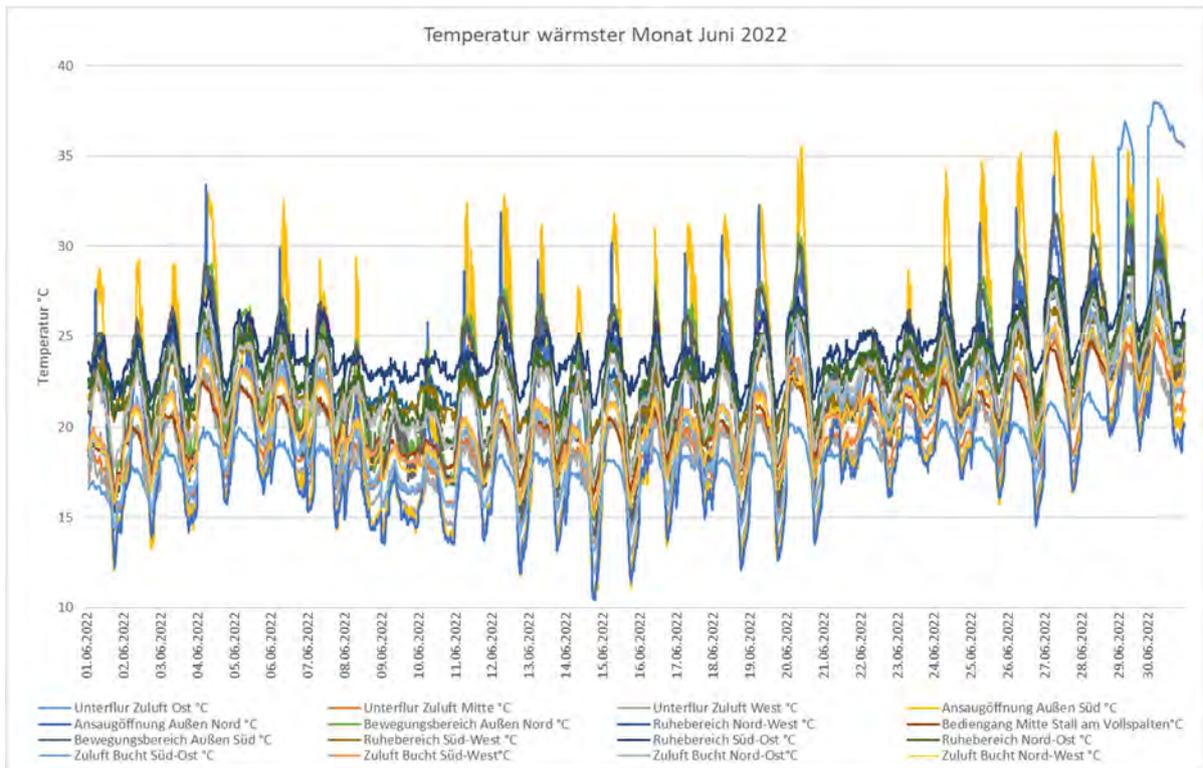


Abbildung 21: Temperatur wärmstes Monat 2022

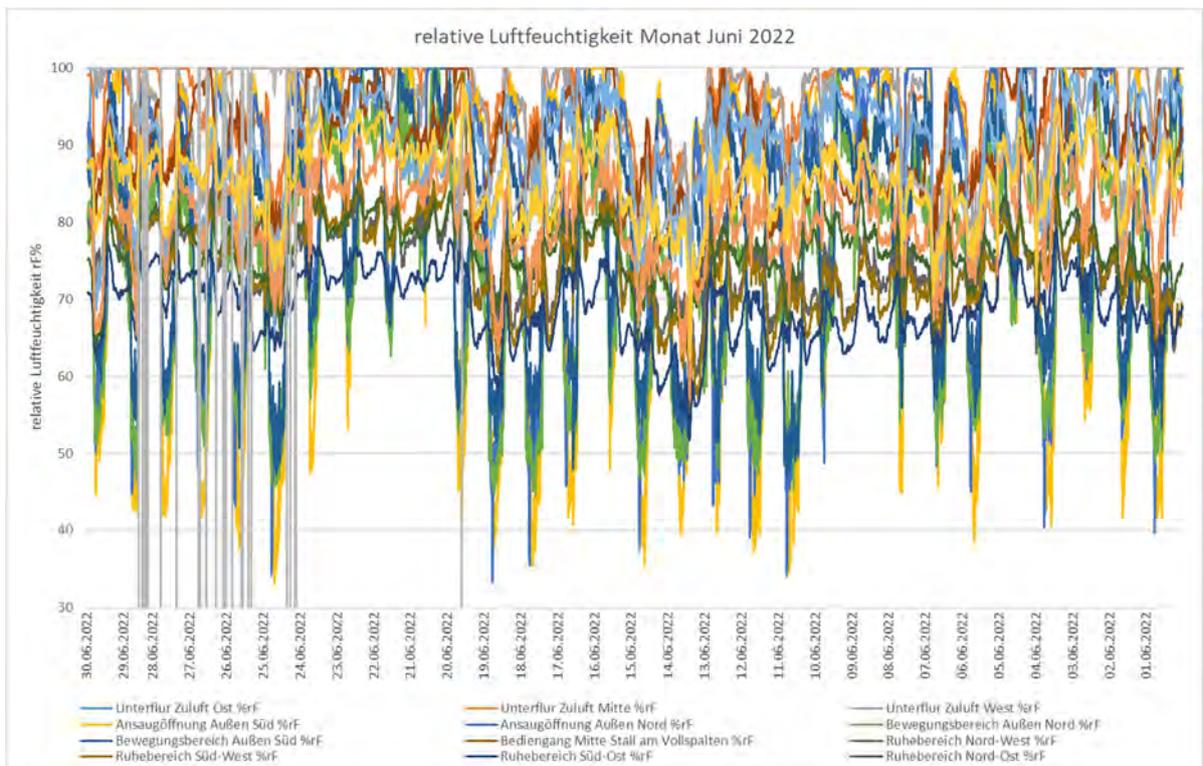


Abbildung 22: Relative Luftfeuchte wärmstes Monat 2022

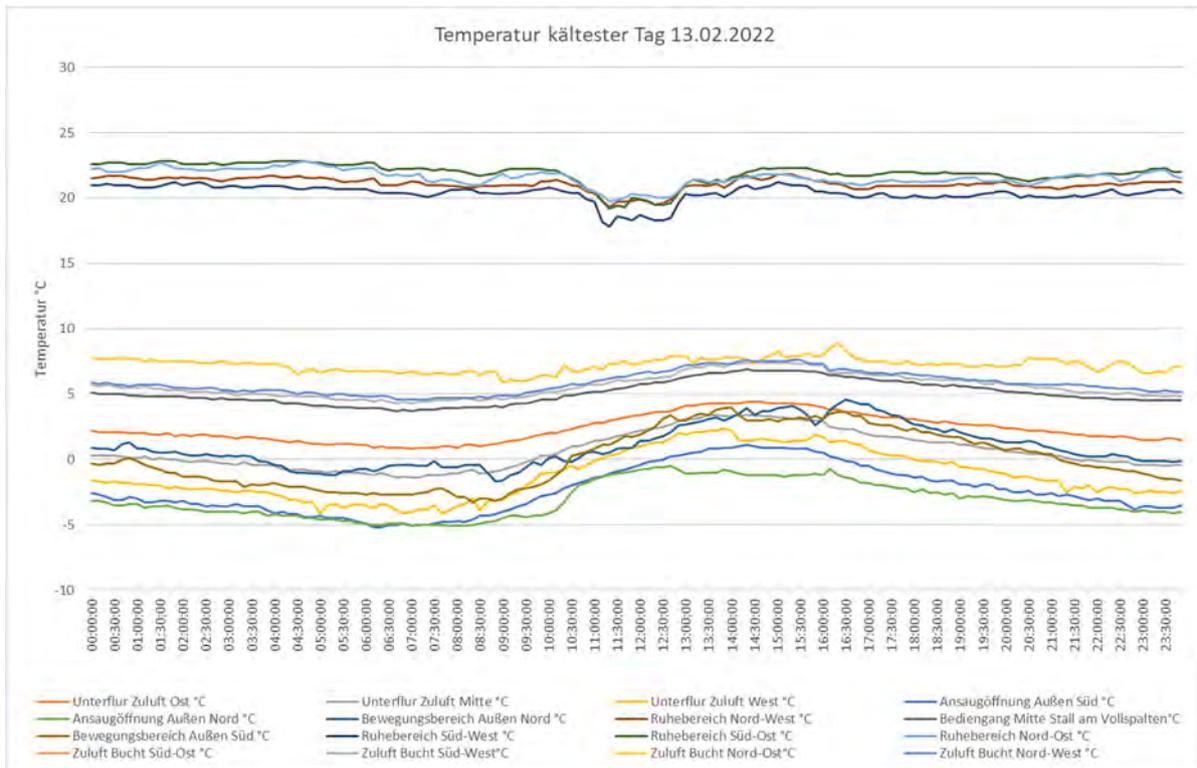


Abbildung 23: Temperatur kältester Tag 2022

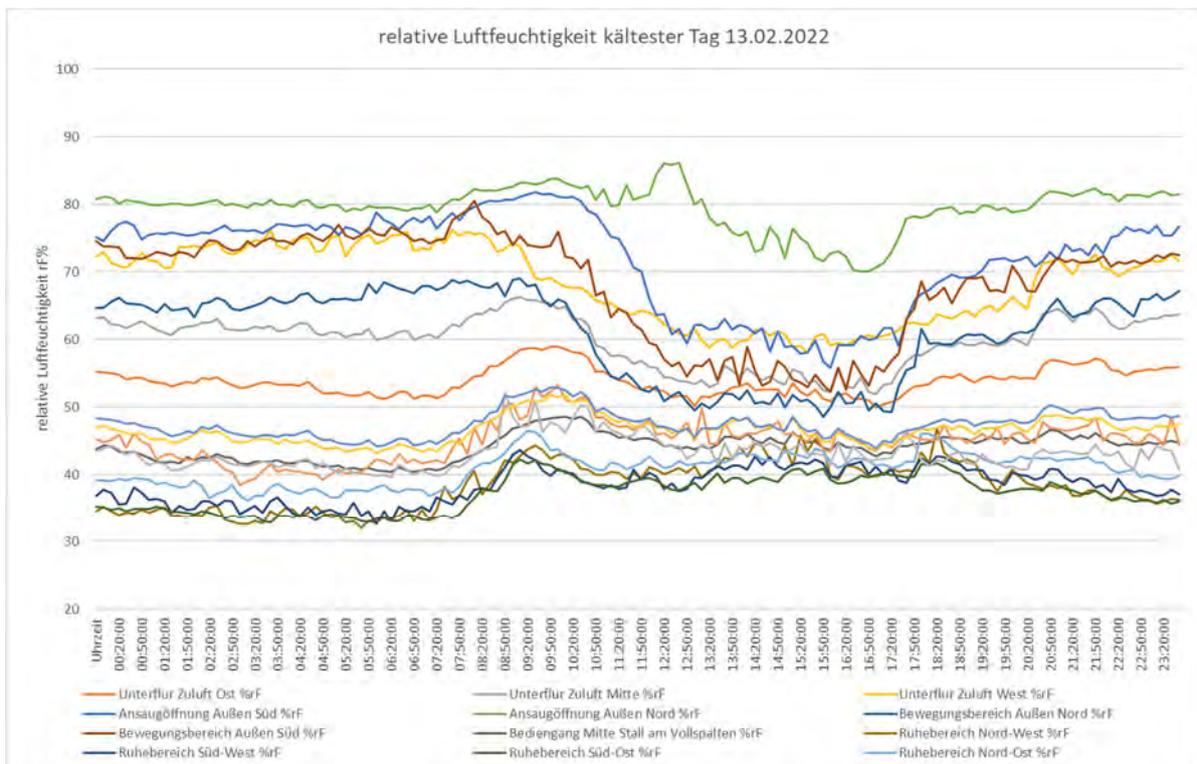


Abbildung 24: Relative Luftfeuchte kältester Tag 2022

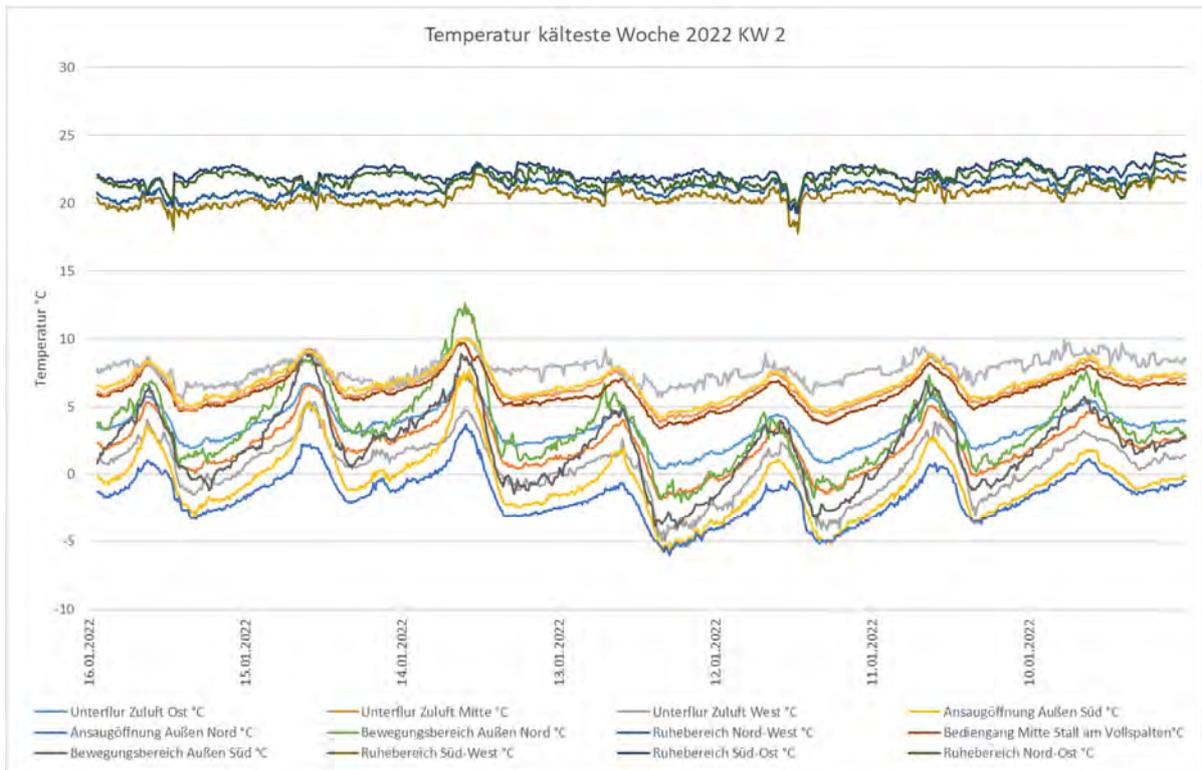


Abbildung 25: Temperatur kälteste Woche 2022

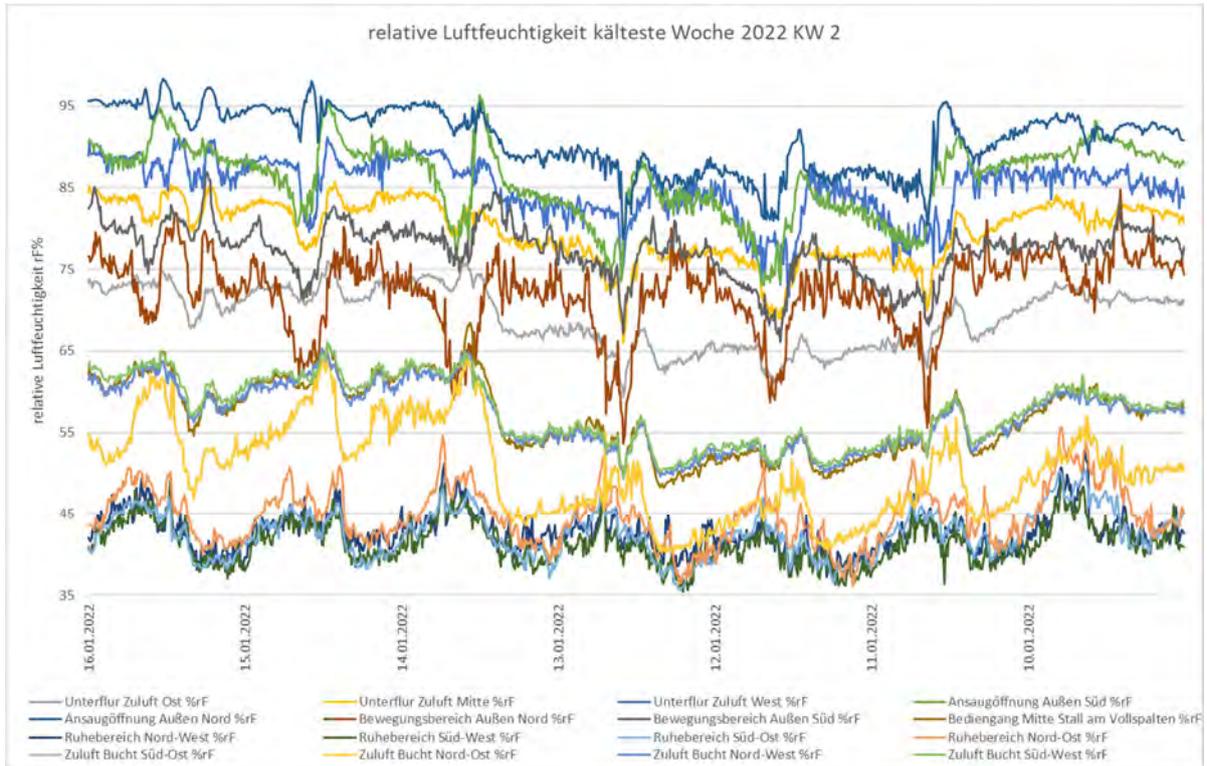


Abbildung 26: Relative Luftfeuchte kälteste Woche 2022

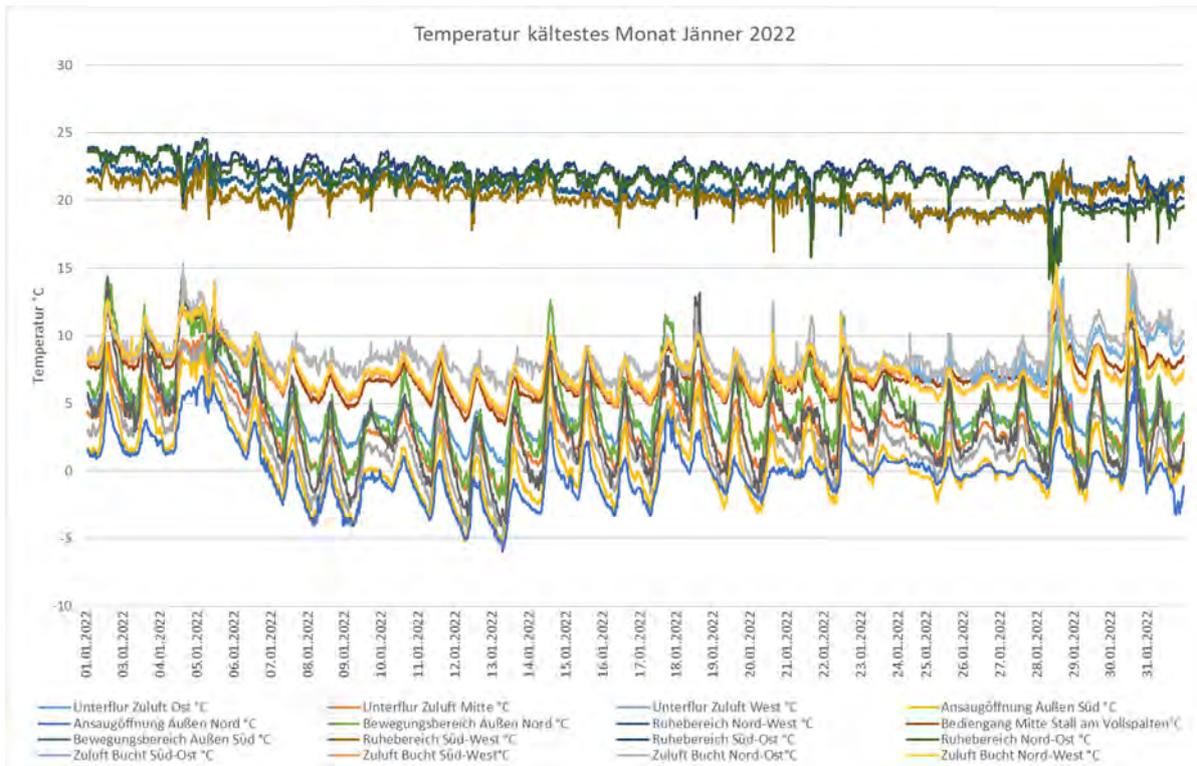


Abbildung 27: Temperatur kältester Monat 2022

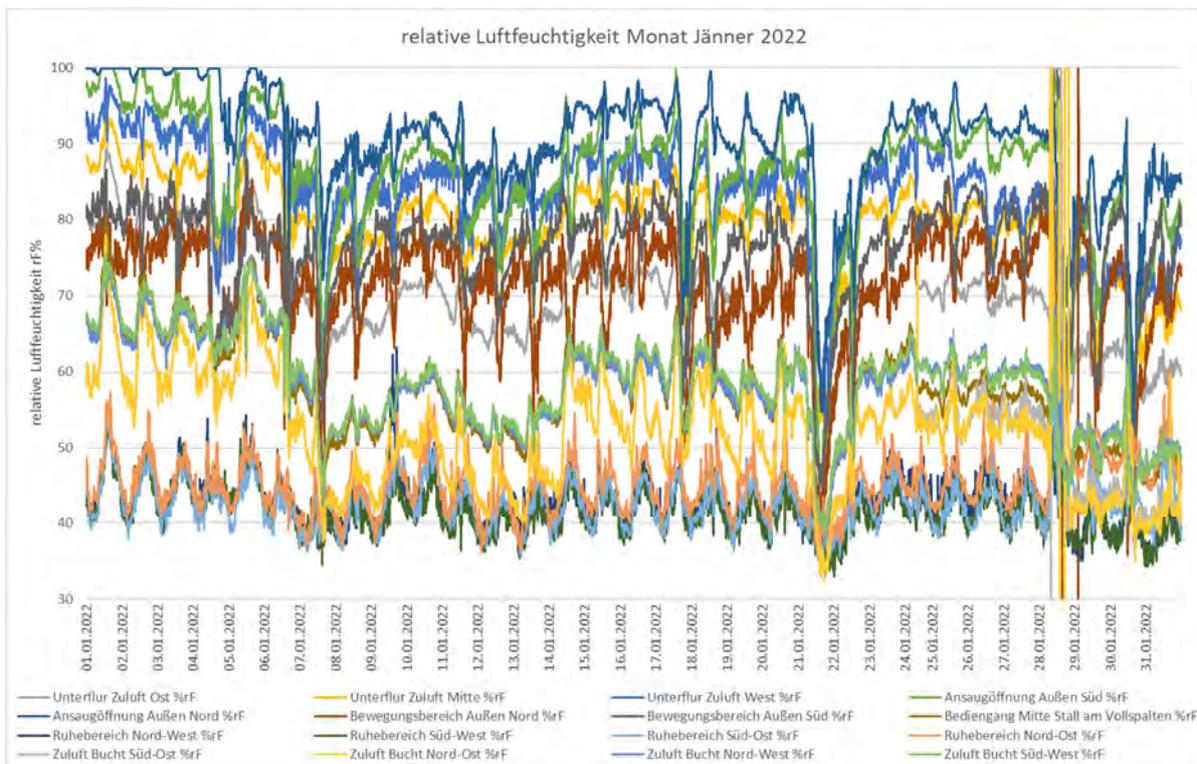


Abbildung 28: Relative Luftfeuchte kältester Monat 2022

1.4.1 Ergebnisse in Zahlen – Auszugsweise für 2022

1.4.1.1 Ansaug- bzw. Außenbedingungen

Temperatur °C			Außen Nord-Cool Pad °C	Außen-Süd-Cool Pad °C
wärmster Monat 2022	Juni	Minimum	10,5	10,4
		Maximum	36,4	33,9
		Mittelwert	21,1	20,1
wärmste Woche 2022	KW 26	Minimum	13,5	13,2
		Maximum	36,4	33,9
		Mittelwert	24,6	23,2
wärmster Tag 2022	01.07.2022	Minimum	18,3	17,7
		Maximum	36,0	31,6
		Mittelwert	25,8	24,3

relative Luftfeuchtigkeit rF%			Außen Nord-Cool Pad rF%	Außen-Süd-Cool Pad rF%
wärmster Monat 2022	Juni	Minimum	33,0	33,3
		Maximin	99,9	99,9
		Mittelwert	79,7	80,5
wärmste Woche 2022	KW 26	Minimum	35,4	41,6
		Max	99,9	99,9
		Mittelwert	73,6	76,0
wärmster Tag 2022	01.07.2022	Minimum	35,4	42,1
		Maximum	99,5	98,5
		Mittelwert	70,2	72,7

Temperatur °C			Außen Nord-Cool Pad °C	Außen-Süd-Cool Pad °C
kältester Monat 2022	Jänner	Minimum	-5,8	-6
		Maximum	9,4	7,8
		Mittelwert	0,8	0,0
kälteste Woche 2022	KW 2	Minimum	-5,8	-6
		Maximum	7,7	3,7
		Mittelwert	-0,6	-1,6
kältester Tag 2022	12.01.2022	Minimum	-5,2	-5,1
		Maximum	1,1	-0,5
		Mittelwert	-2,4	-3,1

relative Luftfeuchtigkeit rF%			Außen Nord-Cool	Außen-Süd-
			Pad °rF%	Cool Pad rF%
kältester Monat 2022	Jänner	Minimum	42,4	45,9
		Maximum	99,9	99,9
		Mittelwert	85,7	90,3
kälteste Woche 2022	KW 2	Minimum	73,0	78,7
		Maximum	96,3	98,3
		Mittelwert	85,9	90,9
kältester Tag 2022	12.01.2022	Minimum	55,8	70,1
		Maximum	81,8	86,2
		Mittelwert	72,0	79,5

1.4.1.2 Bedingungen direkt über der Liegebucht in 1 Meter Höhe

Temperatur °C			Ruhebereich			
			Ruhebereich- Süd-West °C	Nord-West °C	Ruhebereich Nord-Ost °C	Ruhebereich Süd-Ost °C
wärmster Monat 2022	Juni	Min	19,1	18,8	20,9	17
		Max	27,4	27,6	29,2	29,2
		MW	23,0	22,4	24,3	23,0
wärmste Woche 2022	KW 26	Min	20,6	19,9	21,8	20
		Max	28,1	29,8	30,4	30,5
		MW	25,1	24,5	26,3	25,8
wärmster Tag 2022	01.07.2022	Min	23,3	22,5	24,6	23,7
		Max	28,1	29,8	30,4	30,5
		MW	25,8	25,3	27,2	26,9

relative Luftfeuch- tigkeit rF%			Ruhebereich- Süd-West	Ruhebereich Nord-West	Ruhebereich Nord-Ost	Ruhebereich Süd-Ost
			%rF	%rF	%rF	%rF
wärmster Monat 2022	Juni	Min	55,9	54,5	51,7	57,8
		Max	88,4	99,3	79,1	85,7
		MW	75,2	74,6	69,1	76,3
wärmste Woche 2022	KW 26	Min	58,5	54,9	52,1	53,4
		Max	86,5	83,8	77,3	83,8
		MW	75,2	74,1	67,4	71,7
wärmster Tag 2022	01.07.2022	Min	58,5	54,9	52,4	53,4
		Max	85,6	83,8	76,5	80,5
		MW	73,9	72,0	64,6	67,8

			Ruhebereich- Süd-West	Ruhebereich Nord-West	Ruhebereich Nord-Ost	Ruhebereich Süd-Ost
			°C	°C	°C	°C
Temperatur °C kältester Monat 2022	Jänner	Min	16,7	16,2	15,1	13,8
		Max	23,7	22,9	24,6	24,3
		MW	20,9	20,4	22,0	21,6
kälteste Woche 2022	KW 2	Min	19,3	17,8	19,2	19,7
		Max	23	22,2	23,7	23,2
		MW	21,2	20,5	22,2	21,8
kältester Tag 2022	12.01.2022	Min	19,3	17,8	19,2	19,7
		Max	21,8	21,2	22,8	22,8
		MW	21,1	20,4	21,9	21,6

			Ruhebereich- Süd-West	Ruhebereich Nord-West	Ruhebereich Nord-Ost	Ruhebereich Süd-Ost
			%rF	%rF	%rF	%rF
relative Luftfeuchtigkeit rF% kältester Monat 2022	Jänner	Min	33,1	32,9	32,9	33,3
		Max	63,2	55,9	83	92,8
		MW	42,9	41,8	42,9	45,6
kälteste Woche 2022	KW 2	Min	37,2	35,4	35,6	36,1
		Max	52,9	49,5	50,4	55,7
		MW	42,7	41,5	42,5	44,8
kältester Tag 2022	12.01.2022	Min	32	32,6	32,8	36,1
		Max	46,8	43,6	42,3	46,5
		MW	38,3	38,4	37,2	40,8

1.4.2 Interpretation der Messergebnisse

Die Messergebnisse verdeutlichen die absolute Notwendigkeit einer Konditionierung der Zuluft in den Sommermonaten und zeigen auch von wesentlichen Vorteilen in der Wintersituation. Sowohl im Sommer als auch im Winter wurden mit dem baulich integrierten Unterflur-Zuluftsystem sowie den eingebauten Cool Pads, insbesondere in Zeiten extremer Bedingungen, von der wärmsten Woche mit mehr als plus 36°C bis zur kältesten Woche mit minus 6°C, im unmittelbaren Tierbereich absolut beste stallklimatische Bedingungen gewährleistet. Der Ausgleich großer Tag-Nachtschwankungen ist sowohl für die Temperaturen als auch für die Luftfeuchte im Tierbereich gewährleistet. Ein für die Vitalität, für die Tiergesundheit und Tiergerechtigkeit förderlicher Temperaturreiz ist den Tieren durch den ständigen Zugang nach Außen sowie zurück in den temperierten Ruhebereich permanent gegeben.

Die Luftgeschwindigkeit wurde bei allen Betriebsbesuchen gemessen und lag in der Liegebucht mit <0,16 m/sec. in den Wintermonaten ebenfalls in den Empfehlungen.

Mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,2 m/sec. im Unterflurbereich, entstehen Bedingungen im Tierbereich, welche sowohl betreffend die Temperatur als auch für die relative Feuchte als weitestgehendes Optimum bezeichnet werden kann.

Im Unterflurbereich sind aktuell zwei Ventilatoren verbaut. Die notwendige Luftaustauschrate wäre auch mit einem Ventilator gewährleistet.

1.5 Literaturverzeichnis

EVALUATION OF CONTROL STRATEGIES FOR FOGGING SYSTEMS IN PIG FACILITIES A. Haeussermann, E. Vranken, J.-M. Aerts, E. Hartung, T. Jungbluth, D. Berckmans; 2007 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351 Seite 265-274

EFFICIENCY OF RESOURCES OF DIFFERENT COOLING SYSTEMS FOR FATTENING PIGS; J. Pertagnol, Eva Gallmann, Wilhelm Pflanz, Thomas Jungbluth, Landtechnik 68(5), 2013, pp. 353-358,

INFLUENCE OF A COOLED, SOLID LYING AREA ON THE PEN FOULING AND LYING BEHAVIOR OF FATTENING PIGS, S. Opderbeck, B. Keßler, W. Gordillio, H. Schrade, H.P. Piepho, E. Gallmann, Journal Agriculture 2020, 10, 307; doi:10.3390/10070307

STALLBEDINGTE ERKRANKUNGEN BEIM SCHWEINE, M. SCHUH, GUMPENSTEINER BAUTAGUNG SEITE 93-96

[5] VDI RICHTLINIE 3894 BLATT 1; Ammoniakemissionen – Minderungspotenziale, Seite 66

2 „Konzepterstellung, Stallplanung, -bau und Stalleinrichtung“

Christian Auinger, Schauer Agrotronic GmbH, Passauerstraße 1, A-4731 Prambachkirchen,
Johannes Lorber und Alexandra Lorber-Verhas, Fa. Lorber & Partner GmbH, Gabersdorf 69,
AT-8424 Gabersdorf

2.1 Zusammenfassung

Das Haltungssystem basiert auf einem Offenstall, in dem in einer schmalen Längsbucht den Tieren die Funktionsbereiche Liegen/Ruhen, sowie Fressen/Aktivität und Misten angeboten werden. Der Liege- und Ruhebereich befindet sich im klimatisierten Innenbereich, die übrigen Bereiche befinden sich im vollüberdachten Außenklimabereich, dessen Klima durch Windschutznetze reguliert werden kann. Die Emissionsminderung wird erzielt durch eine Reduktion des Spaltenbodens auf nur mehr 20 % der Gesamtbuchtenfläche und eines darunter befindlichen optimierten Unterflur-Mistschiebersystems für eine Kot- und Harntrennung bereits im Stall. Der Kot wird nicht wie üblich gelagert, sondern dient entweder als Substrat für die Kompostierung (wie auch am Stall der Familie Neuhold) oder für den Einsatz in einer Biogasanlage (mit bis zu fünfmal so hohem Gasertrag als Gülle). Der abgetrennte Harn wird schnell aus dem Stall in eine Sammelgrube abgeleitet. Zukünftig soll der abgetrennte Harn stabilisiert werden. Mit der Blockierung der Ureaseaktivität soll die Bildung von Ammonium und Ammoniak und die daraus folgende Ammoniakemission weitestgehend verhindert und der Stickstoffgehalt der flüssigen Phase gesteigert werden. Weitere Emissionsminderungen erfolgen durch eine eiweißangepasste Fütterung und den isolierten und vollüberdachten Auslauf! Eine aktive Zuluft einbringung mit der Möglichkeit durch Cool Pads zu kühlen, verhindert, dass die Tiere emissionsträchtigen Exkrementsohlen anlegen.

Den Tieren wird ein umfangreiches Platzangebot zur Ausbildung von Funktionsbereichen mit freiem Zugang zur Außenluft und Umweltreizen gewährt. Mit neuen Stallkonzepten, mit mehr Platz und Funktionsteilung in Liegen (mit Stroh), Fressen und Misten wird auch die Haltung von unkupierten Mastschweinen besser möglich.

Das Haltungssystem vereint die Merkmale einer besonders tiergerechten Haltung mit den Anforderungen an hohe Umweltschutzansprüche. Emissionen aller relevanten Gase werden signifikant und drastisch auf ein Niveau reduziert, wie es bisher nur mit Abluftreinigung erreichbar ist. Somit ermöglicht das Gesamtsystem bei der Haltung von Mastschweinen das Aufbrechen des Konflikts zwischen Tierwohl/Tiergesundheit und Umweltschutz.

Bereits im Jahr 2018 wurde gemeinsam mit der Döhler Agrar Unternehmensberatung und gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, eine umsetzungsfähige Ausführungsplanung erstellt.

2.2 Summary

The housing system is based on an open pen in which the animals are offered the functional areas of lying/resting, feeding/activity and dunging in a narrow longitudinal pen. The lying and resting area

is located in the air-conditioned indoor area, the other areas are located in the fully covered outdoor climate area, the climate of which can be regulated by windbreak nets. The emission reduction is achieved by reducing the slatted floor to only 20% of the total pen area and an optimized underfloor manure scraper system underneath for manure and urine separation already in the pen. The manure is not stored as usual, but serves either as substrate for composting (as also at the stable of the Neuhold family) or for the use in a biogas plant (with up to five times higher gas yield than liquid manure). The separated urine is quickly discharged from the barn into a collection pit. In the future, the separated urine is to be stabilized, with the blocking of the urease activity, the formation of ammonium and ammonia and the resulting ammonia emission is to be prevented as far as possible and the nitrogen content of the liquid phase is to be increased. Further emission reductions are achieved by protein-adapted feeding and the isolated and fully covered outlet! An active supply of air with the possibility of cooling by cool pads prevents the animals from creating emission-rich excrement cavities.

The animals are given ample space to form functional areas with free access to outside air and environmental stimuli. With new stable concepts, with more space and division of functions into lying (with straw), eating and mucking out, ringtail production is also becoming possible.

The housing system combines the characteristics of particularly animal-friendly husbandry with the requirements of high environmental protection standards. Emissions of all relevant gases are significantly and drastically reduced to a level previously only achievable with exhaust air purification. Thus, the overall system enables the conflict between animal welfare/animal health and environmental protection to be broken up in the management of fattening pigs.

In 2018, a feasible implementation plan was drawn up together with Döhler Agrar Unternehmensberatung and funded by the Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

2.3 Konzepterstellung

Ziel des Projekt SaLu_T war die Überprüfung eines Schweinehaltungssystems, welches einerseits klimarelevante Emissionen drastisch reduziert und dabei andererseits den gesellschaftspolitischen Ansprüchen an eine tiergerechte Haltung entspricht. Das Stallsystem basiert auf folgenden aus der Literatur bekannten Potentialen zur Reduktion von Ammoniak Emissionen.

2.3.1 Reduktion von Ammoniak Emissionen:

Eiweißangepasste Fütterung

Das Futter wird über die Multiphasenfütterung Spotmix zugeteilt, so dass der Rohproteingehalt der Ration an das Wachstumsstadium und den Nährstoffbedarf der Tiere (Ferkel mit 30 kg und Mastschweine mit 110 kg) angepasst werden kann und Stickstoffausscheidung und -emissionen gemindert werden. Reduktionspotential von bis zu – 40 % (lt. VDI-Richtlinie 3894/1)

Trennung von Kot und Harn

Kot und Harn wird bereits im Stall mithilfe eines optimierten und automatisierten Unterflur-Mistschiebersystems getrennt. Der Kot wird nicht wie üblich gelagert, sondern dient entweder als

Gärs substrat für Biogasanlagen oder als Substrat für die Kompostierung, wie auch am Betrieb Neuhold. Der abgetrennte Harn läuft unter dem Spaltenkanal über ein Gefälle von 10 % in eine Harnsammelrinne weiter in eine Vorgrube und wird von dort in eine Sammelgrube gepumpt. Die Ureasetätigkeit wird dadurch massiv reduziert, und die dadurch entstehenden Ammoniakemissionen weitestgehend verhindert.

Reduktionspotential von bis zu – 56 % (lt. Forschung in Frankreich)

Fahnenbegehungen mit Ausbreitungsrechnungen des TÜV Austria (2018) an einem vergleichbaren Stallsystem weisen auf eine deutliche Minderung der Geruchsemissionen auf etwa 20 GE/GV/s.

Reduktion der emittierenden Flächen

In dem System wird nurmehr 20 % als Spaltenboden ausgeführt, der Rest ist planbefestigt. Durch die Buchtenaufteilung und durch Maßnahmen, die das Reinlichkeitsverhalten der Tiere unterstützen, wie Einrichtung einer heiz- und kühlbaren Komfortzone, eines ausgeprägten Aktivitäts- und Fressbereichs, Lichtregime und Frischluftmanagement und Anpassung des Platzangebots, wird einer Verschmutzung der Bucht abseits der Mistzone entgegengewirkt.

Reduktionspotential von bis zu – 10 % (lt. VDI-Richtlinie 3894/1)

Klimatisierter Komfortbereich

Im Liegebereich besteht die Möglichkeit, die Fläche mittels Bodenheizung speziell im Winter für die kleinen Ferkel zu wärmen und im Sommer über eine aktive Frischluftzuführung mittels Cool Pad System zu kühlen. Reduktionspotential von bis zu – 10 % (lt. VDI-Richtlinie 3894/1)

Überdachter Auslauf

Da der Auslauf komplett überdacht ist, kann für einen Schweine-Außenklimastall, trotz diffuser und bodennaher Emissionsquelle, eine Emissionsminderung von bis zu 33 % veranschlagt werden. Das gilt allerdings nur, wenn es in der warmen Jahreszeit nicht zu erhöhter Stalltemperatur und verstärkter Verschmutzung auf den planbefestigten Flächen kommt (vollüberdachter und isolierter Auslauf). Reduktionspotential von bis zu – 33 % (lt. VDI-Richtlinie 3894/1)

Einstreu – Stroh entstaubt

Staub ist auch Trägermaterial von Geruch und somit auch für den Transport bzw. die Ausbreitung verantwortlich. Reduziert man den Staub, reduziert man auch die Geruchsimmission.

2.3.2 Tiergerechte Haltung:

Folgende Details wurden in diesem Projekt mit dem Fokus auf eine tiergerechte Haltung und vor allem mit der Möglichkeit für die Haltung unkupierter Schwänze umgesetzt.

Getrennte Funktionsbereiche:

Steht den Tieren genug Platz zur Verfügung, trennen sie ihre Bereiche in diese drei verschiedenen Zonen: Liegen, Fressen und Misten.

Liegebereich komplett dunkel

Schweine suchen zum Ruhen und Liegen von Natur aus immer dunkle Bereiche auf. Solange die Tiere ständig Zugang zu Außenbereichen haben, dürfen die Liegebereiche auch komplett dunkel gehalten werden. Siehe Seite 7 LICHT ->

https://oekl-bauen.at/dateien/pdf/Merkblatt_Besonders_tierfreundliche_Haltung_2023.pdf

Einstreu – Stroh entstaubt

Entstaubtes Stroh dient sowohl der Gesundheit von Menschen, als auch der von Tiere. Die Forschungsanstalt HBLFA Raumberg - Gumpenstein hat in einer Voruntersuchung der Schauer Strohmatic Anlage im Vergleich zu manueller Einstreu eine Reduktion von bis zu 80 % Staub über alle Partikelgrößen nachgewiesen. (Mösenbacher-Molterer et al., 2019).

Liegefläche an das Tiergewicht anpassbar

Den Tieren soll im Liegebereich nur so viel Platz zur Verfügung stehen, wie zum gemeinsamen Liegen benötigt wird. Dazu gibt es folgende Empfehlungen:

Ferkel mit 30 kg bis 0,2m²; Schweine mit 110 kg bis 0,6m²

Schiebewände dienen dazu, die Liegefläche der Tiergröße anpassen zu können. Steht den Schweinen zu viel Fläche zur Verfügung, so wird diese zum Abkoten verwendet: Siehe Seite 6 geschlossene Fläche

https://oekl-bauen.at/dateien/pdf/Merkblatt_Besonders_tierfreundliche_Haltung_2023.pdf

Fütterung: 1:1 bei 30 kg 1:2 bei 110 kg bestmöglich trocken

Allen Schweinen sollte ein eigener Fressplatz zur Verfügung stehen. Somit entsteht weniger Stress am Futtertrog. Trockenfütterung entspricht zusätzlich dem natürlichen Wühltrieb, der Futtersuche und die Schweine beschäftigen sich bis zu 3 Stunden täglich mit der Futterraufnahme und nicht mit dem Ringelschwanz des Buchtennachbarn (bei Flüssigfütterung nehmen die Schweine die Tagesmenge innerhalb von 30 min zu sich).

Auslauf in eine Außenklimazone

Hier haben die Schweine Außenklimareize, frische Luft, Temperaturunterschiede zum Liegebereich, Wind, Licht und Sonne. Laut Empfehlung des deutschen Tierschutzbundes und des Vereins Offenstall.com in Deutschland, soll die Wandhöhe seitlich max. 60 cm betragen, somit können die Schweine zusätzlich ins Freie sehen.

Bio Security – doppelte Umzäunung

Durch den äußeren Treib- und Bediengang ergibt sich eine doppelte Umzäunung = Einhaltung der Biosicherheitsmaßnahmen (Schutz vor Wildtieren - ASP). Die genauen Höhen der seitlichen Mauer und die Gangbreite sind zu berücksichtigen, weitere Infos siehe:

www.verbrauchergesundheit.gv.at/tiere/publikationen/sgk.html

Der Einsatz eines Vogelschutzgitters und oder Windschutznetzen ist für den Schutz vor Vögel zu empfehlen.

Aufbauend auf dem oben beschriebenen Konzept wurde im Rahmen dieses Vorhabens durch die Firma Schauer Agrotronic eine umsetzungsfähige Planung für den vorgenannten Stall der Familie Neuhold erstellt und beschrieben. Im Folgenden werden Aufbau und Funktion der wichtigsten baulich technischen Komponenten kurz beschrieben und illustriert.

2.4 Stallplanung

Für das Stallsystem können sehr variable Bestandsgrößen gewählt werden, im Bauvorhaben der Familie Neuhold wurde der Mastschweineinstall für eine Gesamtzahl von 850 Tierplätzen ausgelegt.

Das Stallgebäude ist in zwei gespiegelte Stalleinheiten mit je ca. 425 Plätzen aufgeteilt. Dem Stallgebäude ist quer der Zutritts- und Technikbereich vorgelagert. Links und rechts neben dem Stall befinden sich je ein Zuluftbereich mit zusätzlicher Kühleinheit (s. Abbildung 29). Mittig im Stall befindet sich ein Kontrollgang und beidseitig davon Buchten. Eine dieser Buchten wird jeweils als Reserve bzw. Krankenbucht (z.B. für Tiere mit Nabelbruch) verwendet. Dem Stallgebäude ist der Hygiene-, Büro- und Technik-, Fütterungs- und Entmistungs- und Verladebereich vorgesetzt.

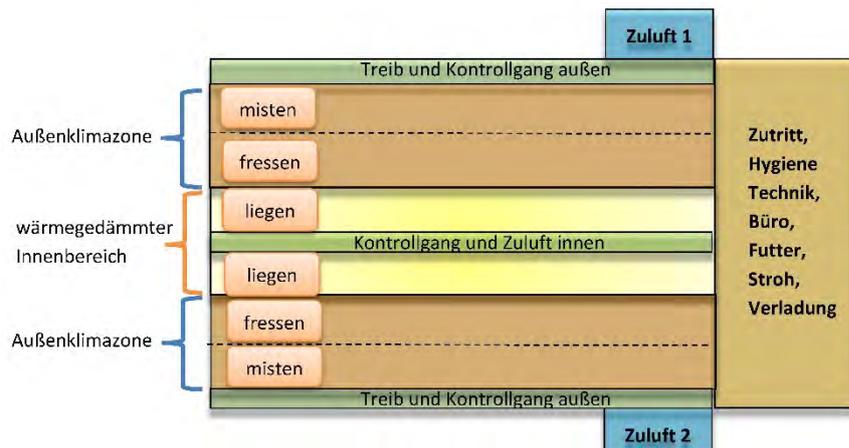


Abbildung 29: Grundriss des Stallgebäudes für 850 Tierplätze mit Funktionseinheiten (Plan: Fa. Lorber und Partner, Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

2.5 Funktionsbereiche

Mit der Buchtengestaltung sollen 3 Funktionsbereiche ausgebildet werden. Anzustreben sind ein Liege-/Ruhebereich oder Komfortbereich, ein Fress-, Wühl- und Aktivitätsbereich sowie ein Mistbereich. Gleichzeitig muss die Buchtengestaltung die Tiere bei der vorgesehenen Nutzung und der Einhaltung der Funktionsbereiche unterstützen. Bei vielen, eigens durchgeführten, Praxisexperimenten zeigte sich, dass schmale und lange Buchten hierfür am besten geeignet sind. Eine Breite von 2,5 m hat sich als praxistaugliche Variante herausgestellt. Eine Buchtengestaltung von 2,5 m ermöglicht in der Fresssituation am Futtertroge den anderen Schweinen das Passieren „im Gegenverkehr“ mit einer Breite von ca. 120 cm auch noch bei einem Lebendgewicht von 110 kg und einer damit einhergehenden ungefähren Körperlänge von 130 cm (siehe Abbildung 30).

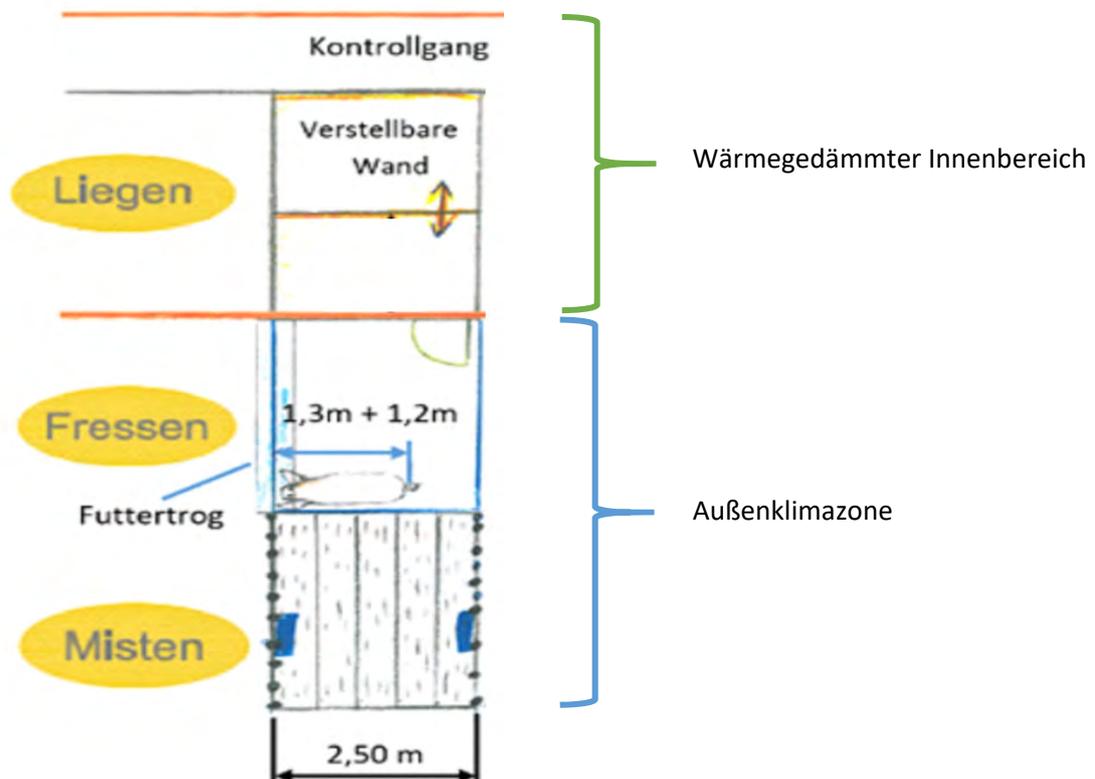


Abbildung 30: Draufsicht Bucht mit Funktionsbereichen (Skizze: Fa. Schauer Agrotec)

Pro Bucht werden maximal 25 Tiere eingestallt. Aus bisherigen Erfahrungen ist diese Gruppengröße in Bezug auf Tierkontrolle, Buchtensauberkeit und „Ringelschwanztauglichkeit“, d. h. Haltung unkupierter Tiere, zu empfehlen. In größeren Gruppen kommt es insgesamt zu mehr Aggressivität und Unruhe, wodurch die Sauberkeit der Buchten bzw. die Einhaltung des Mistbereiches leidet.

Innenliegender und klimatisierter Komfortbereich

Der wärmegeämmte („gekapselte“) Innenbereich dient bei diesem Konzept im Wesentlichen als Liege- und Ruhebereich. Er beinhaltet die nach oben offen gehaltenen und eingestreuten Liegebuchten. Auf gedeckelte Liegekisten wird bewusst verzichtet. Dadurch lassen sich die Liegebuchten schnell und zuverlässig kontrollieren („begehbare Liegekiste“). Die Liegebuchten müssen nur mit geringen Strohmenngen eingestreut werden. Die Mindesteinstreumenge beträgt 0,05 kg pro Tier und Tag (diese Menge wird hauptsächlich gefressen). Höhere Strohmenngen sind möglich.

Verstellbare Buchtentrennwände sorgen dafür, dass den Tieren nur so viel Platz angeboten wird, wie sie je nach Lebendgewicht im Innenbereich benötigen. Bei einem für die Gewichtsgruppe

überdimensioniertem Platzangebot kommt es mit höherer Wahrscheinlichkeit zu Verschmutzungen der Bucht, da Teile des Liegebereiches zum Abmisten verwendet werden.

Über eine herkömmliche Fußbodenheizung kann für die kalte Jahreszeit Wärme zur Verfügung gestellt werden, die die Tiere sowohl im Liegen als auch über die gewärmte Luft aufnehmen können. Zusätzlich ist eine Kühlmöglichkeit für die warme Jahreszeit vorgesehen. Diese wird zum einen benötigt, um Temperaturspitzen nach den Hauptfresszeiten zu brechen, zum anderen, um den Tieren im Sommer die Möglichkeit zum Erfrischen zu geben. Dies erfolgt auf dem Weg der Verdunstungskühlung mittels Cool Pad über die in den Komfortbereich zugluftfrei zugeführte Frischluft.

Vollüberdachter Außenklimabereich für Fressen, Aktivität und Misten

Der Außenbereich wird vom Schwein über eine Tür, welche von den Tieren geöffnet werden kann und selbsttätig schließt, erreicht. Der vollüberdachte Bereich gliedert sich in den mittig liegenden, planbefestigten Fress-/Aktivitätsbereich und den an der Außenwand liegenden, stark perforierten Kotbereich. Somit sind etwa 80 % der gesamten Buchtenfläche planbefestigt. Nach außen angrenzend an den Mistbereich befindet sich der Treib- und Kontrollgang, der auch die Funktion der doppelten Umzäunung übernehmen kann.

Zum Schutz vor Extremtemperaturen und zur Reduktion des Einflusses direkter Sonneneinstrahlung (Sonnenbrandgefahr) und Witterungseinflüssen wie Regen, Schnee und Wind, welche auch für die Verfrachtung, insbesondere von Emissionen und Gerüchen, verantwortlich sind, ist der Auslauf mit einem isolierten Dach ausgestattet; zudem werden die Seitenwände, insbesondere für die feuchtkalte Jahreszeit, mit roll- oder schiebbaren Windschutznetzen ausgestattet.

Zu Beginn der Mast wird im Fressbereich bestmöglich mit einem Fressplatzverhältnis von 1:1 gestartet, dies ergibt bei den vorgesehenen Troglängen und Tierzahlen ein Verhältnis von 1:2,8 im Endmastbereich. Als Fütterungssystem kommt die Multiphasenfütterung Spot Mix aufgrund der Emissionsminderung (laut VDI 3894 bis zu 40 %) zum Einsatz.

Durch die Aufteilung der Bucht in schmale und tiefe Funktionsbereiche wird erreicht, dass von den Tieren nur der dafür vorgesehene Bereich zum Koten und Harnlassen aufgesucht wird und somit für den Landwirt keine unnötigen Mehrarbeiten anfallen. Der Kotbereich ist speziell mit Trenngittern, Tränkeeinrichtungen und Spaltenboden aus Kunststoffrosten mit darunterliegender Schieberentmistung ausgestattet.

2.6 Technische Anlagen

2.6.1 Luftführung

Die Luftführung muss die Frischluftversorgung sowie die Vermeidung von Überhitzungen im Stall sicherstellen. In den Sommermonaten, insbesondere bei schwachwindigen und drückenden Wetterlagen, gewährleistet die natürliche Trauf-Firstlüftung dies nicht immer; da ihre Funktionalität durch die Angleichung von Innen- /Außentemperatur bei heißer Witterung beeinträchtigt wird. Mit der hier beschriebenen Zuluftführung in den wärme gedämmten Innenbereich wird für hinreichende Frischluftmengen und bei Bedarf für kühlende Luft gesorgt. Gerade in den Sommermonaten zeigt sich, dass eine geordnete Frischluftzufuhr und zusätzliche Kühlmöglichkeit die Betriebssicherheit deutlich erhöhen. Mit gekühlter Frischluft im Innenbereich halten die Tiere diesen erheblich zuverlässiger sauber. Um dies zu erreichen, wird nur eine sehr geringe Luftrate mittels eines Überdrucksystems benötigt. Hierzu wird unter dem mittig angeordneten Kontrollgang ein Zuluftschacht installiert, von dem die Luft in den Gangbereich und von dort zuglutfrei über die Trennwände in die Liegebuchten strömen kann. Im Außenbereich erfolgt die Zuluftführung traufseitig von außen, die Abluft strömt über den First in den Außenbereich. Der Innenbereich ist mit temperaturgesteuerten Abluftklappen ausgestattet (siehe Abbildung 31) zeigt die Zuluftführungsöffnungen in einem Praxisstall, die einströmende Zuluft wurde durch eine Vernebelung der Zuluft sichtbar gemacht.

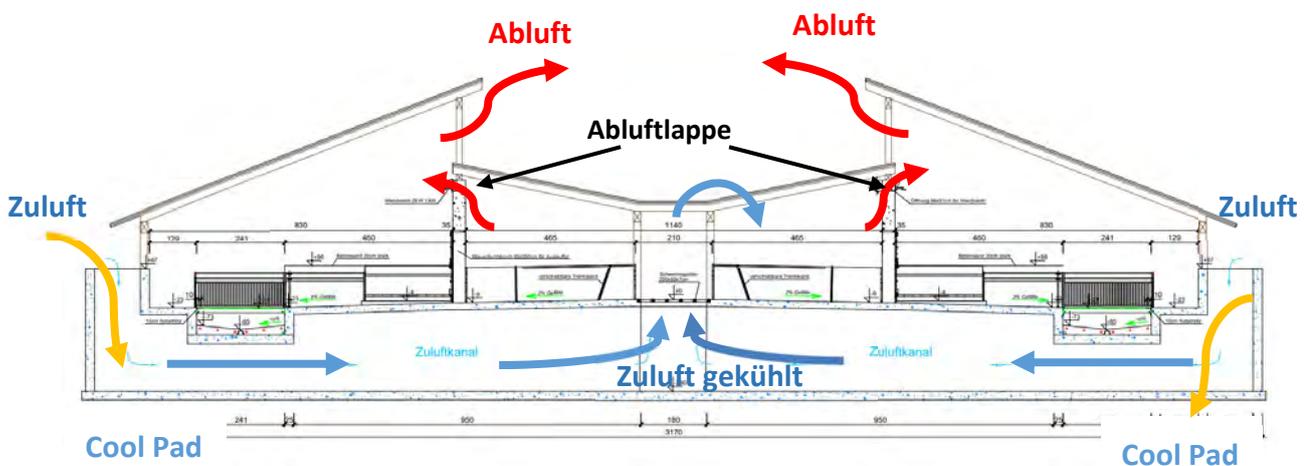


Abbildung 31: Lüftungsprinzip



*Abbildung 32: Visualisierung der Zuluftführung mittels Vernebelung
(Bildquelle: Zentner E. Raumberg-Gumpenstein)*

Dieses Gesamtkonzept führt dazu, dass der gesamte Stall im Vergleich zu den in vollklimatisierten Ställen üblichen, sehr hohen Luftraten ($110 \text{ m}^3/\text{h}$ und Tier im Sommer und $15 \text{ m}^3/\text{h}$ und Tier im Winter) mit wesentlich geringeren Ventilatorleistungen (mit mindestens 70 % geringerem Stromverbrauch) auskommt. Dies spart nicht nur Energiekosten, sondern führt auch dazu, dass bei einem Stromausfall keine Tierverluste befürchtet werden müssen, da die Tiere ständigen Zugang an die Außenluft haben.

2.6.2 Zuluftkühlung

Die Zuluft wird zentral, über zwei Cool Pads angesaugt. Über die Cool Pads aus Zellulose wird Wasser von oben auf die Kühlwaben gepumpt (s. Abbildung 33). Das Wasser rieselt über die Pads, welche von der warmen Frischluft durchströmt werden. Auf diese Weise lässt sich durch den Verdunstungskühlungseffekt die Zulufttemperatur um 5 bis 7 °C (maximal 10 °C) verringern. Überschüssiges Wasser wird in einer Wanne gesammelt und ins System rückgeführt.



Abbildung 33: Cool Pad-System (links) mit Lamellenwand (rechts), Pumpe und Auffangwanne
(Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)

2.6.3 Fütterungstechnik

Bei der Fütterung am Projektstall der Familie Neuhold kommen 2 Futterautomaten mit jeweils einer Länge von 150 cm zum Einsatz. Ein Automat wird mit einer CCM Trockenfuttermischung und der andere mit Kräuterpellets beschickt. Die Schweine werden trocken gefüttert, damit verbringen die Tiere (im Gegensatz zur Flüssigfütterung, bei der die Futteraufnahme nur ca. 30 Minuten am Tag beansprucht) ihrem Instinkt folgend, täglich mindestens drei Stunden mit der Futteraufnahme. Durch gleichzeitiges Fressen kombiniert mit der Trockenfütterung soll das Risiko des Schwanzbeißens erheblich gemindert werden. Die Fütterungstechnik hat folglich sehr großen Einfluss auf das Tierwohl, insbesondere auf die Möglichkeit, Schweine mit Ringelschwanz zu halten. Generell kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Anzahl von Fressplätzen die Gefahr des Schwanzbeißens abnimmt.

Als Fütterungstechnik wird das System Spotmix, eine automatische, computergesteuerte Fütterungsanlage für Schweine zur Multiphasen-Restlosfütterung, eingesetzt. Hiermit ist eine trogindividuelle Anpassung der Futtermischung und somit auch tägliche Anpassung der eingesetzten Rohproteinmenge möglich. Das Futter wird bei diesem System trocken an die Futterstelle geblasen. Die Spotmix-Fütterung besteht aus Prozessrechner, Vorratsbehälter mit Wiegeeinrichtung, Misch- und Austragbehälter mit Wiegeeinrichtung, Rohrleitungen und elektrisch gesteuerten Rotationsverteilern mit Wasserventil und Trogauslässen (s. Abbildung 34). Im Mischbehälter wird für jeden Trog separat Trockenfutter rechnergesteuert aus den einzelnen Komponenten aufbereitet. Nach dem Mischen wird das Trockenfutter zu einem Zyklon transportiert, um damit Futterautomaten oder auch Tröge zu befüllen.

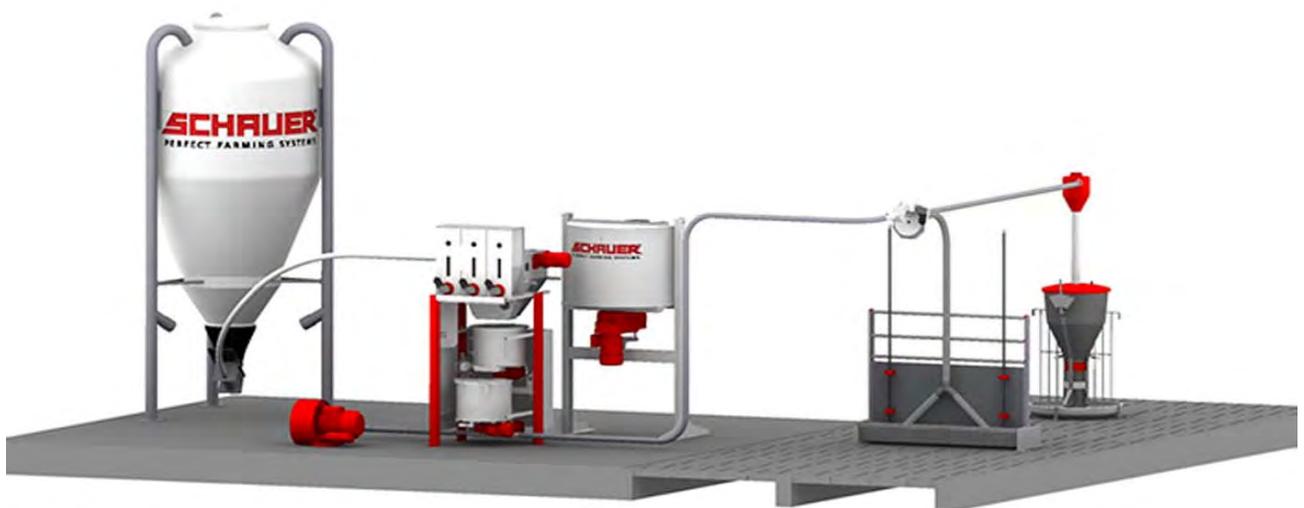


Abbildung 34: Grafische Darstellung des Spotmix-Systems mit (v. l. n. r.) Futterkomponentenvorratssilo, Dosier- und Mischeinheit, Übergabeeinheit, Zuteilung im Lang- oder Rundtrog (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

Mit der Trockenfütterung werden weitere Vorteilswirkungen erzielt: Die ausgeschiedene Kot- und Harnmenge wird gegenüber einer Flüssigfütterung deutlich verringert (die LWK Nordrhein-Westfalen geht von etwa 1,2 m³ anstelle von 1,8 m³/TP und Jahr aus), und der Kot hat eine festere Konsistenz, die wiederum für die Kot-Harn-Trennung von Vorteil ist. Die Darbietung von Trockenfutter erhöht zudem die Aktivität der Tiere, da sie zur Wasseraufnahme den Mistbereich aufsuchen müssen, in dem gemäß Haltungskonzept die Tränken angeordnet sind. Da Schweine ihre Exkremente häufig bei der Wasseraufnahme ausscheiden, fördert dies die Sauberkeit der planbefestigten Buchtensegmente.

2.6.4 Einstreutechnik:

Die Liegebuchten im gekapselten Komfortbereich sind eingestreut. Vor dem Einstellen der Schweine wird die Liegefläche bodendeckend eingestreut. Die tägliche Mindesteinstreumenge beträgt 0,05 kg pro Tier und Tag, davon wird gut die Hälfte von den Schweinen gefressen. Es ergibt sich ein Jahresbedarf an Stroh von ca. 16 t bzw. 54 Ballen à ca. 300 kg.

Das Einstreuen der Liegebuchten ist mit dem automatischen Strohmatic Welfare System vorgesehen. Mit der Strohmatic-Technik werden die Strohballen (rund- oder quaderförmig) von einem Ballenauflöser automatisch aufgelöst, über die nachgelagerte Strohmühle auf eine Länge von 18 bis 40 mm gehäckselt und an die beiden Übergabeeinheiten pneumatisch weiter gefördert. An der Übergabeeinheit wird das Stroh mittels Absauggebläse entstaubt (s. Abbildung 35).

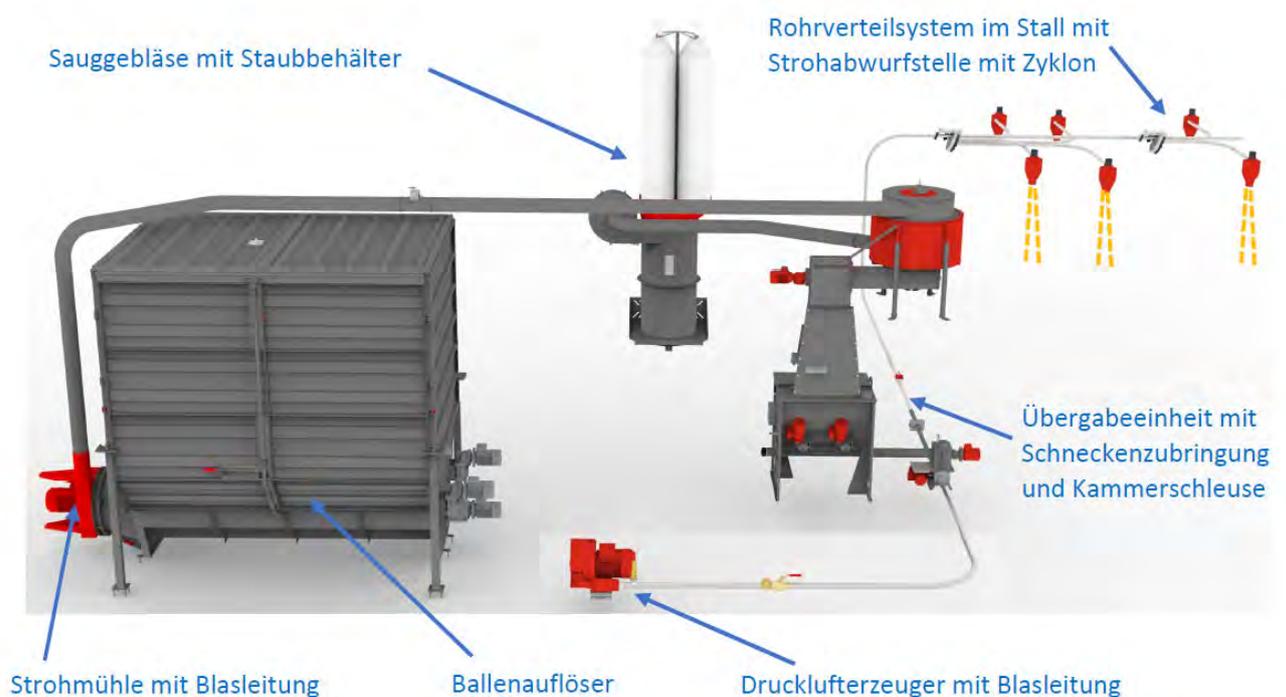


Abbildung 35: Systemskizze Strohmatic Welfare (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

Von der Übergabeeinheit wird das Stroh mittels einer Schnecke zur Kammerschleuse und von hier in eine mit Druckluft beaufschlagte Leitung befördert. Über die Luftleitung wird das Stroh in die verschiedenen Stallabteile geblasen und über sogenannte Rotationsverteiler auf die jeweiligen Buchten verteilt. Über Zyklone fällt das Stroh dann in die jeweiligen Buchten.

Spotmix Welfare kann als „Stand-alone-Lösung“ oder mit der Spotmix Multiphasenfütterung betrieben werden. Bereits bestehende Spotmix – Fütterungen kann man auch mit beiden Spotmix Welfare Systemen nachrüsten. Steuerungscomputer, Rohrleitungs- und Verteilsystem sind kombinierbar!



Abbildung 36: Automatische Strohzeilung über die Strohmatic-Anlage, Qualität von entstaubtem Stroh (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

Die Effizienz der Entstaubungsanlage wurde durch die Untersuchungen der Forschungsanstalt HBLFA Raumberg-Gumpenstein nachgewiesen (Mösenbacher-Molterer et al., 2019). Der Minderungsgrad der Staubpartikelanzahl zwischen entstaubtem und nicht entstaubtem Stroh liegt über alle gemessenen Größenordnungen bei etwa 80 %.

Die Reduzierung der Feinstaubemissionen hat besonderen Einfluss auf die Gesundheit von Menschen und Tieren, sowie die Reduktion von Geruchsemissionen, da Staubpartikel auch für die Verfrachtung von Geruch verantwortlich sind.

Alternativ zur oben beschriebenen Technik ist es mit der neuentwickelten Technik „Strohmatic light“ möglich, längeres Stroh in den Stall zu bringen, welches die Tiere fressen, umhertragen und besser anhäufen können. Bereits geschnittene Strohballen (rund- oder quaderförmig) mit einer maximalen Strohlänge von 80 mm bis 100 mm werden von einem Ballenaflöser automatisch aufgelöst. Am Ende des Auflöser wird das Stroh in eine Übergabeeinheit befördert. An dieser Übergabeeinheit wird das Stroh mittels Absauggebläse entstaubt. Von der Übergabeeinheit gelangt das Stroh in einen Rohrkettenförderer mit einem Rohrdurchmesser von 80 mm, welcher das Stroh im Kreis zu den Strohdosierern, mit jeweils 15 l Volumen, befördert. Sind alle Dosierer befüllt, werden diese gleichzeitig geöffnet und das Stroh fällt in die jeweiligen Buchten. Die Verteilung erfolgt automatisch

und zeitgesteuert. Je nach Anzahl der Einstreuintervalle kann das Stroh als Beschäftigungsmaterial oder als Einstreu der Liegefläche verwendet werden. Ebenfalls erfolgt eine automatische Entstaubung des Strohs.

Beide Techniken ermöglichen die zusätzliche Dosierung von Raufutterpresslingen (Cobs), diese werden vom Stroh verdeckt und animieren die Tiere zur wühlenden Futtersuche auf dem Boden.

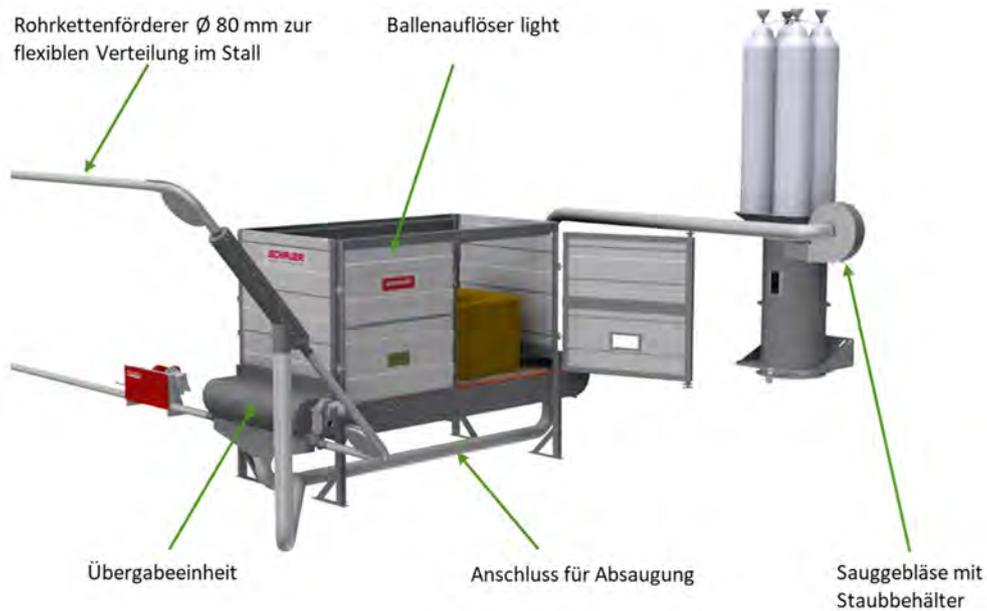


Abbildung 37: Ballenauflöser und Strohzuteiler der Strohmatic light-Anlage (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)



Abbildung 38: Vorratsbehälter mit Abwurfstelle für Mittellangstroh (Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)

Bei der Strohmatricanlage ist aufgrund drehender Teile im Ballenauflöser, der Strohühle oder durch Einschleppung von Glutnestern durch das Stroh, eine Entstehung von Brand nicht ausgeschlossen. Für den Brandschutz sind unter anderem folgende sicherheitstechnische Einrichtungen vorgesehen: Die Strohühle ist mit einem am Gehäuse anliegenden Sicherheitstemperaturbegrenzer ausgestattet – dieser spricht bei 70 °C an, wodurch die Steuerung allpolig abschaltet. An der Förderleitung zwischen Strohühle und Übergabeeinheit ist ein Funkendetektionssystem installiert. Im Deckenbereich des Ballenauflösers sind spezielle Niederdrucklöschwasserdüsen mit einer Auslösetemperatur von 68 °C montiert; sie müssen dauerhaft an einer gesicherten Wasserquelle angeschlossen sein. Ein brandschutztechnisches Gutachten liegt vor.

2.6.5 Entmistungstechnik / perforierter Boden:

In der an der Außenwand liegenden Zone des Stalls befindet sich der Kot- oder Mistbereich, welcher mit einem perforierten Boden ausgestattet ist. Diese Fläche beträgt nur etwa 20 % der gesamten Buchtenfläche. Dort vorhandene feuchtnasse Stellen, Zugluft von außen und zwischen den Buchten animieren die Tiere zum Absetzen ihrer Exkreme in dieser Zone. Während die Buchtenabtrennungen im planbefestigten Bereich aus geschlossenen Kunststoffwänden bzw. Betonwänden bestehen, sind diese im perforierten Bereich in Form von Gitterwänden ausgeführt. Der Kontakt zu den Tieren der Nachbarbucht löst das Absetzen von Exkrementen zur Reviermarkierung aus. Da in diesem Bereich die einzige Möglichkeit zur Trinkwasseraufnahme besteht, suchen ihn die Tiere regelmäßig auf und werden dort durch die beschriebenen Gegebenheiten zum Absetzen von Kot und Harn angeregt. Gleichzeitig wird die mit der Tränke verbundene Feuchtigkeit aus den anderen Funktionsbereichen ferngehalten, nasse „Nester“ und Anreize zum Urinieren außerhalb des Mistbereiches werden so vermieden (s. Abbildung 39).



Abbildung 39: Kotbereich im Außenklima (Bildquelle: Neuhold, Steirischer Tierschutzpreis)

Als Bodenbelag wird ein im Praxistest mehrfach erprobter Kunststoffrost mit einer Schlitzweite von 14 mm und einer Auftrittsbreite von ebenfalls 14 mm eingesetzt, der aufgrund seiner Materialbeschaffenheit von den Tieren gerne betreten wird und den Kot gut durch die Schlitzze passieren lässt. Über der Harnrinne befinden sich geschlossene Kunststoffplatten, um den Bereich der Rinne zusätzlich vor dem Vermischen durch Kot zu schützen.

Der Entmistungsbereich ist Unterflur mit einem weiterentwickelten Kotschieber ausgestattet, durch den Kot und Harn effizient getrennt werden und der Urin frei in eine Urinrinne ablaufen kann. Die Urinrinne wird darüber hinaus mit Metallplatten abgedeckt, die ein Eintreten von Kot in die Urinrinne verringern (s. Abbildung 40). Die Grundfläche des Schieberkanals wird mit einer flüssigkeitsabweisenden Beschichtung überzogen, damit eine schnelle Drainage des Urins zur Rinne erfolgen kann und der mit Kunststofflippen versehene Schieber die Fläche sauber ausräumt. Bereits durch die schnelle Ableitung des Urins von der Schieberfläche in die Harnrinne wird die Bildung und Emission von Ammoniak gemindert. Schnelles und häufiges Ausräumen der Exkremeente fördert die Emissionsunterdrückung zusätzlich. So wird der Vorgang der Harnstoffhydrolyse bereits teilweise vom Stall in den Urinbehälter außerhalb des Stalles verlagert.



Abbildung 40: Schieberkanal mit Beschichtung und mittig vor dem Kotschieber abgedeckter Urinrinne
(Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

Der Kot wird jeweils am Ende der Schieberbahn in einen Container abgeworfen, welcher mittels Teleskoplader entladen wird. Dimensioniert ist letzterer für die Kotanfallmenge einer Woche.

Der Kot kommt anschließend in eine Kompostieranlage und in Form von Kompost wieder zurück auf den Betrieb. Es wäre auch möglich, den Kot in eine Biogasanlage als Gärsubstrat zu bringen. Die Vergärung von Schweineexkrementen würde dadurch wirtschaftlich sinnvoller (Schweinegülle ist, wegen der niedrigen Gehalte an organischer Substanz, als Biogassubstrat in der Regel kaum wirtschaftlich einsetzbar). Methanemissionen in die Atmosphäre werden so weitestgehend vermieden und kontrolliert im Biogassystem genutzt. Mittlerweile wurde in Laborversuchen die Tauglichkeit von abgetrenntem Kot als Biogassubstrat untersucht. Demnach sind Gaserträge von etwa 500 l/kg oTS möglich, dementsprechend ersetzen etwa zwei Tonnen Schweinekot eine Tonne Silomais in der Biogasanlage (Döhler et al. 2021).

Der Urin wird in einer Vorgrube gesammelt und anschließend in eine Lagergrube gepumpt. Der Urin wird auf den hofeigenen Feldern ausgebracht.

2.7 Baukonstruktionen - Baufortschritt

2.7.1 Baukonstruktionen:

Die Baukonstruktion des Stallgebäudes ist in der Abbildung 41 vereinfacht dargestellt. Die Bodenplatte und die Schieberbahn bestehen aus bewehrtem Ortbeton, die Buchtenbereiche im Liegebereich und im Fressbereich sind in einem Gefälle von 2 – 3 % ausgeführt. Im Liegebereich wurde eine Fußbodenheizung eingelegt. Die Mistschieberbahn kann zusätzlich mit einer glatten Schutzschicht überzogen werden. Die Buchtenbegrenzungen an den Außenseiten entlang des

Ganges werden ebenfalls in Ortbeton (alternativ Kunststoff) ausgeführt. Die eingehauste Komfortzone besteht aus isolierten Betonwänden, die Betonwand wurde nach außen isoliert mit einer Edelstahlplatte vor Verbiss durch die Schweine geschützt (alternativ kann die Komfortzone aus Materialien wie Ziegel, in Holzständerbauweise mit Verkleidung aus Sandwichelementen oder komplett aus schichtverleimten Holzwänden CLT erstellt werden). Diese innenliegende Wand dient zusammen mit der Buchtenabtrennung an der Außenwand des Stalles, auf die ein Holzrahmen aufgesetzt wird, als Tragwerk für die Fußpfetten und die Mittelpfetten des Gebäudes. Das Dach ist im Außenbereich als Kaltdach ausgeführt und mit Ziegel eingedeckt. Der Innenbereich ist mit einer CLT - Decke (schichtverleimten Holzplatten) und einer Folienabdeckung umgesetzt worden. Beides – die CLT Decke und das hinterlüftete Kaltdach – dient zur Wärmdämmung in der kalten Jahreszeit als auch zum Schutz vor Hitzeeinwirkungen in den heißen Sommermonaten. In Verbindung mit den Windschutznetzen kann auch die Frosteinwirkung im Außenklimabereich kompensiert werden.

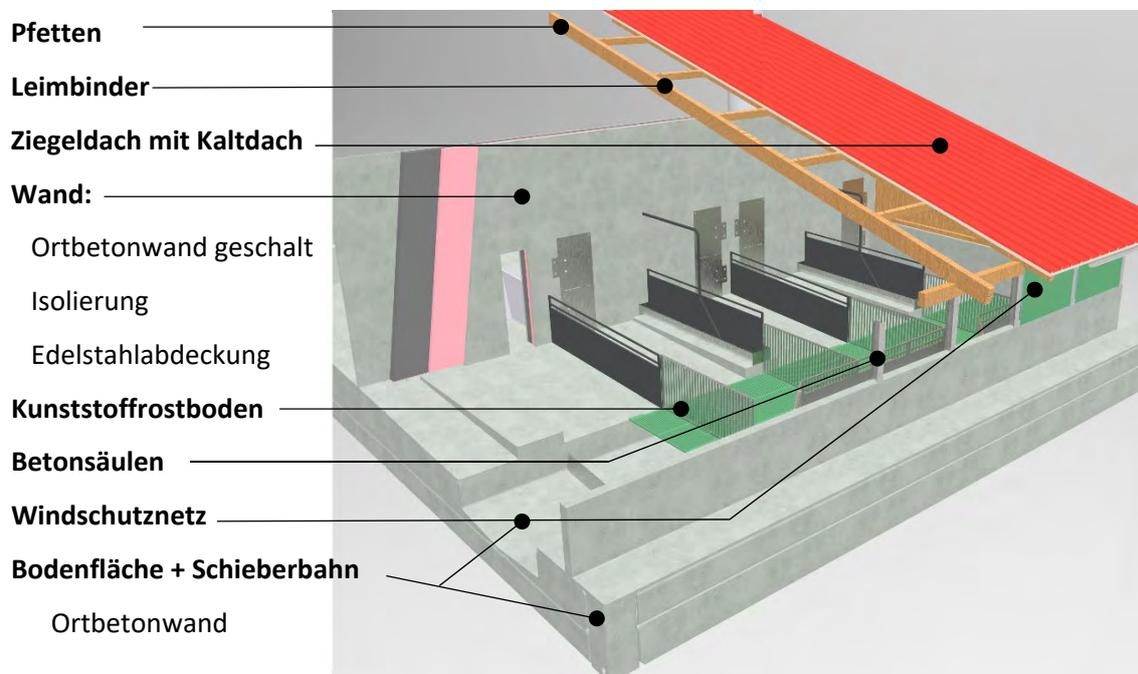


Abbildung 41: Baukonstruktion des Stallgebäudes (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

2.7.2 Bauverzögerung:

Bereits im Jahr 2010 wurde mit der Planung eines konventionellen Mast- und Ferkelstalles für Familie Josef und Christina Neuhold begonnen. Nach erfolglosen Bauverhandlungen und massiven Widerspruch durch Tierschutz-NGO's wurde dieses Konzept verworfen und gemeinsam mit Herrn Ing. Eduard Zentner an einer zukunftsorientierten Lösung gearbeitet, die für alle – allen voran der Familie Neuhold – aber auch für die Anrainer, die NGO's und die Umwelt eine Win-Win-Situation bringt. Das Ergebnis von langen und intensiven Konzeptions- und Entwurfsarbeiten - über 3 Jahre - ist schließlich der diesem Projekt zugrundeliegende Tierwohlstall für 850 Mastplätze. Nach Erhalt des positiven Baubescheides konnte im Mai 2020 schließlich mit den Aufschließungsarbeiten und darauffolgend mit der Bauausführung begonnen werden.

2.7.3 Baufortschritt:



Abbildung 42: Einrichten der Baustelle mit Bauzaun (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 43: Beginn der Aushubarbeiten (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 44: Erstellen der Zuluftkanäle (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 45: Schalungsarbeiten für die Wand in den Auslauf (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 46: Harnsammelkanal und Außenwand (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)

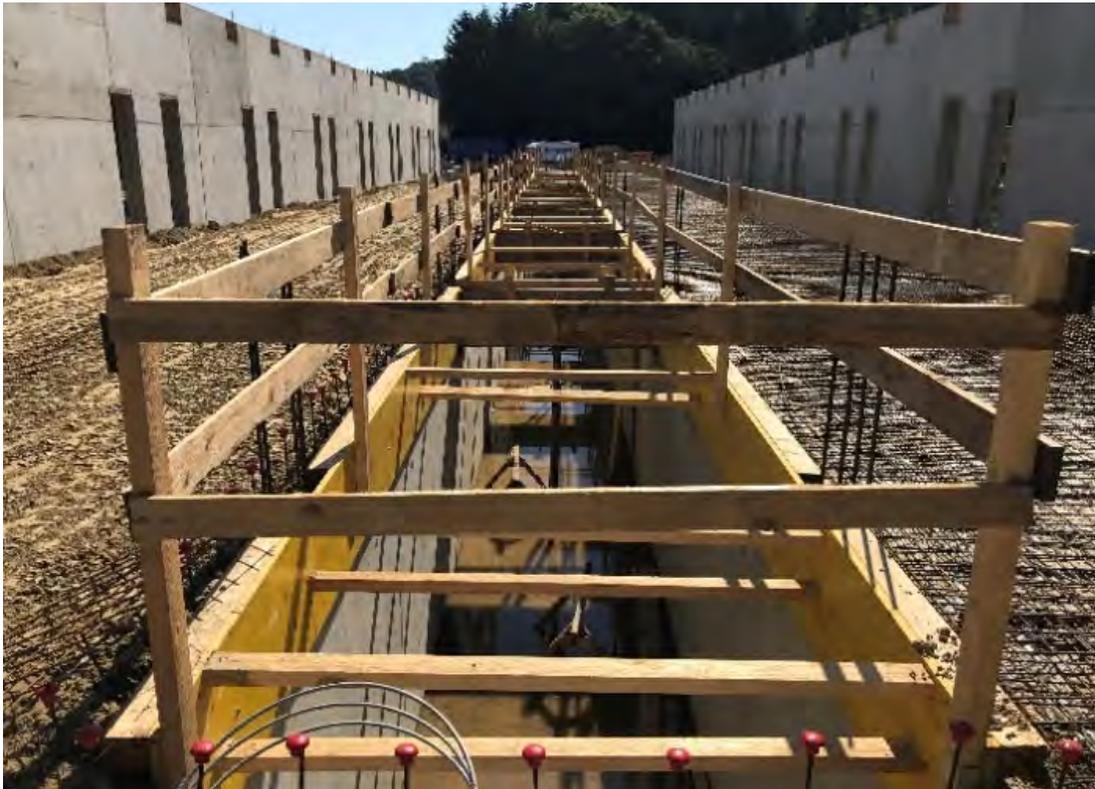


Abbildung 47: Lüftungskanal und Außenwände (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)

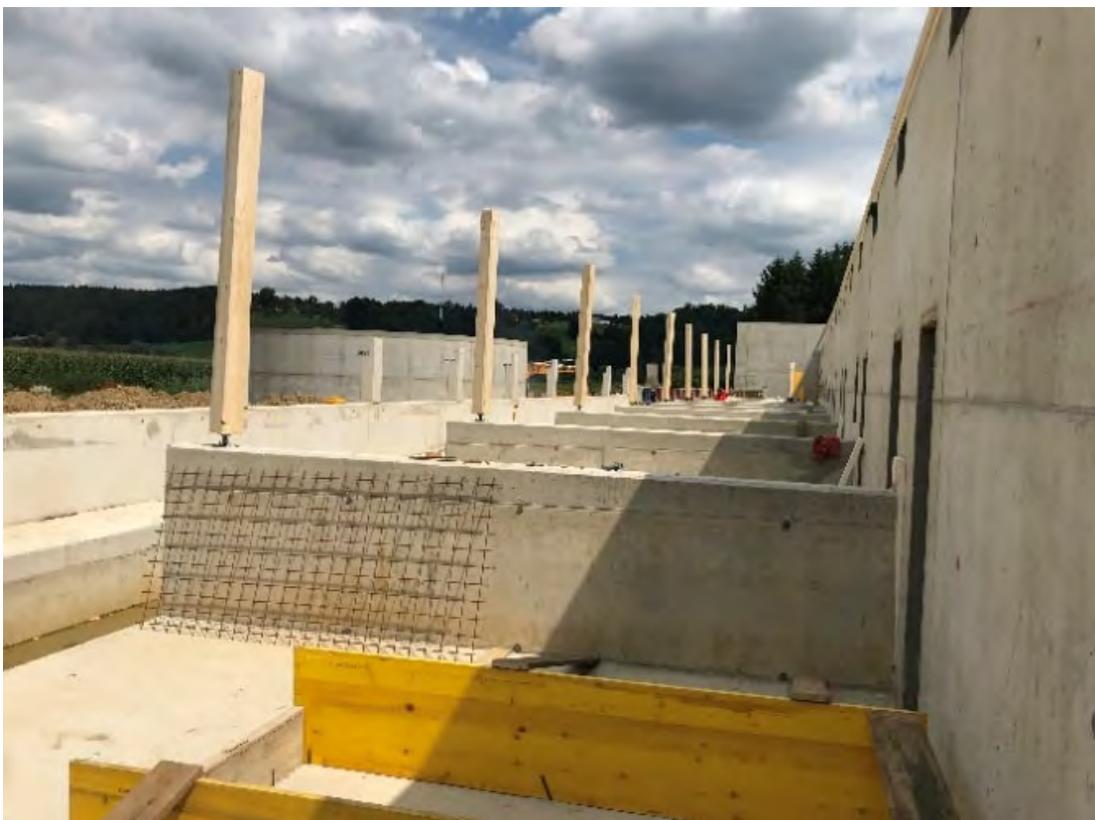


Abbildung 48: Fressbereich (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 49: Innenbereich mit Zuluftkanal (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 50: Ansicht von Norden – links Auslauf, rechts Liegebereich (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 51: Außenbereich (Fress- und Kotbereich) (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 52: Innenbereich Montage Aufstallung (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 53: Entmistungskanal mit Beschichtung (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 54: geschlossene Kunststoffroste über der Harnrinne (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)



Abbildung 55: Stall fertiggestellt (Bildquelle: Familie Neuhold)



Abbildung 56: Stall eingestallt (Bildquelle: Familie Neuhold)

2.8 Aktuelle Situation und Ausblick

2.8.1 Bereits umgesetzte Projekte

Für verschiedenste Labelprogramme wie z.B.: Hofkultur von Hütthaler, FairHof von Hofer, AMA TW 60 und AMA TW 100, Fair zum Tier von Rewe,.... in Österreich und Edeka, Rewe und viele andere Programme in Deutschland, Italien, Frankreich, Holland und auch der Schweiz kam dieses Stallkonzept mittlerweile schon sehr oft zur Umsetzung. Entsprechender Dank gilt hier auch der Familie Neuhold, welche sich Zeit genommen hat den Stall einer Vielzahl an Besuchergruppen zu zeigen!

2.8.2 Umbau bestehender Stallungen:

Aktuell findet man in der Praxis ca. 90 % der Stallsysteme als Voll – oder Teilspaltenställe ausgeführt. Das SaLu_T System eignet sich auch dazu, bestehende Vollspaltenställe umzurüsten, wie die beiden Praxisbeispiele zeigen.

UMBAUARIANTEN IN TIERWOHLSTÄLLE

Beispiel 1: 400 Mastplätze Betrieb Lampe – Niedersachsen, Umbau zu NatureLine Tierwohl Stall
Bestehender Teilspaltenstall: Erweiterung um einen außenliegenden Fress- und Mistbereich. Liege- und Fressbereich sind planbefestigt, mit Stroh-matic eingestreut, Entmistung mit Kot-Harntrennung. Aus dem bestehenden Güllekanal wird der Zuluftkanal mit vorgesetztem Cool Pad,...



UMBAUVARIANTEN IN TIERWOHLSTÄLLE

Beispiel 2: 720 Mastplätze Vollspalten a 0,75 m² - Umbau zu NatureLine Tierwohl Stall 540 Tiere a 1,5m²

Bestehender Vollspaltenstall: Erweiterung um einen Auslauf und Entmistung mit Kot- Harntrennung. Liege- und Fressbereich innen sind planbefestigt (Spalten überbetoniert). Der bestehende Güllesammelkanal wird als Zuluftkanal verwendet und mittels Cool Pad gekühlt,...



2.8.3 Wirkung der Ergebnisse auf zukünftige Genehmigungen

Das Projekt SaLu_T ist eines der umfangreichsten Forschungsprojekte, welche für Aussenklimaställe in diesem Umfang bisher durchgeführt wurden. Es soll zukünftig als Datenbasis für Genehmigungen von gleichartigen Stallungen dienen. Um die in Österreich ermittelten Werte auch für z.B.: Deutschland heranziehen zu können, werden die Ergebnisse auch auf diese Länder übertragen und sollen bestmöglich auch in die VDI-Richtlinien einfließen.

2.8.4 Baukosten, Holzbau - nachhaltig Bauen

Wichtig ist es vor allem, in Zukunft die Baukosten im Visier zu haben - dazu haben wir das Konzept noch mal komplett neu überdacht und den Baustoff Holz im speziellen das Material CLT – (schichtverleimtes Kreuzlagenholz) für den Bau der Stallhülle zugrunde gelegt. Holz, ein nachhaltiger Werkstoff mit dem bestmöglichen CO₂ – Fußabdruck. Holz bietet zudem einen hervorragenden Schallschutz, nimmt Feuchtigkeit auf und gibt diese wieder ab. Holz hat einen industriell sehr hohen Vorfertigungsgrad und ist somit auch enorm schnell in der Baumsetzung.



Abbildung 57: Stall in CLT Holzbauweise als Planungsbeispiel und in der Praxis umgesetzt (Bildquelle: Schauer Agrotronic)

2.8.5 NatureLine

-

der emissionsarme Tierwohlmaststall - der schon jetzt alle geforderten Standards erfüllt und Perspektive für die Zukunft bietet

Die wichtigsten Anforderungen an die zukünftige Schweinehaltung aus der heutigen Sicht der Gesellschaft und Konsumenten, des Gesetzgebers, der produzierenden Landwirte und der Vermarkter wurden im SaLu_T Projekt untersucht und die Zielsetzungen bei weitem übertroffen. Nicht minder wichtig ist aber, dass mit dem Stallkonzept auch für die (jungen) LandwirtInnen auch eine Perspektive für die Schweinehaltung geboten wird, die im Einklang und nicht im Konflikt mit den gesellschaftlichen Erwartungen stehen. Es gibt den Menschen das Gefühl zurück, das Richtige und etwas Gutes für die Zukunft zu tun.

3 Fachbereich Tierwohl/Tiergerechtigkeit

Birgit Heidinger Institut für Tier, Technik und Umwelt; HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Die Beurteilung des Tierwohls bzw. der Tiergerechtigkeit im gegenständlichen „emissionsarmen Tierwohlstall“ stellte im Rahmen des Projekts ein zentrales Arbeitspaket dar. Die Datenerhebungen und Auswertungen wurden von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, welche offizielle Prüfstelle der Fachstelle für tiergerechte Tierhaltung und Tierschutz ist, vorgenommen. Es erfolgte eine enge Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Fachstelle für tiergerechte Tierhaltung und Tierschutz, welche auf Basis der gewonnenen Ergebnisse ihrerseits das Haltungssystem hinsichtlich Rechtskonformität bzw. Einhaltung der tierschutzrechtlichen Vorgaben evaluiert. In weiterer Folge kann auf Antrag des Herstellers (Fa. Schauer Agrotronic) durch die Fachstelle das „Tierschutz-Kennzeichen“ als offizielles Siegel vergeben werden, wodurch eine serienmäßige Herstellung und Vertrieb des Produkts (in diesem Fall Haltungssystem) in Österreich zulässig und die Tierschutzrechtskonformität bestätigt wird.

Quellenhinweis zu Abbildungen, Grafiken und Tabellen in den nachfolgenden Kapiteln zum AP Tierwohl, so nicht anders angegeben: HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

3.1 Zusammenfassung

In Zusammenschau der erhobenen Daten bzw. der Ergebnisse lassen sich folgende Schlussfolgerungen zum Tierwohl bzw. der Tiergerechtigkeit im untersuchten Stallsystem zusammenfassen:

- Das untersuchte Stallsystem erfüllt die vier ressourcenbezogenen Tierwohl-Kriterien, welche vom Wissenschaftlichen Beirat für Agrarpolitik des BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Deutschland) definiert wurden (WBA, 2015):
 - Zugang zu unterschiedlichen Klimazonen
 - Angebot von Funktionsbereichen mit unterschiedlichen Bodenbelägen
 - Angebot von adäquaten Materialien und Einrichtungen zur Beschäftigung, Nahrungsaufnahme und Körperpflege
 - Angebot von ausreichend Platz

Somit kann das untersuchte Stallsystem als deutlich verbessertes, tiergerechtes Haltungssystem für Mastschweine bezeichnet werden. Ergänzend zu den oben genannten Kriterien bietet es den Schweinen ein auf Grund der getroffenen emissionsmindernden Maßnahmen hervorragendes Stallklima. Auf dem geschlossenen Boden der Liegefläche wird den Tieren Einstreu geboten und zusätzlich können auf/über dem geschlossenen Boden im

Fressbereich alternative, organische Materialien dargeboten werden, ohne die Funktionalität des Entmistungssystems zu beeinträchtigen.

- In Bezug auf die Tier- und Buchtenverschmutzung sind die Ergebnisse sehr zufriedenstellend – der Liegebereich wurde von den Tieren wie intendiert genutzt und über alle Durchgänge hinweg überwiegend sauber gehalten. Die daraus resultierenden hervorragenden stallklimatischen Bedingungen mit äußerst geringem Emissionsverhalten der geschlossenen Flächen im Innenbereich wurde auch durch die entsprechenden Gasmessungen (Ammoniak, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff) bestätigt.
- Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass Außenklimastallungen keine „Selbstläufer“ sind. Es sind ein angepasstes Management (z.B. beim Einstallen), laufende Tierbeobachtung (Liegeverhalten) und tagesaktuelle, witterungsabhängige Maßnahmen bezüglich der Einstellung von Lüftungsklappen, Curtains etc. erforderlich, um die entsprechende Betriebssicherheit zu gewährleisten und ein „Kippen“ des Systems zu verhindern. In diesem Zusammenhang erscheinen die getroffenen Kühlmaßnahmen (Zuluftkühlung unterflur mittels Cool Pads) für die entsprechende Klimatisierung des Ruhebereichs (Stallinnenbereich) in der Sommersituation unabdingbar.
- Bezüglich der erhobenen tierbezogenen Indikatoren war festzustellen, dass sich die ermittelten Prävalenzen durchwegs innerhalb der empfohlenen Zielwerte befanden. Auf deskriptiver Ebene waren rassebezogene Unterschiede zu einzelnen Indikatoren (z.B. in Körperregionen, die auf soziale Auseinandersetzungen/Rangordnungskämpfe hinweisen) evident.
- Gezieltes Augenmerk muss grundsätzlich in jedem Stallsystem, aber bei einem sog. „Tierwohlsystem“ ganz besonders, auf die Wasserversorgung gelegt werden: In diesem Zusammenhang ist für eine optimierte Versorgungssicherheit und Zugänglichkeit für die Schweine jedenfalls ein Tränkesystem mit zumindest zwei unterschiedlichen Ausführungen/Modellen – eine davon mit freier Wasseroberfläche – zu fordern.
- Bezugnehmend auf die Ergebnisse der Videoanalysen zu Aufenthaltsorten und Grundaktivität kann festgehalten werden, dass der Fressbereich ausreichend dimensioniert ist bzw. ein ausreichendes Tier:Fressplatz-Verhältnis vorliegt. Im Hinblick auf die Buchtensauberkeit wird jedoch eine Verlängerung des Futtertroges empfohlen. Insgesamt war zu erkennen, dass der Ruhebereich im Stallinnenraum von den Tieren zum Liegen bevorzugt wurde. Jahreszeitabhängig kam es im Sommer zu einer Verlagerung des Liegeortes in den Außenbereich. Die freie Wahl des Liegeplatzes nach den Bedürfnissen der jeweiligen Altersklasse und an die Temperaturverhältnisse des Tages angepasst – ohne, dass diese zu einer kompletten „Systemumkehr“ (Ausscheidung im Stallinnenbereich und Ruhen

im Außen-/Ausscheidungsbereich) geführt hätte, spricht für die Funktionalität des Gesamtsystems.

- Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurden erfolgreich unkupierte Tiere gehalten (Schwäbisch-Hällische Kreuzungstiere). Da diese Schweine gemeinhin einen eher „ruhigen und gutmütigen Charakter“ aufweisen und Daten zu den ebenfalls dort gehaltenen, etwas quirlicheren Rassen (Kreuzungstiere mit Duroc als Vaterlinie) fehlen, sollten noch weitere Untersuchungen angestellt werden. In einschlägigen Markenfleischprogrammen werden aber bereits unkupierte Mastschweine (meist Kreuzungstiere mit Pietrain als Vaterlinie) in ähnlichen Stallsystemen gehalten. Somit hat das Stallsystem jedenfalls Potenzial zur Haltung unkupierter Schweine – mit dem Fokus auf das gesetzliche Verbot des routinemäßigen Schwanzkupierens bzw. auf die Umsetzung eines Kupierverzichts.

3.2 Summary

In a synopsis of all the data collected and results obtained, the following conclusions can be drawn regarding animal welfare in the husbandry system for pig fattening investigated:

- The investigated housing system fulfills the four resource-related animal welfare criteria defined by the Scientific Advisory Council for Agricultural Policy of the BMEL (German Federal Ministry of Food and Agriculture; WBA (2015)):
 - access to different climate zones
 - offering of functional areas with different flooring
 - offering of adequate materials and facilities for enrichment, food intake and comfort behavior
 - offering of sufficient space

Thus, the investigated housing system can be described as a significantly improved, animal-friendly housing system for finishing pigs. In addition to the criteria mentioned above, it offers an excellent stable climate due to the emission-reducing measures taken. The animals are offered bedding on the closed floor of the lying area and, in addition, alternative organic materials can be provided on/above the closed floor in the feeding area without impairing the functionality of the manure system.

- With regard to animal and pen soiling, the results are very satisfactory – the animals used the lying area as intended and kept it predominantly clean during the trials. The excellent climatic conditions with extremely low emission from the closed surfaces in the indoor area were also confirmed by the corresponding gas measurements (Ammonia, carbon dioxide, hydrogen sulphide).

- In general, it should be noted that outdoor climate housing of pigs is not a "no-brainer". An adapted management (e.g. during moving pigs in), continuous animal observation (lying behaviour) and daily, weather-dependent measures regarding the adjustment of regulating flaps, curtains etc. are necessary to ensure the operational reliability and to prevent a "reversion" of the system. In this context, the cooling measures taken (air supply underfloor with integrated cool pads) appear to be crucial for the appropriate air conditioning of the lying area (indoor) during summer.
- Prevalence of assessed animal-based indicators were consistently within the recommended target values. On a descriptive level, breed-related differences were evident for some indicators (in body regions that indicate agonistic behaviour/rank fights).
- In every husbandry system special attention must be paid to the water supply, even more so in a so-called "animal welfare system": In this context, a drinking system with at least two different designs/models – one of them with a free water surface – must be provided to ensure water supply and accessibility for the pigs.
- Results of the video analysis regarding use of functional areas and basic activity showed that the feeding area is sufficiently dimensioned and that a sufficient animal-to-feeding-place ratio is provided. However, with regard to pen cleanliness, an extension of the feeding trough is recommended. Overall, it was evident that the resting area indoor was preferred by the animals for lying down. Depending on the season, there was a shift of the resting place to the outside area in summer. The free choice of the resting place according to the needs of the respective age group and adapted to the temperature conditions of the day – without resulting in a complete "system reversion" (elimination in the indoor area and resting in the outdoor/elimination area) – speaks for the functionality of the complete system.
- At the time of the investigations, undocked animals were successfully kept (Swabian-Hall crossbred animals). Since these animals generally have a rather "calm and good-natured character" and data on the somewhat more lively breeds also kept there (crossbreds with Duroc as sire line) are lacking, further investigations should be carried out. However, undocked fattening pigs (mostly crossbreds with Pietrain as sire line) are already kept in similar housing systems of relevant Austrian meat quality programs. Therefore, the investigated housing system has potential for keeping undocked pigs, which is of special importance for finally phasing out the routine of pig tail docking, as required by legislation.

3.3 Tiere, Material und Methoden

Für die Untersuchungen im Arbeitspaket Tierwohl wurden drei Mastdurchgänge in vier bzw. sechs ausgewählten Versuchsbuchten herangezogen:

1. Durchgang („Sommer-/Herbst-Durchgang“): Juli-Oktober 2021 (sechs Buchten)
2. Durchgang („Frühjahrs-/Sommer-Durchgang“): April-Juli 2022 (vier Buchten)
3. Durchgang („Herbst-/Winter-Durchgang“): August-Dezember 2022 (vier Buchten)

Die Positionierung und Benennung der sechs (1. Durchgang) bzw. vier Versuchsbuchten (2. und 3. Durchgang) innerhalb des Stallgebäudes ist in Abbildung 58 und Abbildung 59 dargestellt. Im 2. und 3. Durchgang konnten auf Grund der mangelnden Verfügbarkeit von gleichaltrigen Ferkeln nicht mehr sechs Buchten, sondern nur mehr vier Versuchsbuchten genutzt werden. Hierbei war es vorrangiges Ziel, die beiden Videobuchten zu belegen. Mit der vorliegenden Fütterungstechnik wird immer das gleiche, phasenangepasste Trockenfutter in den Vorratsbehälter von zwei nebeneinanderliegenden Buchten ausdosiert. Vor diesem Hintergrund mussten auch in die beiden Buchten neben den Videobuchten gleichaltrige Ferkel eingestallt werden und wurden diese somit zu Versuchsbuchten.

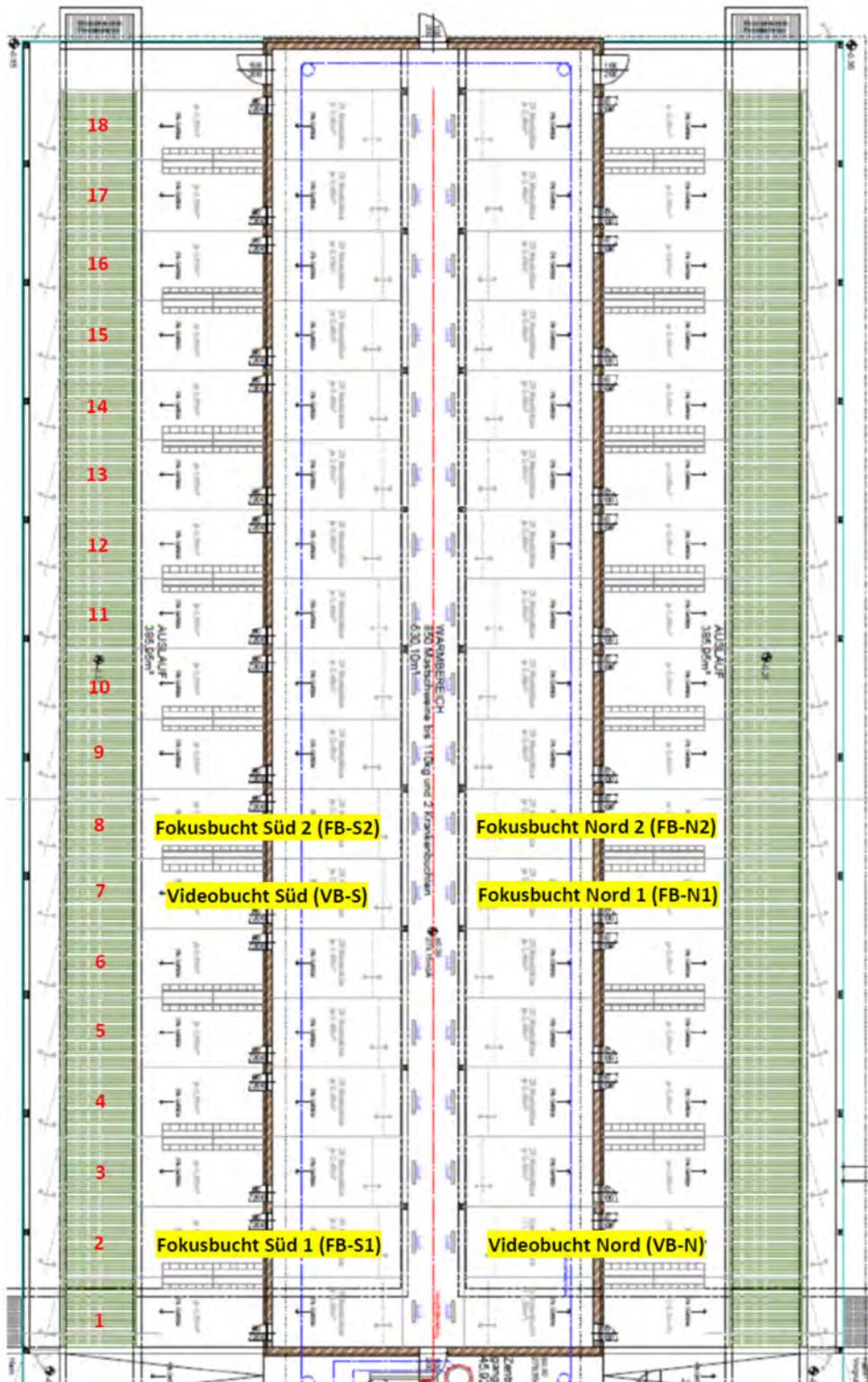


Abbildung 58: Positionen der sechs Versuchsbuchten im Stallgebäude während Durchgang 1 (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

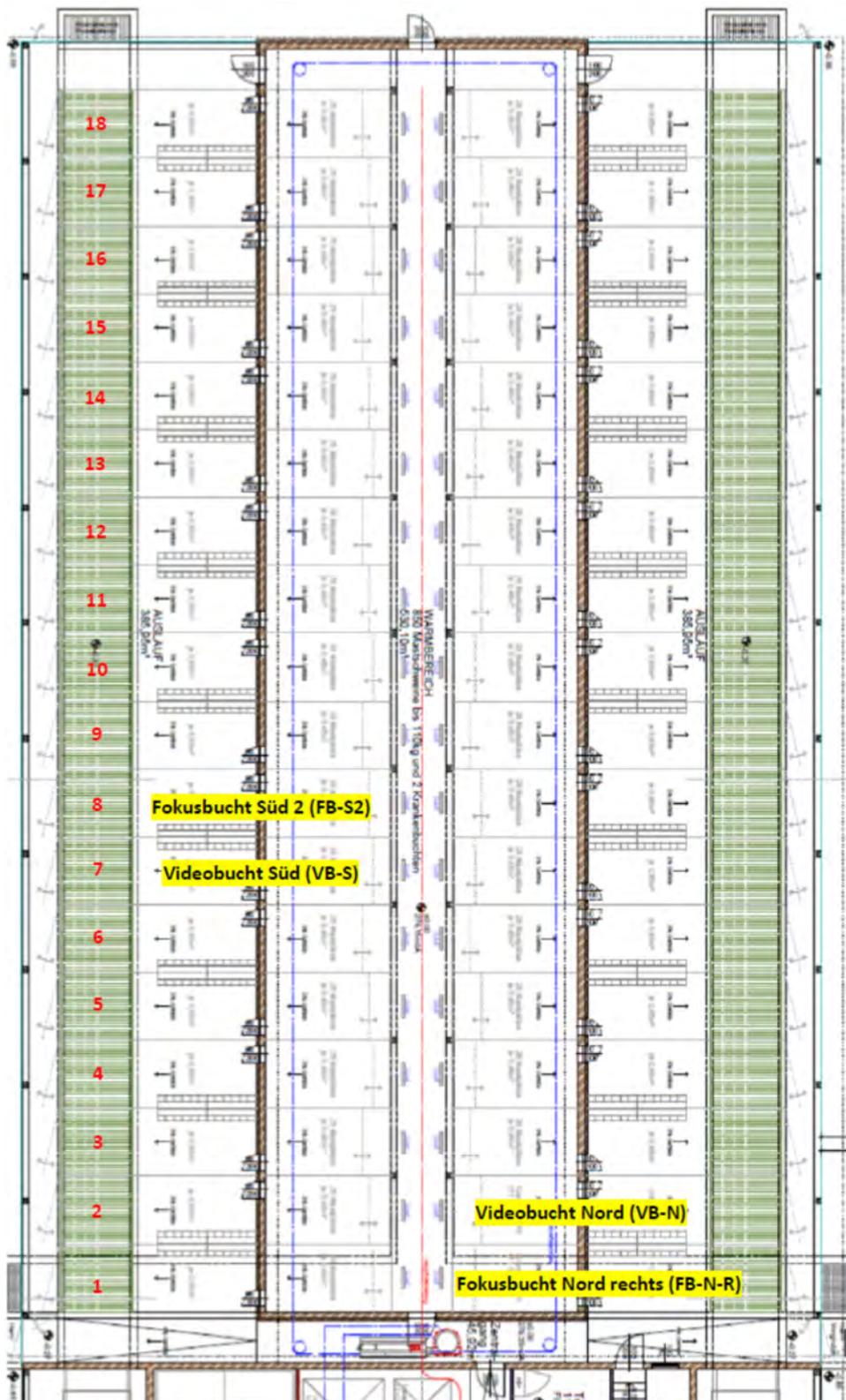


Abbildung 59: Positionen der vier Versuchsbuchten im Stallgebäude während Durchgang 2 und 3 (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)

3.3.1 Beschreibung der Buchtenstruktur und -einrichtung

Die Betriebsleiterfamilie ist in der Direktvermarktung tätig, weshalb auch unterschiedliche Schweinerassen bzw. Kreuzungen – abgestimmt auf die Erfordernisse der Produktveredelung bzw. auf die Kundenwünsche – gemästet werden. Während der Projektlaufzeit wurden folgende Schweinerassen bzw. Kreuzungstiere gehalten:

- Kreuzungstiere aus Edelschwein x Pietrain (Abbildung 60)
- reinrassiges Edelschwein
- Kreuzungstiere aus Edelschwein x Duroc („Edelduroc“, Abbildung 61)
- Kreuzungstiere aus Schwäbisch-Hällisch x Duroc (Abbildung 62)

Als Beschäftigungsmaterialien stehen den Schweinen Kräuterpellets sowie auf die geschlossenen Flächen im Innen- und Außenbereich aufgebrachte Einstreu (gehäckseltes Stroh) zur Verfügung.



Abbildung 60: Kreuzungstiere Edelschwein x Pietrain (mit gelber Ohrmarke, im Bildvordergrund) und reinrassiges Edelschwein (mit roter Ohrmarke, in der Bildmitte rechts)



Abbildung 61: Kreuzungstiere Edelschwein x Duroc (mit blauer Ohrmarke)



Abbildung 62: Kreuzungstiere Schwäbisch-Hällisch x Duroc

3.3.2 Bericht der Betriebsleiterfamilie Neuhold zu den unterschiedlichen Rassen/Kreuzungstieren:

Vor acht Jahren machte sich die Betriebsleiterfamilie – ausgehend von der Fleischqualität der Standard-Kreuzung Edelschwein x Pietrain – Gedanken zur Verbesserung der Fleischqualität und ist dabei auf die Linie Duroc x Edelschwein (Abbildung 63) gestoßen. Die Vorteile dieser Kreuzung liegen in der höheren intramuskulären Fetteinlagerung, dem kernigen Speck und dem dadurch einzigartigen Geschmack. Das Fleisch eignet sich optimal für Dauerwaren wie Rohschinken und Salami und zeichnet sich auch als hervorragendes Grillfleisch aus. Weitere Vorteile des Duroc-

Schweines sind die hohen Tageszunahmen, die Widerstandsfähigkeit und Robustheit der Tiere. Nachteile betreffen die höheren Ferkelkosten (+€ 15/Stück) und die Schweine sind fetter, d.h. der Magerfleischanteil liegt zwischen 56 und 58 %. Daher ist das Fleisch vor allem in der Direktvermarktung und für Spezialprogramme von Interesse. Vom Verhalten her sind die Tiere als „quirlig“ zu beschreiben und sie halten ihre Bucht nicht so sauber wie andere Linien. Für die Linie Schwäbisch Hällisch x Duroc hat sich die Familie deshalb entschieden, weil das Fleisch etwas dunkler als herkömmliches Schweinefleisch ist – eher in Richtung Kalbfleisch – und auch ein hoher intramuskulärer Fettanteil vorhanden ist (Abbildung 64 und Abbildung 65). Der Nachteil liegt im noch höheren Preis der Ferkel. Die Tageszunahmen sind geringer und die dunklen Borsten schwerer bei der Verarbeitung zu entfernen. Ein bedeutender Vorteil ist, dass diese Schweine die verschiedenen Zonen im Stall „am besten einhalten und zu 99 % sauber sind“. Es handelt sich um sehr gutmütige Tiere, die auch problemlos mit Ringelschwänzen gehalten werden können.



Abbildung 63: Links: Karree; Rechts: Schopf von Kreuzungstieren Pietrain x Edelschwein
(Bildquelle: Jaga's Steirerei, Fam. Neuhold)



Abbildung 64: Links und rechts: Karree; Mitte: Schopf von Kreuzungstieren Edelschwein x Duroc
(Bildquelle: Jaga's Steirerei, Fam. Neuhold)



Abbildung 65: Links und rechts: Karree; Mitte: Schopf Kreuzungstieren Schwäbisch-Hällisch x Duroc
(Bildquelle: Jaga's Steirerei, Fam. Neuhold)

3.3.3 Anzahl der beurteilten Tiere und Verteilung

Insgesamt wurden in den drei Versuchsdurchgängen 349 Schweine in die Versuchsbuchten eingestallt und über alle Durchgänge und Erhebungstermine hinweg 1002 Beurteilungen vorgenommen. In den drei Versuchsdurchgängen wurden 348 Tiere zum ersten Erhebungstermin, 337 Schweine zum zweiten Termin und 317 Schweine zum dritten und letzten Erhebungstermin beurteilt (im 1. Durchgang waren zum Zeitpunkt der 3. Erhebung bereits einige Schweine geschlachtet worden). Die Schweinerassen bzw. Kreuzungstiere waren über die drei Durchgänge aus Gründen der Verfügbarkeit der Tiere nicht gleichmäßig verteilt (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Verteilung der unterschiedlichen eingestellten Tiere nach Rassen bzw. der Kreuzungstiere in den drei Durchgängen und Buchten

Durchgang	Buchtenbezeichnung	Edelschwein x Pietrain	Edelschwein x Duroc	Edelschwein	Schwäbisch-Hällisch x Duroc	keine Ohrmarke /Rasse nicht bekannt	Summe
1	VB-N				25		25
	FB-N1	25					25
	FB-N2	9	14			2	25
	VB-S	25					25
	FB-S1	10	9	4		2*	25
	FB-S2				25		25
2	VB-N	23	2				25
	VB-N-R	15	10				25
	VB-S				24**		24
	FB-S2	22	3				25
3	VB-N	12	13				25
	VB-N-R				25		25
	VB-S	25					25
	FB-S2	20	4	1			25
Summe		186	55	5	99		349

*ein Tier zum 1. Erhebungstermin bereits verwendet

** ein Tier weniger eingestallt (geringe Verfügbarkeit)

VB = Videobucht, FB = Fokusbucht, N = Nord, S = Süd, R = Rechts

3.3.4 Datenerhebung

Die Auswertungen zum Tierwohl bzw. der Tiergerechtigkeit basierten auf folgenden Erhebungsmethoden bzw. Datengrundlagen:

- Erhebungstermine im Stall:
 - Erhebung tierbezogener Indikatoren (vgl. Anhang A)
 - Erhebung der Buchtenverschmutzung
- Betriebsaufzeichnungen zur Tiergesundheit (Behandlungsdaten, Tierverluste)
- Videoanalysen:
 - Beurteilung des Kotschlitzes im Hinblick auf Verletzungsträchtigkeit bzw. Tiergerechtigkeit an mehreren 24-Stunden-Tagen über den Mastverlauf hinweg
 - Analyse der Aufenthaltsorte bzw. des Verhaltens der Tiere (Grundaktivität) an insgesamt neun 24-Stunden-Tagen über den Mastverlauf hinweg

Tierbezogene Indikatoren

Für die Definition der Parameter zu den tierbezogenen Indikatoren orientierte man sich an der KTBL-Sonderveröffentlichung „Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Schwein“ (Schrader et al., 2020a). Diese wurden in einem Handbuch mit Beispielbildern zusammengefasst (s. Anhang A). Ebenso wurde ein einseitiges Erhebungsprotokoll erstellt (s. Anhang B) und jedes Tier in jedem Mastdurchgang dreimal beurteilt. Die Beurteilung der Augen bzw. Sekretrinnen entfiel bei Tieren

der Kreuzung Schwäbisch-Hällisch x Duroc, da auf Grund der dunklen Pigmentierung des Kopfes sowie den ausgeprägteren Hängeohren diese Parameter nicht oder nur sehr schwer (Tiere hätten berührt werden müssen, um Ohren anzuheben) eindeutig zu bestimmen waren. Die Beurteilungszeitpunkte wurden wie folgt definiert:

- Mastbeginn: Einstalltermin plus 8-12 Tage
- Mitte der Mast: Masttag 50-55
- Ende der Mast: Vor dem Ausstallen der ersten Tiere (ab Masttag 80, nach entsprechender Meldung durch den Betriebsleiter)

Die Erhebungen je Durchgang fanden zu den in Tabelle 2 ersichtlichen Terminen statt. Die Einstalltermine richteten sich grundsätzlich nach der Verfügbarkeit der Ferkel bzw. den betrieblichen Gegebenheiten. Der Fokus lag insbesondere auf der warmen Jahreszeit/Sommersituation, da diese als am kritischsten hinsichtlich Tier- und Buchtensauberkeit ist.

Tabelle 2: Einstalldatum und Datum der drei Erhebungstermine je Durchgang

Durchgang	Einstalltag	Erhebungstermin 1	Erhebungstermin 2	Erhebungstermin 3
1	30.06.2021	07.07.2021	17.08.2021	15.10.2021
2	12.04.2022	25.04.2022	07.06.2022	30.06.2022
3	08.08.2022	19.08.2022	30.09.2022	06.12.2022

Buchtenverschmutzung

Die Verschmutzung in den Buchten mit Kot und/oder Harn wurde zu jedem Erhebungstermin fotografisch und ggf. auch in Worten beschreibend dokumentiert, wenn beispielsweise Tiere Flächen verdeckten oder auf den Fotos einzelne Details nicht gut erkennbar waren. Diese Dokumentation erfolgte vor Beginn der Beurteilungen, sodass nicht ggf. zusätzliche Verschmutzungen auf Grund der Beunruhigung der Tiere auftraten. Es erfolgte eine Einschätzung des prozentuellen Anteils der verschmutzten Fläche im Liege- und Fressbereich (eingeteilt in Sektoren, vgl. Abbildung 66) der Bucht nach folgendem Bewertungssystem:

- Score 1: 0 % verschmutzt (völlig frei von Kot, Harn oder Feuchtigkeit)
- Score 2: >0-25 % der Fläche/des Sektors verschmutzt mit Kot, Harn bzw. feuchte Stellen erkennbar
- Score 3: >25-50 % der Fläche/des Sektors verschmutzt mit Kot, Harn bzw. feuchte Stellen erkennbar
- Score 4: >50-75 % der Fläche/des Sektors verschmutzt mit Kot, Harn bzw. feuchte Stellen erkennbar
- Score 5: >75 % der Fläche/des Sektors verschmutzt mit Kot, Harn bzw. feuchte Stellen erkennbar

Aus den Einzel-Scores je Buchtensektor wurde über alle Durchgänge hinweg ein Durchschnittsscore für die einzelnen Buchtensektoren des Liege- und Fressbereichs sowie für die Funktionsbereiche gesamt errechnet.

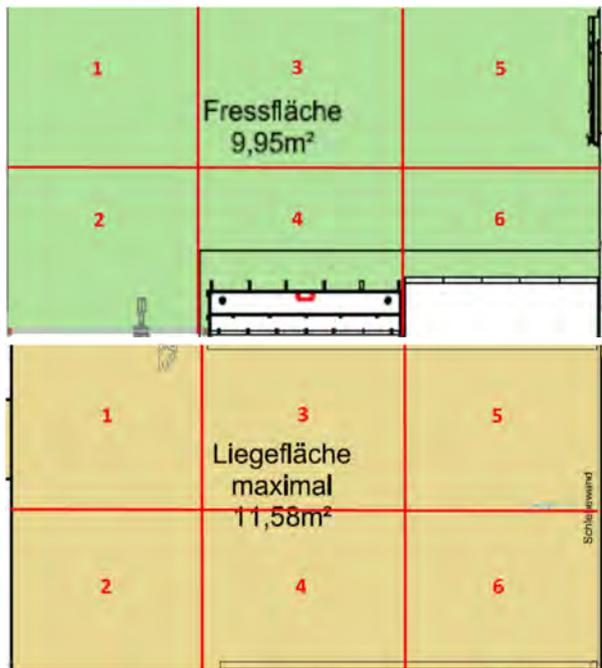


Abbildung 66: Einteilung der Liegefläche und des Fressbereichs in Sektoren für die Bewertung der Buchtverschmutzung

Aufzeichnungen zur Tiergesundheit

Zur Erhebung der Tiergesundheitsdaten in den Versuchsbuchten wurde auf die Aufzeichnungen der Betriebsleiterfamilie vor Ort zurückgegriffen. Die Tierverluste wurden darüber hinaus für das Jahr 2022 ausgewertet (dies war das erste Jahr, in welchem sämtliche Buchten belegt waren).

Videoaufzeichnungen

In je einer Bucht im Norden sowie im Süden (VB-N und VB-S, vgl. Abbildung 58) wurden insgesamt sechs Videokameras (drei je Bucht) in folgenden Bereichen installiert:

- über dem Ruhebereich (Abbildung 67)
- über dem Fressbereich (Abbildung 68)
- über dem Ausscheidungsbereich (Abbildung 69)



Abbildung 67: Kameraposition über dem Liegebereich (links über Nord-Bucht, rechts über Süd-Bucht)



Abbildung 68: Kameraposition über dem planbefestigten Fressbereich (links über Nord-Bucht, rechts über Süd-Bucht)



Abbildung 69: Kameraposition über dem perforierten Ausscheidungsbereich (links über Nord-Bucht, rechts über Süd-Bucht)

Während der drei Versuchsdurchgänge wurden Videoaufzeichnungen in folgenden Zeiträumen vorgenommen:

- Zeitraum um das Einstellen bis ca. 3 Tage nach dem 1. Erhebungstermin
- Mittelmast: 5 Tage vor dem 2. Erhebungstermin plus 5 Tage danach
- Ausstellen: ab ca. 80. Masttag bis Speicherkapazität der Festplatte erschöpft

Leider kam es in Durchgang 2 zu einem Datenverlust, weshalb nur Videoaufnahmen vom Einstellen bis zum 18. Masttag vorlagen.

Beurteilung des Kotschlitzes

Für die Beurteilung des Kotschlitzes im Ausscheidungsbereich hinsichtlich seiner potenziellen Verletzungsträchtigkeit für die Schweine wurde das Videomaterial aus beiden Videobuchten (VB-N und VB-S) an folgenden Fokustagen kontinuierlich analysiert:

- Einstalltag: Einstellzeitpunkt plus 24 Stunden; in Durchgang 3 konnten die Aufnahmen erst einige Stunden nach dem Einstellen gestartet werden, weshalb hierfür die Videodaten vom Aufnahmebeginn plus 24 Stunden analysiert wurden
- je zwei 24-Stunden-Tage vor jedem der drei Erhebungstermine
- an den drei Erhebungstagen (24 Stunden)

In Durchgang 1 und 3 wurden somit in Summe 960 Stunden Videomaterial analysiert. Aus Durchgang 2 konnte auf Grund des Datenverlustes nur die Zeit um das Einstellen (24 Stunden) sowie zwei 24-Stunden-Tage vor dem ersten von drei Erhebungsterminen und der erste Erhebungstermin analysiert werden (in Summe 192 Stunden). Sequenzen, in denen ein Schwein mit einer oder mehreren Extremitäten in den Kotschlitz gelangte, wurden hinsichtlich folgender Schweregrade eingeteilt:

- leicht: unmittelbares Freikommen; ohne offensichtliche Folge für die Tiergesundheit
- mittel: Freikommen dauert >3 sec.; ohne offensichtliche Folge für die Tiergesundheit
- schwer: Tier kann sich nicht alleine befreien oder selbstständiges Freikommen zwar möglich, aber gesundheitsbeeinträchtigende Folge in Form von z.B. Verletzung/Lahmheit ersichtlich

Verhalten bzw. Aufenthaltsort

Zur Erhebung von Grundaktivität und Aufenthaltsort der Tiere wurde das Videomaterial an neun Fokustagen je Durchgang im Scan-Sampling-Verfahren halbstündlich analysiert. Hierfür wurden je drei 24-Stunden-Tage vor jedem der drei Erhebungstermine (im Durchgang 2 nur die drei Tage vor dem ersten Erhebungstermin) als Fokustage festgelegt. Aus den drei Durchgängen konnten in Summe 6048 Einzeldaten erfasst werden. Es wurde festgehalten in welchem der drei Buchtenbereiche sich die Schweine aufhielten:

- Liegebereich im Stallinneren
- geschlossener Boden im Fressbereich
- perforierter Boden im Ausscheidungsbereich

Die Grundaktivität wurde wie folgt aufgezeichnet bzw. definiert:

- Liegen (in allen drei Buchtenbereichen): Das Tier belastet keine der vier Extremitäten im Sinne einer aufrechten Position (Belastung der Klauen), die Extremitäten können untergeschlagen sein, das Körpergewicht ruht auf der Brust-/Bauchregion und/oder Körperseite bzw. Hinterhand; es wird nicht zwischen den Liegepositionen Brust-/Bauchlage oder Seitenlage unterschieden; es zählt auch das Liegen auf anderen Tieren – z.B. Hinterhand liegt am Boden, Brustbereich auf einem anderen Tier
- Aktiv (in allen drei Buchtenbereichen): umfasst Verhaltensweisen, die nicht dem Liegen entsprechen – wie Stehen, Fortbewegung und Sitzen (beim Sitzen berührt der Bauch zumindest im vorderen Bereich den Boden nicht, eine oder zwei Klauen der Vorderextremitäten sind zum Abstützen belastet, die Hinterhand berührt den Boden)
- Fressen (nur im Fressbereich): der Kopf des Tieres ist in Richtung Trog orientiert und Rüssel bzw. Maul im Trog oder auf die Stufe/den Boden vor der Stufe ausgerichtet

Befand sich ein Schwein im Übergangsbereich zwischen Innen und Außen bzw. Festfläche und Spaltenbereich, dann wurde jener Bereich als Aufenthaltsbereich gezählt, in dem sich mehr als die Hälfte des Tierkörpers befand. War dies nicht eindeutig feststellbar oder gleich verteilt, so wurde das Tier jenem Bereich zugeordnet, in dem sich der Kopf befand.

Datenauswertung

Die Beurteilung der Tiere zu den Erhebungsterminen im Stall wurde von einer Person durchgeführt, daher wurde kein Beobachterabgleich vorgenommen. Bei der Beschreibung der Parameter wurde, wie bereits erwähnt, auf bestehende Konzepte zurückgegriffen (Schrader et al., 2020a). Die handschriftlich in Protokollen festgehaltenen Daten wurden in das Programm Microsoft Excel (2016) eingegeben und deskriptiv mit der Statistik-Software „R“, Version 4.3.0 (R Core Team, 2023) bzw. Excel ausgewertet. Auf Grund der nicht ausbalancierten Datenstruktur (Jahreszeit, Buchtenbelegung, Rassenverteilung) und der fehlenden Referenzstichprobe (nicht vorgesehene vergleichende Erhebungen an Kontrolltieren in z.B. Vollspaltenbuchten oder anderen Außenklimaställen) wurden die Daten bzw. Ergebnisse deskriptiv ausgewertet/dargestellt und keine weiterführenden inferenzstatistischen Analysen vorgenommen. Als Vergleichsbasis für produktions- und leistungsbezogene Daten wird der Bundesbericht „Ferkelproduktion und Schweinemast 2022“ herangezogen (Burgstaller et al., 2023) bzw. tierbezogene Indikatoren in Zusammenschau mit vorhandener relevanter Literatur diskutiert.

3.4 Ergebnisse und Diskussion

3.4.1 Tier- und Buchtenverschmutzung

Die über alle drei Durchgänge hinweg (neun Erhebungstermine) kalkulierten Durchschnittsscores zur Buchtenverschmutzung je Buchtensektor und Funktionsbereich über alle Durchgänge bzw. Erhebungstermine hinweg sind in Tabelle 3 dargestellt. Insgesamt ist zur Buchtenverschmutzung festzuhalten, dass es sich bei der Dokumentation zu den jeweiligen Erhebungsterminen um

Momentaufnahmen handelte und zum Teil vor den Erhebungen früh morgens bereits entmistet war. Daher wurden auch die Videoaufnahmen stichprobenartig hinsichtlich der Buchtenverschmutzung gesichtet. Grundsätzlich ist bei Außenklimastallungen eine Südausrichtung der offenen Front bzw. des Auslaufbereichs für die Buchtensauberkeit (Trocknungswirkung im Außenbereich und Ruhen im gegenüberliegenden, kühleren, nördlich gelegenen Liegebereich) förderlich. Ähnliches wird auch in einer mehrere Außenklimaställe vergleichenden Studie von Plank and Jais (2022) beschrieben.

Fam. Neuhold berichtete, dass jeweils die erste Bucht beidseits des Eingangs häufiger verschmutzt war (eine dieser Buchten im Nordbereich, FB-N-R, war in den Durchgängen 2 und 3 auch im Versuch). Hier scheint es einen Zusammenhang mit der Luftführung in diesem Bereich und einer häufigeren Beunruhigung der Tiere im Eingangsbereich zu geben.

Einschränkend im Zusammenhang mit der Auswertung und der Interpretation der Scores zur Buchtenverschmutzung ist darauf hinzuweisen, dass im Gegensatz zu den Scores 2-4, der Score 1 (0 % verschmutzt, siehe Definitionen) kein Intervall darstellt. Somit können sich bei der Kalkulation von Lageparametern (arithmetischer Mittelwert) Verzerrungen ergeben, weshalb auch der Median ergänzend angegeben wird. Zur besseren Veranschaulichung werden die relativen Häufigkeiten vergebener Scores nach Buchtenbereich/Sektoren auch grafisch dargestellt (Abbildung 70).

Tabelle 3: Durchschnittlicher Score zur Buchtenverschmutzung bzw. Median in Klammern nach Funktionsbereichen und Buchtensektoren (über alle Durchgänge und Erhebungstermine hinweg)

	Liegebereich	Fressbereich
Sektor 1	1,0 (1,0)	1,8 (2,0)
Sektor 2	1,1 (1,0)	2,5 (2,0)
Sektor 3	1,0 (1,0)	1,2 (1,0)
Sektor 4	1,0 (1,0)	1,3 (1,0)
Sektor 5	1,3 (1,0)	1,2 (1,0)
Sektor 6	1,3 (1,0)	1,2 (1,0)

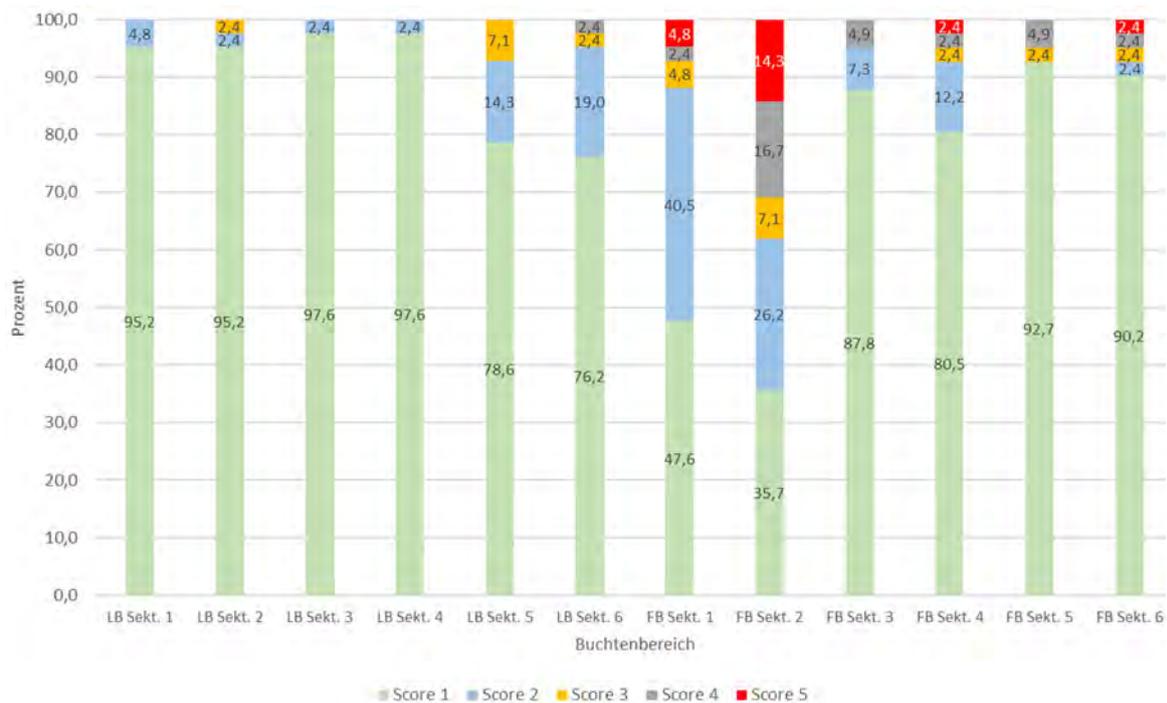


Abbildung 70: Relative Häufigkeiten der vergebenen Scores zur Buchtenverschmutzung nach Buchtensektoren (LB = Liegebereich, FB = Fressbereich, Sekt. = Sektor)

Da sich subjektiv und von der Betreiberfamilie bestätigt, Unterschiede in der Buchtensauberkeit zwischen den Rassen (Schwäbisch-Hällische Kreuzungstiere vs. „helle“ Rassen aus Kreuzungen zwischen Edelschwein, Pietrain und Duroc sowie reinrassiges Edelschwein vgl. Kap. „Tiere“) zeigten, ist auch die durchschnittliche Buchtenverschmutzung nach Rassen in Tabelle 4 angeführt. In Buchten mit Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren wurde in keinem der Sektoren der Score 5 (>75 % verschmutzt) vergeben (Abbildung 71).

Die Beobachtungen zu Unterschieden bezüglich der Rassen setzten sich auch in der Tierverschmutzung fort, weshalb auch hier entsprechende Daten zu den Rassen angegeben werden (Tabelle 5). Einschränkend ist zu sämtlichen rassebezogenen Daten allerdings anzumerken, dass die Verteilung der unterschiedlichen Rassen innerhalb der Durchgänge und über die Durchgänge hinweg nicht ausbalanciert war (geringere Verfügbarkeit von Tieren der Kreuzung Schwäbisch-Hällisch x Duroc). Darüber hinaus sind große Körperpartien der Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstiere dunkel/schwarz pigmentiert. Vor diesem Hintergrund sind Verschmutzungen deutlich schwerer zu erkennen als auf hellhäutigen Tieren.

Im KTBL-Leitfaden mit Ziel- und Alarmwerten (Schrader et al., 2020b) wird zur Tierverschmutzung ein „Anteil Tiere mit starker Kotverschmutzung“ $\leq 5,0\%$ als Zielbereich und $\geq 10,0\%$ als Alarmbereich angegeben. Ein Tier gilt dabei als „stark verschmutzt“, wenn 30 % der Oberfläche mit Kotalagerungen bedeckt ist (Schrader et al., 2020a). Die Definitionen zur Verschmutzung in der vorliegenden Untersuchung beziehen sich auf Körperpartien. Diese mussten zumindest mit der

Größe einer Handfläche (mit 3D-Auflagerung) verschmutzt sein, um gewertet zu werden (vgl. Anhang A). Die Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstiere waren in allen drei Durchgängen gleichermaßen gering verschmutzt (1,4 % der Tiere mit zumindest einer verschmutzten Körperpartie; Tabelle 5). Demgegenüber waren helle Kreuzungstiere mit Anteilen von 6,9-24,8 % an zumindest einer Körperpartie verschmutzt. Ein direkter Vergleich ist auf Grund unterschiedlicher Definitionen des Verschmutzungsgrades nicht möglich. Jedoch kann gesagt werden, dass lediglich 3,0 % aller beurteilten Schweine über alle Durchgänge und Erhebungstermine hinweg Verschmutzungen auf mehr als einer Körperpartie aufwiesen und somit mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Gesamtverschmutzung größeren Ausmaßes (von etwa 30 %) der Körperoberfläche vorlag. Dieser Wert liegt jedenfalls im o.g. Zielbereich.

Tabelle 4: Durchschnittlicher Score zur Buchtenverschmutzung bzw. Median in Klammern nach Rassen und Funktionsbereichen (über alle Durchgänge und Erhebungstermine hinweg)

	Liegebereich	Fressbereich
Schwäbisch-Hällisch x Duroc	1,0 (1,0)	1,3 (1,0)
"Helle" Rassen	1,2 (1,0)	1,7 (1,0)

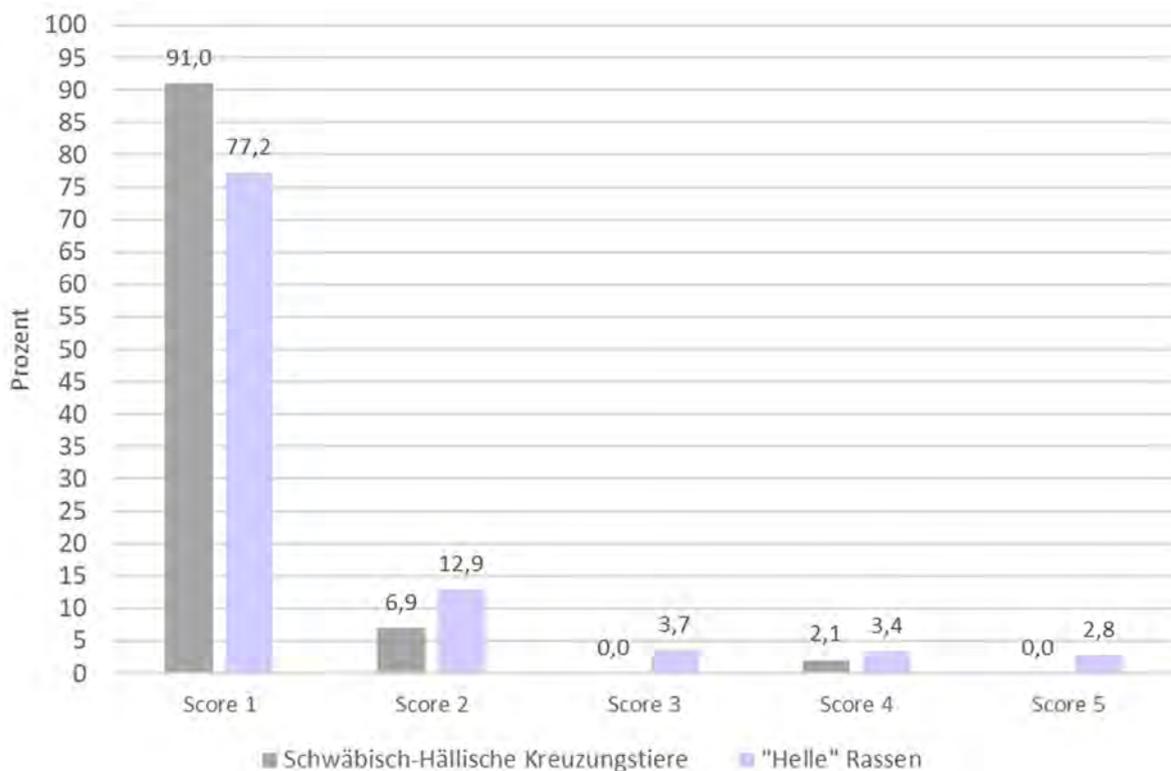


Abbildung 71: Relative Häufigkeiten der vergebenen Scores zur Buchtenverschmutzung (Liegebereich und Fressbereich) innerhalb der jeweiligen Rassen

Tabelle 5: Anteil von Tieren (in %) mit zumindest einer verschmutzten Körperpartie getrennt nach Rassen und Durchgängen (über die drei Erhebungstermine je Durchgang hinweg; DG = Durchgang)

DG	Schwäbisch- Hällisch x Duroc	"Helle" Rassen
1	1,4	9,6
2	1,4	24,8
3	1,4	6,9

In der Zusammenschau aller Daten zeigte sich, dass Kot und Harn von den Tieren überwiegend im dafür vorgesehenen Bereich des Kunststoffspaltenbodens und hier häufig auf der den Tränken gegenüberliegenden Buchtenhälfte abgesetzt wurden (Abbildung 72). Wenn Verschmutzung in anderen Bereichen der Bucht auftrat, dann vorwiegend auf dem geschlossenen Boden zwischen Trog und Kunststoffspaltenboden (Sektor 2 im Fressbereich; Score 2,5). Hier schienen die Tiere Kot und Harn von ihrem bevorzugten, o.g. Ausscheidungsbereich in den geschlossenen Bereich verschleppt zu haben, was andere Schweine nachfolgend dazu veranlasst haben könnte, auch dort gezielt Kot und Harn abzusetzen.

Des Weiteren war zu beobachten, dass Schweine ihren Kopf in Richtung des Ausscheidungsbereichs bzw. zu Schweinen aus der benachbarten Bucht hin ausgerichtet hatten, mit der Hinterhand bzw. dem Körper allerdings auf der geschlossenen Fläche neben dem Trog standen und dorthin harnten bzw. koteten (Abbildung 73). Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, den Trog bis kurz vor den Bereich des Kunststoffrostes zu verlängern, da Schweine üblicherweise (ausreichend Platz vorausgesetzt) Ausscheidungen nicht direkt im Nahbereich des Fressplatzes absetzen. Als positiver Nebeneffekt kann durch diese Maßnahme auch das Tier:Fressplatz-Verhältnis zum Mastende von 2,8:1 noch weiter verbessert werden (Abbildung 74). Die Herstellerfirma berichtet, dass dieser Ansatz im Zuge der Neuerrichtung des Stallsystems auch bereits verfolgt wird (Abbildung 75).



Abbildung 72: Schwein harnt im von den Tieren bevorzugten Ausscheidungsbereich auf dem den Tränken (rot eingekreist) gegenüberliegenden Kunststoffrost; deutlich erkennbar ist auch die Verschmutzung der geschlossenen Fläche neben dem Trog.



Abbildung 73: Schwein harnt im geschlossenen Bereich neben dem Trog, wobei der Kopf in Richtung des Ausscheidungsbereichs orientiert ist und Sichtkontakt zum Buchtennachbarn besteht.



Abbildung 74: Möglicher Bereich für eine Verlängerung des Futtertroges



Abbildung 75: Von der Herstellerfirma in einem neu gebauten Stallsystem umgesetzte Verlängerung des Troges (Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)

Entscheidend hinsichtlich des Tierwohls bzw. der Tiergesundheit ist eine geringe Verschmutzung und damit einhergehende geringe Schadgasbelastung im Stallinnenraum (Ruhebereich) der Tiere. Die Sauberkeit im Liegebereich konnte über alle Durchgänge hinweg gut gewährleistet werden und wird auch durch die entsprechenden Gasmessungen (NH_3 , CO_2) bestätigt.

Verschmutzte Einstreu und Kot wurden in der Regel alle zwei Tage vormittags von den geschlossenen Bodenflächen entfernt und über den Kotschlitz in den Bereich der Schieberentmistung abgeworfen. Zudem wurde Einstreu aus dem Innenbereich auf allfällige feuchte Stellen im geschlossenen Bereich außen aufgebracht. Die Betreiberfamilie berichtet, dass das Erfordernis des Entmistens in den Wintermonaten deutlich geringer ist, als in der warmen Jahreszeit.

Insgesamt scheinen die getroffenen Managementmaßnahmen geeignet, um während des Mastdurchgangs eine ausreichende Tier- und Buchtensauberkeit und daraus resultierende geringe Emissionen sicherstellen zu können. Entscheidend für das „Anlernen“ der frisch eingestellten Mastläufer ist auch, diese ausschließlich über den im Außenbereich befindlichen Bediengang in die Buchten zu treiben. Allfälliger Kot und Harn fallen somit direkt im dafür vorgesehenen Ausscheidungsbereich und nicht im Liegebereich an. Der Liegebereich wurde den Tieren erst etwa 2-3 Stunden nach dem Einstellen zugänglich gemacht. Diese Maßnahme stellte sicher, dass die Tiere die Ressourcen Wasser und Futter innerhalb der Bucht ergründen und aufsuchen konnten sowie Kot und Harn zunächst ausschließlich im Außenbereich abgesetzt wurden und der eingestreute Liegebereich auch möglichst von Beginn an sauber gehalten wurde. Weiters wurde zum Einstellen der Kunststoffspaltenboden befeuchtet, um den Absatz von Kot und Harn in diesem Bereich anzuregen. Auf der Liegefläche innen wurde an den ersten beiden Tagen nach dem Einstellen eine kleine Menge Futter aufgebracht, sodass die Tiere frühzeitig lernen, diese Fläche sauber zu halten (Schweine koten und harnen üblicherweise nicht dort, wo gefressen wird).

Die Dauer eines durchschnittlichen Entmistungsvorgangs (= allfälliges Entfernen von schmutziger Einstreu aus dem Innenbereich, Abschieben des Mistes in den Kotschlitz und ggf. nachfolgende Verteilung von Einstreu aus dem Liegebereich auf entmistete, geschlossene Flächen im Außenbereich) wurde auf Basis von Videomaterial für 24 Vorgänge ausgewertet (Daten aus dem 2. und 3. Durchgang):

Arithmetischer Mittelwert: 139,4 Sekunden

Standardabweichung: 60,3 Sekunden

Median: 142,0 Sekunden

Minimum: 42,0 Sekunden

Maximum: 271,0 Sekunden

Hinsichtlich der Tierverschmutzung zeigte sich ein erhöhter prozentueller Anteil an verschmutzten Körperpartien der Schweine an Tagen mit höherer Durchschnittstemperatur (>20 Grad Celsius) und hier vorwiegend in südlich ausgerichteten Buchten. An kälteren Tagen (<20 Grad Celsius) war die Tierverschmutzung hinsichtlich der Buchtenlage eher ausgeglichen.

Im Allgemeinen werden in Außenklimaställen jahreszeitliche Übergänge (Frühjahr und Herbst) als im Hinblick auf die Tier- und Buchtenverschmutzung wie auch auf die Tiergesundheit

(Atemwegserkrankungen) herausfordernd bezeichnet. Derartige Stallsysteme sind keine „Selbstläufer“ und es sind laufende Tierbeobachtung (Liegeverhalten) wie auch tagesaktuelle, witterungsabhängige Maßnahmen zur Optimierung der stallklimatischen Bedingungen (Einstellung von Klappen und/oder Curtains etc.) für die intendierte Betriebssicherheit unabdingbar.

Tabelle 6: Anteil (in %) von als verschmutzt beurteilten Körperpartien nach Durchgang, Erhebungstermin und Buchtenlage (EHT = Erhebungstermin, DG = Durchgang)

Termin		DG 1		DG 2		DG 3		
		Nord-Buchten	Süd-Buchten	Nord-Buchten	Süd-Buchten	Nord-Buchten	Süd-Buchten	
EHT 1	Tagesdurchschnittstemperatur (°C)	24,7		12,8		22,4		
	Körperpartie	Schulter	1,3	2,7	2,0	0,0	0,0	6,0
		Seite	1,3	5,3	4,1	2,0	0,0	6,0
		Hinterhand	2,7	5,3	2,0	2,0	0,0	4,0
EHT 2	Tagesdurchschnittstemperatur (°C)	18,2		20,9		13,1		
	Körperpartie	Schulter	0,0	0,0	4,1	6,1	0,0	0,0
		Seite	1,4	5,8	8,2	12,2	2,0	0,0
		Hinterhand	2,7	8,7	22,4	24,5	4,0	0,0
EHT 3	Tagesdurchschnittstemperatur (°C)	8,5		24,2		3,7		
	Körperpartie	Schulter	0,0	1,6	4,1	4,1	6,3	2,2
		Seite	3,2	3,2	10,2	8,2	6,3	4,4
		Hinterhand	1,6	4,8	14,3	14,3	4,2	2,2

3.4.2 Tiergesundheits- und Behandlungsdaten

Im Versuchsjahr 2022 war erstmals Vollbelegung des Stalles gegeben und laut Betriebsaufzeichnungen und TKV-Auswertung lag eine Verlustrate von 1,6 % vor. Dies liegt auf Basis der verfügbaren Daten aus österreichischen Arbeitskreisbetrieben für das Jahr 2022 im Bereich des besseren Viertels der Mastbetriebe mit 1,5 % bzw. unter dem Durchschnitt der Betriebe mit 1,8 % (Burgstaller et al., 2023). Die erhobene Verlustrate liegt etwas über dem vorgeschlagenen/angestrebten Zielwert mit $\leq 1,5$ %, aber jedenfalls unter dem Alarmbereich von $\geq 3,0$ % (Schrader et al., 2020b) und in dem für österreichische Biomastschweine vorgeschlagenen Zielbereich von $< 2\%$ (Wlcek et al., 2015)

Das Stallsystem wird nicht im Rein-Raus-Verfahren, sondern mit kontinuierlicher Belegung betrieben. Nach dem Ausstallen einer jeden Mastgruppe wird die Bucht gereinigt (gewaschen und desinfiziert). Diese Maßnahme erweist sich als sehr wirksam, da trotz des Vorhandenseins von Tieren unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Herkünfte bzw. Rassen laut Auskunft der Betreiberfamilie bis dato keinerlei Tierbehandlungen auf Gruppen- oder gar Bestandsebene nötig waren. Behandlungen erfolgten am Einzeltier und verteilten sich in den Fokusbuchten wie folgt:

Tabelle 7: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Anzahl der im jeweiligen Durchgang eingestellten Tiere) der notwendigen Tierbehandlungen in den einzelnen Durchgängen (DG = Durchgang)

Behandlungsgrund			
	Durchfall	Lungenentzündung	Gelenkentzündung
DG	n (%)	n (%)	n (%)
1	3 (2,0)	7 (4,7)	2 (1,3)
2	0 (0,0)	0 (0,0)	3 (3,0)
3	0 (0,0)	1 (1,0)	0 (0,0)
Gesamt	3 (0,9)	8 (2,3)	5 (1,4)

Die Betreiberfamilie berichtet, dass die Trogkonstruktion mit einer Plastikwand im Bereich des Vorratsbehälters für die Tiere nicht optimal ist, da zeitweise zu viel Futter aus dem Behälter nach unten rutscht. Dieses Futter wird nachfolgend nicht rasch genug aufgenommen und fängt an der Trogsohle zu gären bzw. schimmeln an. Diese Fehlgärungen und Schimmelbildungen können als eine Hauptursache für auftretende Durchfälle bezeichnet werden. Anzumerken ist, dass im Mittel mit 0,7 % recht ähnliche Behandlungsinzidenzen für Durchfälle bei österreichischen Biomastschweinen (n=37 Betriebe) ermittelt wurden (Bernardi, 2015). Die mittlere Behandlungshäufigkeit für Atemwegserkrankungen lag mit 2,3 % unter dem in der genannten Studie ermittelten Wert (6,7 %) und mit 1,4 % über jener für Lahmheit angegebenen von 0,2 % – welche allerdings nicht direkt, aber am ehesten mit dem Behandlungsgrund „Gelenkentzündung“ vergleichbar ist.

3.4.3 Tierbezogene Indikatoren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zur Erhebung der tierbezogenen Indikatoren (ohne Tierverschmutzung, s. Kapitel „Tier- und Buchtenverschmutzung“) dargestellt. Zu beachten ist, dass es sich bei den Angaben (relative Häufigkeiten) um wiederholte Beobachtungen an denselben Tieren handelt (drei Erhebungstermine je Durchgang).

Ektoparasiten

Es wurden bei den neun Erhebungsterminen keine Ektoparasiten (Räude, Läuse) an den Schweinen vorgefunden.

Auseinanderwachsen bzw. Kümmerer

Insgesamt wurden bei 1002 Tierbeurteilungen (neun Erhebungstermine über drei Durchgänge hinweg) 32 Mal Tiere als auseinandergewachsen (3,2 %) sowie vier Schweine (0,4 %) als Kümmerer beurteilt. Die relativen Häufigkeiten von als auseinandergewachsen bzw. kümmernd eingestuftem Tieren je Durchgang (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang durchgeführten Beurteilungen) sind in nachfolgender Tabelle 8 dargestellt:

Tabelle 8: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere) von auseinandergewachsenen bzw. kümmernden Schweinen nach Durchgang (DG)

DG	Auseinandergewachsen	Kümmerer
	n (%)	n (%)
1	10 (2,4)	2 (0,5)
2	11 (3,7)	0 (0,0)
3	11 (3,8)	2 (0,7)

Ein Anteil von 2,0 % (DG 1), 4,1 % (DG 2) bzw. 0,0 % (DG 3) der zum 1. Erhebungstermin nach dem Einstellen beurteilten Tiere wurde als auseinandergewachsen eingestuft und im 1. Durchgang wurden 1,3 % der Schweine zum 1. Erhebungstermin als kümmernd beurteilt. Demnach wurden in den Durchgängen 1 und 2 gewichtsmäßig etwas unregelmäßige Ferkelpartien bzw. im 1. Durchgang möglicherweise einige (n=2) „kränkelnde“ Ferkel angeliefert. Letzteres lässt sich auch an der gesteigerten Behandlungshäufigkeit im 1. Durchgang – verglichen mit den beiden anderen Durchgängen – ablesen (vgl. Tabelle 7). Für Mastschweine sind im KTBL-Leitfaden von Schrader et al. (2020b) keine Ziel- und Alarmwerte für Auseinandergewachsen oder Kümmerern ausgewiesen. Jene für das Kümmerern bei Aufzuchtferkeln liegen im Bereich von $\leq 2,0$ % (Zielbereich) bis 4,0 % („Alarmwert“). Im Biobereich werden Werte für kümmernde Aufzuchtferkel von $\leq 4,0$ % (Zielbereich) bis 8,0 % (Verbesserungsbedarf) angegeben (Wlcek et al., 2015). In der gegenständlichen Studie lag der Anteil kümmernder Masttiere zwischen 0,5 % (Durchgang 1) und 0,7 % (Durchgang 3) und damit in einem Bereich, der von Bernardi (2015) für österreichische Biomastschweine festgestellt wurde (0,4 %).

Lahmheit

Insgesamt wurden bei den 1002 Tierbeurteilungen 16 Mal (1,6 %) Tiere als lahm beurteilt. Die Ergebnisse aus den einzelnen Durchgängen sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 9: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere) von mittel- bzw. hochgradigen Lahmheiten nach Durchgang (DG)

DG	Mittelgradige Lahmheit	Hochgradige Lahmheit	Gesamt n (%)
	n (%)	n (%)	
1	8 (1,9)	1 (0,2)	9 (2,1)
2	1 (0,3)	1 (0,3)	2 (0,7)
3	4 (1,4)	1 (0,3)	5 (1,7)

Insgesamt befanden sich die ermittelten relativen Häufigkeiten von lahmen Schweinen etwas über dem von Schrader et al. (2020b) definierten Zielwert für „Tiere mit deutlicher Lahmheit“ mit $\leq 1,0$ %, jedoch deutlich unter dem „Alarmwert“ von $\geq 3,0$ %. Bernardi (2015) ermittelte bei österreichischen Biomastschweinen eine mittlere Lahmheitsprävalenz von 2,7 %. In der Schweiz lag die Lahmheitsprävalenz in 37 konventionellen Betrieben bei 1,5 % und in als „tierfreundlich“ eingestuften Betrieben (n=47) bei 2,0 % (Cagienard et al., 2005).

Zu beachten ist, dass in der vorliegenden Studie dieselben Tiere während eines Durchgangs wiederholt (3 Mal) beurteilt wurden und sich die relativen Häufigkeiten auf die Gesamtzahl im Durchgang durchgeführter Beurteilungen beziehen. Die etwas höhere relative Häufigkeit von Lahmheit im 1. Durchgang mag auch auf den Umstand zurückzuführen sein, dass sich im Verlauf der ersten Buchtenbelegungen im gesamten Stall die Kunststoffspaltenelemente durch die Tierbewegung zu verschieben begannen und sich mitunter größere Schlitze zwischen geschlossenem Betonboden und Kunststoffrosten bildeten. Diese wurden von der Betreiberfamilie als sehr verletzungsträchtig eingestuft und es wurden auch vermehrte Klauenverletzungen durch diese Schlitzbildung beobachtet. Vor diesem Hintergrund wurde nach und nach in sämtlichen Buchten des Stalles die Kunststoffroste wieder zurückgeschoben und „Spreizelemente“ im Kotschlitz installiert, die ein erneutes Verschieben verhindern. Diese Adaption wurde für die Versuchsbuchten vor Beginn des 2. Durchgangs abgeschlossen.

3.4.4 Indikatoren im Zusammenhang mit Atemwegen, Luftqualität und Hitzestress

In diesem Kontext wurden Daten zu auftretendem Husten und Niesen bzw. zu Hecheln und pumpender Atmung sowie Augenausfluss und geröteten Bindehäuten erhoben. Augenausfluss (Sekretrinne) und gerötete Bindehäute als Indikatoren für schlechte Luftqualität, Reizung durch Staub und/oder respiratorische Probleme wurden nur an „hellhäutigen“ Kreuzungstieren (vgl. Definitionen im Anhang A) beurteilt. Auffällige Atmung wie Hecheln oder pumpende Atmung, die auf Hitzestress und Infektionsgeschehnisse im Atmungstrakt hindeuten kann, wurde in allen drei Durchgängen in sehr geringem Ausmaß von unter einem Prozent bzw. insgesamt 4 Mal festgestellt (Tabelle 10). Husten und Niesen als Indikatoren für Atemwegsprobleme/-infekte wurden im Ausmaß von 1,0-4,5 % der im jeweiligen Durchgang wiederholt beurteilten Tiere festgestellt. Von Sekretinnen (ein- und beidseits) war im Verlauf eines Durchgangs zumindest ein Drittel (33,5 %, DG 1) bis die Hälfte (54,5 %, DG 2) der Schweine betroffen. Im Vergleich dazu stellte Bernardi (2015) in Österreich bei knapp 95 % der untersuchten Biomastschweine Augenausfluss fest und Wimmeler (2018) ermittelte bei 52,7 % der unter konventionellen Bedingungen in Österreich gehaltenen Tiere (n=4 Betriebe) Augenausfluss sowie bei 42,4 % der unter Label-Bedingungen in Österreich gehaltenen Mastschweine (n=9 Betriebe).

Gerötete Augen/Augenbindehäute bzw. Augenentzündungen wurden bei 8,7 % der untersuchten Biomastschweine (Bernardi, 2015), 2,6 % der konventionell gehaltenen Masttiere und 3,4 % der Schweine in „Label-Ställen“ festgestellt (Wimmeler, 2018). Gerötete, ggf. entzündete Augen traten in der vorliegenden Untersuchung im Bereich von 1,8-2,8 % (DG 3) einseitig und 1,8-4,2 % (DG 3) beidseitig auf, wobei eine Kombination von Sekretinne und Augenrötung in maximal 2,2 % (DG 1) der im Verlauf eines Durchgangs beurteilten Tiere auftrat.

Durch die verwendete, kurz gehäckselte Einstreu im Ruhebereich innen und am geschlossenen Boden außen kommt es naturgemäß zu einem höheren Staubaufkommen, welches Reizungen an den Augen und Atemwegen verursachen kann. Die Schweine haben allerdings auch ständig frei

wählbaren Zugang ins Freie und somit zu frischer Luft unter Außenklimabedingungen, weshalb sich daraus nicht zwangsläufig negative Effekte auf den Respirationstrakt der Tiere ergeben müssen.

Tabelle 10: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere) von unterschiedlichen Indikatoren im Zusammenhang mit Atemwegen, Luftqualität und Hitzestress nach Durchgang (DG)

DG	Hecheln, pumpende Atmung n (%)	Husten, Niesen n (%)	Sekretion einseitig ¹ n (%)	Sekretion beidseits ¹ n (%)	Gerötete Augen einseitig ¹ n (%)	Gerötete Augen beidseits ¹ n (%)	Kombination Sekretion u. gerötete Augen ¹ n (%)
1	2 (0,5)	14 (3,3)	16 (5,9)	75 (27,6)	5 (1,8)	8 (2,9)	6 (2,2)
2	0 (0,0)	3 (1,0)	19 (8,6)	102 (45,9)	4 (1,8)	4 (1,8)	2 (0,9)
3	2 (0,7)	13 (4,5)	14 (6,5)	82 (38,0)	6 (2,8)	9 (4,2)	4 (1,9)

¹nur bei hellhäutigen Tieren beurteilt

3.4.5 Verletzungen allgemein

Verletzungen am Integument der Tiere wurden an insgesamt 11 Körperregionen ein- oder beidseits (Definitionen s. Anhang A) beurteilt. Verletzungen an den Ohren und am Schwanz konnten auch mehrfach gescored werden, z.B. Score 1 für einen verletzten (Blutkruste sichtbar) Schwanz plus Score 2, wenn dieser Schwanz auch verdickt (entzündet) war. Die absoluten und relativen Häufigkeiten von Schweinen mit zumindest einer Verletzung nach Rassen und Durchgängen ist in Tabelle 11 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Schwäbisch-Hällische Kreuzungstiere deutlich weniger von Verletzungen betroffen waren als hellhäutige Kreuzungslinien, wobei anzumerken ist, dass auch eine deutlich geringere Anzahl an Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren eingestellt wurde (99 versus 250 Schweine). Grundlegend wurde aber auch vom Stallpersonal berichtet und vom Erhebungspersonal beobachtet, dass in Buchten mit Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren eine deutlich ausgeprägte Ruhe vorherrschte.

Tabelle 11: Absolute und relative Häufigkeiten von Tieren mit zumindest einer Hautverletzung nach Rasse und Durchgang (relative Häufigkeit bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere der jeweiligen Rasse)

Rasse	Durchgang 1 n (%)	Durchgang 2 n (%)	Durchgang 3 n (%)
Helle Kreuzungstiere	206 (75,7)	150 (67,6)	124 (57,4)
Schwäbisch-Hällische Kreuzungstiere	34 (23,1)	6 (8,3)	13 (17,8)

Die Schwanzlänge wurde gemäß folgender Definitionen miterhoben:

- Score 0 = intakt (Ringelschwanz, nicht kupiert)
- Score 1 = maximal bis zur Hälfte kupiert
- Score 2 = mehr als die Hälfte kupiert

Leider erwiesen sich die gewählten Definitionen zur Länge als unzureichend, da die diesbezüglichen Ergebnisse zwischen den Erhebungsterminen (mehrfache Erhebung an denselben Tieren einer Bucht) inkonsistent waren. Hier hätte eher auf ein konkretes Zentimetermaß Bezug genommen werden sollen und zusätzlich die (Un-)Möglichkeit des Tieres auch den kupierten Schwanz zumindest soweit „einzuringeln“, dass die Spitze (fast) den Rücken berührt bzw. der gesamte Schwanz ein O (zumindest zu drei Viertel geschlossen) formt, bewertet werden sollen, um die Beurteilung zwischen Erhebungsterminen zu vereinfachen und die Wiederholbarkeit zu verbessern. Weiters ist ein angebissener, unkupierter Schwanz nachfolgend nicht „kupiert“, sondern durch Bebeißten verkürzt – dies hätte eines gesonderten Scores bedurft. Auch zeigte sich, dass beim wachsenden Tier oftmals die Schwanzbasis verdickt (physiologisch an Umfang zunimmt), wodurch mitunter die Gesamtlänge optisch geringer wird. Vor diesem Hintergrund wird in Tabelle 12 nur auf die Schwanzlänge und deren Veränderung bzw. aufgetretene Verletzungen zwischen Erhebungsterminen bei Schweinen, die grundsätzlich (einzelne kupierte Tiere traten auf) mit Ringelschwänzen eingestallt wurden (=Schwäbisch-Hällische Kreuzungslinie), eingegangen. Ergebnisse zu aufgetretenen Schwanzverletzungen bei allen Rassen werden im nachfolgenden Kapitel dargestellt. Wlcek et al. (2015) weisen bei Bioschweinen bezüglich „veränderten Schwänzen“ einen Bereich von <10 % als Zielwert aus. Bei zwei von drei Durchgängen waren im Mastverlauf Längenveränderungen und/oder Verletzungen an den Schwänzen festzustellen, wobei bei Betrachtung der Veränderung der Prozentwerte zu beachten ist, dass sich die Grundgesamtheit der beurteilten Tiere über die Mastdauer in Durchgang 1 und 3 änderte (jeweils ausgewiesen in Tabelle 12).

Tabelle 12: Absolute und relative Häufigkeiten von beurteilten Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren mit intakten Ringelschwänzen nach Durchgang (DG) und Erhebungstermin

	Erhebungstermin 1	Erhebungstermin 2	Erhebungstermin 3
DG			
1	49 von 50 (98,0 %)*	49 von 50 (98,0 %)	45 von 47 (95,7 %)
2	21 von 24 (87,5 %)**	21 von 24 (87,5 %)	21 von 24 (87,5 %)
3	22 von 25 (88,0 %)**	21 von 25 (84,0 %)	18 von 23 (78,3 %)

*1 Tier wurde mit kupiertem/verkürztem Schwanz eingestallt

**2 Tiere wurde mit kupiertem/verkürztem Schwanz eingestallt und 1 Tier hatte Ringelschwanz, welcher zum 1. Erhebungstermin verletzt und verkürzt war

Verletzungen gesamthaft/beidseits beurteilt

Die absoluten und relativen Häufigkeiten zu Verletzungen, die am Tier gesamthaft bzw. beidseits erhoben wurden (Ohren, Schwänze, Nacken, Rücken, Anal-/Genitalbereich), sind in nachfolgender Tabelle angeführt:

Tabelle 13: Absolute und relative Häufigkeiten von Verletzungen, die gesamthaft/beidseits beurteilt wurden, nach Körperregion, Art/Schweregrad und Durchgang (Schweregrade gemäß Definitionen in Anhang A)

Durchgang	Ohren		Schwanz		Nacken		Rücken		Anal-/Genitalbereich
	Kratzer außen n (%)	Ohränder /-grund blutig, wunden (%)	blutig, verkrustete Wunden (%)	Schwellung n (%)	Schweregrad 1 n (%)	Schweregrad 2 n (%)	Schweregrad 1 n (%)	Schweregrad 2 n (%)	Blutige Wunde, Kruste n (%)
1	114 (27,2)	21 (6,5)	33 (7,9)	5 (1,2)	15 (3,6)	2 (0,5)	24 (5,7)	2 (0,5)	6 (1,4)
2	57 (19,4)	6 (2,0)	5 (1,7)	6 (2,0)	20 (6,8)	1 (0,3)	6 (2,0)	1 (0,3)	10 (3,4)
3	72 (24,9)	7 (2,4)	6 (2,1)	2 (0,7)	12 (4,2)	1 (0,3)	9 (3,1)	0 (0,0)	2 (0,7)
Gesamt	243 (24,3)	34 (3,4)	44 (4,4)	13 (1,3)	47 (4,7)	4 (0,4)	39 (3,9)	3 (0,3)	18 (1,8)

Fam. Neuhold berichtete, dass Schwanzbeißen im gesamten Stall in seltenen Fällen auftrat und dann vor allem bei kupierten Tieren und in einzelnen, bestimmten Buchten. Worauf dies zurückzuführen ist, konnte bis dato nicht geklärt werden. Bernardi (2015) berichtet von 2,4 % der Tiere in Biomastbetrieben (n=33) mit Schwanzverletzungen. In der vorliegenden Studie wurden nur Schwäbisch-Hällische Kreuzungstiere mit intakten Ringelschwänzen gehalten – in dieser „Subgruppe“ wurden in den drei Durchgängen bei sechs Schweinen (2,1 % aller beurteilten Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstiere) blutige Wunden/Krusten und/oder bei sechs Tieren (2,1 %) Schwellungen am Schwanz festgestellt. Bei kupierten Schweinen werden in unterschiedlichen Ländern am Betrieb erhobene Prävalenzen für Schwanzverletzungen in Bereichen von 1-16 % angegeben (für eine Übersicht siehe Karnholz (2014)). Die relative Häufigkeit von kupierten Tieren mit bei den Erhebungsterminen festgestellten Schwellungen am Schwanz lag in der gegenständlichen Untersuchung bei 1,0 % (n=7 Tiere) und jene mit blutigen Wunden/Krusten am Schwanz bei 5,4 % (n=38 Schweine). Wobei anzumerken ist, dass 32 (84,2 %) dieser Verletzungen im ersten Durchgang festgestellt wurden. In diesem Zusammenhang berichtete die Betriebsleiterfamilie von externen Störeinflüssen (Feuerwerk und Schüsse in der Nacht), die das Beißgeschehen ausgelöst haben könnten. Diese Beobachtung zeigt einmal mehr, dass die Thematik Schwanzbeißen ein multifaktorielles, multikausales und nicht rein haltungsbezogenes Geschehen darstellt. Grundsätzlich kann auf Basis der erhobenen Daten und auf Grund der Tatsache, dass ähnliche Stallsysteme in oberösterreichischen Markenfleischprogrammen erfolgreich mit Schweinen mit Ringelschwänzen geführt werden, davon ausgegangen werden, dass der gegenständliche „emissionsarme Tierwohlstall“ zukunftsfähiges Potenzial für die Haltung unkupierter Schweine aufweist.

Ohrverletzungen waren, ähnlich wie Schwanzverletzungen, im ersten Durchgang deutlich häufiger (61,8 %) zu beobachten als in den beiden anderen Durchgängen. Verletzungen an den Ohrrändern sowie am Ohrgrund, die auf Bebeißen oder Nekrosen hinweisen, traten ausschließlich bei „hellhäutigen“ Schweinen (4,8 % aller beurteilten „hellen“ Schweine) auf.

Verletzungen im Analbereich bzw. der Vulva sowie an der Hinterhand weisen auf unzureichenden Zugang zu Ressourcen (Wasser, Futter) und damit verbundene Verdrängungsversuche/Auseinandersetzungen hin. Bei 1,8 % der beurteilten Schweine wurden Verletzungen im Anal-/Genitalbereich bzw. bei rund 7 % Verletzungen an der Hinterhand festgestellt (Tabelle 14). In Zusammenschau mit den Daten zum Verhalten im Fressbereich (Abbildung 81) ist von einem ausreichenden Tier:Fressplatz-Verhältnis auszugehen. Die Wasserversorgung bzw. in diesem Zusammenhang aufgetretene Probleme werden in Kapitel „Wasserversorgung“ gesondert diskutiert.

Verletzungen auf einer Körperseite beurteilt

Verletzungen in den Körperregionen Kopf, Schulter, Vorderbein, Seite, Hinterhand und Hinterbein wurden nur auf einer Seite (gleichbleibende Seite während eines Durchgangs und Wechsel der Seite zwischen den Durchgängen) beurteilt. Die absoluten und relativen Häufigkeiten zu diesen festgestellten Integumentschäden sind in der folgenden Tabelle angeführt:

Tabelle 14: Absolute und relative Häufigkeiten von Verletzungen, die einseitig beurteilt wurden, nach Körperregion, Art/Schweregrad und Durchgang (S.G. = Schweregrade gemäß Definitionen in Anhang A)

Durchgang	Kopf		Schulter		Vorderbein		Seite		Hinterhand		Hinterbein	
	S.G. 1 n (%)	S.G. 2 n (%)	S.G. 1 n (%)	S.G. 2 n (%)	S.G. 1 n (%)	S.G. 2 n (%)	S.G. 1 n (%)	S.G. 2 n (%)	S.G. 1 n (%)	S.G. 2 n (%)	S.G. 1 n (%)	S.G. 2 n (%)
1	16 (3,8)	4 (0,9)	73 (17,4)	25 (6,0)	11 (2,6)	0 (0)	87 (20,8)	12 (2,9)	36 (8,6)	2 (0,5)	7 (1,7)	0 (0)
2	11 (3,7)	0 (0)	45 (15,3)	16 (5,4)	3 (1,0)	0 (0)	58 (19,7)	7 (2,4)	16 (5,4)	1 (0,3)	1 (0,3)	0 (0)
3	9 (3,1)	1 (0,3)	36 (12,5)	2 (0,7)	0 (0)	0 (0)	29 (10,0)	3 (1,0)	11 (3,8)	1 (0,3)	4 (1,4)	0 (0)
Gesamt	36 (3,6)	5 (0,5)	154 (15,4)	43 (4,3)	14 (1,4)	0 (0)	174 (17,4)	22 (2,2)	63 (6,3)	4 (0,4)	12 (1,2)	0 (0)

Von allen auf einer Seite erhobenen Verletzungen wurden 90,5 % bei hellhäutigen Schweinen und 9,5 % bei Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren festgestellt, wobei anzumerken ist, dass insgesamt eine deutlich geringere Zahl an Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren (n=99) als an hellhäutigen Schweinen (n=250) eingestellt wurde. Die grundsätzliche Tendenz hin zu einem insgesamt „ruhigeren Charakter“ der Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstiere wurde auch vom Erhebungspersonal und von der Betreiberfamilie (s. auch Kapitel „Verletzungen allgemein S 91“) mehrfach berichtet.

Verletzungen am Vorderbein könnten gegebenenfalls auf die vorstehenden Zapfen der Fressplatzteiler im Futtertrog zurückzuführen sein, weshalb diese künftig auch entfernt werden sollten (vgl. Kapitel „Stufe vor dem Futtertrog und Abtrennungseinrichtungen am Fressplatz“).

Mit Schweregrad 2 beurteilte Verletzungen traten überwiegend im Schulterbereich und an der Körperseite auf. Diese sind auf soziale Auseinandersetzungen/Rangordnungskämpfe in der Gruppe zurückzuführen und waren ausschließlich bei „hellen“ Schweinen festzustellen. Verletzungen an Schulter und Seite (kombiniert) wurden auch von Wimpler (2018) erhoben. Die Prävalenz für Verletzungen mit ähnlich definiertem Schweregrad in diesen Körperregionen lag bei 9,9 % (Median) in alternativen Stallsystemen mit Label-Fleischproduktion.

3.4.6 Zusätzliche Aufzeichnungen im Erhebungsprotokoll

In Tabelle 15 sind absolute und relative Häufigkeiten zu zusätzlich im Protokoll festgehaltenen Auffälligkeiten bei den Tieren dargestellt. Anzumerken ist, dass beim Ohr eine ausgerissene Ohrmarke oder verdickte, mit Blut/Flüssigkeit gefüllte Ohren (sog. „Blutohren“) bzw. „Krüppelohren“ nicht als Auffälligkeit gezählt wurden. Bei den Schwellungen an Gelenken der Extremitäten wurde nicht nach Grad der Schwellung differenziert, sondern jegliche Abweichung im Vergleich zum entsprechenden Gelenk des anderen Vorder-/Hinterbeins bzw. Auffälligkeiten beider Beine dokumentiert. Mehrere Schwellungen an den Gelenken eines Tieres wurden als eine Auffälligkeit (zu jedem der drei Erhebungstermine aber wiederholt beobachtbar) gewertet.

Tabelle 15: Absolute und relative Häufigkeiten von Auffälligkeiten, die im Zuge der Erhebungen festgestellt wurden

DG	Durchfall n (%)	Gelenks- schwellung n (%)	Veränderungen /Narben Ohr ¹ n (%)	Hernie (n %)
1	6 (1,4)	16 (3,8)	7 (1,7)	5 (1,2)
2	2 (0,7)	55 (18,7)	5 (1,7)	1 (0,3)
3	2 (0,7)	22 (7,6)	8 (2,8)	0 (0,0)
Gesamt	10 (1,0)	93 (9,3)	20 (2,0)	6 (0,6)

¹ ohne ausgerissene Ohrmarken, „Blutohren“ oder „Krüppelohren“

Erkennbar ist, dass Durchfall vermehrt im ersten Durchgang festgestellt wurde. Dies spiegelt sich auch in den erhöhten Behandlungshäufigkeiten in Durchgang 1 wider (vgl. Tabelle 7: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Anzahl der im jeweiligen Durchgang eingestellten Tiere) der notwendigen Tierbehandlungen in den einzelnen Durchgängen (DG = Durchgang)). Ein erhöhtes Aufkommen von Gelenksschwellungen war in Durchgang 2 zu beobachten, was in drei Fällen auch behandelt werden musste. Der Anteil von festgestellten Schwellungen mit rund 9 % (über alle Durchgänge hinweg) liegt unabhängig der Ausprägung/Stärke deutlich unter Prävalenzen für Bursitiden, die mit 91,1 % unter strohlosen Haltungsbedingungen und mit 41,2 % in eingestreuten Systemen erhoben wurden (Lyons et al., 1995). In 31 österreichischen Bioschweinemastbetrieben, welche nach den Bio-Richtlinien eingestreut zu führen sind, wurden an 27,8 % der Tiere Liegeschwielen ermittelt (Bernardi, 2015).

Es konnte festgestellt werden, dass eine zunehmende Einstreumenge zu einer Verminderung von Gelenksschwellungen beitragen kann (Wimmler, 2018). In diesem Zusammenhang kann im „Tierwohlstall“ zur weiteren Absenkung von Gelenksschwellungen eine Steigerung der Strohmenge je Tier und Tag von 50 g auf 80 g bis max. 100 g hilfreich sein. Eine weitere Mengensteigerung oder Einrichtung von Tiefstreu ist allerdings für die Funktion des Systems nicht zuträglich, denn dadurch würden die gesetzten Maßnahmen zur Klimatisierung des Innenbereichs (Zuluftkühlung bzw. Bodenheizung) sogar konterkariert! Der Hersteller gibt an, dass dieses Stallsystem grundsätzlich nicht ohne Einstreu geführt werden sollte. Dies ist sowohl im Hinblick auf das Tierwohl (Beschäftigung, Komfort im Liegebereich), die Sauberkeit (Saugeffekt des gehäckselten Strohs) und den geforderten Kupierverzicht zu begrüßen und für ein „Tierwohlssystem“ auch zu fordern. Gemäß Hersteller kann/sollte die tatsächliche Strohmenge abhängig von der Jahreszeit (im Winter etwas mehr als im Sommer, abgestimmt auf die Tierbeobachtung/Liegeverhalten) und basierend auf den individuellen Erfahrungen des Betreuungspersonals auch variiert werden.

3.4.7 Aufenthaltsorte und Verhalten

Ziel der Videoanalysen war es, mittels Scan-Sampling alle 30 Minuten über den 24-Stunden-Tag (analysiert wurden je drei 24-Stunden-Tage vor den drei Erhebungsterminen) festzustellen, wo in der Bucht sich die Tiere aufhielten und das Grundverhalten zu erheben.

Liegeverhalten/Nutzung des Liegebereichs

Von besonderem Interesse war im Zusammenhang mit den Verhaltensanalysen, ob der Liegebereich – wie intendiert – durch die Tiere genutzt wird. Hierfür wurden die Anteile der liegenden Tiere an insgesamt liegenden Tieren (in Prozent) in den drei Buchtenbereichen (Innenbereich, geschlossene Fläche im Fressbereich außen und Kunststoffspaltenboden im Ausscheidungsbereich) an insgesamt 21 Fokustagen aus zwei Buchten festgehalten (n=6048 Einzelbeobachtungen). Anzumerken ist, dass aus dem 2. Durchgang auf Grund eines Datenverlustes die Werte zum 2. und 3. Erhebungstermin fehlen. Die Daten wurden nachfolgend in Boxplots dargestellt (Abbildung 76). Es ist zu erkennen, dass der Spaltenbereich, welcher als Ausscheidungsbereich definiert ist, von den Tieren am wenigsten zum Liegen/Ruhen genutzt wurde (arithmetischer Mittelwert= $8,0 \pm 11,5$ %). Der Innenbereich wurde, wie baulich und strukturell vorgesehen, zum Liegen bevorzugt ($56,5 \pm 21,1$ %), wobei auch im Außenbereich auf geschlossenem Boden im Mittel von rund einem Drittel der liegenden Tiere geruht wurde ($=35,5 \pm 17,5$ %). Weiters wurden Boxplots zu den Anteilen liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in Prozent) aus den drei Durchgängen nach Erhebungsterminen erstellt (Abbildung 77). Es ist zu erkennen, dass die unterschiedlichen Buchtenbereiche über den Mastverlauf hinweg in etwa ähnlich genutzt wurden. – Das heißt, dass im Liegebereich ein höherer Prozentanteil an Tieren ruhte ($51,2 \pm 24,2$ % EHT 1, $58,3 \pm 21,0$ % EHT 2, $62,5 \pm 12,9$ % EHT 3) als im Fressbereich ($41,4 \pm 20,5$ % EHT 1, $28,4 \pm 13,4$ % EHT 2, $33,8 \pm 12,7$ % EHT 3) und dort ein höherer Anteil als im Spaltenbereich ($7,4 \pm 11,6$ % EHT 1, $13,3 \pm 13,5$ % EHT 2, $3,7 \pm 5,9$ % EHT 3).

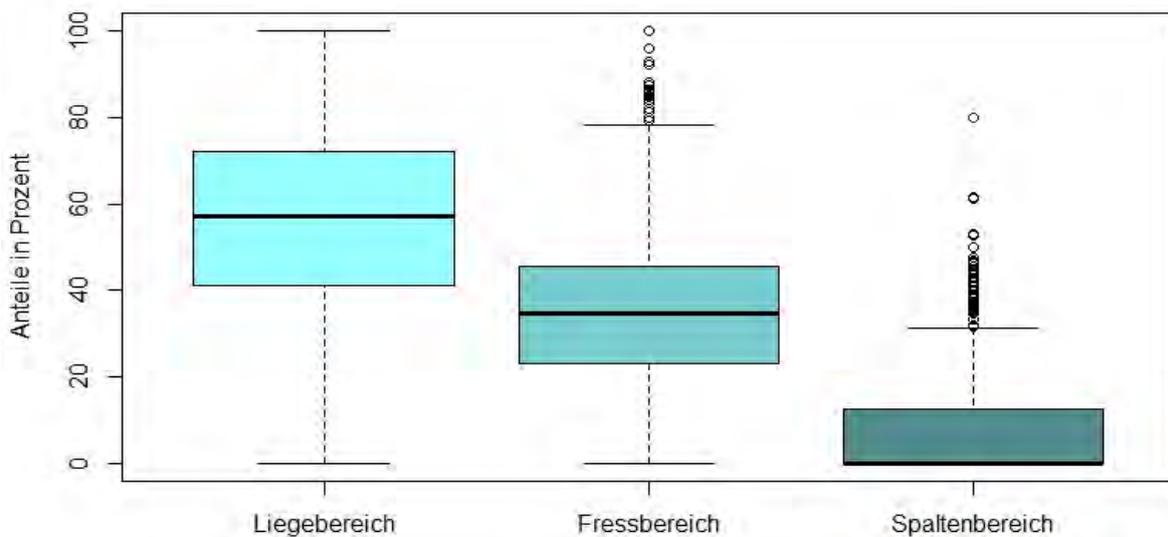


Abbildung 76: Boxplots für die Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Buchtenbereich über die drei Durchgänge hinweg

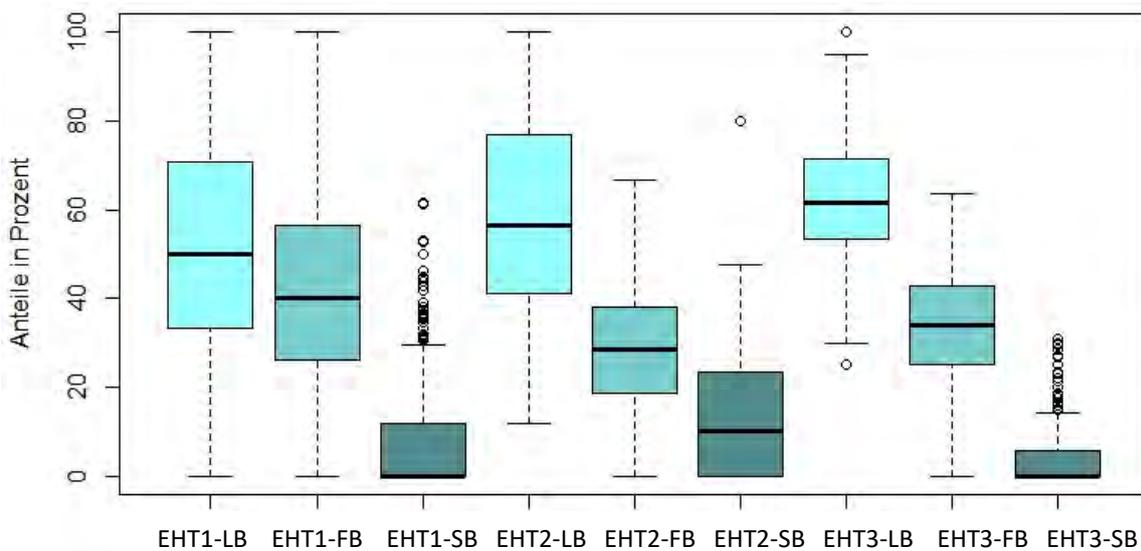


Abbildung 77: Boxplots für die Anteile liegender Tiere an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Erhebungzeitpunkt und Buchtenbereich über die drei Durchgänge hinweg (EHT 1=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastbeginn; EHT 2=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin in der Mastmitte; EHT 3=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastende; LB=Liegebereich; FB=Fressbereich; SB=Spaltenbereich)

Um einen möglichen Einfluss der Jahreszeit abbilden zu können, wurden die unterschiedlichen Erhebungstermine einer Jahreszeit (Herbst/Winter zusammengefasst) zugeordnet (Tabelle 16) und Boxplots zu den Anteilen liegender Tiere an insgesamt liegenden Schweinen (in Prozent) nach Buchtenbereichen erstellt (Abbildung 78). Es ist zu erkennen, dass in den im Frühjahr (nur ein Datensatz) und Herbst/Winter gelegenen Video-Analysezeiträumen die unterschiedlichen Buchtenbereiche sehr ähnlich von den Schweinen angenommen wurden – mit den höchsten

prozentualen Anteilen ruhender Tiere im Liegebereich innen ($66,7 \pm 14,4$ % Herbst/Winter bzw. $72,9 \pm 17,4$ % Frühling). Bei steigenden Temperaturen im Sommer hingegen, wurde das Ruhen vom Innenbereich ($40,7 \pm 17,1$ %) zunehmend auch in den Fress- ($44,2 \pm 17,2$ %) und Spaltenbereich ($15,0 \pm 13,5$ %) verlagert. Eine Abnahme der Akzeptanz des Liegebereichs in der warmen Jahreszeit konnte auch von Plank and Jais (2022) bei einer Untersuchung von 11 unterschiedlichen, funktionsgetrennten Stalltypen für die Mast beobachtet werden.

Da es in diesem Zusammenhang im vorliegenden Stallsystem allerdings zu keiner „Systemumkehr“ – d.h. ausschließliches Liegen im Außenbereich und Ausscheidung im innen situierten Ruhebereich – kam (s. Kapitel Buchtenverschmutzung), ist davon auszugehen, dass die Tiere den vorgesehenen Liegebereich innen dennoch zum Ruhen nutzten. Um dies weiter erörtern zu können, wurde beispielhaft für den Teil-Datensatz aus dem ersten Durchgang, der jahreszeitlich dem Sommer zuzuordnen war (= je drei Tage vor den Erhebungsterminen 1 und 2 des ersten Durchgangs), auch Grafiken zum Liegeaufenthaltort nach Tageszeit erstellt. Hierfür wurden die Anteile liegender Schweine in den drei Buchtenbereichen an insgesamt liegenden Tieren in der Bucht zu den jeweiligen Tageszeitpunkten der drei Tage vor dem Erhebungstermin ermittelt.

Es ist zu erkennen, dass jüngere Tiere im Sommer den Stallinnenbereich in einem Zeitraum von ca. 19 Uhr bis 5 Uhr zum Ruhen bevorzugten, wohingegen tagsüber der prozentuale Anteil ruhender Tiere im Fressbereich höher war (konträrer Kurvenverlauf; (Abbildung 79). Ein Ruhen im Spaltenbereich fand eher in den frühen Abendstunden (15 Uhr bis 19 Uhr) und in insgesamt geringem Ausmaß statt. Demnach nutzten junge Schweine auch im Sommer bereits frühzeitig die Funktionsbereiche wie intendiert und es scheint ihnen der Liegebereich im Stallinneren in den Nachtstunden möglicherweise auch als „sicherer Rückzugsort“ zu dienen.

Mit steigendem Gewicht in der Mittelmast und damit einhergehender geänderter thermoneutraler Zone veränderte sich das Liegeverhalten im Sommer und es wurde zunehmend auch der Spaltenbereich zum Ruhen genutzt (Abbildung 80). Das Ruhen im Liegebereich innen verlagerte sich von den Nachtstunden eher in den Vormittag (5 Uhr bis 8 Uhr) und in die heißen Mittagsstunden bis in den Nachmittag hinein. Zu diesen Tageszeiten scheint die Zuluftkühlung im Stallinneren ihre Wirkung entfaltet zu haben. Wohingegen die Abkühlung der Umgebungsluft in der Nacht die Tiere im Gewichtsbereich der Mittelmast eher dazu veranlasst haben könnte, außen zu ruhen. Diese alternierende, freie Wahl des Liegeplatzes nach den Bedürfnissen der jeweiligen Alters-/Gewichtsklasse und an die Temperaturverhältnisse des Tages angepasst, spricht für die Funktionalität des Gesamtsystems, da eine komplette „Systemumkehr“ mit einhergehender massiver Tier- und Buchtenverschmutzung an heißen Tagen, wie beschrieben, verhindert werden konnte.

Tabelle 16: Jahreszeitliche Zuordnung der Erhebungstermine aus den drei Durchgängen (Frühling = März bis Mai; Sommer = Juni bis August; Herbst/Winter = September bis Februar)

Erhebungstermin	Gemittelte Tagesdurchschnittstemperatur außen 3 Tage vor Erhebungstermin	Jahreszeitliche Zuordnung
07.07.2021	22,9	Sommer
17.08.2021	23,9	Sommer
15.10.2021	9,8	Herbst/Winter
25.04.2022	13,7	Frühling
07.06.2022*	23,6	Sommer
30.06.2022*	26,7	Sommer
19.08.2022	25,2	Sommer
30.09.2022	14,2	Herbst/Winter
06.12.2022	7,3	Herbst/Winter

*auf Grund von Daten-Verlust keine Videodaten verfügbar

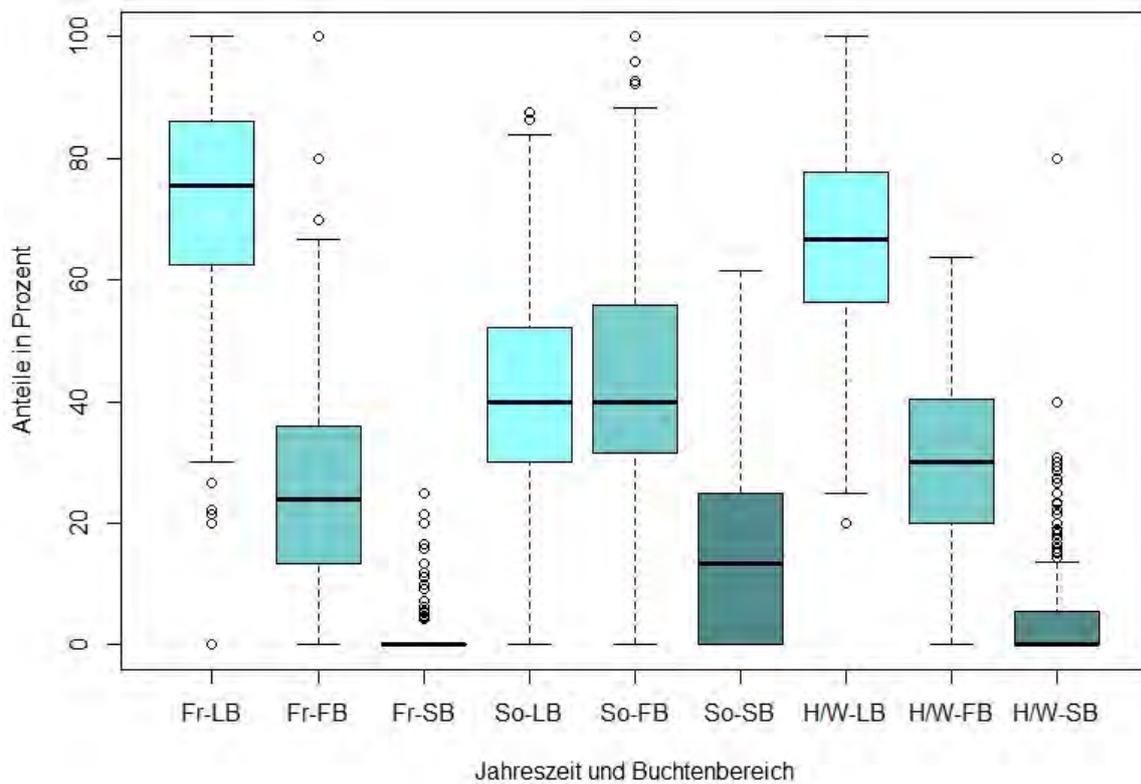


Abbildung 78: Boxplots für die Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach definierter Jahreszeit und Buchtenbereich (Fr=Frühling; So=Sommer; H/W=Herbst/Winter; LB=Liegebereich; FB=Fressbereich; SB=Spaltenbereich)

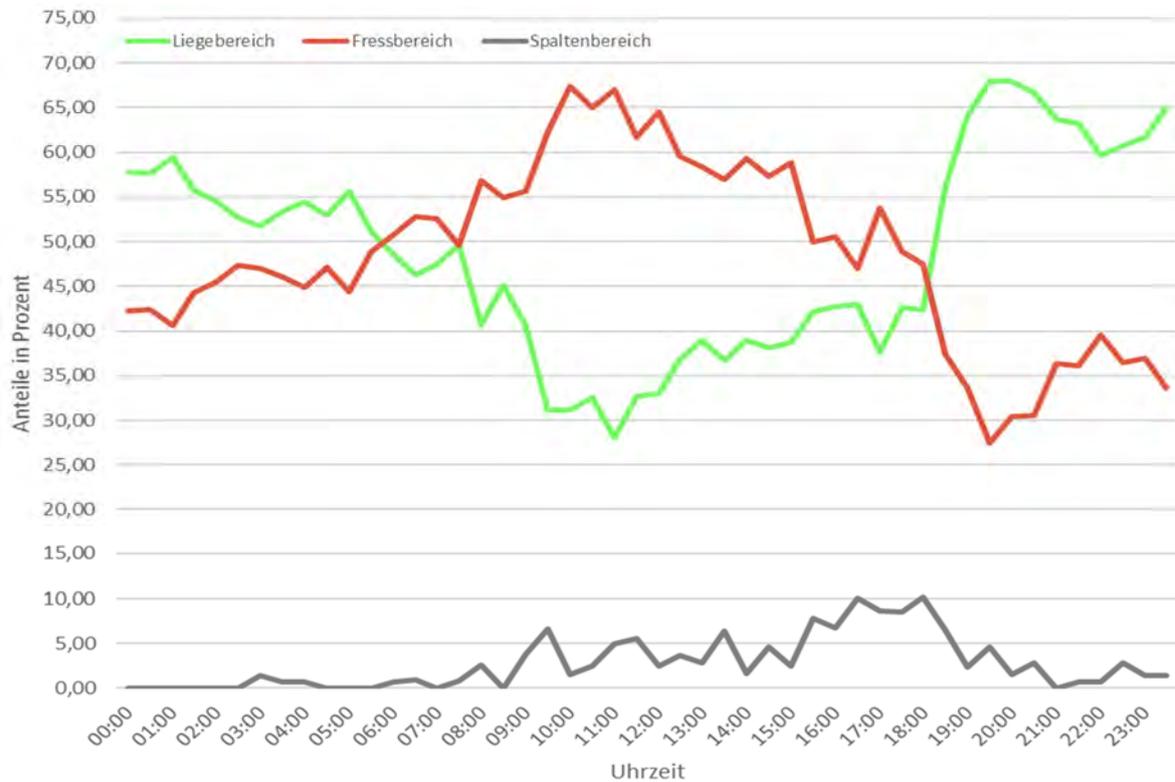


Abbildung 79: Über die 3 Tage vor dem 1. Erhebungstermin (Mastbeginn) in Durchgang 1 ermittelten Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Buchtenbereich und Tageszeit

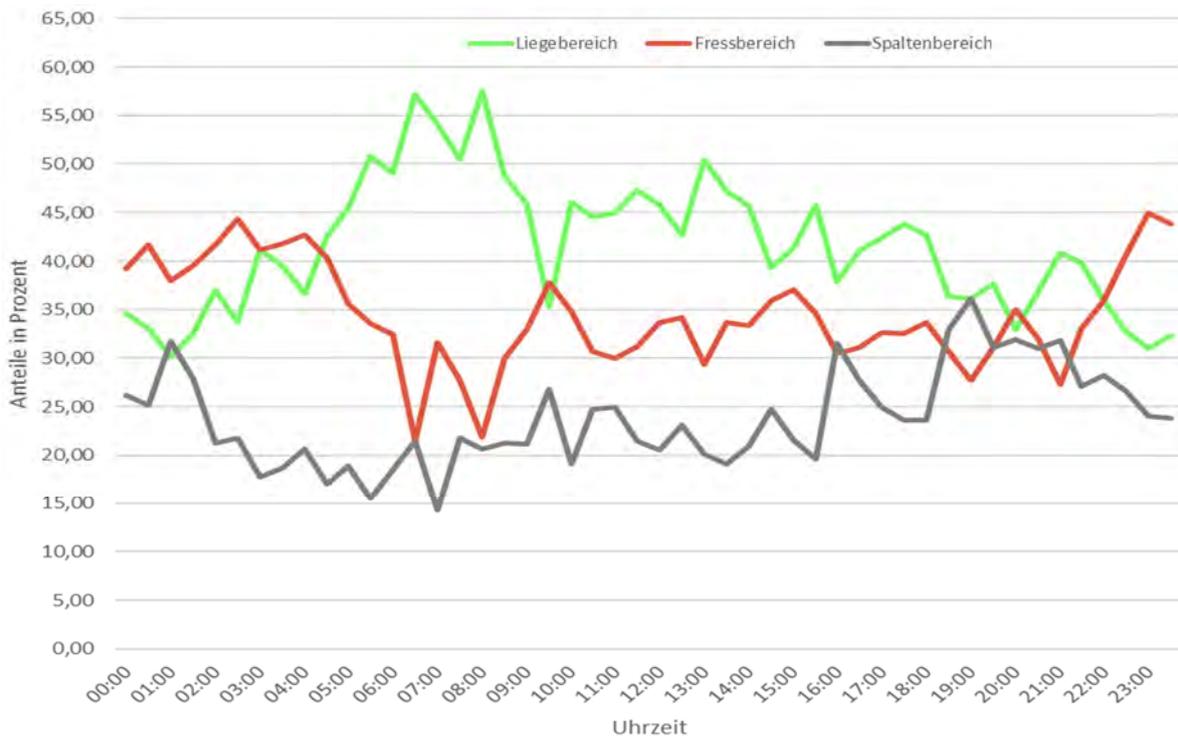


Abbildung 80: Über die 3 Tage vor dem 2. Erhebungstermin (Mittelmast) in Durchgang 1 ermittelten Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Buchtenbereich und Tageszeit

Fressverhalten/Nutzung des Fressbereichs

Neben der Nutzung der unterschiedlichen Buchtenbereiche zum Ruhen war von Interesse, ob alle Tiere sowohl zu Beginn, in der Mitte, als auch am Ende der Mast ausreichend Zugang zur Ressource Futter haben oder ob hinsichtlich der Anzahl der Fressplätze bzw. des Tier:Fressplatz-Verhältnisses möglicherweise Probleme auftreten. In diesem Zusammenhang wurde im bereits beschriebenen Scan-Sampling-Verfahren der prozentuale Anteil zum jeweiligen Tageszeitpunkt am Trog bzw. im direkten Trogbereich fressender Tiere bezogen auf die Gesamtzahl der Tiere in der Bucht erhoben. Die Daten aus den drei Durchgängen wurden für die unterschiedlichen Mastzeitpunkte in Boxplots zusammengefasst (Abbildung 81). Es ist zu erkennen, dass sich in allen drei Mastphasen sehr ähnliche Anteile von Tieren fressend an den Trögen befanden. Die arithmetischen Mittelwerte lagen bei $7,9 \pm 7,7 \%$ (EHT 1), $8,6 \pm 7,7 \%$ (EHT 2) und $8,5 \pm 7,1 \%$ (EHT 3). Im Maximum befanden sich 32,0 % (EHT 1), 36,0 % (EHT 2) bzw. 30,4 % (EHT 3) aller Tiere in der Bucht beim Fressen am Trog. Das Futter wird den Tieren in einem Automaten ad libitum dargeboten, weshalb es zu keinen „Stoßzeiten“ wie bei rationierter Fütterung kommt. Die Schweine können über den Tag verteilt ihre Fresszeiten selbst wählen, was in einer geringeren Anzahl gleichzeitig fressender Tiere am Trog resultiert und zur allgemeinen Ruhe (kein Kampf um Ressourcen nötig) beiträgt. Auch die Daten hinsichtlich des Auseinanderwachsens der Tiere (vgl. Kap. „Auseinanderwachsen bzw. Kümmerer“) und die Verletzungen im Anal-/Genitalbereich, welche auf Verdrängungssituationen beim Fressen hinweisen, können als „unauffällig“ bezeichnet werden. In Zusammenschau dieser Daten kann davon ausgegangen werden, dass die Tiere in jeder Mastphase ausreichend Zugang zur Ressource Futter haben.

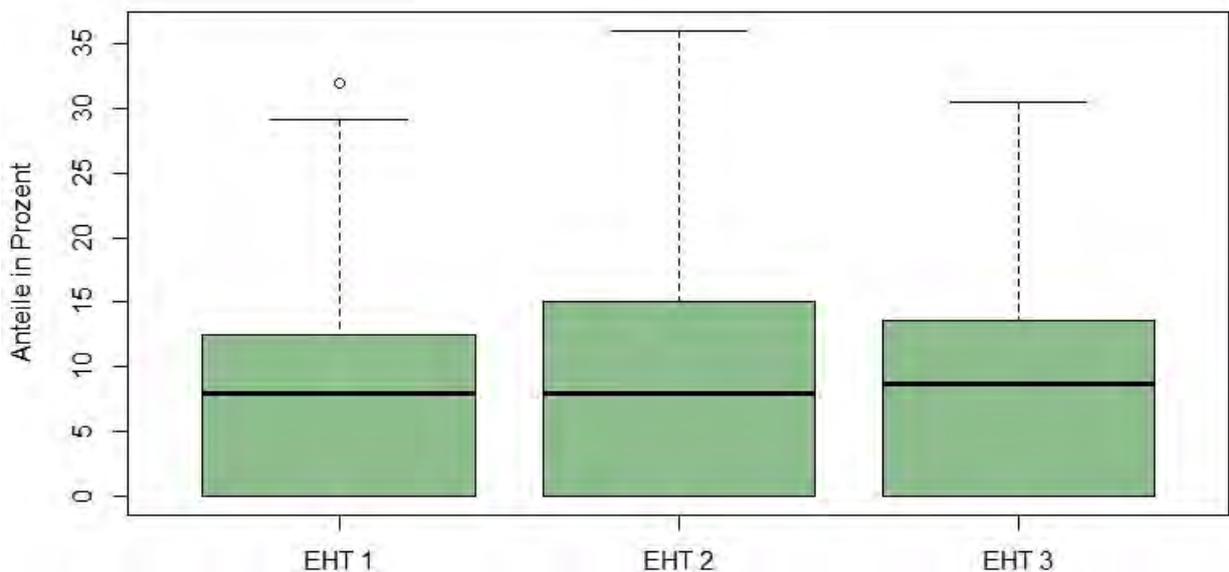


Abbildung 81: Boxplots für die Anteile fressender Tiere bezogen auf die Gesamtzahl der Tiere in der Bucht (in %) nach Erhebungszeitpunkt (Mastphase) über die drei Durchgänge hinweg (EHT 1=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastbeginn, EHT 2=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin in der Mastmitte, EHT 3=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastende)

3.4.8 Beurteilung des Kotschlitzes

Die gemessenen Kotschlitzbreiten in den Versuchsbuchten variierten fertigungsbedingt von 11,0 bis 14,0 cm. In Summe wurde an den definierten Fokustagen im Videomaterial 667 Vorfälle des Hineintretens bzw. Hineinfallens von Schweinen in den Kotschlitz vorgefunden und analysiert. Ein Anteil von 75,0 % aller Fälle wurde als „leicht“ eingestuft, 24,7 % als „mittelgradig“ und zwei Fälle (0,3 %) wurden mit „schwer“ beurteilt (Tabelle 17). In 81,6 % der Vorfälle befanden sich eine oder beide Hinterextremitäten im Kotschlitz, in 10,2 % der Ereignisse eine oder beide Vorderextremitäten und in 8,2 % der Fälle Vorder- und Hinterextremitäten gleichzeitig.

Im zeitlichen Verlauf war in allen drei Durchgängen und in beiden Video-Buchten gleichermaßen von Mastbeginn über die Mittelmast zum Mastende hin ein deutlicher Rückgang an Vorfällen zu beobachten. Dieser ist zum einen auf die zunehmende Erfahrung der Schweine im Zusammenhang mit dem Kotschlitz zurückzuführen und zum anderen zeigen die Tiere mit zunehmendem Alter weniger Scheu vor dem Betreuungs-/Erhebungspersonal und weichen daher bei Manipulationen in der Bucht nicht mehr ans Buchtenende, in den Ausscheidungs- und damit Schlitzbereich aus.

Tabelle 17: Anzahl von im Videomaterial vorgefundenen und analysierten Vorfällen des Hineintretens bzw. Hineinfallens im Zusammenhang mit dem Kotschlitz nach Buchtenlage, Durchgängen (DG) und Beobachtungszeiträumen (EHT = Erhebungstermin, h = Stunde) sowie Anteil (in %) von Fällen im Tränkebereich

DG	Beobachtungszeitraum	Einstufung des Vorfalls			Anteil v. Fällen im Tränkebereich (%)	
		Leicht (n)	Mittel (n)	Schwer (n)		
Nord-Bucht	1	Einstallen + 24 h danach	59	17	0	60,1
		1. EHT + 48 h davor	33	4	0	
		2. EHT + 48 h davor	14	3	0	
		3. EHT + 48 h davor	8	0	0	
	2	Einstallen + 24 h danach	42	20	0	46,2
		1. EHT + 48 h davor	12	4	0	
		2. EHT + 48 h davor	-	-	-	
		3. EHT + 48 h davor	-	-	-	
	3	Einstallen + 24 h danach	40	17	0	62,5
		1. EHT + 48 h davor	27	3	0	
		2. EHT + 48 h davor	10	2	0	
		3. EHT + 48 h davor	3	2	0	
Süd-Bucht	1	Einstallen + 24 h danach	56	25	2	64,2
		1. EHT + 48 h davor	53	13	0	
		2. EHT + 48 h davor	11	6	0	
		3. EHT + 48 h davor	7	0	0	
	2	Einstallen + 24 h danach	49	23	0	55,3
		1. EHT + 48 h davor	12	1	0	
		2. EHT + 48 h davor	-	-	-	
		3. EHT + 48 h davor	-	-	-	
	3	Einstallen + 24 h danach	34	20	0	48,3
		1. EHT + 48 h davor	19	3	0	
		2. EHT + 48 h davor	2	1	0	
		3. EHT + 48 h davor	9	1	0	
Summe		500	165	2		

Ein insgesamt erhöhtes Auftreten von Vorfällen war vor allem zu Mastbeginn auch in Zusammenhang mit dem Tränkebereich zu bringen: Die frisch eingestellten Ferkel mussten das Saufen an Tränkenippeln erst erlernen, weshalb sich zeitweise ganze „Trauben“ rund um die Tränkeeinrichtung bildeten und die beengte Situation zwangsweise zu Vorfällen am Kotschlitz führte (Abbildung 82). Zur Entschärfung dieser Situation wurde vor Start des 2. Durchgangs im Tränkebereich eine fixe Abdeckung des Kotschlitzes (mit einem rund 0,7 m langen Stück Kunststoffrost; Abbildung 83) installiert. Das absolute Aufkommen von Ereignissen konnte dadurch in den Durchgängen 2 und 3 etwas reduziert werden, wie auch die relative Häufigkeit von Vorfällen im Tränkebereich etwas gesunken ist (Ausnahme DG 3 in der Nord-Bucht).

Vor diesem Hintergrund ist in hochfrequentierten Bereichen rund um Ressourcen wie beispielsweise Tränken oder Beschäftigungsmaterialien jedenfalls anzuraten, den Kotschlitz vollständig oder temporär (Klappe) zu verschließen, wenn diese Ressourcen nicht direkt über dem Kotschlitz – also in Sichtrichtung der Tiere– sondern seitlich versetzt (um eine Buchtenecke) angebracht sind. Durch agonistisches Verhalten bzw. Verdrängen im Bereich der Ressourcen kann es sonst durch Rückwärtstreten (in knapp 82 % der Fälle waren die Hinterextremität(en) betroffen) oder seitliches Wegspringen zum Hineintreten in die betreffenden Schlitze kommen.

Die Bodenkante des Kotschlitzes sollte zur Vorbeugung von Verletzungen abgerundet ausgeführt werden. Im Falle des untersuchten Stallsystems wurde der Kunststoffrost an der Kante mit einem Abdeckblech versehen.



Abbildung 82: Gedränge („Traubenbildung“) rund um den untersten Tränkenippel



Abbildung 83: Permanenter Verschluss des Kotschlitzes durch 75 cm langes Kunststoffrost-Element im Tränkebereich

Müssen Schweine beim Ein-, Um- oder Ausstallen über einen Kotschlitz getrieben werden, so ist aus Sicherheitsgründen jedenfalls eine temporäre Abdeckung vorzusehen. Generell empfiehlt sich im untersuchten System eine fixe Abdeckung des Kotschlitzes im Tränkebereich bei gleichzeitiger Installation der Buchtentüre in diesem Bereich, sodass auch beim Ein-/Austrieb keine gesonderte Abdeckungsvorrichtung (Breite der fixen Abdeckung mindestens in Türbreite!) mehr angebracht werden muss.

Eine Häufung von Vorfällen war insbesondere zu Mastbeginn im Zusammenhang mit Manipulationen in der Bucht durch Personal (z.B. Ausmisten) zu erkennen. Hier weicht die Ferkelgruppe dem Betreuungspersonal ängstlich aus und die Tiere drängen sich gegenseitig in den Kotschlitz. Im Zuge solcher Tätigkeiten sollte daher dem Verhalten der Tiere und möglichen Vorfällen beim Kotschlitz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Im Zuge der Analysen kam es zu zwei als „schwerwiegend“ eingestuften Vorfällen. In einem Fall zeigte das Schwein nachfolgend Lahmheit, in dem anderen Fall konnte sich das Schwein nicht mehr selbstständig aus dem Kotschlitz befreien. Beide Fälle ereigneten sich in unmittelbarem Zusammenhang mit bzw. kurz nach dem Einstallvorgang und im Tränkebereich, weshalb gerade in dieser Phase und in den nachfolgenden Tagen nach dem Einstallen den jungen Mastläufern besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Auch war der Kotschlitz in dieser Bucht mit rund 12-14 cm (je nach Messpunkt) sehr groß dimensioniert, sodass die Hinterhand der Ferkel fast vollständig darin versank.

Auf Basis der gemachten Beobachtungen erscheint die gemessene Schlitzweite für junge Tiere daher als ungeeignet. Die Schlitzbreite sollte allerdings auch nicht zu knapp (<8 cm) bemessen sein, da

sonst bei älteren Tieren die Gefahr des Einklemmens und Verdrehens (von z.B. Sprunggelenken) besteht. Vor diesem Hintergrund wird im Mastbereich eine Kotschlitzbreite von 8-10 cm empfohlen.

3.4.9 Weitere (qualitative) Ergebnisse

Die nachfolgenden Erkenntnisse beruhen nicht direkt auf den im Kapitel „Tiere, Material und Methoden“ beschriebenen gezielten, methodischen Erhebungen, sondern stellen wiederholte, empirische Beobachtungen und wesentliche Erfahrungswerte des wissenschaftlichen Beurteilungsteams und/oder des Betreuungspersonals bzw. der Betreiberfamilie vor Ort dar.

Liegefläche

Grundsätzlich müssen alle Tiere gleichzeitig im gedämmten Liegebereich ruhen können. Die Schweine wählen ihren Liegeplatz insbesondere auch danach aus, welche Temperaturen ihnen altersabhängig, aber auch tierindividuell angenehm sind. Es war durchaus zu beobachten, dass selbst relativ junge Tiere mit 30 kg im Winter im Außenbereich lagen. Sicherzustellen ist jedoch, dass in der kalten Jahreszeit kein Tier aus Platzgründen gezwungen wird, in einem temperaturmäßig nicht angenehmen bzw. angepassten Bereich (außen) zu liegen. In den Videoaufnahmen war gegen Ende der Mast (vor Entnahme der ersten schlachtreifen Schweine) gelegentlich eine beengte Situation festzustellen (Abbildung 84). Vor diesem Hintergrund wird für künftige Bauten die Vergrößerung des Liegebereichs auf zumindest 0,55 m², besser 0,6 m² je Endmasttier empfohlen. Für das vorliegende bestehende Stallsystem wird zur Endmastphase in der Wintersituation (November bis Februar) eine um 1-2 Tiere reduzierte Buchtenbelegung angeraten.



Abbildung 84: Beengte Situation im Liegebereich bei fortgeschrittener Mastdauer

Stufe vor dem Futtertrog und Abtrennungseinrichtungen am Fressplatz

In seiner ursprünglichen Form wurde der Stall mit Flüssigfütterung geplant (Jahr 2016). Um hier eine gleichmäßige Verteilung des Futters im Trog zu erzielen, wurde im abschüssigen Außenbereich (3 % Gefälle) eine plane Fläche ohne Gefälle eingerichtet. Mit der deutlichen Bauverzögerung von mehreren Jahren (bis ins Jahr 2020) und der nachträglichen Änderung hin zur Trockenfütterung stellt die Stufe somit ein „Relikt“ dar und würde bei plangemäßer, trockener Futtervorlage so nicht zur Anwendung kommen. Die Erfahrungen mit dem vorliegenden Stallsystem und auch in einer deutschen Untersuchung zu Außenklimaställen (Plank and Jais, 2022) zeigen, dass aus Gründen der Buchtensauberkeit der Trockenfütterung der Vorzug gegeben werden sollte. Darüber hinaus wird die flüssige Futtervorlage u.a. als Risikofaktor für Schwanzbeißen beschrieben (vgl. Zoric et al., 2015; Kallio et al., 2018).

Tierfutter und hier insbesondere die Eiweißkomponenten stellen einen wesentlichen Kostenfaktor und auch höchst umweltrelevanten Aspekt (Emissionen) in der Nutztierhaltung dar. Es gilt daher, die Futtermverschwendung möglichst gering zu halten. Hierfür können Fressplatzabtrennungen dienlich sein, welche das Herauswühlen von Futter aus den Trögen vermindern. Darüber hinaus verhindern die Trennstäbe, dass sich Schweine zu Mastbeginn in den Trog legen und somit die Futterstelle für andere Tiere blockieren. Die über den Trogrand vorstehenden Zapfen (Abbildung 85) sollten jedoch zur Vorbeugung von Verletzungen an den Beinen der Tiere entfernt werden.



Abbildung 85: Fressplatzabtrennungen am Futtertrog

Wasserversorgung

Die Schweine nutzten an der aufsteigend angeordneten Tränkenippelreihe in allen Altersklassen überwiegend den untersten Tränkenippel, gefolgt vom mittleren der drei Nippel. Die am höchsten befindliche Tränkestelle wurde selten benutzt. Die drei Nippel waren in den Versuchsbuchten absteigend in einer Höhe von 72-70 cm, 66-63 cm und 60-56 cm montiert, was den im „Handbuch Schwein – Selbstevaluierung Tierschutz“ (BMSGPK, 2023) empfohlenen Werten entspricht. Allerdings könnte auch der Schutzbügel vor den Nippeln die Zugänglichkeit negativ beeinflusst haben, denn es war mehrfach zu beobachten, dass Tiere in diesen bisßen/an diesem saugten anstatt an den Nippeln. Auf Basis der gemachten Beobachtungen ist anzuraten, die gesamte Tränkekonstruktion etwa 5 cm tiefer zu montieren, damit alle Tränkestellen möglichst gleichermaßen (je nach Alter auch frühzeitig die zweithöchste und höchste Stelle) genutzt werden können.

Grundsätzlich stellt der Tränkenippel eine betriebssichere, wenig verschmutzungsgefährdete Möglichkeit zur Trinkwasserversorgung dar, weshalb die Technik in der Schweinehaltung breite Anwendung findet. In den Videoanalysen war allerdings zu beobachten, dass neu eingestellte Schweine vielfach Probleme mit dem Saufen am Nippel hatten, d.h. diesen nicht betätigen konnten. Eine diesbezügliche Befragung zur Herkunft der Tiere hat ergeben, dass die Ferkel in der Aufzucht ausschließlich Tränkeschalen zur Verfügung hatten. Somit mussten die Schweine die Funktion eines Nippels in ihrer neuen Stallumgebung erst erlernen. Eine unzureichende Versorgung von Tieren mit Wasser stellt sowohl im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit, aber insbesondere mit Fokus auf die Tiergesundheit ein Problem dar.

Schweine saufen in natürlicher Umgebung von freien Wasseroberflächen (Saugtrinker). Um den Tieren eine artgemäße Wasseraufnahme zu ermöglichen, ist im Sinne des Tierwohls und der Tiergesundheit in diesem „Tierwohlstallsystem“ daher das Angebot einer (zusätzlichen) andersartigen Tränketchnik mit freier Wasseroberfläche zu fordern. In Frage kämen hierfür beispielsweise unterschiedliche Varianten von Schalentränken. Diese können auch in Kombination mit Nippeln angebracht werden (Abbildung 86), um die ständige Verfügbarkeit von sauberem Wasser sicherzustellen (i.e. sollte eine Schale durch im Ausscheidungsbereich abgesetzten Kot oder Harn verunreinigt sein, steht den Tieren bis zum nächsten Kontrollgang des Betreuungspersonals dennoch ausreichend Wasser zur Verfügung).



Abbildung 86: Kombiniertes Tränkesystem bestehend aus einer Schalentränke und drei Tränkenippeln
(Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)

Bodengestaltung im Ausscheidungsbereich

In einem Feldversuch hatte die Herstellerfirma drei Bodenvarianten für den Ausscheidungsbereich im Testeinsatz:

- Betonspaltenboden (günstigstes Preis-Leistungsverhältnis)
- Dreikantstahlrost (gewährleistet Kotdurchtritt am besten)
- Kunststoffspaltenboden (wurde gemeinsam mit Fa. Mik für diesen Einsatzbereich neu entwickelt)

Im Zuge dieses Vorversuchs zeigte sich, dass auf dem Betonspaltenboden der Kotdurchtritt ungenügend war bzw. es zu einem Verkleben der Spalten kam und der Dreikantrost von den Schweinen nur sehr ungerne betreten wurde (Noppen an der Rostoberfläche schienen den Tieren an den Klauenballen unangenehm zu sein). Der Kunststoffrost wurde von den Schweinen gut angenommen und auch die Sauberkeit war zufriedenstellend, daher wurde dieser für die vorliegenden Untersuchungen verwendet. Im Allgemeinen gilt Kunststoff als rutschig, wenn das Material nass wird. Diesbezügliche Probleme mit Rutschigkeit und daraus resultierenden Verletzungen oder Meideverhalten durch die Schweine konnten im Rahmen der Untersuchungen nicht festgestellt werden.

Schadnager

Im Zuge der Videoanalysen war insbesondere im Außenbereich ein bedeutendes Vorkommen an Schadnagern (Mäuse und auch Ratten) zu beobachten. Die Tiere bewegten sich sowohl durch den Schrapperkanal als auch am Spaltenboden von Bucht zu Bucht. Hier müssen im Sinne der Futterhygiene, Tiergesundheit und Seuchenprophylaxe zwangsläufig und verstärkt Maßnahmen getroffen werden, um das Eindringen und Vorkommen der Nager nachhaltig zu verhindern.

3.5 Literaturverzeichnis

- Bernardi, F. 2015. Tiergesundheit und Wohlergehen von Bioschweinen in Österreich und Evaluierung der Implementierung von Betriebsentwicklungsplänen hinsichtlich Fütterung und Ökonomie. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- BMSGPK. 2023. Handbuch Schweine – Selbstevaluierung Tierschutz. Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, Vienna.
- Burgstaller, E., T. Buswald, S. Doppelreiter, J. Eder, M. Gerner, M. Kaufmann, H. Raser, R. Schmied, G. Schmuckermair, J. Schmutzer, A. Spindler, J. Stinglmayr, and F. Strasser. 2023. Ferkelproduktion und Schweinemast 2022 – Ergebnisse und Konsequenzen der Betriebszweigauswertung aus den Arbeitskreisen in Österreich. Hrsg. BMLRT and LFI, Vienna, AT.
- Cagienard, A., G. Regula, and J. Danuser. 2005. The impact of different housing systems on health and welfare of grower and finisher pigs in Switzerland. *Preventive Veterinary Medicine* 68(1):49-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2005.01.004>
- Kallio, P. A., A. M. Janczak, A. E. Valros, S. A. Edwards, and M. Heinonen. 2018. Case control study on environmental, nutritional and management-based risk factors for tail-biting in long-tailed pigs. *Animal Welfare* 27(1):21-34. doi: 10.7120/09627286.27.1.021
- Karnholz, C. 2014. Schwanzverletzungen bei Schlachtschweinen in Deutschland: Prävalenz und Beeinflussung durch ein Management-Tool. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Vienna.
- Lyons, C. A. P., J. M. Bruce, V. R. Fowler, and P. R. English. 1995. A comparison of productivity and welfare of growing pigs in four intensive systems. *Livestock Production Science* 43(3):265-274. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00050-U](http://dx.doi.org/10.1016/0301-6226(95)00050-U)
- Plank, F., and C. Jais. 2022. Monitoring alternativer Ställe für Mastschweine. In: 15. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2022, Soest, Deutschland. p 152-155.
- R Core Team. 2023. A language and environment for statistical computing URL <https://www.R-project.org/>. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schrader, L., A. Schubbert, S. Rauterberg, I. Czyncholl, C. Leeb, M. Ziron, J. Krieter, U. Schultheiß, and R. Zapf. 2020a. Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Schwein. 2. ed. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
- Schrader, L., A. Schubbert, S. Rauterberg, U. Schultheiß, and R. Zapf. 2020b. Tierschutzindikatoren für Aufzuchtferkel und Mastschweine: Vorschläge zu Ziel- und Alarmwerten für die betriebliche Eigenkontrolle. In: K. f. T. u. B. i. d. L. e. V. (KTBL) (ed.). p 6. KTBL und Friedrich-Loeffler-Institut, Darmstadt.
- WBA. 2015. Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung – Gutachten, Berlin.
- Wimmler, C. 2018. Intensively kept and still high welfare? Evaluation of a new Austrian pig welfare initiative. Master Thesis, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Vienna.
- Wlcek, S., W. Hagmüller, C. Leeb, H. Stark, F. Ölzant, and M. Böhm. 2015. Leitfaden Tierwohl Schwein. Bio Austria, Linz.
- Zoric, M., S.-E. Johansson, and P. Wallgren. 2015. Behaviour of fattening pigs fed with liquid feed and dry feed. *Porcine Health Management* 1(1):14. doi: 10.1186/s40813-015-0009-7

3.6 Anhang

Anhang A: Handbuch zu den Tierwohlerhebungen

Bundesministerium f. Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus
Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt
Institut für Tier, Technik und Umwelt
Abteilung Tierhaltungssysteme, Technik und Emissionen

 HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

HANDBUCH ZU DEN TIERWOHLERHEBUNGEN IM RAHMEN DES PROJEKTS SALUT

Grundlegendes:

- Zu Beginn der Erhebungen wird in allen 6 Buchten die Buchtenverschmutzung fotografisch dokumentiert (jedenfalls vor Beurteilung an den Tieren, um allfällige zusätzliche, stressbedingte Verschmutzung auszuschließen).
- Die Beurteilung erfolgt aus einem Abstand von ca. 50 cm am stehenden Tier.
- Nur eindeutige Befunde werden gewertet.
- Sollten Parameter nicht beurteilt werden können, erfolgt die Eintragung mit X.
- Beurteilung an Hand des Erhebungsprotokolls „von der Rüsselscheibe bis zur Schwanzspitze“ eines jeden Einzeltiers in der Bucht.
- Bei Beurteilung von Parametern, die nur auf einer Körperseite vorgenommen werden (für Parameter Tierverletzung und Tierverschmutzung; s. auch Erhebungsprotokoll), bleibt die Erhebungsseite innerhalb eines Mastdurchgangs gleich und wird zwischen Durchgängen gewechselt.
- Je Mastdurchgang sind 3 Erhebungstermine vorgesehen:
 - Einstalltermin + 8-12 Tage
 - Masttag 50-55 (ca. 70 kg Lebendgewicht)
 - Vor dem Ausstallen der ersten Tiere = ca. Masttag 85-90

Rasse:

- Am Versuchsbetrieb sind folgende Rassen aufgestellt:
 - Edelschwein x Pietrain (gelbe oder gelb-grüne Ohrmarke, kupiert) = EP
 - Edelschwein x Duroc (blaue Ohrmarke, kupiert) = ED
 - Reinrassiges Edelschwein (rote Ohrmarke) = E
 - „Alternative Rasse“ wie Schwäbisch-Hällisch x Duroc (mit intaktem Schwanz/Langschwanz) = LS

Einteilung der Körperregionen (Beurteilung auf einer Seite; Abbildung 1):

- Kopf: Region von der Rüsselscheibe bis hinter die Ohrlinie, exkl. Ohren (vgl. Abbildung 2)
- Schulter: Bereich zwischen gedachter, vertikaler Linie am Ohr und Ellbogen, ausgenommen Vorderbeine und Nackenbereich (vgl. Abbildung 2)
- Vorderbein: Bereich distal des Ellbogens
- Seite: Bereich zwischen gedachter, vertikaler Linie am Ellbogen und Knie/Flanke
- Hinterhand: Bereich zwischen gedachter, vertikaler Linie am Knie/Flanke und Sitzbeinhöcker; ausgenommen kaudaler Bereich der Rückenlinie und Schwanz (vgl. Abbildung 2) sowie Bereich hinten unterhalb des Anus/der Vulva bis zur Körpermittellinie
- Hinterbein: Bereich distal des Kniegelenks

Einteilung der Körperregionen (Beurteilung gesamthaft/beidseits bzw. entlang Körpermittellinie; Abbildung 2):

- Nacken: Bereich entlang der Wirbelsäule beidseits 2-fingerbreit beginnend hinter den Ohren bis zu gedachter, vertikaler Linie am Ellbogen
- Rücken: Bereich entlang der Wirbelsäule 2-fingerbreit beidseits der Dornfortsätze beginnend ab gedachter, vertikaler Linie am Ellbogen bis Schwanzansatz
- Schwanz: gesamt; inkl. Erhebung der Länge
- Anal-/Genitalbereich: Bereich des Anus bzw. der Vulva

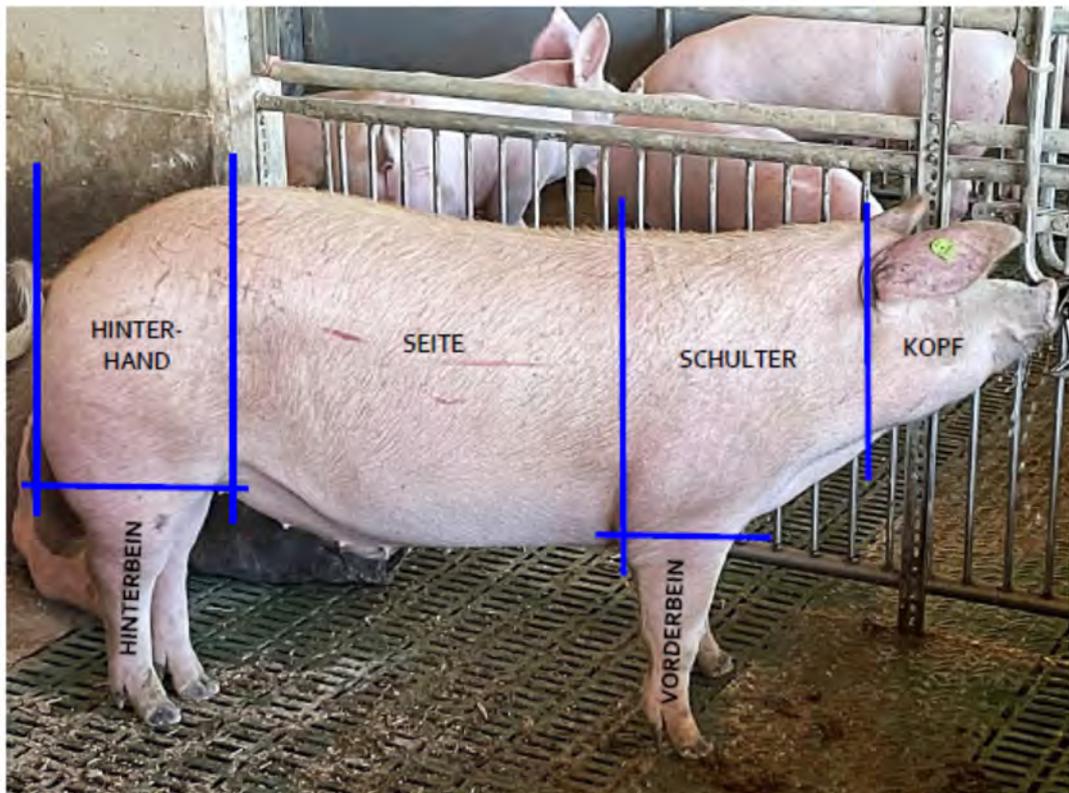


Abbildung 1: Einteilung der zu beurteilenden Körperregionen von der Seite

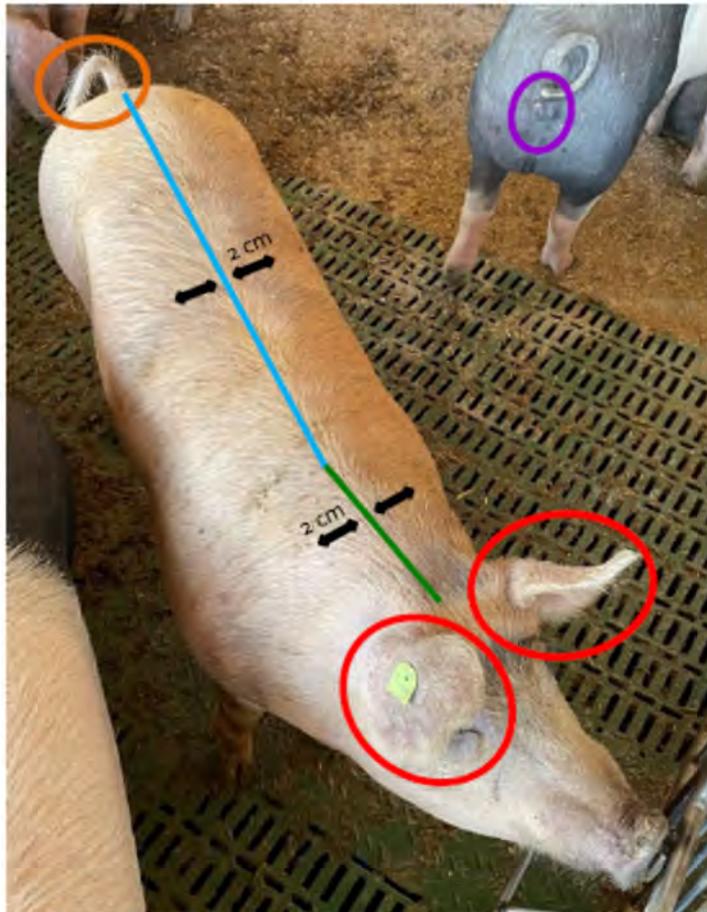


Abbildung 2: Einteilung der zu beurteilenden Körperregionen von oben (gesamthaft/beidseits bzw. entlang Körpermittellinie): Ohren = rot, Nackenbereich = grün, Rückenbereich = blau, Schwanz = orange, Anal-/Genitalbereich = lila

Tierbezogene Indikatoren:

Auseinanderwachsen bzw. "Kümmerer":

- Auseinanderwachsen wird mit Score 1 beurteilt und liegt vor, wenn ein Tier im Vergleich zur Gruppe insgesamt kleiner erscheint, jedoch nicht abgemagert ist und kein offensichtlich krankhafter Zustand vorliegt.
- „Kümmerer“ (Abbildung 3) wird mit Score 2 beurteilt und bezeichnet ein Tier, das im Vergleich zur Gruppe insgesamt kleiner erscheint. Zusätzlich muss auch zumindest einer der folgenden Punkte, die auf das Vorliegen einer Erkrankung hinweisen, vorhanden sein:
 - deutlich geringeres Gewicht/Abmagerung
 - deutlich sichtbare Wirbelsäule
 - Anzeichen von Durchfall (kotverschmierter Perianalbereich)
 - verstärkte Borstenbildung



Abbildung 3: Kümmerer (Ferkel)

Lahmheit:

- Jedes Schwein wird zunächst stehend (für Verletzungen) und anschließend auch der Gang beurteilt.
- Es wird erhoben, ob:
 - das Tier im Schritt ein regelmäßiges Gangbild aufweist bzw. relativ gleichmäßig auftritt (= Score 0)
 - das Tier eine oder mehrere Extremitäten vermindert belastet, oder im Stehen ein „Tippen“ aufweist (mittelgradige Lahmheit = Score 1)
 - das Tier eine oder mehrere Extremitäten nicht mehr belastet oder nicht mehr aufstehen kann (hochgradige Lahmheit = Score 2; vgl. Abbildung 4)



Abbildung 4: Hochgradig lahmes Tier, linkes Hinterbein wird nicht mehr belastet

Ektoparasiten (Räude, Läuse):

- Räude: juckende, gerötete Punkte auf der Haut (beginnende Räude); raue, krustige, verdickte Hautstellen an den Regionen hinter bzw. an den Ohren, am Nacken, an den Extremitäten (unterhalb des Karpal- bzw. Tarsalgelenks) und am Schwanzansatz; Tiere scheuern häufig
- Läuse: sichtbare Eier bzw. Läuse an den Borsten; Tiere scheuern häufig

Augenausfluss, Sekretrinne

- Beurteilung erfolgt nur bei Schweinen mit hellem Kopf, nicht bei Schwäbisch-Hällischen Tieren.
- Es wird beurteilt, ob das Tier einen Augenausfluss aufweist, der sich in einer deutlich sichtbaren, dunkleren (nicht hautfärbigen, bräunlichen/gelblichen/schwärzlichen) Sekretrinne von zumindest 2 cm Länge darstellt (vgl. Abbildung 5).
- Beurteilt wird mit Score 1, sofern dies an einem Auge der Fall ist und mit Score 2 bei beiden Augen.



Abbildung 5: Schwein mit Sekretrinnen unter beiden Augen

Gerötete Bindehäute:

- Beurteilung erfolgt nur bei Schweinen mit hellem Kopf, nicht bei Schwäbisch-Hällischen Tieren
- Beurteilt wird, ob möglicherweise eine Konjunktivitis mit dem Anzeichen von stark geröteten Augenbindehäuten vorliegt.
- Beurteilt wird mit Score 1, sofern eine starke Rötung an einem Auge vorliegt und mit Score 2 bei beiden Augen.

Verletzungen:

- Ohren, Nacken, Rücken, Anal-/Genitalbereich und Schwanz werden gesamthaft, d.h. nicht einseitig beurteilt, alle anderen Körperregionen auf einer Seite.
- Im Bereich des Anal-/Genitalbereichs und des Schwanzes wird beurteilt, ob frisch blutende oder verkrustete Wunden vorliegen (= Score 1; Abbildung 6), unabhängig des Ausmaßes.
- „Alte“, abgeheilte Verletzungen bzw. Vernarbungen werden nicht erhoben.

- Beim Schwanz wird auch beurteilt, ob Schwellungen und Verdickungen vorliegen (= Score 2); die Schwanzlänge wird erhoben.
- Am Ohr wird beurteilt, ob blutige, verkrustete, längliche Kratzer an der Außenseite des Ohres vorliegen (= Score 1) oder/und ob blutige, verkrustete Wunden an den Ohrspitzen, Ohrrändern bzw. dem Ohrgrund vorliegen (= Score 2); auch beide Scores an einem Tier sind möglich.
- Im Bereich des Nackens, Rückens und bei allen einseitig zu beurteilenden Körperregionen (ausgenommen Vorder-/Hinterbeine) wird beurteilt, ob:
 - eine längliche Verletzung mit zumindest 5 cm Länge
 - oder eine kreisrunde Verletzung mit zumindest 3 cm Durchmesser vorliegt (Länge erstes Daumenglied, vgl. Abbildung 7)
- Im Bereich der Extremitäten wird beurteilt, ob:
 - eine längliche Verletzung mit zumindest 3 cm Länge
 - oder eine kreisrunde Verletzung mit zumindest 2 cm Durchmesser vorliegt
- Score 0 = keine Verletzung, intaktes Integument
- Score 1 = ≤ 3 Verletzungen
- Score 2 = > 3 Verletzungen



Abbildung 6: Kupierter Schwanz mit blutiger Verletzung



Abbildung 7: Kreisrunde Verletzung wird beurteilt, wobei das erste Daumenglied als „Maßstab“ für eine Länge von 3 cm herangezogen wird

Tierschmutzung:

- Beurteilung erfolgt auf einer Körperseite.
- Beurteilt werden die Körperregionen (Definition s. Körperregionen auf einer Seite):
 - Schulter
 - Seite
 - Hinterhand
- Als verschmutzt gelten nur Bereiche, die „3D-Auflagerungen“ aufweisen (reine Verfärbungen werden nicht als verschmutzt betrachtet) und zumindest die Größe einer Handfläche aufweisen (auch Zusammensetzen von mehreren Einzelflächen in einer Region zu einer Handfläche möglich; Abbildung 8).



Abbildung 8: Schwein mit stark verschmutzter Seite/Hinterhand

Buchtenverschmutzung:

- Zu jedem Erhebungstermin werden in den 6 Versuchsbuchten Fotos zur Dokumentation der Verschmutzung in den unterschiedlichen Buchtenbereichen erstellt:
 1. Stallinnenbereich (Liegebereich)
 2. Planbefestigter Außenbereich (Fressbereich)
 3. Spaltenbereich außen (Ausscheidungsbereich)
- Dabei soll gewährleistet sein, dass insbesondere der Boden gut einsehbar ist und möglichst nicht durch Tiere verdeckt wird (Schweine werden bestmöglich in anderen Buchtenbereich getrieben).

Zusätzliche Aufzeichnungen:

- Für jedes Tier werden am Erhebungsprotokoll im Bereich „Anmerkungen & Auffälligkeiten“ Aspekte wie z.B. Gelenksschwellung (Abbildung 9), Zittern, Hernie (Abbildung 10), Prolaps (Abbildung 11), Abszess (Abbildung 12), neurolog. Symptomatik, Teil des Ohres fehlt (aber nicht blutig od. verkrustet = abgeheilt) etc.



Abbildung 9: Gelenksschwellung am Hinterbein eines Ferkels



Abbildung 10: Schwein mit Hernie



Abbildung 11: Schwein mit Prolaps des Mastdarms



Abbildung 12: Schwein mit Abszess hinter dem linken Ohr

Anhang B: Erhebungsprotokoll tierbezogener Indikatoren

Bucht:	Tierzahl:	Datum:	Beurteilungsskizze (1/2/3):										Seite (RAL):	Wasser ok. (Ja/Nein):			Einstellung Buchtenwand:							
			Kopf (0/1/2)	Schulter (0/1/2)	Vordere (0/1/2)	Seite (0/1/2)	Hinterhand (0/1/2)	Hinterbein (0/1/2)	Verletzung Schulter (0/1)	Verletzung Seite (0/1)	Verletzung Hinterhand (0/1)	Hecheln, pumpe Atempung (0/1)		Husten, Niesen (0/1)										
Tier	Rasse (EP / ED / LS) (0/1/2)	Auseinanderw. "Kunneer" (0/1/2)	Lähmheit (0/1/2)	Ekzematosen: Räude, Läuse (0/1)	Augenausfluss, Sekrete (0/1/2)	Gerötete Augenbindehäute (0/1/2)	blutige/verkr. Verletzung Ohren (0/1/2)	Verletzung Nacken (0/1/2)	Verletzung Rücken (0/1/2)	blutige/verkr. Verletzung Anal-, Genäbereich (0/1)	blutige/verkr. Verletzung Schwanz (0/1/2)	Schwanzlänge (Ortsart / max. Hüfte kup. / 2=Hülte kup.)	Kopf (0/1/2)	Schulter (0/1/2)	Vordere (0/1/2)	Seite (0/1/2)	Hinterhand (0/1/2)	Hinterbein (0/1/2)	Verletzung Schulter (0/1)	Verletzung Seite (0/1)	Verletzung Hinterhand (0/1)	15 SEITE Verletzung (0/1/2) Hinterhand (0/1)	Armerhungen & Anfalligkeiten (z.B.: Gelenkschwellig, Zittern, Hernie, Prolaps, Abzess, neurolog. Symptomatik, Teil des Ohres fehlt, aber nicht blutig od. verkrustet = abgeteilt, etc.)	
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								

4 Fachbereich Luftreinhaltung

Dietmar Öttl, Amt der Stmk. LR, A15

Projekt SaLu_T: Erhebungen der Geruchs- und Ammoniakimmissionen in der Umgebung eines Tierwohlstalls für die Schweinemast

4.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde auf Basis von Geruchserhebungen nach EN16841-1 und Passivsammlermessungen von Ammoniak Emissionsfaktoren für einen Tierwohlstall ermittelt, der mit modernsten Techniken ausgestattet ist, um Emissionen zu reduzieren. Die Emissionsfaktoren, welche auf Basis von Ausbreitungsrechnungen mit dem Modell GRAL ermittelt wurden, lagen signifikant niedriger als die Basisfaktoren, die derzeit in der Steiermark in Genehmigungsverfahren für Mastschweine angewendet werden. Für Geruch wurde ein Faktor von 8 GE/GVE/s ermittelt, was nahezu eine 95%ige Reduktion gegenüber dem Standardfaktor von 140 GE/GVE/s bedeutet. Der entsprechende Faktor für Ammoniak beträgt 0,73 kg/TP/a, was einer Reduktion um rund 80 % gegenüber dem Standardfaktor von 3,64 kg/TP/a entspricht. Die massiven Emissionsreduktionen gegenüber konventioneller Stalltechnik mit Vollspaltenboden, einphasiger Fütterung und geschlossenem Stall sind im Wesentlichen auf folgende emissionsmindernde Maßnahmen in der Stall- und Fütterungstechnik zurückzuführen:

- Multiphasenfütterung
- Außenklima/Offenfrontstall
- Minimierung der Kotflächen
- Kot-Harn Trennung

Die eingesetzte Untersuchungsmethodik auf Basis von Immissionserhebungen in der Umgebung des Stalls und Ausbreitungssimulationen erlaubt es nicht, dass die festgestellten Emissionsreduktionen den einzelnen Techniken direkt zugeordnet werden können.

4.2 Summary

According to the European Commission, Austria is obliged to reduce ammonia emissions by 12% between 2005 and 2030. Agriculture, in particular livestock buildings and the spreading of manure, is the predominant source of ammonia in most countries, calling for stringent mitigation measures in this area. This study investigated a combination of measures implemented in a newly constructed

fattening piggery in Styria (Austria) for reducing ammonia, particulate matter (not subject of this publication), and odour emissions. Additionally, the livestock building should meet standards to enhance animal welfare as well. Based on observed ammonia concentrations at several locations in the vicinity of the farm as well as field inspections for odour according to EN 16841-1, corresponding emission factors were derived using the Lagrangian particle model GRAL and in situ measurements of meteorology. The resulting emission factor for ammonia was found to be 80% lower compared to the standard emission factor of 3.64 kg a⁻¹ for fattening piggeries according to the German guideline VDI 3894-1. Moreover, the emission factor for odour was 95% lower than the standard factor of 0.180 ouE kg⁻¹s⁻¹ used in Styria for conventional fattening piggeries without any reduction techniques.

4.3 Material und Methoden

Das Projekt SaLu_T – Saubere Luft in der Tierproduktion befasst sich mit Maßnahmen und Technologien zur Minderung der Emissionen und zur Erhöhung des Tierwohls in der landwirtschaftlichen Praxis. Ein Hauptaugenmerk bei diesem Projekt liegt auf der Reduktion der Ammoniakemissionen (NH₃), was besonders auch im Hinblick auf die Erfüllung der NEC-Richtlinie [NEC 2016] von Bedeutung ist. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung und Erprobung des ersten emissionsarmen Tierwohlstalls für Mastschweine in Österreich, der technisch in den Bereichen Tierhaltung und Emissionen neue Wege geht. Die Verbindung von Emissionsminderung und Optimierung der Produktion wird durch den Einsatz moderner Techniken und deren Evaluierung durch mehrere Forschungsteams erarbeitet. Durch die Emissionsreduzierung werden auch Geruchsemissionen positiv beeinflusst. Die wissenschaftliche Gesamtleitung liegt in den Händen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Weitere Projektpartner sind die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, die Fa. Schauer Agrotronic GmbH, die Fa. Lorber & Partner, die Fachstelle für Tierhaltung und Tierschutz, der TÜV Austria, die Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern, die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft sowie die Medizinische Universität Graz. Betreiber des Tierwohlstalls ist die Fam. Neuhold in Leitersdorf in der Südsteiermark.

Die bisher in der Literatur verfügbaren Untersuchungen zu derartigen Stallsystemen – insbesondere zu Entmistungsmethoden mit Kot/Harn-Trennung im Mastschweinebereich – sind überschaubar. Dynamische Fahnenbegehungen und Modellrechnungen mit dem Modell GRAL durch den TÜV Austria (2018) an einem Offenfrontstall mit Multiphasenfütterung, permanenter Entmistung sowie Kot-Harn Trennung erbrachten einen mittleren Emissionsfaktor von 20 GE/GVE/s. Untersuchungen durch das LUFA Nord-West, Oldenburg (Broer, 2021) unter Anwendung der Tracergas-Methode entsprechend dem VERA Protokoll ergaben Faktoren zwischen 54 und 132 GE/GVE/s.

In der vorliegenden Studie wurde im Gegensatz zu den erwähnten Arbeiten auf die aufwändige Methode einer Rasterbegehung nach EN16841-1 zurückgegriffen. Die erhobenen Geruchsstundenhäufigkeiten an acht Punkten in der Umgebung des Tierwohlstalls dienen in der

Folge zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für Geruch mittels einer Ausbreitungssimulation mit dem Modell GRAL. Darüber hinaus wurden an zehn Punkten Ammoniakmessungen in der Umgebung des Stalls durchgeführt, die ebenfalls für die Ermittlung eines entsprechenden Emissionsfaktors über eine Ausbreitungssimulation mit GRAL zur Verfügung standen.

4.3.1 Kurzbeschreibung des Tierwohlstalls

Der Forschungsstall befindet sich nordöstlich der Ortschaft Leitersdorf im Bezirk Leibnitz in Einzellage im Schwarzautal (Abbildung 87 und Abbildung 88). Der Stall ist funktionell in drei Buchten getrennt:

- Stallinnenraum: Ruhebereich
- Planbefestigter Außenbereich: Aktivitätsbereich und Futteraufnahme (Abbildung 92)
- Spaltenbereich außen: Ausscheidungsbereich

Aus emissionstechnischer Sicht wurden folgende Minderungsmaßnahmen umgesetzt:

- Zuluftkühlung mittels Cool Pads (Abbildung 91)
- Funktionelle Trennung der Aktivitätsbereiche (Abbildung 92)
- Multiphasenfütterung (Abbildung 93)
- Entstaubung der Einstreu (Abbildung 94)
- Kot-Harn Trennung (Abbildung 95)

Mit Ausnahme der Zuführung gekühlter Außenluft über einen horizontalen Lüftungsschacht in der Gangmitte im Innenbereich erfolgt die Be- und Entlüftung über natürliche Konvektion. Die entstehenden Emissionen werden diffus über die seitlichen Öffnungen (Abbildung 89) ins Freie transportiert. Zusätzlich können Emissionen auch über zwei vertikale Flächen über dem Stallgebäude aufgrund der speziellen Dachform entweichen (Abbildung 90). Laut Auskunft des Betreibers werden die seitlich angebrachten Windschutznetze in Form von Rollos vor allem in den drei Wintermonaten und in der Nacht geschlossen. In diesen Zeiträumen ist daher davon auszugehen, dass die Emissionen hauptsächlich über die vertikalen Öffnungen über dem Stall freigesetzt werden. In der übrigen Zeit wird davon ausgegangen, dass die Emissionen zu 2/3 bodennah und zu 1/3 über die erwähnten vertikalen Flächen über dem Stall ins Freie entweichen.

Die maximale Anzahl an Tierplätzen beträgt 850 Mastschweine mit einem Durchschnittsgewicht von ca. 75 kg. Der anfallende Flüssigmist wird regelmäßig in ein geschlossenes Güllelager gepumpt, wobei während des Pumpvorgangs Emissionen im Bereich der Einlassöffnung entstehen. Festmist wird mehrmals pro Woche abtransportiert, wobei auch hier für relativ kurze Zeitintervalle Geruchsemissionen freigesetzt werden (Abbildung 96).

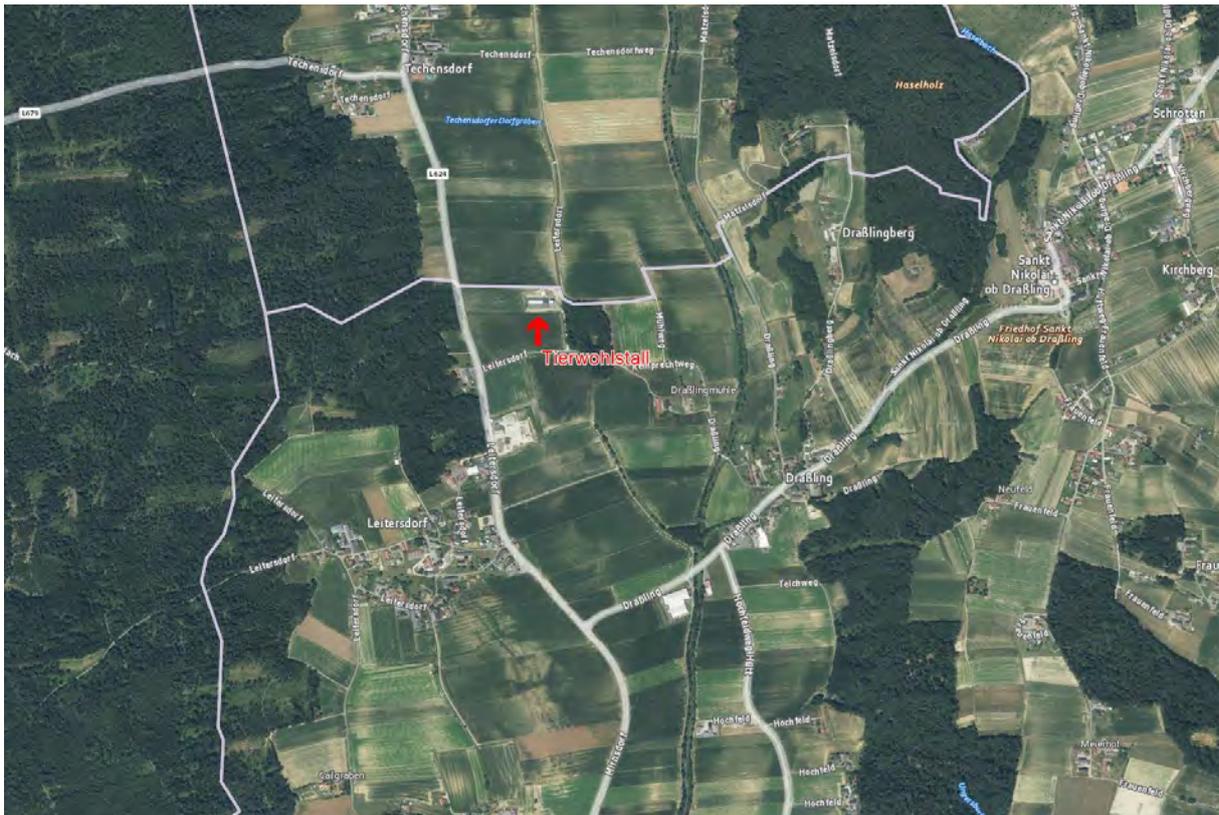


Abbildung 87: Lage des Tierwohlstalls nordöstlich der Ortschaft Leitersdorf im Bezirk Leibnitz



Abbildung 88: Gelände in der Umgebung des Forschungsstalls



Abbildung 89: Ansicht des Tierwohlstalls von Süden



Abbildung 90: Außenbereich mit Lüftungsöffnungen im Firstbereich



Abbildung 91: Cool Pads zur Zuluftkühlung



Abbildung 92: Außenbereich für die Futterraufnahme und Ausscheidungen



Abbildung 93: Multiphasenfütterung



Abbildung 94: Entstaubungsanlage für Einstreu



Abbildung 95: Entmistung (Schraper) mit Kot-Harn Trennung

Abbildung 96: Abtransport des Festmistes; links im Bild: geschlossene Güllegrube

4.3.2 Geruchserhebungen

Die essentielle Ressource für Feldbegehungen ist ein ausreichend großer Pool an Probanden, deren Geruchsempfinden zuvor unter normativen Bedingungen ermittelt wurde. Vorgabe der entsprechenden ÖNORM EN 13725 ist das Selektieren von geeigneten Personen, deren Geruchssinn nicht zu sensibel bzw. zu unempfindlich ausgebildet ist. Die olfaktorische Empfindlichkeit der Prüfer muss hier – zur Sicherstellung der Wiederholpräzision – innerhalb einer definierten Bandbreite liegen, die viel enger ist als die Schwankungsbreite in der Bevölkerung. Die normgerechte Auswahl der Probanden am Olfaktometer (Abbildung 97) erfolgte vom TÜV Austria unter der Leitung von Herrn Ing. Robert Mair. Als Referenzgeruchsstoff wurde n-Butanol (CAS-Nr. 71-36-3) in Stickstoff herangezogen.



Abbildung 97: Prüfpersonen am Olfaktometer (Symbolfoto)

Zur Feststellung, ob die Teilnehmer - im Sinne der ÖNORM EN 13725 - geeignet sind, sind mindestens 10 einzelne Schwellenschätzungen mit dem Referenzgeruchsstoff zu erheben. Die Daten der einzelnen Prüfpersonen müssen an mindestens drei Messtagen, mit Unterbrechung von jeweils mindestens einem Tag dazwischen, gesammelt werden. Um schließlich eine normative Zulassung als Proband für eine Feldbegehung zu erhalten, sind folgende zwei Kriterien zu erfüllen (siehe auch Abbildung 98):

- die Standardabweichung der Gesamtheit der Schwellenschätzungen muss kleiner 2,3 sein
- der geometrische Mittelwert der einzelnen Schwellenschätzungen muss zwischen dem 0,5-fachen (20 ppb) und dem 2-fachen (80 ppb) Bezugswert des Referenzgeruchstoffes n-Butanol liegen

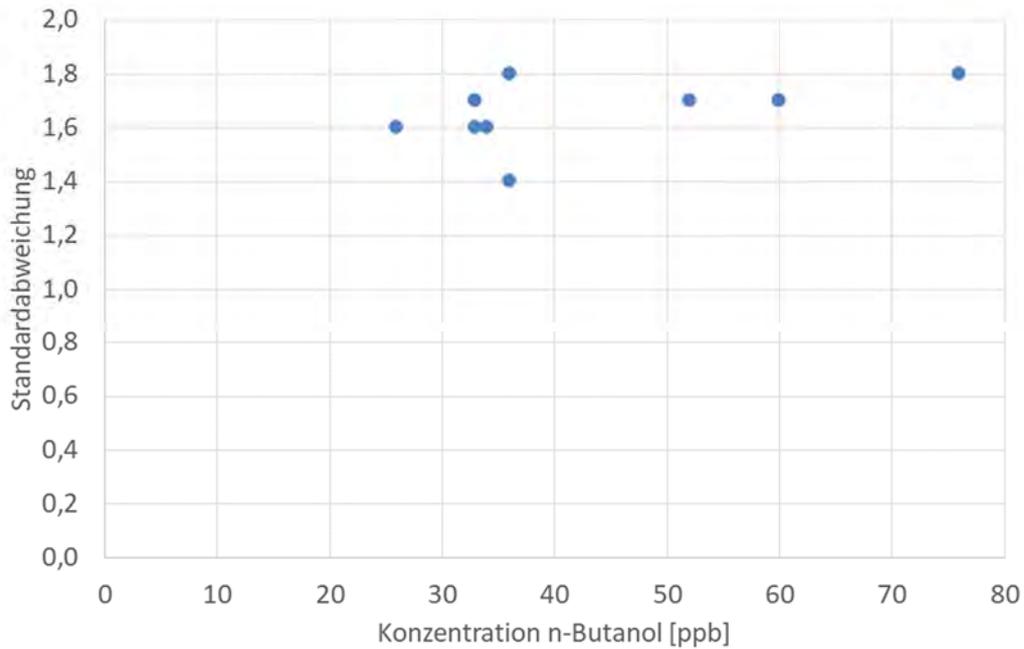


Abbildung 98: Ergebnis der mit n-Butanol getesteten und geeigneten Probanden



Abbildung 99: Team der Geruchserhebungen bei der Einschulung am 16.12.21 beim Forschungsstall

Die Feldbegehungen zur Ermittlung der Geruchshäufigkeiten an den 8 Erhebungspunkten (Abbildung 100) wurden im Zeitraum vom 10.1. bis 12.7.2022 auf Basis der Norm EN16841-1 geplant

und durchgeführt. Die Norm sieht vor, dass pro Erhebungspunkt über einen Zeitraum von 10 Minuten alle 10 Sekunden der Geruchseindruck durch einen geeichten Probanden festgehalten wird. Das dazu verwendete Protokoll ist in Abbildung 101 ersichtlich. Die Geruchseindrücke „Schweinestall“ und „Güllegrube“ wurden zur Berechnung der Geruchshäufigkeiten zusammengefasst. Unberücksichtigt blieben Gerüche durch „Gülleausbringung“ und andere Geruchsarten. Die Einschulung der Probanden erfolgte am 16.12.21 direkt beim Forschungsstall (Abbildung 99).

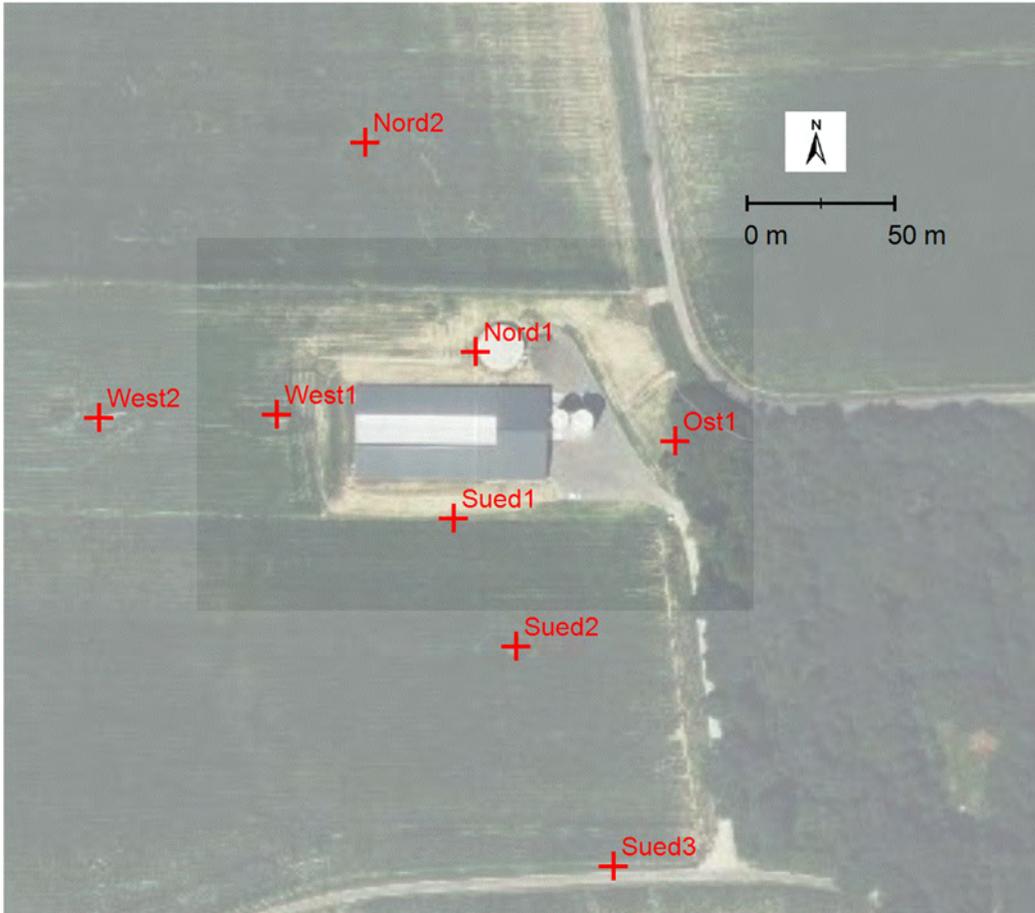


Abbildung 100: Lage der Erhebungspunkte für die Geruchsbegehungen

GERUCHSPROTOKOLL – SALUT

MESSPUNKT: N1 N2 O1 S1 S2 S3 W1 W2

NAME:

DATUM:

BEGINN:

ENDE:

1. Minute

--	--	--	--	--	--

2. Minute

--	--	--	--	--	--

3. Minute

--	--	--	--	--	--

4. Minute

--	--	--	--	--	--

5. Minute

--	--	--	--	--	--

6. Minute

--	--	--	--	--	--

7. Minute

--	--	--	--	--	--

8. Minute

--	--	--	--	--	--

9. Minute

--	--	--	--	--	--

10. Minute

--	--	--	--	--	--

GERUCHSARTEN:

- 0 kein Geruch
- 1 Schweinestall
- 2 Gülleausbringung
- 3 Andere Gerüche

WINDSTÄRKE:

- kein Wind
- leicht
- mäßig
- stark
- stürmisch

WOLKEN:

- keine
- wenig
- bedeckt

NIEDERSCHLAG:

- kein
- Niesel
- Regen
- Schnee
- Bodennebel
- Graupel/Hagel

Abbildung 101: Verwendetes Geruchsprotokoll während der Begehungen

Wie aus Abbildung 102 und Abbildung 103 ersichtlich ist, konnten die Vorgaben der EN16841-1 in Bezug auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung der insgesamt 53 Erhebungstermine auf Wochentage und Tagesstunden und sehr gut erfüllt werden. Mehrere Krankenstände und kurzfristige Terminkollisionen führten dazu, dass der Begehungsplan mehrmals korrigiert werden musste, sodass eine gleichmäßige Aufteilung der Begehungen auf das Probandenteam unmöglich war (Abbildung 104). Zur möglichst exakten Einhaltung des 10 Sekunden Takts wurde ein elektronisches Gerät entwickelt, welches sowohl akustisch als auch optisch die Taktung vorgab (Abbildung 105).

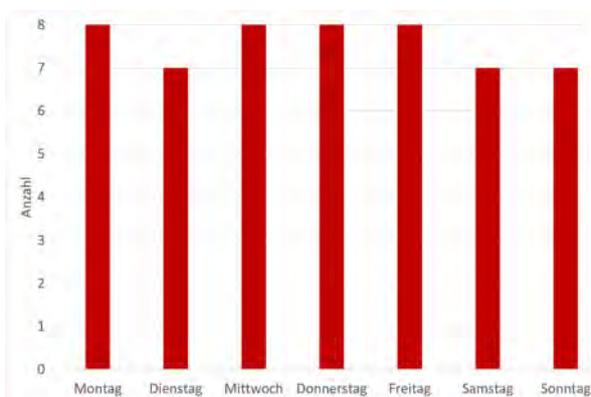


Abbildung 102: Anzahl der Erhebungen pro Wochentag

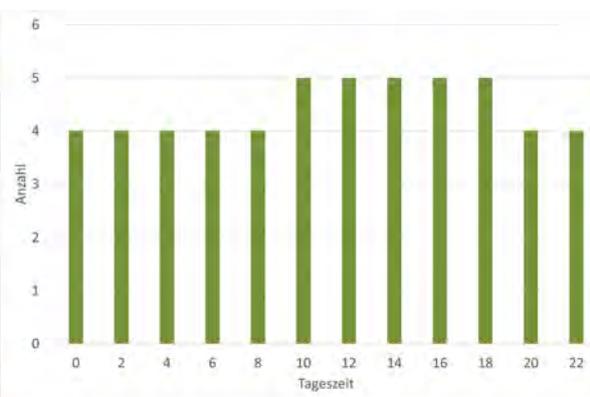


Abbildung 103: Anzahl der Erhebungen im Tagesverlauf

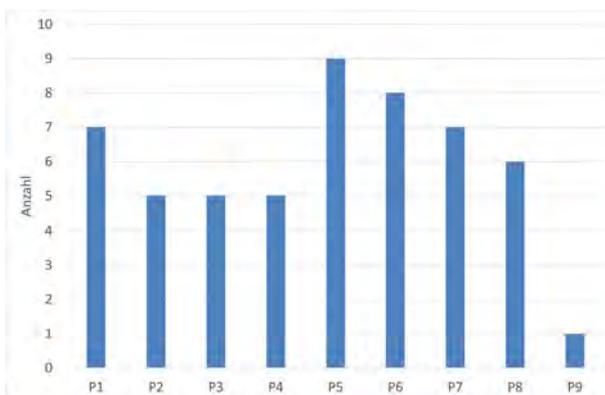


Abbildung 104: Anzahl der Erhebungen pro Proband



Abbildung 105: Akustischer und optischer 10 s Taktgeber (Entwickler: Ing. Heinz Gressenberger, A15)

Für jeden Erhebungspunkt erfolgte eine Plausibilitätsprüfung anhand der lokal erhobenen Windrichtungsdaten zum Zeitpunkt der Erhebung. Die einzelnen Geruchsprotokolle wurden nach den Kriterien ≥ 6 Geruchswahrnehmungen, ≥ 3 Geruchswahrnehmungen (obere Unsicherheitsgrenze) und ≥ 9 Geruchswahrnehmungen (untere Unsicherheitsgrenze) ausgewertet. Während die VDI 3940-1 explizit den Stichprobenfehler einer Geruchserhebung auf Basis einer Binomialverteilung angibt, gibt im Gegensatz dazu die EN 16841-1 eine Methode zur Schätzung der Unsicherheit aufgrund des unterschiedlichen Geruchswahrnehmungsvermögens der Probanden an. Hierbei wird eine obere und untere Unsicherheitsgrenze durch Auswertung der Geruchshäufigkeiten mit den oben genannten Kriterien (≥ 3 und ≥ 9 Wahrnehmungen pro Punkt) ermittelt. Tatsächlich sind beide Abschätzungen der Unsicherheiten völlig unabhängig voneinander zu betrachten. Es muss angemerkt werden, dass der Stichprobenfehler, der durch die Wahl eines 10-Minuten Beobachtungszeitraumes anstelle einer gesamten Stunde entsteht, weder in der VDI 3940-1 noch in der EN 16841-1 thematisiert wird.

Die Fehlerabschätzung der EN 16841-1 zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Geruchsempfindlichkeiten innerhalb eines Probandenteams stellt eigentlich keine Unsicherheit der Erhebung dar. Tatsächlich wird in Ausbreitungsmodellen zur Berechnung von Geruchsstunden dieses Faktum berücksichtigt, indem das Produkt der simulierten Verteilungsfunktion der Geruchskonzentrationen und der Wahrnehmungsfunktion der jeweiligen Geruchsart integriert und anschließend die Geruchsstunde ($\kappa \geq 0,1$) ermittelt wird:

$$\kappa = \int_0^{\infty} P_0(c)f(c)dc$$

$P_0(c)$ ist dabei die Wahrscheinlichkeit einer Geruchswahrnehmung für eine bestimmte Konzentration c und $f(c)$ die Verteilungsfunktion der Konzentrationsfluktuationen. Die Funktion $P_0(c)$ kann im Rahmen der Olfaktometrie bestimmt werden und wird gewöhnlich durch eine logarithmische Normalverteilung beschrieben. Das in GRAL implementierte Geruchsmodell (Öttl und Ferrero, 2017) berücksichtigt implizit die unterschiedlichen Geruchswahrnehmungen der Probanden (Öttl et al., 2018). Eine Korrektur der Behebungsergebnisse bzw. die Angabe eines Unsicherheitsbereiches ist für einen Vergleich mit Modellergebnissen daher nicht unbedingt zielführend.

In Tabelle 18 sind die ermittelten Geruchshäufigkeiten für die acht Erhebungspunkte aufgelistet. Die höchsten Werte finden sich im unmittelbaren Nahbereich zum Stallgebäude an den Punkten S1 und N1 mit 54 % bzw. 50 % Geruchsstunden. Beide Punkte sind nur rund 10 m vom Stallgebäude entfernt. Die Erhebungspunkte W1 und O1, die zwar im Nahbereich (weniger als 50 m zu den Emissionsquellen), jedoch außerhalb der Hauptwindrichtungen liegen, weisen mit 34 % bzw. 20 % deutlich niedrigere Häufigkeiten auf. Sehr deutlich ist die Abnahme der ermittelten Geruchshäufigkeiten mit zunehmenden Abstand zum Stall ersichtlich. Beispielsweise ergaben sich für die Punkte S2 und S3 in rund 60 m bzw. 140 m Entfernung zum Stall stark abfallende Werte von 28 % auf 16 %. Besonders positiv zu bewerten ist der Umstand, dass die erhobenen Geruchshäufigkeiten (≥ 6 Wahrnehmungen) an allen Punkten deutlich unter den im Zuge des behördlichen Genehmigungsverfahrens prognostizierten Geruchshäufigkeiten (Bachler, 2019) liegen (Abbildung 106). Die emissionsmindernden Maßnahmen wirken demnach noch besser als im seinerzeitigen Ermittlungsverfahren angenommen.

Tabelle 18: Ergebnisse der Geruchserhebungen für die einzelnen Aufpunkte für Stallgerüche

# Wahrnehmungen	N1	N2	O1	S1	S2	S3	W1	W2
≥ 6	50 %	24 %	20 %	54 %	28 %	16 %	34 %	4 %
≥ 3	64 %	32 %	28 %	68 %	34 %	26 %	44 %	16 %
≥ 9	48 %	24 %	16 %	50 %	24 %	10 %	20 %	2 %

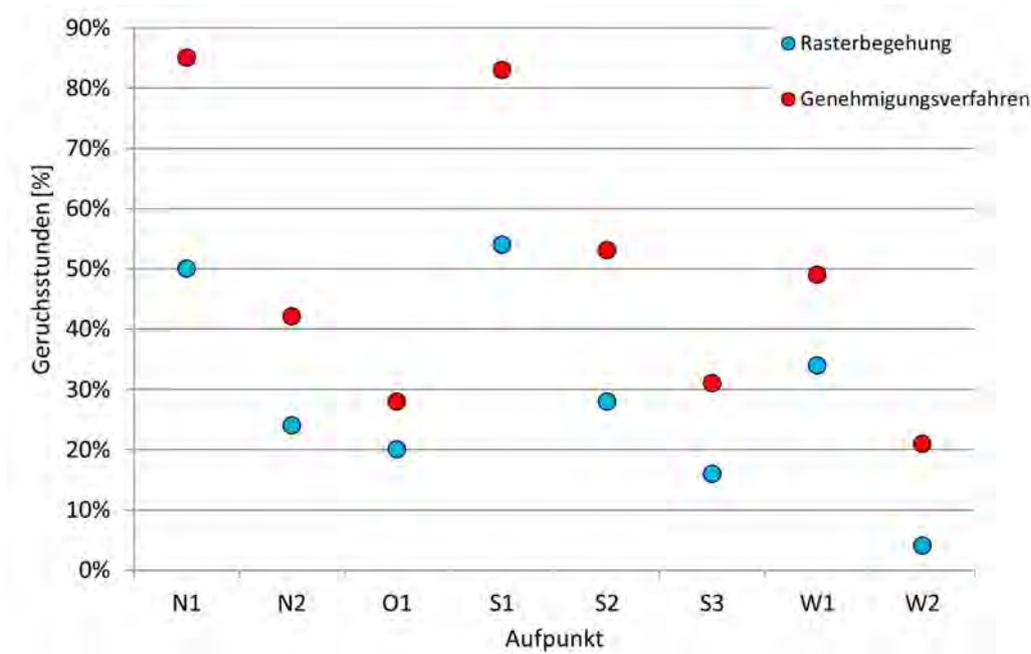


Abbildung 106: Vergleich der erhobenen Geruchshäufigkeiten auf Basis der Feldbegehungen mit den prognostizierten Häufigkeiten aus dem Einreichprojekt (Bachler, 2019)

4.3.3 Ammoniakmessungen

An insgesamt zehn Punkten wurden NH_3 -Messungen mit Passivsammlern (Typ „Radiello“) durch das LfL – Institut für Landtechnik und Tierhaltung (Bayern) durchgeführt (Abbildung 107). Es erfolgte eine Doppelbeprobung in ca. 3 m Höhe über Grund (Abbildung 111), wobei für die weiteren Auswertungen jeweils der Mittelwert herangezogen wurde. Die Messperiode erstreckte sich vom Oktober 2020 bis zum Februar 2022, wobei der Wechsel der Passivsammler monatlich stattfand.

Die Ergebnisse der Immissionsmessungen sind in Tabelle 19 aufgelistet. Es zeigt sich eine klare Abnahme der gemessenen NH_3 -Konzentrationen mit zunehmender Entfernung zum Stallgebäude, wobei die niedrigsten Werte am Standort W3 mit $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert wurden. Neben der größeren Entfernung zum Stall ist dies vor allem auch darauf zurückzuführen, dass die häufigsten Windrichtungen Nord und Süd sind. Die höchsten Konzentrationen mit rund $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden hingegen am Punkt S1 gemessen, da dieser einerseits dem Stallgebäude am nächsten und andererseits direkt in Hauptwindrichtung positioniert wurde. Der Einfluss des Stallgebäudes auf die NH_3 -Immissionen ist demnach aus den Messergebnissen klar ersichtlich.

Tabelle 19: Gemessene Mittelwerte der NH₃ Messungen in [µg/m³] für den Auswertzeitraum vom Jänner bis November 2021

	N1	N2	N3	E1	S1	S2	S3	W1	W2	W3
MITTELWERT	25,6	6,8	6,1	7,8	28,4	9,9	7,3	7,2	4,0	3,0

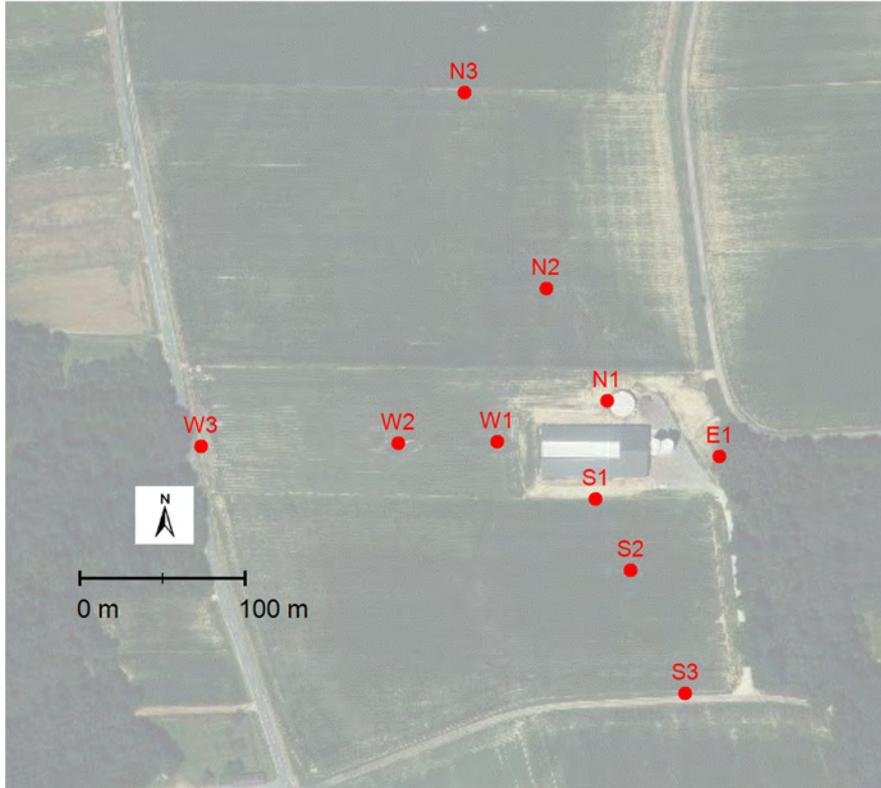


Abbildung 107: Lage der Erhebungspunkte für die Ammoniakmessungen



Abbildung 108: Sammlereinrichtung für die NH_3 -Messung

4.3.4 Ausbreitungsmodellierung

4.3.4.1 Modellbeschreibung

Für die Ausbreitungsrechnung wurde das Lagrange Ausbreitungsmodell GRAL verwendet. Eine umfangreiche Beschreibung des Modells inklusive Evaluierung anhand von zahlreichen Ausbreitungsexperimenten findet sich in Öttl (2020). Die Ausbreitung von Luftschadstoffen wird durch räumliche Strömungs- und Turbulenzvorgänge bestimmt. Diese sind für bodennahe Quellen neben den Ausbreitungsbedingungen auch von der Geländestruktur, von Verbauungen und von unterschiedlichen Bodennutzungen abhängig. Mit Lagrangeschen Partikelmodellen kann die Diffusion auch im Nahbereich von Emissionsquellen physikalisch korrekt simuliert werden, was im Gegensatz dazu mit prognostischen Euler-Modellen nicht möglich ist. Bei Lagrangeschen Partikelmodellen wird die Schadstoffausbreitung durch eine große Anzahl von Teilchen simuliert, deren Bewegung durch das vorgegebene mittlere Windfeld sowie einer überlagerten Turbulenz

bestimmt ist. Zudem können inhomogene Wind- und Turbulenzverhältnisse und beliebige Formen von Schadstoffquellen berücksichtigt werden.

4.3.4.2 Eignung des Modells

In Österreich gibt es keine gesetzlich verbindlichen Vorschriften für die Verwendung eines bestimmten Ausbreitungsmodells. Daher werden in der Technischen Grundlage „Qualitätssicherung Ausbreitungsrechnung“ (BMWfJ, 2013) bzw. in der ÖNORM M9440 folgende Forderungen bzgl. des Nachweises der Modelleignung gestellt:

Darlegung der Modelphysik, vorzugsweise in begutachteten Fachzeitschriften

Darlegung von Evaluierungsstudien, insbesondere wenn Gebäude oder Bewuchs, Geruch, Abgasfahnenüberhöhungen, windschwache Wetterlagen, Geländeeinfluss, Sedimentation, Deposition oder luftchemische Reaktionen für den Anwendungsfall von Bedeutung sind.

Evaluierungsstudien mit dem Ausbreitungsmodell GRAL wurden in bisher 21 wissenschaftlichen Arbeiten in international begutachteten Fachzeitschriften publiziert. Insbesondere wurden in nachfolgenden Spezialbereichen wissenschaftliche Nachweise erbracht:

Windschwache Wetterlagen:

Wetterlagen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten führen zu großen Windrichtungsdrehungen, die von vielen verfügbaren Modellen nicht hinreichend genau modelliert werden können. Der in GRAL implementierte Algorithmus basiert auf wissenschaftlich anerkannten Methoden, die in mehreren Fachartikeln publiziert wurden (z.B. Öttl et al., 2005).

Bebauung:

Bebauung kann zu wesentlichen Änderungen der kleinräumigen Schadstoff- und Geruchsausbreitung führen. Um diese Effekte zu berücksichtigen, verfügt das Modell GRAL über ein vorgeschaltetes mikroskaliges Strömungsmodell. Dieses prognostische, nicht-hydrostatische Modell wurde anhand der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9 „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle. Evaluierung für Gebäude- und Hindernisströmung“ evaluiert. Die Ergebnisse sind im Detail der Dokumentation des Modells GRAL zu entnehmen bzw. wurden zum Teil wissenschaftlich publiziert (Öttl, 2015).

Bewuchs:

Der Einfluss von Vegetation auf die mikroskaligen Strömungsverhältnisse wird nach dem Vorschlag von Green (1992) berücksichtigt. Hierbei wird der Strömungswiderstand durch Vegetationsflächen über die Blattflächendichte und die Bewuchshöhe, getrennt nach Stamm- und Kronenbereich, berechnet.

4.3.4.3 Geruchsmodellierung

Die Beurteilung von Gerüchen erfolgt in Österreich auf Basis von sogenannten Jahresgeruchsstunden. Eine Geruchsstunde ist dabei so definiert, dass in 10 % einer Stunde, Geruch wahrnehmbar sein muss. Damit ist es notwendig, das 90 Perzentil der Konzentrationsverteilung innerhalb einer Stunde zu ermitteln. Dieses wird individuell für jeden Rasterpunkt in Abhängigkeit von der mittleren Gesamtgeruchs-Konzentrationsverteilung zu jeder Stunde im Jahr und dem Turbulenzzustand der Atmosphäre berechnet und ist damit räumlich und zeitlich variabel (Öttl und Ferrero, 2017).

Die in den Berechnungen verwendete Geruchsschwelle für das 90 Perzentil der Geruchskonzentrationsverteilung innerhalb einer Stunde bedeutet, dass Geruchskonzentrationen innerhalb einer Geruchsstunde in 10 % der Zeit höher sein müssen als diese festgelegte Geruchsschwelle. Wird als Geruchsschwelle 1 GE/m³ festgelegt, so bedeutet dies im schlechtesten Fall, dass in 10 % der Zeit häufig deutlich höhere Geruchskonzentrationen auftreten, die nicht nur zu Geruchswahrnehmungen sondern auch zur Geruchserkennung führen. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit dieser Methode eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Modellrechnung und Feldbegehung nach EN16841-1 erzielt wird.

4.3.4.4 Verwendete Modellparameter

Tabelle 20: Methodik und Eingabeparameter für das verwendete Ausbreitungsmodell GRAL

Modellversion	GRAL 20.1
Gelände	Nicht berücksichtigt
Gelände - GRAL	Nicht berücksichtigt
Gebäude, Bewuchs	Mikroskaliges nicht-hydr. prognostisches Strömungsmodell, Mischungsweg-Turbulenzmodell Horizontale Auflösung: 3 m Vertikale Auflösung: 1 m, vertikaler Spreizungsfaktor 1,00 Min. Zeitschritte: 100 Max. Zeitschritte: 500 Modelloberrand für Hindernisumströmung: 26 m Rauigkeit der Gebäudewände: 0,001 m
Auszählgitter für Konzentration	3 m horizontal, 1 m Schichtdicke, Auswertehöhe 2 m über Grund
Gebietsgröße	540 m x 490 m
Partikelanzahl	360.000 pro Std.
Bodenrauigkeit	0,1 m

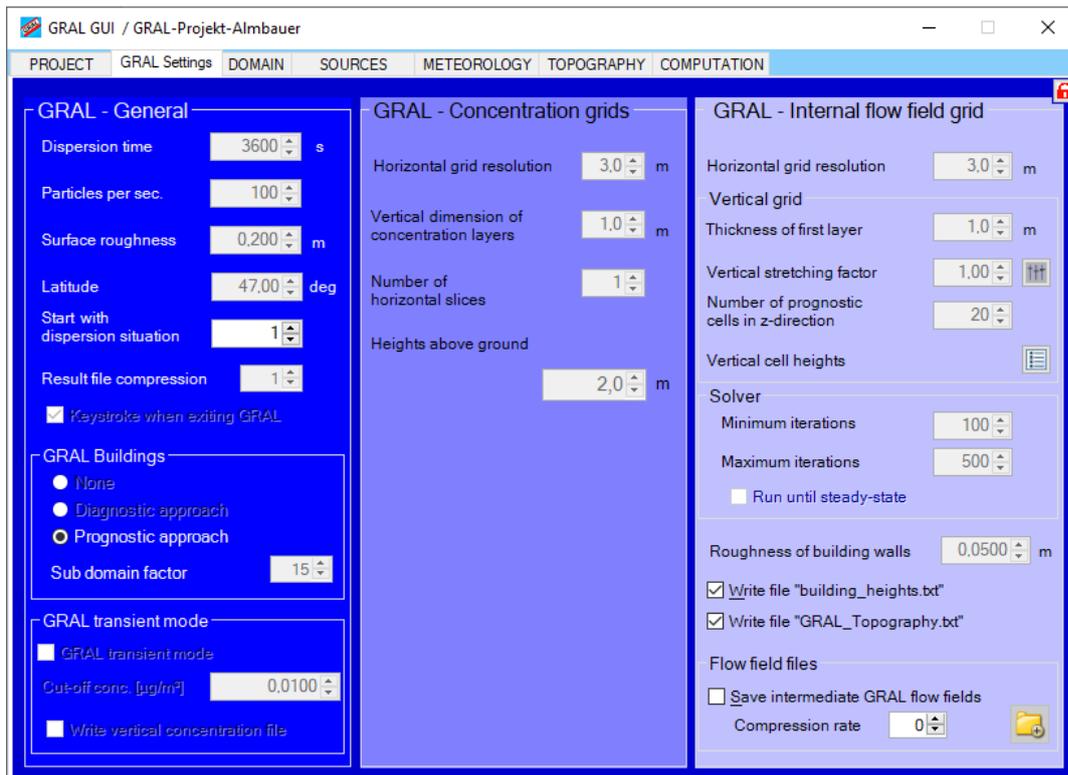


Abbildung 109: Eingabeparameter für GRAL



Abbildung 110: Modellgebiet, Gebäude, Bewuchs und Lage des Stalls

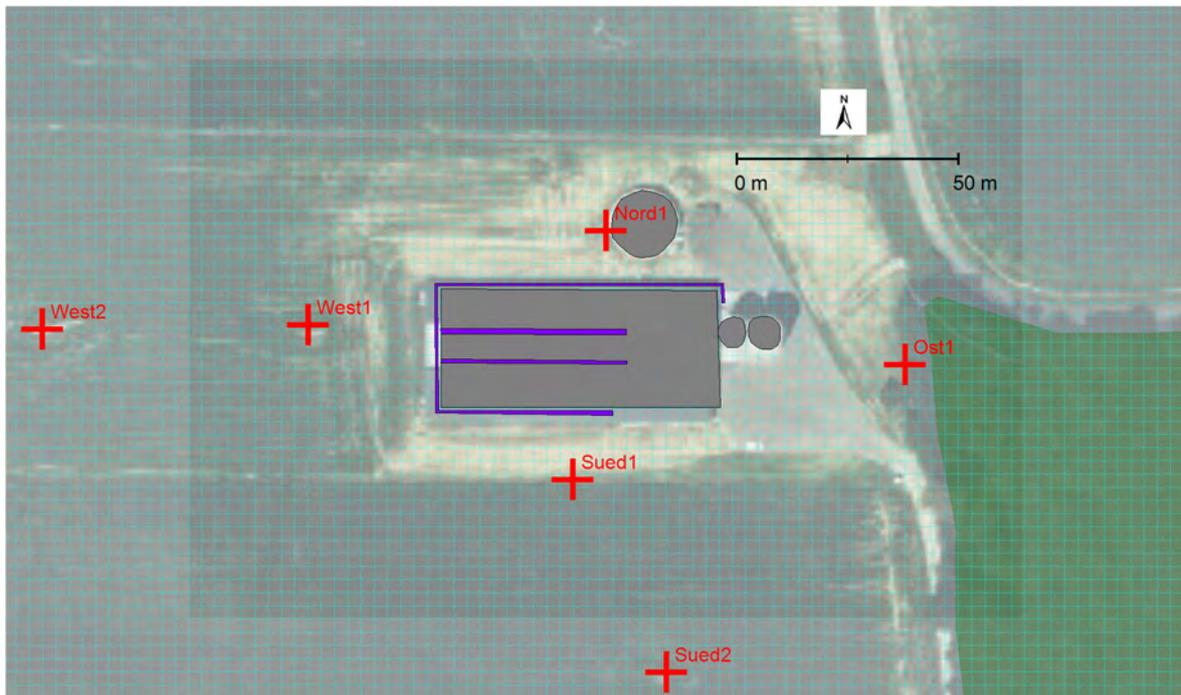


Abbildung 111: Aufteilung der diffusen Emissionsquellen für die Ausbreitungsrechnungen

4.4 Ergebnisse

Zu Beginn der Geruchsbegehungen am 10.1.2022 lagen die umliegenden Ackerflächen brach. Bis zum Ende der Begehungen am 12.7.2022 waren diese überwiegend mit Mais (ca. 3 m Höhe) bewachsen. Als Rauigkeitslänge wurde in den Ausbreitungsrechnungen einheitlich 0.1 m verwendet.

Über den gesamten Erhebungszeitraum wurden vor Ort meteorologische Messungen (278 m Seehöhe) durchgeführt (Abbildung 112). Dabei wurde mit mehreren Ultraschallanemometern in verschiedenen Höhen die Windgeschwindigkeit und -richtung erfasst, sowie die Lufttemperatur in drei Höhen und die Globalstrahlung gemessen. Aus diesen Daten wurden entsprechend ÖNORM M9440 Ausbreitungsklassen (GRAL-Methode) bestimmt. Zur Ermittlung der dafür notwendigen nächtlichen Inversion wurden Temperaturwerte der Station Klöch in 415 m Seehöhe herangezogen.



Abbildung 112: Meteorologische Messungen beim Betriebsstandort

4.4.1 Ermittlung des Geruchsemissionsfaktors

4.4.1.1 Ausbreitungsbedingungen während der Geruchserhebungen

Wie bereits erwähnt, wurden vom 10.1.2022 bis zum 12.7.2022 meteorologische Messungen am Standort des Forschungsstalls durchgeführt. Die gemessene Windrichtungsverteilung weist erwartungsgemäß aufgrund der Geländestruktur eine Nord-Südverteilung auf. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit liegt bei 1,2 m/s und die Kalmenhäufigkeit (Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s) beträgt knapp 30 %. In der Nacht treten fast ausschließlich nördliche Windrichtungen auf, tagsüber dominieren südliche Taleinwinde.

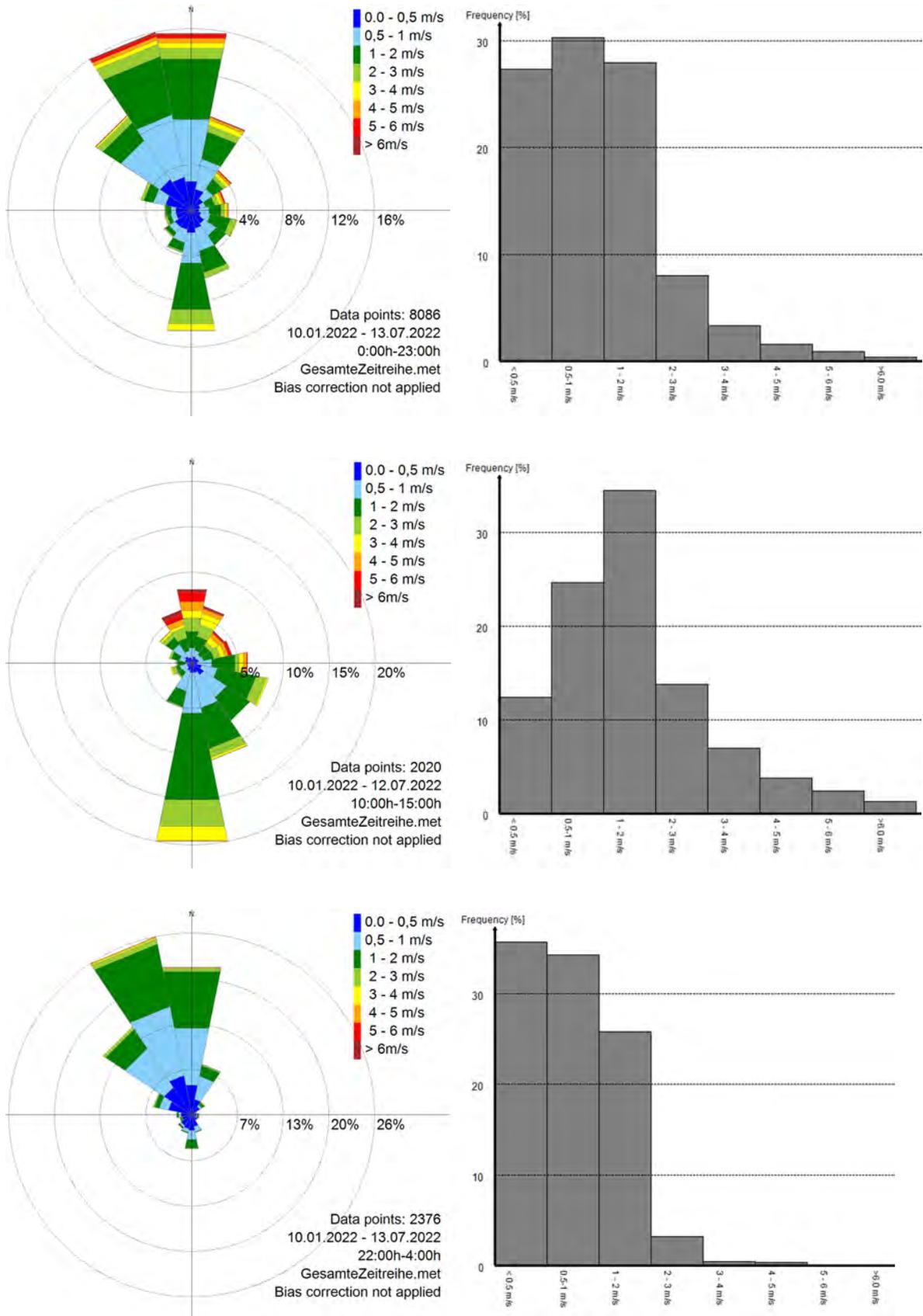


Abbildung 113: Gemessene Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung in 8 m Höhe über Grund an der Hofstelle (Oben: gesamt, Mitte: Tag, Unten: Nacht)

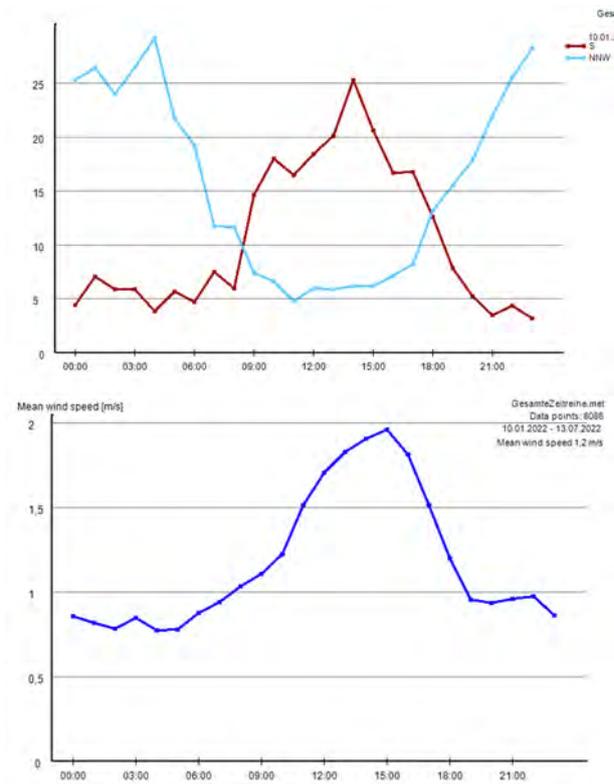


Abbildung 114: Gemessene Häufigkeit ausgewählter Windrichtungen und mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit in 8 m über Grund

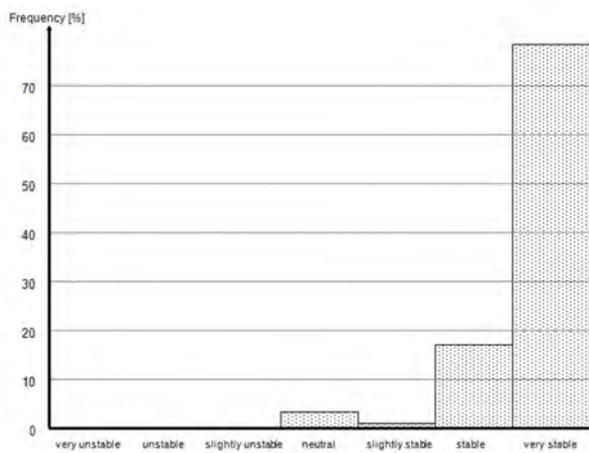
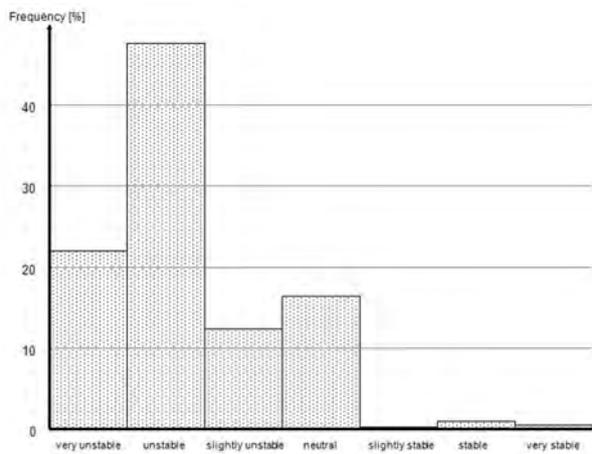
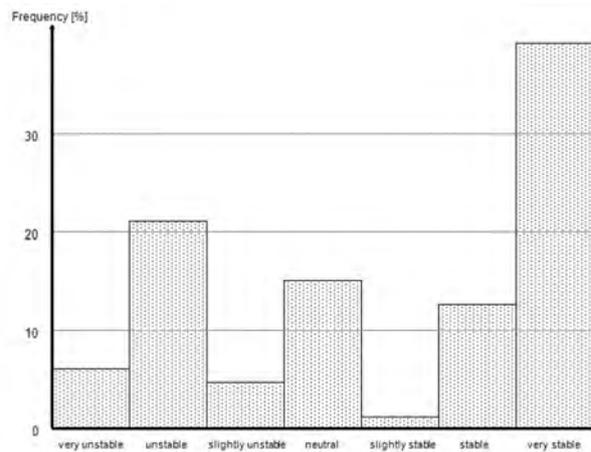


Abbildung 115: Häufigkeit der Ausbreitungsklasse
(Oben links: gesamt, Oben rechts: Tag, Unten links: Nacht)

4.4.1.2 Ergebnisse Geruchsemissionen

Für die Ermittlung der mittleren Geruchsfracht über den Beobachtungszeitraum der Geruchsbegehungen vom 10.1.2022 bis 12.7.2022 wurden die gemessenen meteorologischen Daten des gleichen Zeitraums für die Ausbreitungsberechnung verwendet. Als initiale Emissionsfracht wurde 1 MGE/h gewählt. Diese Emissionsfracht wurde im Postprocessing solange verändert, bis eine

bestmögliche Übereinstimmung zwischen erhobenen und modellierten Geruchshäufigkeiten erzielt wurde. Für die Fehlerberechnung wurde die mittlere absolute Abweichung zwischen erhobenen und modellierten Häufigkeiten herangezogen, wobei die Unsicherheit der Erhebungen entsprechend VDI 3940-1 berücksichtigt wurde. D.h. simulierte Häufigkeiten, welche innerhalb des 95 % Vertrauensintervalls der Begehungen lagen, wurden mit 0 % Abweichung berücksichtigt. Der minimale Fehler über alle acht Aufpunkte (2 % Abweichung) wurde für eine Geruchsfracht von 3,5 MGE/h erzielt (Abbildung 116). Grundsätzlich zeigt sich eine sehr gute räumliche Korrelation zwischen modellierten und erhobenen Geruchshäufigkeiten. Eine auffällige Unterschätzung zeigt sich bei den Punkten N2 und O1. Vor allem die Unterschätzung beim Punkt N2 könnte auf Hintergrundbelastungen durch bestehende tierhaltende Betriebe nördlich des Forschungsstalls erklärt werden.

Bezogen auf die mittlere Tieranzahl von 850 Mastschweinen und das mittlere Tiergewicht von 75 kg im Zeitraum der Geruchserhebungen ergibt sich ein Emissionsfaktor von rund 8 GE/GVE/s. Im Vergleich zum Basisfaktor für Mastschweine von 140 GE/GVE/s (Amt der Stmk. Landesregierung, 2021) ist dies eine Reduktion um nahezu 95 %.

Der Richtwert für Schweinegerüche im Freiland (30 % Jahresgeruchsstunden) entsprechend der Geruchsimmissionsrichtlinie Steiermark (Öttl et al., 2021) wird in Hauptwindrichtung bereits in einer Entfernung von 120 m eingehalten und außerhalb der Hauptwindrichtungen bereits in weniger als 40 m (Abbildung 117). Der entsprechende Richtwert für Dorfgebiete (20 % Jahresgeruchsstunden) wird in Hauptwindrichtung ab einer Entfernung von 170 m nicht mehr überschritten.

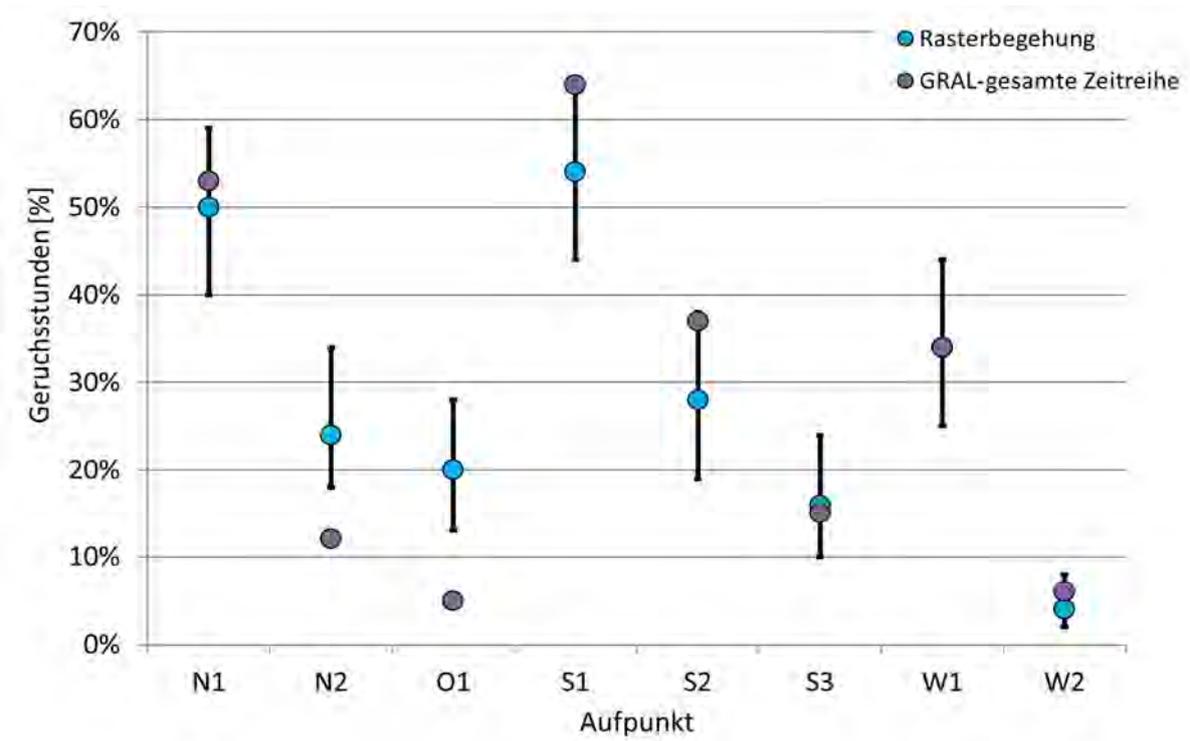


Abbildung 116: Erhobene und modellierte Geruchshäufigkeiten mit einer mittleren Emissionsfracht von 3,5 MGE/h

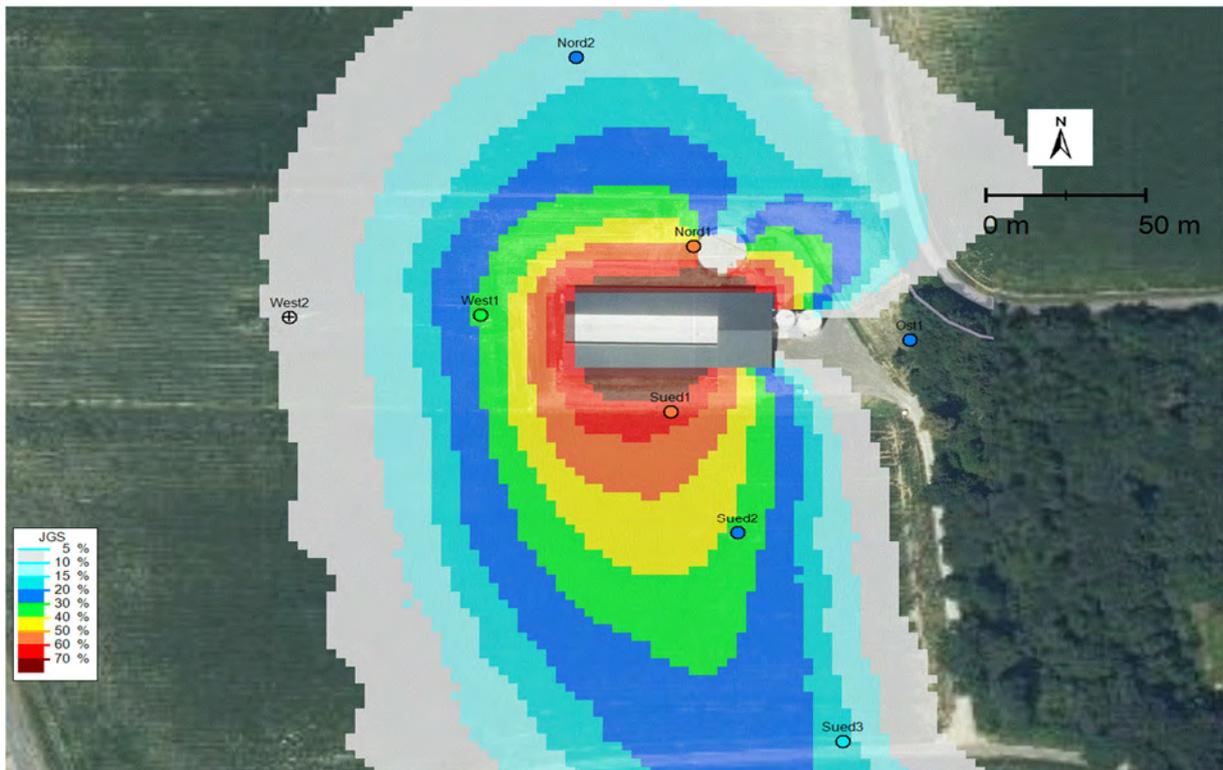


Abbildung 117: Ergebnis der Ausbreitungsberechnung für eine mittlere Emissionsfracht von 3,5 MGE/h und Vergleich mit den bei der Rasterbegehung erhobenen Geruchshäufigkeiten

Die gewählte Methodik zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für Geruch und Ammoniak auf Basis von Immissionsmessungen und Ausbreitungsrechnungen ist nicht geeignet, um die Reduktionswirkungen der einzelnen Minderungsmaßnahmen im Forschungsstall zu ermitteln.

Für konventionelle Mastschweineeställe wird in der Steiermark üblicherweise eine Emissionsminderung von 10 % durch den Einsatz von Cool Pads angenommen. Aufgrund der getrennten Funktionsbereiche im Forschungsstall wirkt die gekühlte Zuluft ausschließlich im Bereich der Ruhebuchten im Stallinneren, wo die Tiere nicht koten. Aus diesem Grund ist nicht davon auszugehen, dass die gekühlte Zuluft emissionsmindernd wirken kann. Die Zuluftkühlung hat demnach ausschließlich eine Bedeutung für das Tierwohl und insbesondere Auswirkungen auf das Verhalten der Tiere im Sommer in dem Sinne, dass die Schweine im Sommer tagsüber den Ruhebereich vermehrt aufsuchen.

Für Außenklimaställe wird derzeit in der Steiermark von einer 20 %-igen Reduktionswirkung gegenüber geschlossenen Stallsystemen aufgrund der jahresdurchschnittlich niedrigeren Temperatur und damit einhergehend geringeren Verdunstungsrate ausgegangen (Eurich-Menden et al 2011, VDI 3894-1).

Der Minderungsfaktor für zwei- und dreiphasige Fütterung im Schweinemastbereich im Ausmaß von 20 % wurde aus den Studien von Öttl et al. (2018), Mösenbacher et al. (2011), Untersuchungen von Le et al. (2007) und den NH₃-Minderungsangaben der VDI 3894-1 abgeschätzt, wobei angenommen wurde, dass die Geruchsminderungen etwa der Hälfte der entsprechenden gemessenen NH₃-Reduktionen betragen, wie beispielsweise Vergleichsmessungen von Geruchs- und NH₃-Minderungen bei Futtermittelzusätzen (z. B. Mösenbacher et al., 2011; Zentner et al., 2010) zeigten. Die funktionelle Trennung der Aktivitätsbereiche geht mit einer Reduktion der Fläche für das Koten einher. Auf Basis der Untersuchungen von Ogink und Lens (2001) werden in Holland für begrenzte Emissionsflächen ein Minderungspotenzial von etwa 50 % angegeben. Feldbegehungen und Modellrechnungen durch den TÜV Austria (2018) an einem Offenfrontstall mit Multiphasenfütterung, permanenter Entmistung sowie Kot-Harn Trennung erbrachten einen mittleren Emissionsfaktor von 20 GE/GVE/s. Zu beachten ist, dass die mittlere Temperatur bei den Begehungszeiträumen bei 15,8 °C lag. Dagegen liegt die mittlere Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsraum bei 9,4 °C. Wie im Bericht des TÜV Austria (2018) ausgeführt, könnte die tatsächliche Geruchsemission im Jahresmittel, basierend auf Untersuchungen von Schrade et al. (2013), um 50 % niedriger liegen, was einem jahresdurchschnittlichen Emissionsfaktor von 10 GE/GVE/s entspräche. Dieser Faktor ist in sehr guter Übereinstimmung mit dem ermittelten Emissionsfaktor in dieser Studie, der aufgrund des langen Untersuchungszeitraums bereits dem jahresdurchschnittlichen Emissionsfaktor entspricht.

4.4.2 Ermittlung der Ammoniakemissionsfaktoren

Als Eingangsdaten für die Ermittlung der NH₃-Emissionsfaktoren dienten die gemessenen Monatsmittelwerte der NH₃-Konzentrationen von Jänner bis November 2021. Für diesen Zeitraum standen auch die dafür erforderlichen meteorologischen Eingangsdaten als 10-Minutenmittelwerte zu Verfügung.

4.4.2.1 Ausbreitungsbedingungen für den Zeitraum der NH₃-Messungen

Im Gegensatz zu den meteorologischen Messungen durch die A15 – Referat Luftreinhaltung, welche erst Anfang 2022 starteten, wurden für den Zeitraum vom Jänner bis November 2021 auf die lokal gemessenen Daten durch die HBLFA Raumberg-Gumpenstein zurückgegriffen. Um die Ausbreitungsklassen entsprechend ÖNORM M9440 bestimmen zu können, musste auf Globalstrahlungswerte der Station Klösch zurückgegriffen werden. Der nächtliche Temperaturgradient wurde zwischen den gemessenen Daten in 15 m und 5 m gebildet. Die gemessene Windrichtungsverteilung weist erwartungsgemäß aufgrund der Geländestruktur eine Nordwest-Südostverteilung auf. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit liegt bei 1,4 m/s und die Kalmenhäufigkeit (Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s) beträgt 10 %. In der Nacht treten fast ausschließlich nordwestliche Windrichtungen auf, tagsüber dominieren südöstliche Taleinwinde.

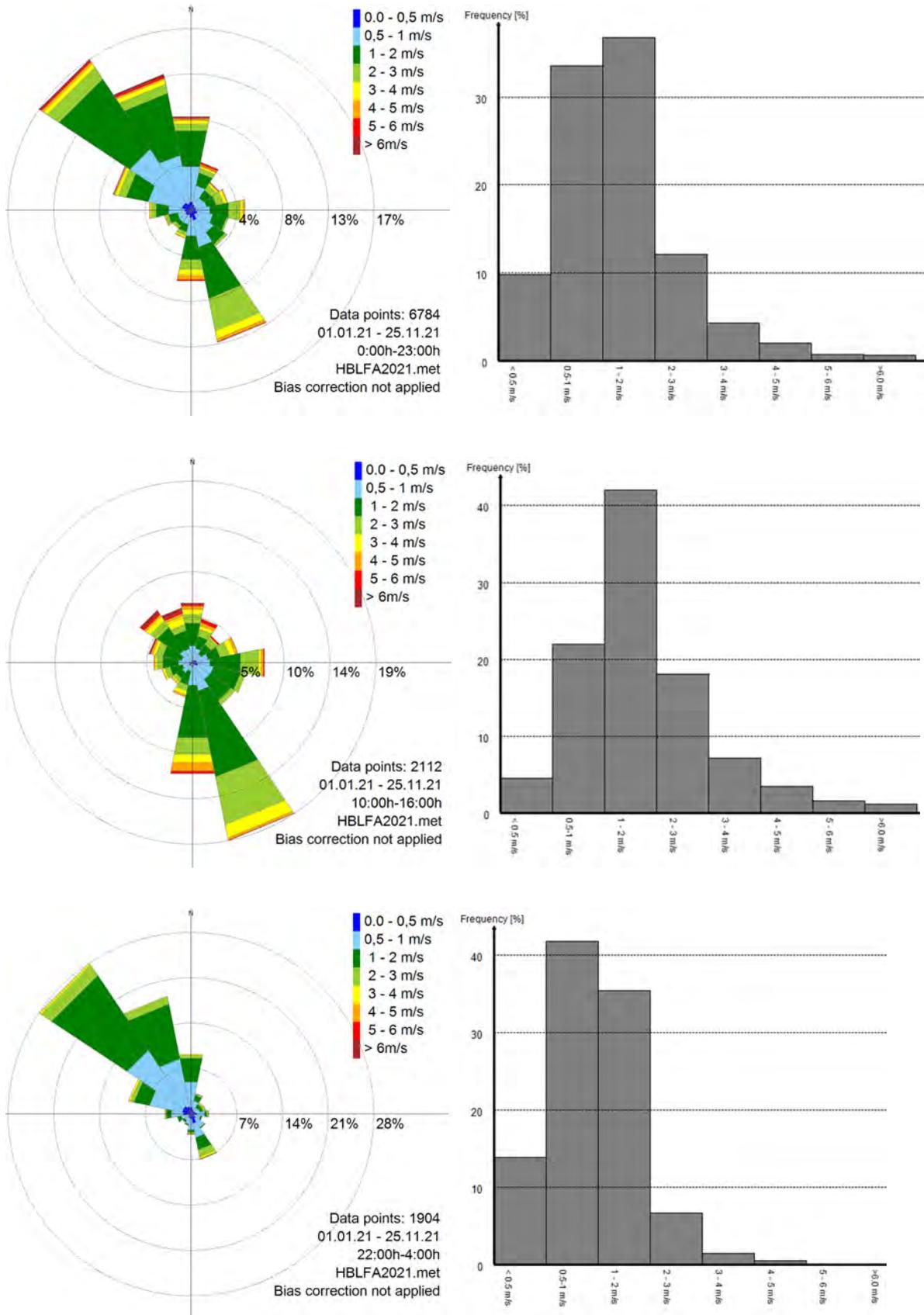


Abbildung 118: Gemessene Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung in 10 m Höhe über Grund an der Hofstelle (Oben: gesamt, Mitte: Tag, Unten: Nacht)

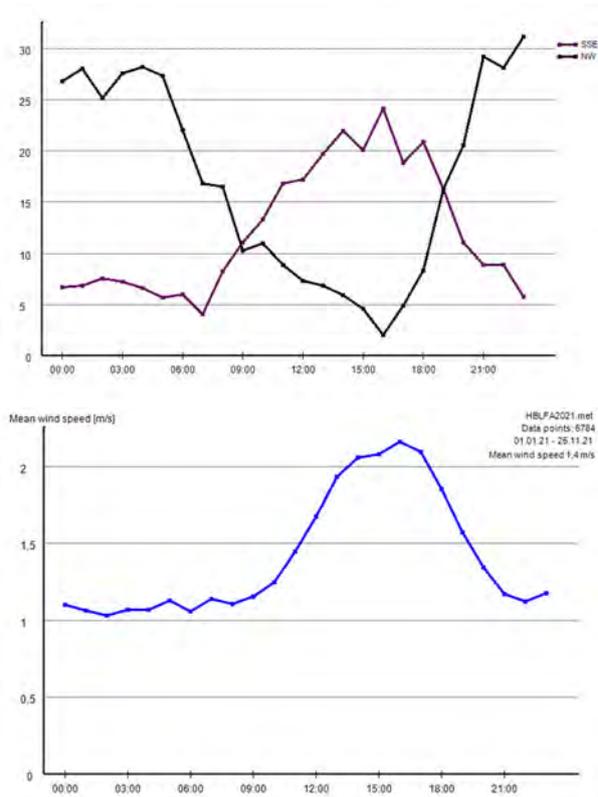


Abbildung 119: Gemessene Häufigkeit ausgewählter Windrichtungen und mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund

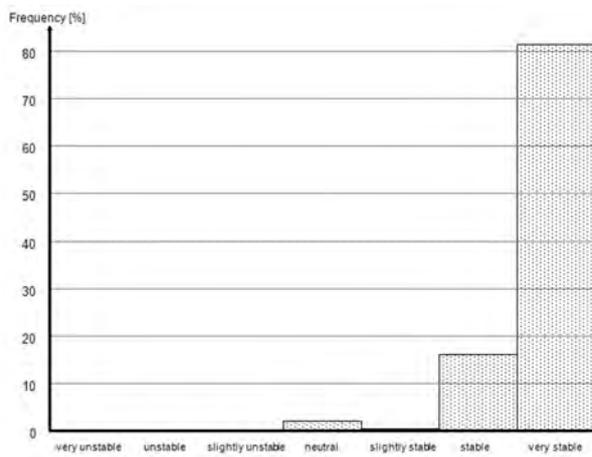
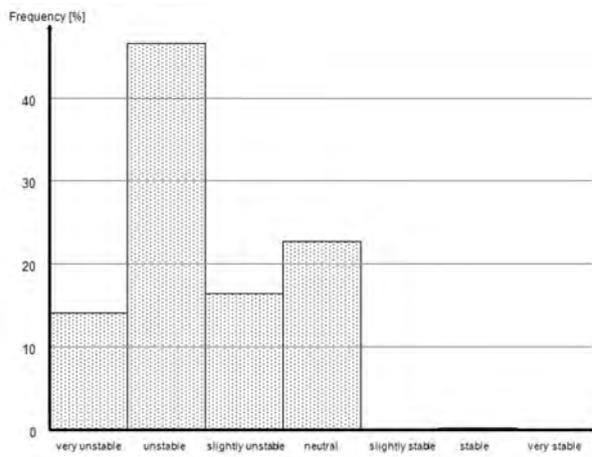
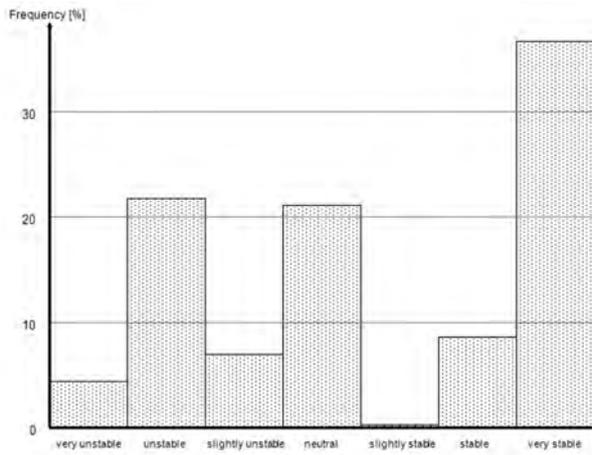


Abbildung 120: Häufigkeit der Ausbreitungsklassen (Oben links: gesamt, Oben rechts: Tag, Unten links: Nacht)

4.4.2.2 Ergebnisse

Analog wie zu den Geruchsmodellierungen wurde von einer initialen Emissionsfracht von 1 kg/h ausgegangen. Diese Emissionsfracht wurde im Anschluss derart optimiert, dass eine bestmögliche Übereinstimmung (minimaler *Bias*) mit den gemessenen Konzentrationen erzielt wurde:

$$Bias = \sum_k \sum_i \sum_n |B_n - (M_n \cdot f_i + H_k)|$$

Hierbei ist B_n die jeweilige monatsdurchschnittliche gemessene Konzentration am Messpunkt n , M_n die von GRAL modellierte monatsdurchschnittliche Konzentration an diesem Messpunkt, f_i die modulierte Emission und H_k die modulierte Hintergrundbelastung, die räumlich homogen angenommen wurde. Letztere Hypothese stellt eine gewisse Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse dar, da eine gewisse Inhomogenität aufgrund bestehender umliegender Betriebe angenommen werden muss.

Abbildung 121 zeigt die auf diese Weise modellierte räumliche Gesamtbelastung und die entsprechenden gemessenen durchschnittlichen Werte für den Zeitraum vom Jänner bis November 2021. Die modellierten und gemessenen Werte an den einzelnen Messpunkten ist zudem in Abbildung 122 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass mit den über alle Monate gemittelten optimierten Werten

$$\bar{f}_i = 0.07 \text{ kg/h und } \bar{H}_k = 4.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

sehr gute Übereinstimmungen erzielt werden können. Bezogen auf 850 Mastschweine entspricht dies einem mittleren Emissionsfaktor von 0,73 kg/a/TP. Gegenüber dem entsprechenden Basisfaktor der VDI 3894-1 von 3,64 kg/TP/a ergibt sich damit entsprechend dieser Untersuchungen ein um rund 80 % niedriger Faktor.

In Abbildung 123 sind die berechneten Monatsmittelwerte der Emissionsfaktoren abgebildet. Auffällig sind vor allem die niedrigen Werte in den Monaten Juni und Juli.

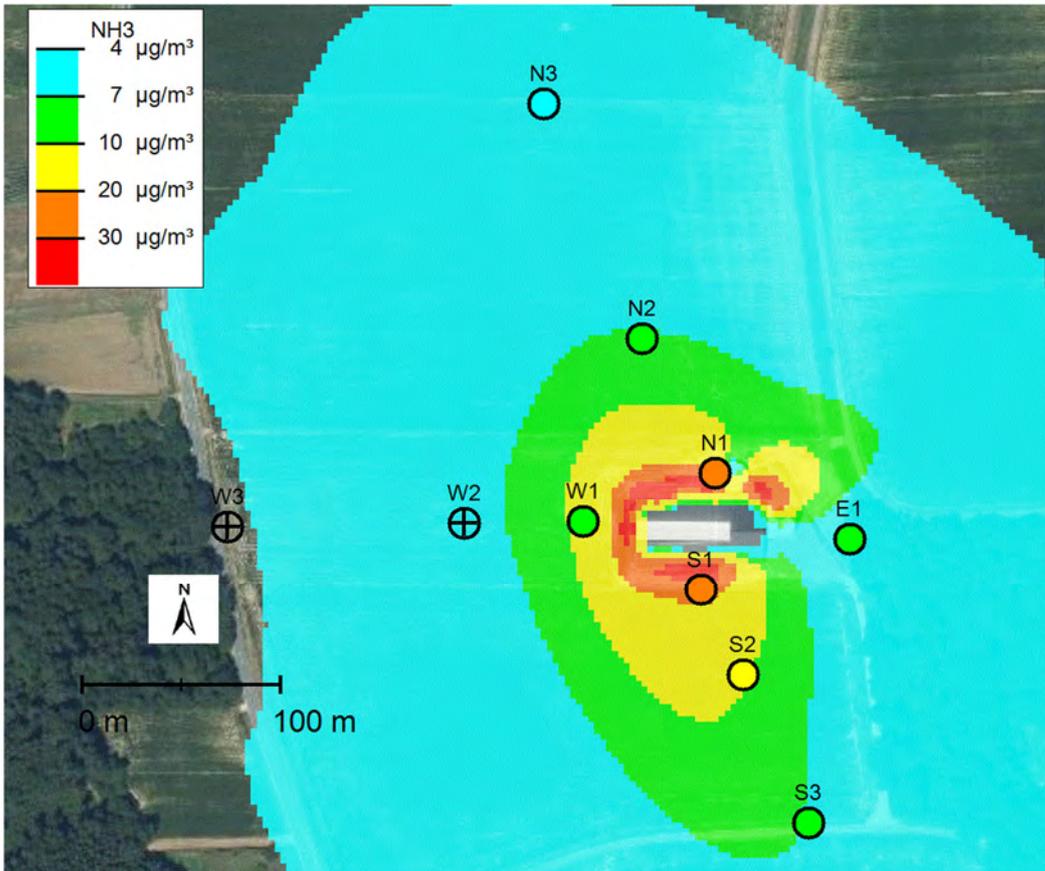


Abbildung 121: Vergleich der modellierten NH_3 -Immissionsbelastung für eine mittlere Emissionsfracht von $0,07 \text{ kg/h}$ und einer durchschnittlichen Hintergrundbelastung von $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den gemessenen NH_3 Konzentrationen

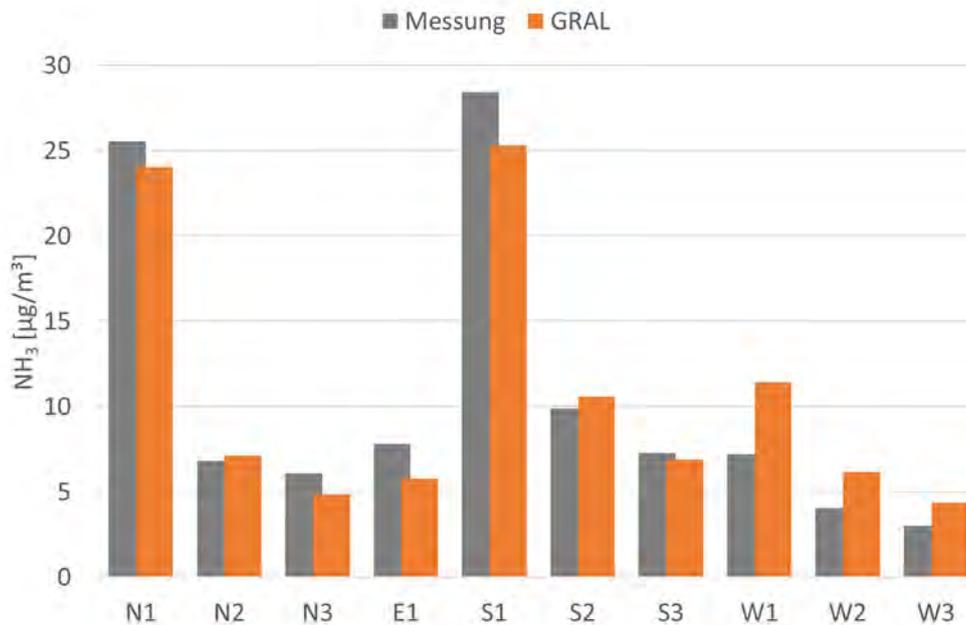


Abbildung 122: Vergleich zwischen gemessenen und simulierten NH_3 -Konzentrationen an den einzelnen Messpunkten

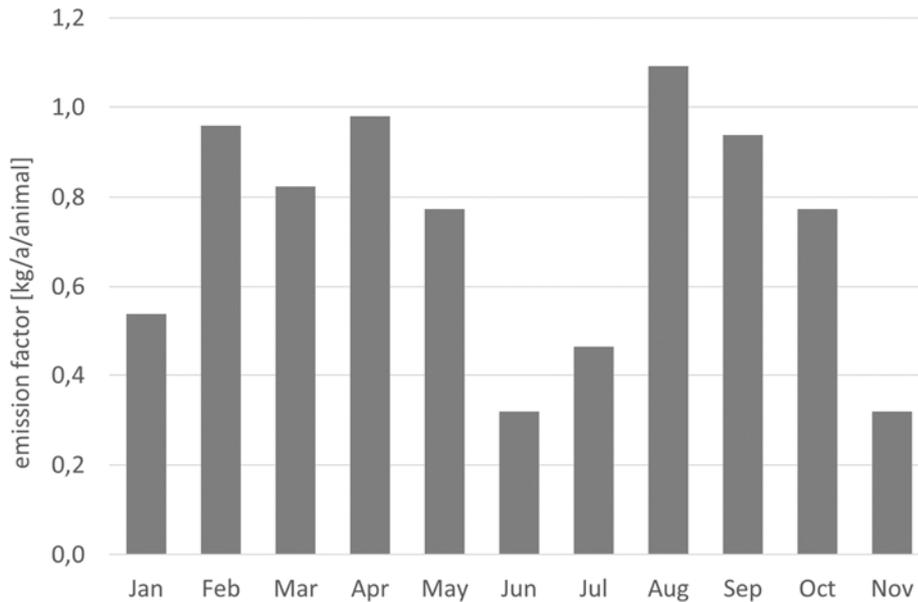


Abbildung 123: Berechnete Emissionsfaktoren für die einzelnen Monate

Der jahreszeitliche Verlauf der simulierten Hintergrundbelastungen ist in Abbildung 124 ersichtlich. Hier zeigt sich erwartungsgemäß, dass im Frühjahr und Spätherbst höhere Hintergrundbelastungen auftreten, was auf die Wirtschaftsdüngerausbringung auf die umliegenden Felder zurückzuführen ist. Der Mittelwert von $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Hintergrundbelastung ist in sehr guter Übereinstimmung mit jüngsten Messergebnissen in der Süd- und Oststeiermark.

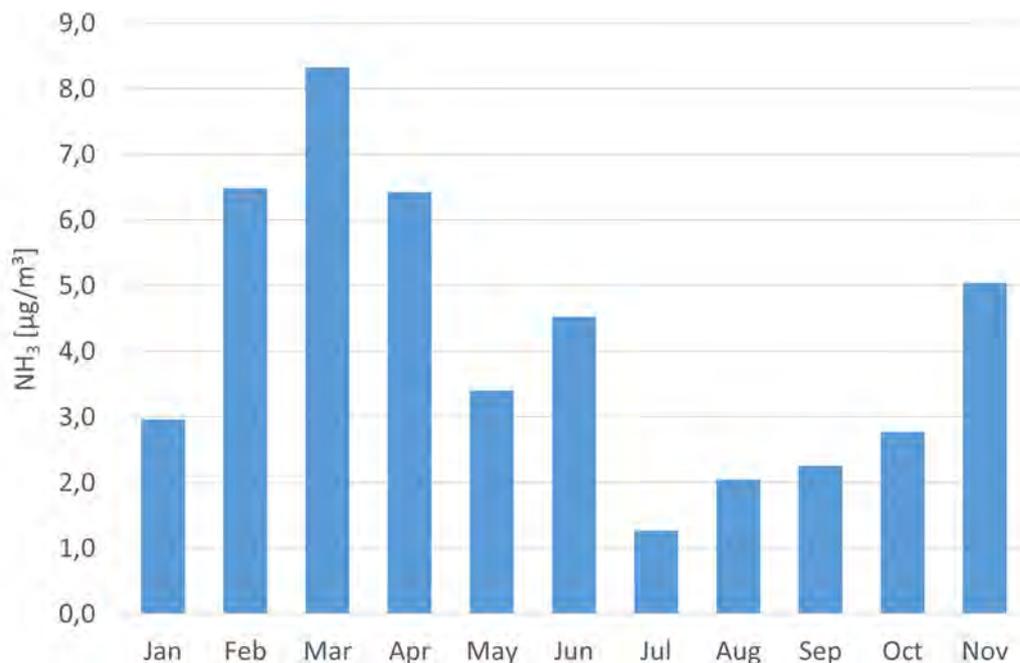


Abbildung 124: Berechnete Monatsmittelwerte der NH₃-Hintergrundkonzentration

4.5 Literaturverzeichnis

- Amt der Stmk. Landesregierung (2021): Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. Bericht Nr. LU-01-21, 12 S
- Bachler (2019): Geruchsgutachten für die Errichtung eines Stallgebäudes mit 850 Mastschweineplätzen vom 27.5.2019 (GZ: ABT15-98401/2018-8)
- BMWFJ (2013): Technische Grundlage zur Qualitätssicherung in der Luftschadstoff-Ausbreitungsrechnung. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien, 27 S
- Broer, L. (2021): Geruchs-Emissionsmessungen an freibelüfteten Schweinställen. VDI Tagung Gerüche in der Umwelt, Wiesbaden 24.-25.11.21, Bericht Nr. 2383, 31-40
- EN 16841-1 (2016): Ambient air – Determination of odour in ambient air by using field inspection – Part 1: Grid method. Draft version. 53 pp
- Eurich-Menden, B., H. Döhler, H. Van den Weghe (2011): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventaren – Teil 2: Geflügel und Mastschweine. Landtechnik, 66, 60 - 63
- Green, S.R. (1992): Modeling turbulent air flow in a stand of widely-spaced trees. The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics and its Applications 5, 294 – 312, Wimbledon
- Le, P.D., A.J.A. Aarnink, A.W. Jongloed, C.M.C. Van der Peet-Schwering, N.W.M. Ogink, and M.W.A. Verstegen (2007): Effects of dietary crude protein level on odour from pig manure. Animal, 1, 734-744
- Mösenbacher, I., G. Huber, J. Gasteiner, Ch. Bachler, M. Mayer, J. Zainer, S. Brettschuh, B. Rudorfer, A. Schauer, R. Kitzer, J. Kaufmann, B. Steiner (2011): Untersuchung eines Futtermittelzusatzes im Hinblick auf Emissionsminderung und Leistungsdaten unter Berücksichtigung der IEP (IPPC)-Richtlinie. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 3594, 32 S
- Ogink, N.W.M., P.N. Lens (2001): Odour emissions from livestock operations (original title: Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage van geurmetingen in de vakrenshoudrij, pluimveehouderij en rundveehouderij). Institute for agricultural and Environmental Engineering IMAG-DLO, Netherlands
- ÖNORM EN 13725 (2006): Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchskonzentration mit dynamischer Olfaktometrie (konsolidierte Fassung), 74 S
- ÖNORM M9440 (2019): Ausbreitung von luftverunreinigenden Stoffen in der Atmosphäre. Berechnung von Immissionskonzentrationen. Wien, 22 S
- Öttl, D. (2015): Quality assurance of the prognostic, microscale wind-field model GRAL 14.8 using wind-tunnel data provided by the German VDI guideline 3783-9. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 142, 104-110
- Öttl, D. (2020): Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL Vs. 20.1. Amt d. Stmk. Landesregierung, Graz, 208 S. <http://lampz.tugraz.at/~gral/>
- Öttl, D., A. Goulart, G. Degrazia, D. Anfossi (2005): A new hypothesis on meandering atmospheric flows in low wind speed conditions. Atmos. Environ., 39, 1739 - 1748
- Öttl, D., and E. Ferrero (2017): A simple model to assess odour hours for regulatory purposes. Atmospheric Environment, 155, 162-173
- Öttl, D., H. Moshammer, M. Mandl, L. Weitensfelder (2021): Richtlinie zur Beurteilung von Geruchsimmissionen. Amt d. Stmk. Landesregierung, Bericht Nr. LU-02-21, 20 S. http://app.luis.steiermark.at/berichte/Download/Fachberichte/ABT15_Lu_02_2021_Geruchsrichtlinie.pdf
- Öttl, D., M. Kropsch, and M. Mandl (2018): Odour assessment in the vicinity of a pig-fattening farm using field inspections (EN 16841-1) and dispersion modelling. Atmos Environ, 181, 54-60
- Schrade, S., B. Steiner und M. Keck (2013): Ammoniakemissionen aus Milchviehställen und Maßnahmen zur Minderung. In: Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2013, 33-40, <https://www.researchgate.net/publication/264155543>

- TÜV Austria (2018): Geruchsbegehungen und Ausbreitungsrechnungen am Außenklima-Schweinestall Langdorf 3, 4714 Meggenhofen. Bericht Nr. 17-IN-AT-UW-WE-EX-267, 97 S
- VDI 3894-1: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Düsseldorf (2009) S 46
- VDI 3940-1: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Rastermessung. Düsseldorf 2006
- Zentner, E., G. Huber, I. Mösenbacher-Molterer, J. Gasteiner, Ch. Bachler, S. Brettschuh, M. Mayer, J. Zainer, Th. Guggenberger, A. Leithold, A. Schauer, M. Urdl, M. Velik, J. Kaufmann, B. Steiner, R. Kitzer (2010): Abschlussbericht Biomin Futterzusatz. Untersuchung eines Futtermittelzusatzes im Hinblick auf Emissionsminderung und Leistungsdaten. LFZ Raumberg-Gumpenstein, 27 S

5 Ammoniakemissionen und Immissionen

Andreas Zentner, Abteilung für Innenwirtschaft; HBLFA Raumberg-Gumpenstein

5.1 Zusammenfassung

Um die Emissions- und Immissionsbelastung dieses neuartigen Stallsystems zu bemessen, wurden 2 Messmethoden angewandt. Im Außenbereich des Versuchsstalles wurde die Passivsammlermethode (Radiellos) eingesetzt und im Innenbereich kam ein Fourier-Transform-Infrarotspektrometer zum Einsatz. Im Außenbereich wurde mittels 10 Messpunkten in allen Windrichtungen und unterschiedlichen Entfernungen die Ammoniakbelastung durch das angewandte Schweinemastsystem erhoben. Die Auswertung über die LfL-Bayern ergab durchwegs geringe NH_3 -Konzentrationen. Im Nahbereich des Versuchsstalles (135 m) ist somit mit keiner negativen Ammoniakbelastung durch das angewandte Schweinemastsystem mehr zu rechnen. Einzelne erhöhte Belastungen im Frühjahr sind durch die Düngearbeiten rund um den Versuchsstall und der Region selbst zu erklären. Vergleichbare Ergebnisse lieferte dabei auch die Infrarotspektroskopie im Innenbereich. Alle drei Funktionsbereiche (Ruhebereich, Fressbereich und Kotbereich) zeigten dabei sehr geringe Ammoniakkonzentrationen (maximal 3,1 ppm) im Vergleich zu einem konventionellen Schweinemastsystem. Eine Reduktion von bis zu 81,2 % NH_3 konnte hierbei erzielt werden. Eine erwartete, höhere Belastung in den Sommermonaten blieb ebenso aus und auch die errechneten Ammoniakbelastungen in kg Emissionen/Tierplatz/Jahr zeigen deutlich geringere Werte als das konventionelle System. Das angewandte System (Emissionsarmer Tierwohlstall für die Schweinemast) ist aus Sicht der Ammoniakemissionen als positive Alternative zur konventionellen Schweinemast zu sehen.

5.2 Summary

In order to measure the emission and immission load of this novel barn system, 2 measurement methods were applied. In the outdoor area of the test barn, the passive collector method (radielless) was used, and in the indoor area a Fourier transform infrared spectrometer was used.

In the outdoor area, 10 measuring points in all wind directions and different distances were used to collect the ammonia pollution caused by the applied pig fattening system. The evaluation via LfL-Bayern showed consistently low NH_3 concentrations. In the vicinity of the test barn (135m), no negative ammonia pollution from the applied pig fattening system is to be expected. Individual increased loads in spring can be explained by the fertilization work around the test barn and the region itself. Comparable results were also obtained by infrared spectroscopy in the indoor area. All three functional areas (resting area, feeding area and manure area) showed very low ammonia

concentrations (maximum 3.1 ppm) compared to a conventional pig fattening system. A reduction of up to 81,2 % NH₃ could be achieved. An expected higher load in the summer months also did not occur and also the calculated ammonia loads in kg emissions/animal place/year show significantly lower values than the conventional system.

The applied system (low-emission animal welfare house for pig fattening) is to be seen as a positive alternative to conventional pig fattening from the point of view of ammonia emissions.

5.3 Material und Methoden

Um die Emissionen und Immissionen im gegebenen Projekt zu erheben, kamen verschiedenen Messmethoden zum Einsatz. Da die Ammoniakimmission rund um einen derartigen Schweinemaststall einen äußerst wichtigen Parameter darstellt, wurde hierzu mit Passivsammlern die Ammoniakbelastung erhoben. Im Innenraum des Stalles wurde mit Hilfe eines Fourier-Transform-Infrarotspektrometers und anschließender CO₂-Bilanzierung die Ammoniakbelastung im Tierbereich berechnet.

5.3.1 Ammoniakmessungen im Außenbereich – NH₃-Passivsammler

Rund um den Versuchsstall wurden in allen vier Himmelsrichtungen je drei Messsäulen in einem Abstand von ca. 15 m, 130 m und 250 m zum Versuchsstall aufgestellt. Um das Immissionsmonitoring im Außenbereich und der Umgebung von Gebäuden durchzuführen, wurden Passivsammler eingesetzt, welche auf den 3 m hohen Säulen montiert wurden (Abbildung 125).



Abbildung 125: Eine von insgesamt 10 Messsäulen mit montierten Radiellos zur Ammoniakmessung sowie der Positionsplan mit den 10 Messpunkten (Zentner, 2020)

Die vorgefertigten Röhren (Radiellos) befanden sich in einem blauen Diffusionskörper durch welche die Umgebungsluft diffundiert und so die Ammoniakpartikel in den Radiellos festgehalten wurden (vgl., Puchalski, M.A.; et al; 2011). Je zwei Radiellos befanden sich auf einer Messsäule (siehe Abbildung 126).



Abbildung 126: Zwei Radiellos in den Diffusionskörpern zur Erhebung der Ammoniakbelastung

Die Erhebung der Ammoniakdaten aus der Umgebungsluft wurde im Oktober 2020 begonnen und monatlich bis März 2022 erhoben. Die Ergebnisse wurden durch die LfL-Bayern ausgewertet (siehe Auswertung der NH₃-Passivsammlerdaten).

5.3.2 Ammoniakmessungen im Innenbereich – Fourier-Transform-Infrarotspektrometer

Um die Ammoniakbelastung im Innenbereich des Stalles und in den einzelnen Funktionsbereichen der Schweinemastbuchten zu erheben, wurde auf die Methodik der FTIR (Fourier-Transform-Infrarotspektrometer) - Emissionsmessung zurückgegriffen (vgl., Bjerneberg, D; et al; 2009). Diese Messmethode wird zur Erfassung von Gasen in Stallungen oder mit Messhauben angewendet (vgl., Galle B.; et al; 2000). Das FTIR-Messgerät wurde von der DLG-Deutschland zur Verfügung gestellt und sollte 4-mal pro Jahr (Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter), 10 Tage lang die NH₃-Emissionen aufzeichnen (Abbildung 127).



Abbildung 127: FTIR-Anlage der DLG Deutschland. Spektrometer + Sampler und Bedienungseinheit

Die Erhebungen werden in der Mitte des Stalles in je einer nördlichen und einer südlichen Mastbucht (beide sind baugleich) durchgeführt. Dazu wurden je Bucht drei Gasmessleitungen (insgesamt 6) in den einzelnen Funktionsbereichen installiert- im Ruhebereich (innen), im Fressbereich und Kotbereich (siehe Abbildung 128). Anzumerken ist, dass Emissionsmessungen in Offenstallungen äußerst schwierig durchzuführen sind und die FTIR-Messung mit nur 6 Messpunkten (Nord- und Südbucht) nicht hinreichend genau ist (eine passendere Methodik wäre hier die hier z.B. die Tracergasmethode gewesen). Optimale Messmethoden für derartige Stallsysteme sind derzeit in Entwicklung.



Abbildung 128 und Abbildung 129: Gasmessleitung mit Staubfilter im Ruhebereich der nördlichen Bucht und im Kotbereich

Um aus den erhobenen FTIR-Daten Emissionsfaktoren berechnen zu können (vgl., VDI 3894), wurde noch der Luftvolumenstrom zu unterschiedlichen Jahreszeiten im Innen- und Außenbereich erhoben. Über die CO₂-Bilanz und Durchschnittsdaten der Mastschweine konnten Emissionsfaktoren für 4 verschiedene Jahreszeiten für den gesamten Stall errechnet werden (siehe Ergebnisse).

5.4 Ergebnisse

5.4.1 Auswertung der NH₃-Passivsammlerdaten (Außenbereich)

Windexposition des Standortes (Auswertung von Geschwindigkeits- und Richtungsdaten in 5 m Höhe, da bodennächste Erhebungen):

Die beobachtete Hauptwindrichtung lag bei Nord bis Nordwest (vgl. Abbildung 130 und Tabelle 21), ansonsten wurde häufiger eine Anströmung aus Süd bis Südsüdost beobachtet. Wind aus östlicher Richtung trat hingegen nur selten auf, ebenso Wind aus südwestlicher bis westlicher Richtung. Am Untersuchungsstandort wurden vorwiegend niedrige (bis sehr niedrige) Windgeschwindigkeiten bis 1,5 m/s aufgezeichnet. Ansonsten lagen sie zumeist unter 3 m/s, nur sehr selten wurden Geschwindigkeiten von über 5 m/s gemessen (absolutes Maximum bei rund 10 m/s). Im Aufzeichnungszeitraum März bis Mai 2021 wurden insgesamt die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten beobachtet.

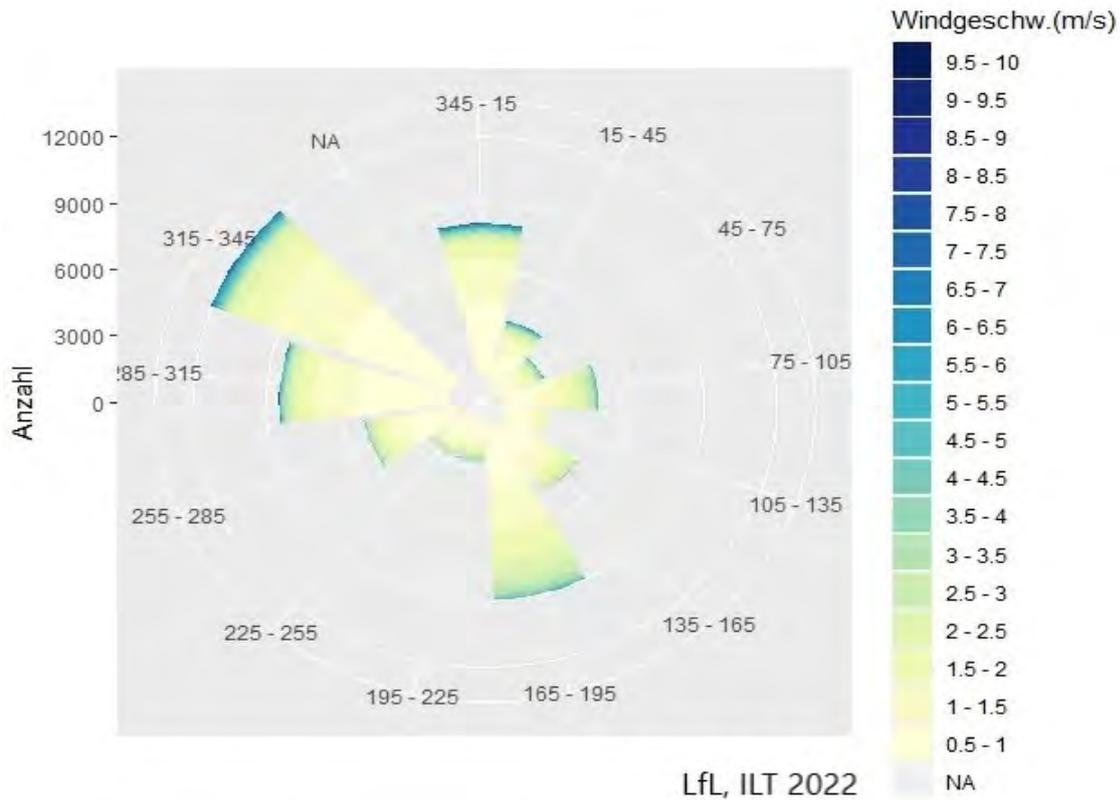


Abbildung 130: Windrose für den Untersuchungsstandort (Windgeschw. und –richtung in 5 m Höhe über Grund; Beobachtungszeitraum 1.10.2020 – 31.03.2022)

Tabelle 21: Verteilung rel. Windrichtungshäufigkeiten (in %) während des Beobachtungszeitraums

Windrichtungen	von ...°	bis ...°	cum_rel_Hfgkt_Windrich_5m in [%]	rel_Hfgkt_Windrich_5m [%]
N	348,75	11,25	7,9	7,9
NNO	11,25	33,75	12,3	4,4
NO	33,75	56,25	15,1	2,8
ONO	56,25	78,75	17,9	2,8
O	78,75	101,25	22,8	4,9
OSO	101,25	123,75	25,8	3,0
SO	123,75	146,25	28,2	2,5
SSO	146,25	168,75	34,9	6,7
S	168,75	191,25	44,2	9,3
SSW	191,25	213,75	47,2	3,0
SW	213,75	236,25	49,6	2,3
WSW	236,25	258,75	52,5	2,9
W	258,75	281,25	57,5	5,0
WNW	281,25	303,75	64,5	7,0
NW	303,75	326,25	75,8	11,4
NNW	326,25	348,75	87,1	11,2
				87,1

Tabelle 22: Windgeschwindigkeiten während des Beobachtungszeitraums

Jahr	Monat	Min_5mGeschw [m/s]	Max_5mGeschw [m/s]	Mittel_5mGeschw [m/s]	Median_5mGeschw [m/s]
2020	Okt	0,0	5,1	1,0	0,8
2020	Nov	0,0	4,5	0,8	0,7
2020	Dez	0,0	3,4	0,8	0,7
2021	Jan	0,0	6,6	1,0	0,8
2021	Feb	0,0	6,8	1,1	0,8
2021	Mrz	0,0	8,6	1,4	1,0
2021	Apr	0,0	7,7	1,6	1,2
2021	Mai	0,0	10,0	1,5	1,2
2021	Jun	0,0	8,5	1,1	0,9
2021	Jul	0,0	5,3	1,1	0,9
2021	Aug	0,0	6,0	0,6	0,5
2021	Sep	0,0	4,6	0,6	0,5
2021	Okt	0,0	5,0	0,9	0,7
2021	Nov	0,0	4,2	0,8	0,7
2021	Dez	0,0	5,4	0,8	0,7
2022	Jan	0,0	7,7	1,0	0,7
2022	Feb	0,0	7,8	1,3	0,9
2022	Mrz	0,0	6,9	1,3	1,1

5.4.2 Ammoniak-Immissionsmessungen mit Passivsammlern (Typ „Radiello“)

Jede Trasse wurde mit 3 Messorten (außer bei der östliche Trasse- nur der 15 m Messpunkt) in Stallabständen von 15 m, 135 m und 255 m bestückt. Dabei wurde jeder Messort jeweils mit zwei Passivsammlern zum Zweck der Doppelbestimmung bestückt. Die Auswertung der erhobenen Ammoniakimmissionskonzentrationen erfolgte auf Basis gewichteter Mittelwerte, da auf diesem Weg eine Zuordnung zu den einzelnen Monaten möglich war. Schließlich wurde der Sammlerwechsel i.d.R. innerhalb eines Monats vorgenommen.

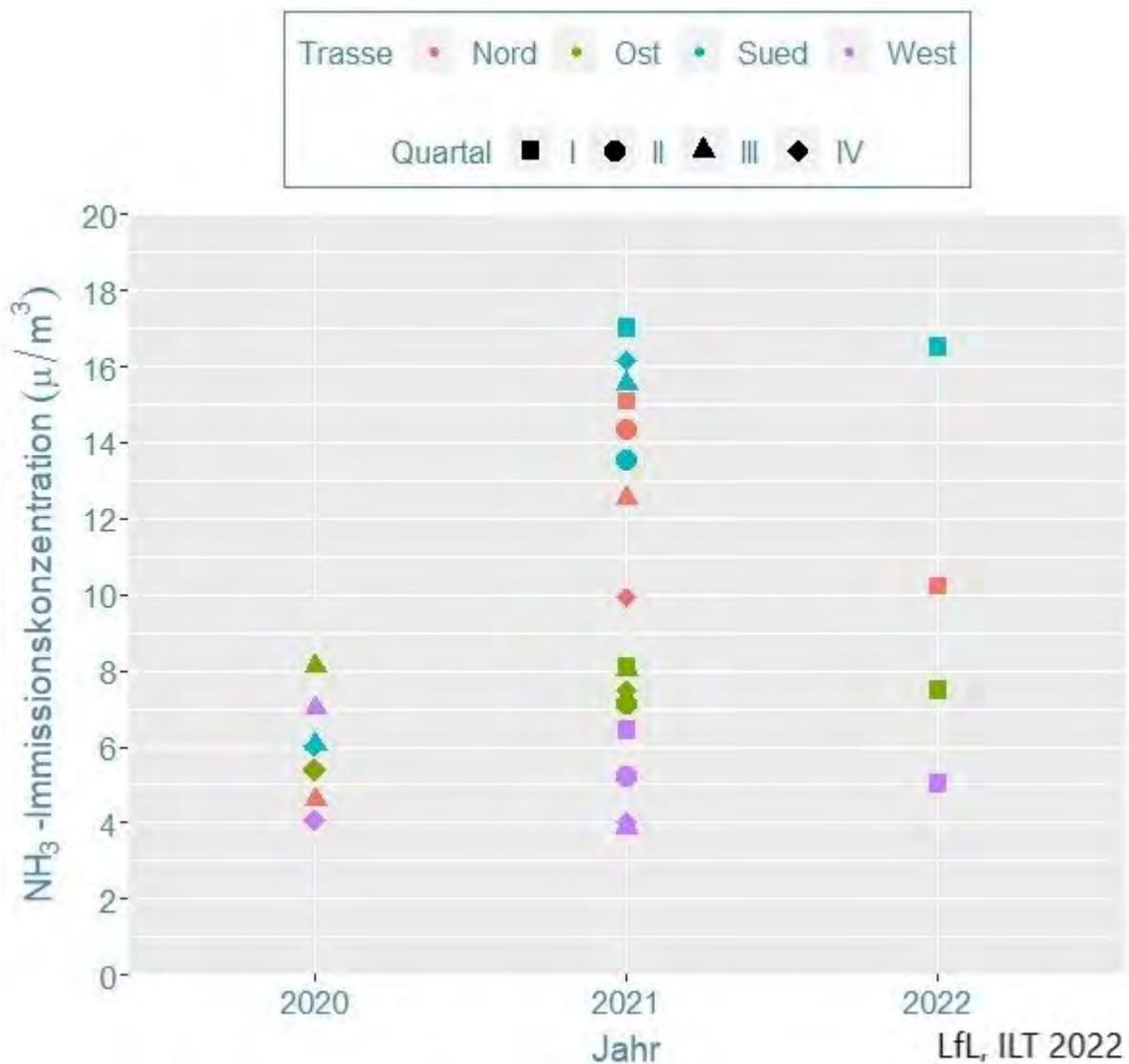


Abbildung 131: NH₃-Immissionen (Darstellung nach Jahr, Quartal und Trasse) im Beobachtungszeitraum (09/2020 – 02/2022) – gewichtetes Mittel

Es wurde eine trassenweise Darstellung bzw. Auswertung gewählt, d.h. alle drei Messorte einer Trasse wurden gemeinsam ausgewertet. Alle vier Quartale wurden nur im Jahr 2021 beprobt, wobei die höchsten mittleren NH₃-Immissionen jeweils im ersten Quartal beobachtet wurden. Dabei ist anzumerken, dass zwischen März und April die Flächen rund um den Versuchsstall gedüngt wurden und dadurch die erhöhte Immission zu erklären ist. Die südlich des Stalls exponierte Trasse zeigte 2021 und Anfang 2022 die höchsten mittleren NH₃-Immissionskonzentrationen mit über 15 µg/m³; die durchschnittlich niedrigsten Ammoniakkonzentrationen in der Luft zeigte hingegen die westlich ausgerichtete Trasse mit im Trassenmittel max. 7 µg/m³. Die Windexposition des Standortes mit vorwiegend nord- bis nordwestlicher Anströmung (s.o.) und nur selten Anströmung aus östlicher Richtung wirkt sich hier wohl entsprechend aus. Zudem dürften sich auch die Exposition des Stalles mit von Ost nach West verlaufender Stalllängsachse sowie das Vorhandensein von Wald bzw.

Gehölzstreifen nahe der östlich bzw. westlich ausgerichteten Stirnseiten des Stalles entsprechend (in insgesamt niedrigeren Immissionskonzentrationen) auswirken. Hinzu kommt die längsseitige Angliederung bzw. Lage des Auslaufbereichs, die ohnehin höhere Ammoniakimmissionen im Nahbereich mit sich bringt.

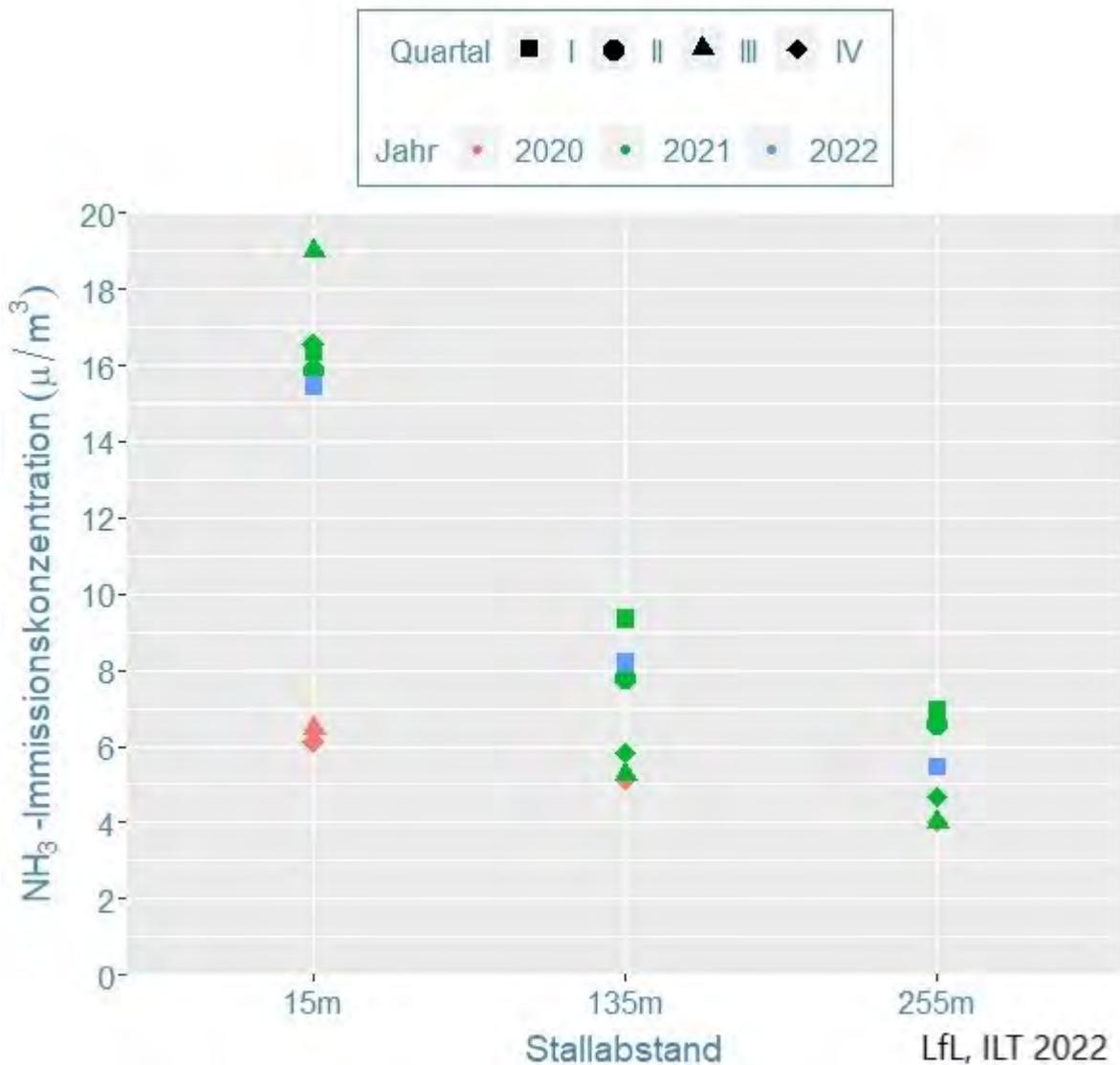


Abbildung 132: NH₃-Immissionen (Darstellung nach Stallabstand, Jahr und Quartal) im Beobachtungszeitraum (09/2020 – 02/2022) – gewichtetes Mittel

In Abbildung 132 sind die Untersuchungsergebnisse nach Stallabständen getrennt dargestellt, d.h. jeweils alle vier Messorte mit vergleichbarem Abstand zur Emissionsquelle Stall wurden gemeinsam ausgewertet. Eine quartalsweise Zusammenstellung wurde ergänzend zum Zwecke der leichteren Einordnung vorgenommen. Dass im Jahr 2021 im Gesamtvergleich die höchsten

Ammoniakkonzentrationen erhoben wurden ist nicht weiter erstaunlich, da nur in diesem Jahr durchgängig gemessen wurde. Dabei traten in den ersten beiden Quartalen höhere Immissionskonzentrationen auf als in den beiden anderen Quartalen. Dies dürfte v.a. der Wirtschaftsdüngerausbringung im Frühjahr zuzuschreiben sein. An den stallnächsten Messorten wurden dabei in den ersten beiden Quartalen 2021 mittlere NH_3 -Immissionskonzentrationen von 16 bis $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft gemessen, während in 135 m Abstand zwischen 5 und $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft und an den stallfernsten Beobachtungsorten zwischen 4 und $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft beobachtet wurden. Die Ammoniakbelastung reduziert sich mit zunehmender Entfernung weiter, wobei bei 255 m nicht mehr nur von einer Belastung durch den Versuchsstall ausgegangen werden kann. Da nicht davon auszugehen ist, dass in 15 m (max. $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Entfernung eine Bebauung durch Wohngebäude stattfinden wird, ist die Belastung von bis zu $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (135 m) in nördlicher Richtung ein sehr geringer Wert. Diese Daten sind auch mit Literaturwerten vergleichbar.

5.4.3 Auswertung der FTIR-Gasmessungen und Emissionsfaktorenberechnung FTIR-Gasmessergebnisse

Die Emissionsmessungen wurden viermal zu je 10 Tagen durchgeführt, wodurch alle vier Jahreszeiten abgedeckt werden konnten. In folgenden Abbildungen werden die gemessenen Daten dargestellt und auch mit konventionellen Daten aus der Schweinemast verglichen. Abschließend wurden noch Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Jahreszeiten für den Projektstall errechnet.

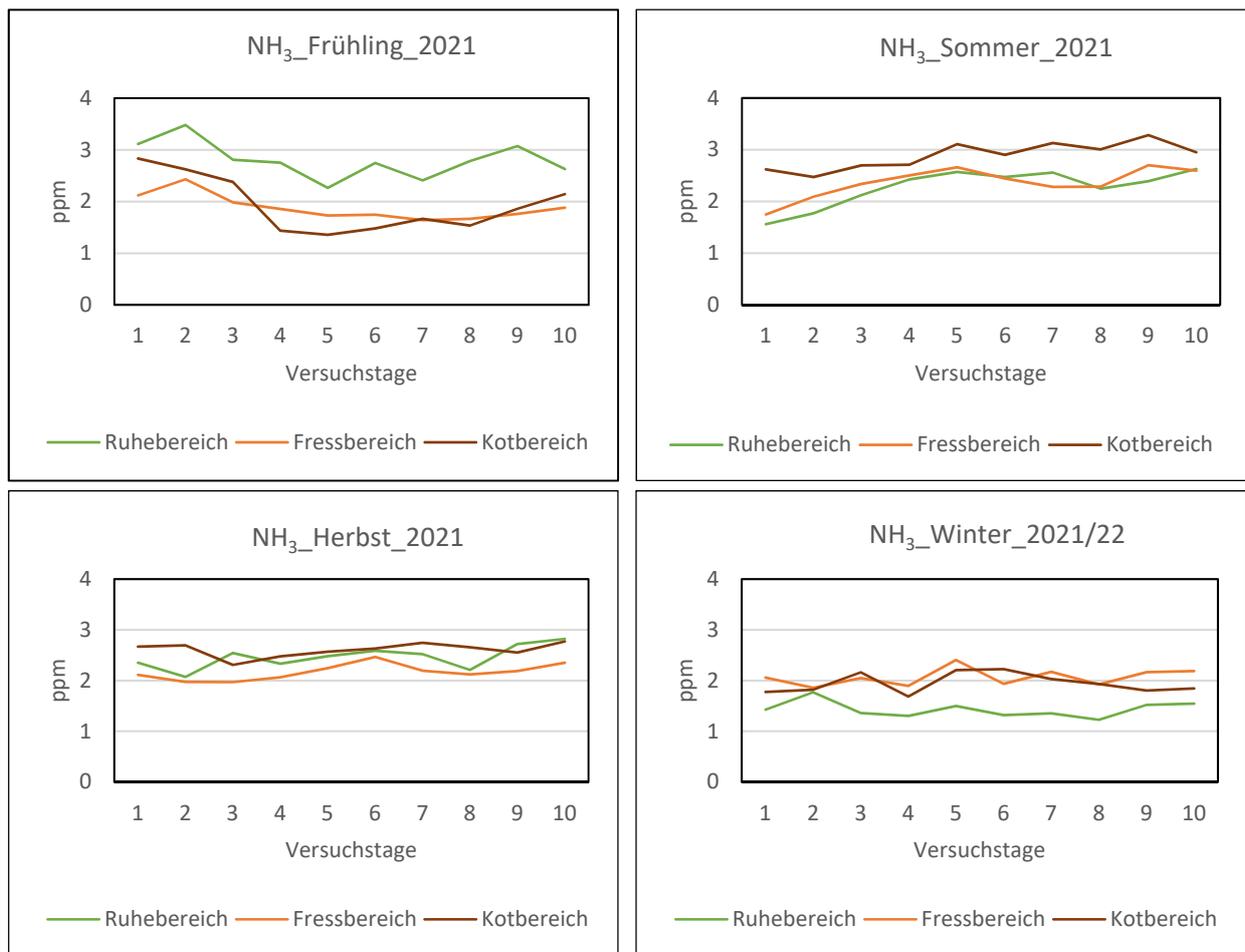


Abbildung 133: Vergleich der Ammoniaktagessmittelwerte der Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- und Wintermessung 2021- Unterteilung in die drei Funktionsbereiche (Ruhen, Fressen, Koten) (Einheit in ppm).

Die Abbildung 133 zeigt den Vergleich der Funktionsbereiche und deren Emissionsbelastung in ppm zwischen der Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- und Wintermessung. Die Messdaten ergeben eine allgemein niedrige Ammoniakbelastung (zwischen 1,5 und 3,1 ppm) und erstrecken sich über 10 Messtage. Eine deutlich erhöhte Emissionsbelastung wäre in den Sommermonaten zu erwarten, da höhere Temperaturen auch die Ammoniakbelastung fördern, jedoch ist dieser Fall nicht eingetreten. Sowohl im Frühjahr als auch im Sommer und Herbst zeigen die Daten stabile und sehr geringe Ammoniakemissionen in allen Funktionsbereichen. Zu bedenken ist, dass die Emissionen im Außenbereich durch Luftströme und Verwirbelungen schneller entweichen und dadurch, wie schon in Material und Methoden erwähnt, schwer zu erfassen sind.

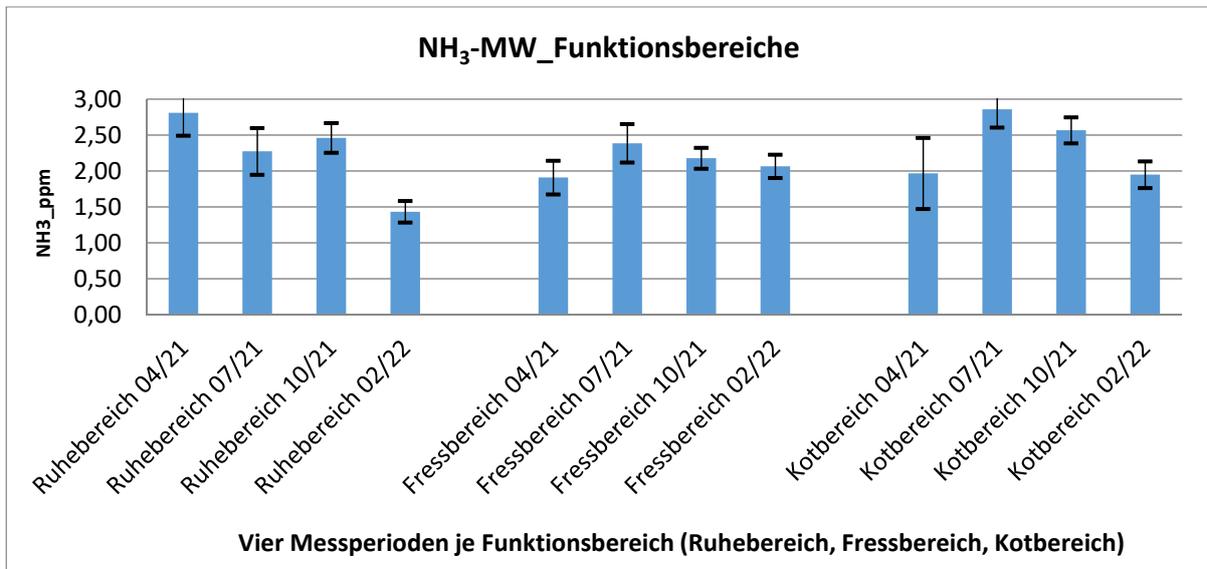


Abbildung 134: Vergleich der Ammoniakgesamtittelwerte der einzelnen Funktionsbereiche zwischen den vier Messperioden (Einheit in ppm).

Ein Vergleich der drei Funktionsbereiche (Abbildung 134) zwischen den einzelnen Messperioden zeigt wie auch in der Abbildung 135 eine geringe NH₃-Belastung. Die vier Messperioden zeigen ähnlich tiefe Emissionen wobei in den Bereichen „Fressen“ und „Koten“ die Sommerdaten etwas höher liegen, was auf die höheren Außentemperaturen zurückzuführen ist.

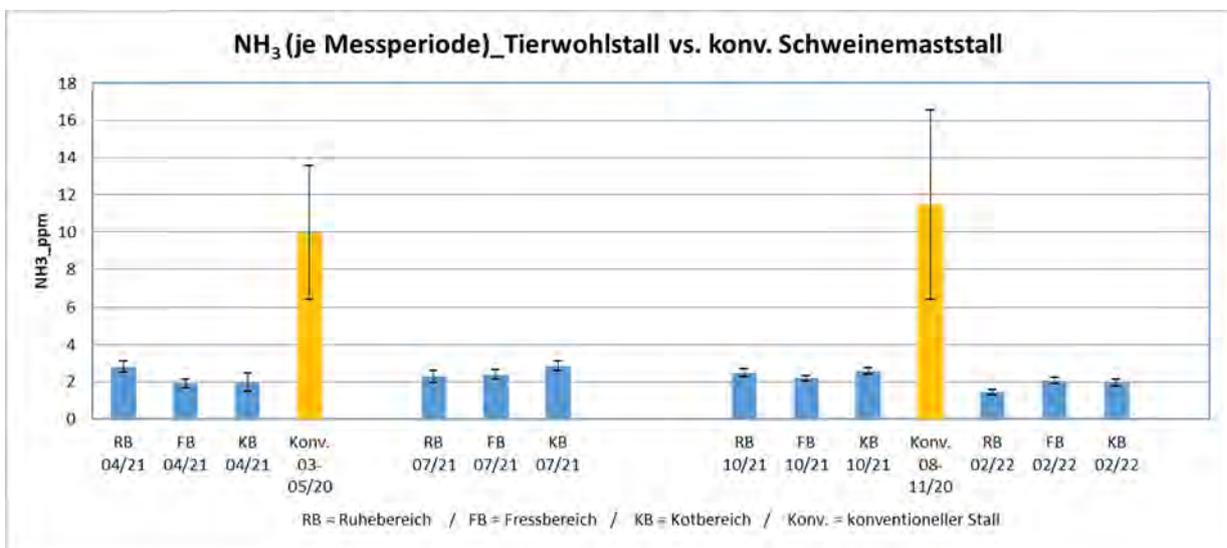


Abbildung 135: Gegenüberstellung der Ammoniakmittelwerte der einzelnen Funktionsbereiche zwischen den vier Messperioden (Blaue Säulen) im Projektstall zu Ammoniakmittelwerten aus einem konventionellen Mastschweinestall auf Vollspaltenböden (2 Umtrieb; Orange dargestellt) (Einheit in ppm).

Um die geringen Ammoniakemissionen aus den Funktionsbereichen zu verdeutlichen, wurden die

Ammoniakmittelwerte aus zwei Umtrieben aus den konventionell geführten Schweinemaststall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein herangezogen (siehe Abbildung 135). Die NH₃-Belastung in den Funktionsbereichen des Projektstalles steigt auf maximal 3,1 ppm was einen Unterschied von 13,4 ppm zum Maximum (16,5 ppm) des konventionellen Maststalles bedeutet. Bei einem Vergleich der beiden Systeme würde dies eine Reduktion der Ammoniakbelastung von 81,2 % bedeuten.

Berechnung der Emissionsfaktoren

Über die gewonnenen Daten der FTIR- Messung (NH₃, Kohlendioxid und Luftwechselraten IN/OUT) und Durchschnittszahlen aus der Mastschweinehaltung, konnten mit Hilfe der CO₂-Bilanz gemeinsame Emissionsfaktoren für den Innen- und Außenbereich über 4 Jahreszeiten hinweg errechnet werden.

$$\text{Formel zur CO}_2\text{-Bilanz: } V = C / (\text{CO}_2\text{Inndoor} - \text{CO}_2\text{Outdoor}) * 10^{-6}$$

Tabelle 23: Errechnete Emissionen in kg/Tierplatz/Jahr (mit Hilfe der CO₂-Bilanz, den Emissionskonzentrationen, der Luftrate, 75 kg/Tier, bei 2,8 Umtriebe/Jahr)

	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
kg Emissionen/Tierplatz/Jahr	0,4	3,4	0,8	0,3

In der Tabelle sind die errechneten Emissionen abgebildet. Vor allem in den kühleren Jahreszeiten kann von äußerst geringen Emissionsfaktoren ausgegangen werden. Der Sommerfaktor ist zwar höher, jedoch liegt auch dieser unter der Bewertung eines konventionellen Mastschweinealles (Zwangsbelüftete Ställe, Teil- oder Vollspaltenboden mit Flüssigmistverfahren). Des Weiteren ist zu beachten, dass durch Berechnung über die CO₂-Bilanz, der Sommerfaktor für den Innen- sowie auch den Außenbereich gilt und dadurch der Emissionsfaktor etwas höher ausfällt (vgl., VDI 3894).

5.5 Literaturverzeichnis

- BJORNEBERG, D. L.; LEYTEM, A. B.; WESTERMANN, D. T.; GRIFFITHS, P. R.; SHAO, L. AND POLLARD, M. J. (2009): Measurement of Atmospheric Ammonia, Methane, and Nitrous Oxide at a Concentrated Dairy Production Facility in Southern Idaho Using Open-Path FTIR Spectrometry; Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan www.asabe.org; Transactions of the ASABE. 52(5): 1749-1756. (doi: 10.13031/2013.29137).
- GALLE, B.; KLEMEDTSSON, L.; BERGQVIST, B.; FERM, M.; TÖRNQVIST, K.; GRIFFITH, D.W.T.; JENSEN, N.O. AND HANSEN F. (2000): Measurements of ammonia emissions from spreading of manure using gradient FTIR techniques; Elsevier, Atmospheric Environment, Volume 34, Issue 28, 2000, Pages 4907-4915.
- PUCHALSKI, M.A.; SATHER, M.E.; WALKER, J.T.; LEHMANN, C.M.B.; GAY, D.A.; MATHEWE, J. AND ROBARGE, W.P. (2011): Passive ammonia monitoring in the United States: Comparing three different sampling devices; Journal of Environmental Monitoring, Issue 11, 2011, 13, 3156-3167.
- VDI 3894 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen - Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde; Verein Deutscher Ingenieure.

6 Schallemissionen und –Immissionen

Michael Kropsch, Abteilung Tierhaltungssysteme, Technik und Emissionen;
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

6.1 Zusammenfassung

Die Erfahrungen während der Ermittlung der Schallemissionen in gegenständlichem Projekt haben gezeigt, dass bei Messung zu unterschiedlichen Zeitpunkten (hier während der Bauphase des Stallgebäudes und nach Inbetriebnahme dessen) genau darauf zu achten ist, ob die externen Einflüsse auf den gewählten Messpunkt zu allen Erhebungszeitpunkten in etwa gleich sind. Bei den aktuellen Messungen hat sich gezeigt, dass sich die Abschirmung des Messpunktes hinsichtlich einwirkender Straßenverkehrslärmgeräusche zwischen den Messperioden geändert hat. Dies führte zu einer Verunmöglichung des Vergleichs der Messungen und hat die Wahl eines alternativen Weges erforderlich gemacht.

Es konnte schließlich gezeigt werden, dass die Schallemissionen von Schweinen im untersuchten SaLu_T-Stall in einem sehr ähnlichen Bereich liegen, wie jene aus zwangsentlüfteten Systemen. Die im *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* publizierten Schallkenndaten für Mastschweine können somit für Immissionsberechnungen bei Tierwohl-Stallsystemen mit Auslauf herangezogen werden.

Die Betrachtung der Hauptlärmquellen (Ventilatoren und Tiergeräusche) zeigte klar, dass die flächenhafte Immissionsbelastung beim neuen SaLu_T-Tierwohlstall erkennbar geringer ist, als bei vergleichbaren zwangsentlüfteten Stallungen.

6.2 Summary

In addition to odour and dust, noise immissions play a central role in agricultural construction procedures and in complaints. To date, available emission data from farm animals have been derived exclusively on the basis of measurements in stables; it would be inadmissible, without testing, to transfer these approaches to the keeping of animals in animal welfare stables with outdoor access. The central question that had to be clarified in the SaLu-T project from an acoustical point of view was whether the existing approaches of animal emissions from forcibly ventilated stables could be used for immission calculations in animal welfare stables. The second important acoustic question was to what extent the total sound immissions (fan noise and animal noise) from forced ventilation stables differ from those of the SaLu-T stable concept.

Neben Geruch und Staub sind es insbesondere die Lärmimmissionen (Schallimmissionen), die bei landwirtschaftlichen Bauverfahren und in Beschwerdefällen eine zentrale Rolle spielen. Bis dato verfügbare Emissionsdaten von Nutztieren wurden ausschließlich auf Basis von Messungen in Stallungen abgeleitet; es wäre unzulässig, ohne Prüfung, diese Ansätze auf die Haltung von Tieren in Tierwohlstallungen mit Auslauf zu übertragen. Die zentrale Frage, die es somit im Projekt SaLu_T aus schalltechnischer Sicht zu klären gab war, ob die bestehenden Ansätze der Tieremissionen aus zwangsentlüfteten Stallungen für Immissionsberechnungen bei Tierwohlstallungen verwendet werden können. Die zweite wichtige schalltechnische Frage war, in wie fern sich die Gesamtschallimmissionen (Ventilatorenlärm und Tiergeräusche) bei zwangsentlüftenden Stallungen von jenen des SaLu_T-Stall-Konzepts unterscheiden.

6.3 Material und Methoden

Für die Untersuchung der Lärmemissionen- und Immissionen wurden zwei Schallpegelmessgeräte der Type Nor140 (Abbildung 136), mit Mikrofon Nor1225 und Mikrofonvorverstärker Nor1209, allesamt von der Firma Norsonic, verwendet. Vor- und nach jeder Messung wurden die Schallpegelmessgeräte mit einer Prüfschallquelle der Bauart Nor1251 kalibriert.

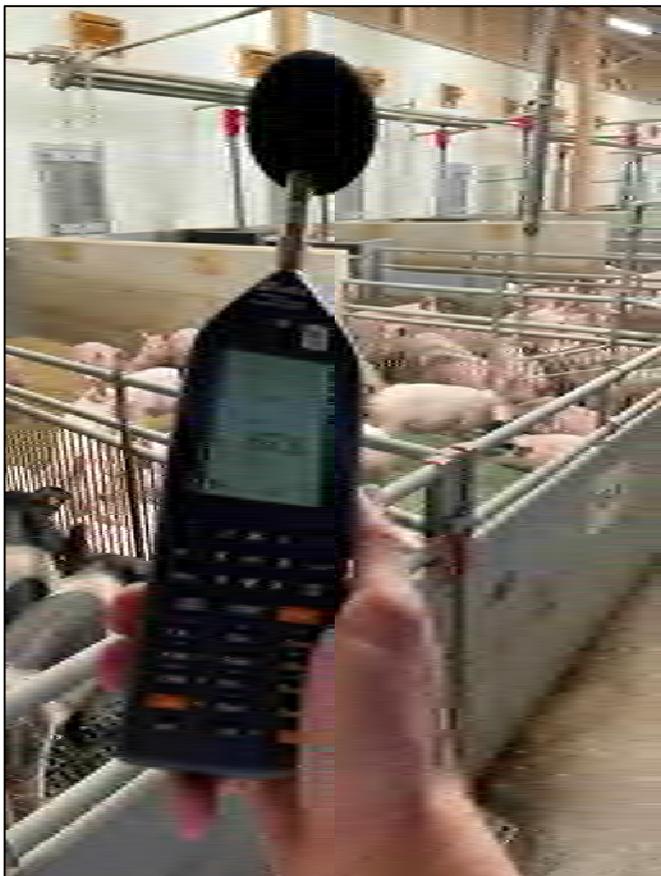


Abbildung 136: Schallpegelmessgerät Nor140 im Messeinsatz

Das ursprüngliche Ansinnen des Vergleichs der Schallimmissionen ohne (vor Erstbelegung des Stallgebäudes) und mit Tierbesatz musste auf Grund der nicht vergleichbaren Bedingungen am Messpunkt (u. A. Unterschiede in der Abschirmung zu anderen Quellen und variierendes Bodenniveau) adaptiert werden. Vor Belegung/Erstbezug des Stalls war die Messstelle in großem Ausmaß von Erdwällen in unmittelbarer Nähe umgeben, die auf Grund der laufenden Bautätigkeiten entlang der Grundstücksgrenzen angehäuft wurden. Dadurch lag eine nennenswerte Abschirmung des Messpunktes gegenüber der im Westen des Stalles vorbeiführenden Landesstraße vor. Nach Fertigstellung und Bezug des Stallgebäudes wurden die Erdwälle verbracht und z. T. für die Aufschüttung des Geländes rund um den Stall verwendet – mit dem Resultat, dass das Mikrophon nun ohne Abschirmung durch Hindernisse in direktem Einfluss des Verkehrslärms der Landesstraße stand.

Um weitestgehend frei von äußeren Einflüssen zu sein, musste eine geänderte Vorgangsweise gegenüber den vorangegangenen Messserien gewählt werden. Bei der initialen Messung vor Einstellung der Tiere und Inbetriebnahme des Stallgebäudes (Messung von 21.08.2020 – 10.09.2020) und bei der ersten Erhebung nach erfolgter Einstellung (Messung von 21.10.2020 – 02.11.2021) wurde das Mikrophon jeweils rd. 21,5 m von der Außenwand entfernt, im nördlichen Bereich des Stallgebäudes, in einer Höhe von 1,7 m über Grund, positioniert.

Bei der modifizierten Messkampagne im August 2022 wurden, jeweils zur gleichen Zeit, 10 Kurzzeitmessungen mit zwei Schallpegelmessgeräten der Type Nor140 durchgeführt. Die Erhebungen fanden im Bediengang des nördlichen Auslaufbereiches, innerhalb der Gebäudehülle, statt. Während der Messperioden erfolgte eine gleichmäßige Bewegung der beiden Schallpegelmesser zwischen der westlichen und östlichen Stallaußenseite, auf rd. 1,5 m über Boden – der gesamte nördliche Auslaufbereich der Mastschweine wurde damit erfasst (blau umrandeter Bereich in Abbildung 137). Für die weiterführenden schalltechnischen Analysen war die Zählung der Tiere erforderlich; während der Schallpegelmessungen befanden sich 280 Tiere im Auslauf.

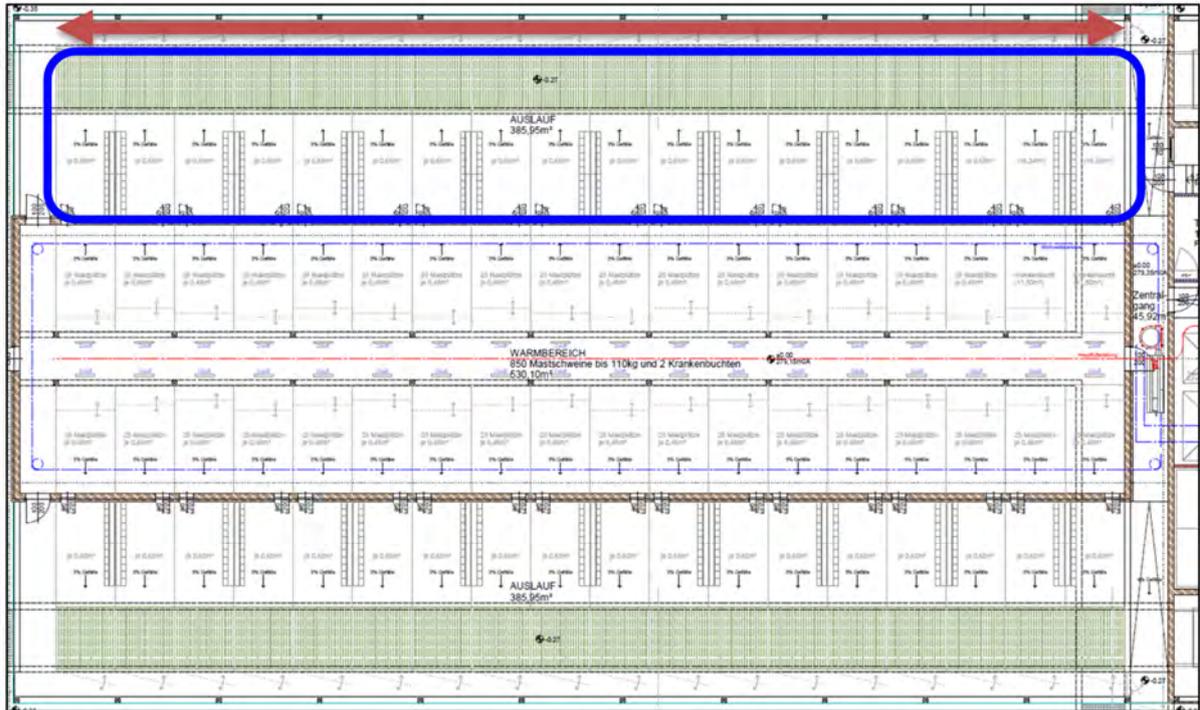


Abbildung 137: Plan SaLu_T-Stallgebäude mit Markierung des nördlichen Auslaufbereichs, in dem die Schallmessungen stattfanden

Die modifizierten Schallpegelmessungen wurden in den frühen Nachtstunden im August 2022 durchgeführt um Einflüsse von außerhalb des Stallgebäudes größtmöglich auszuschließen. Die Abbildung 138 zeigt den nördlichen Auslaufbereich der Schweine - den Fokus der lärmtechnischen Untersuchungen.



Abbildung 138: Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine, Blick in den nördlichen Auslaufbereich

6.4 Ergebnisse

Tabelle 24 listet die 10 – mit zwei Schallpegelmessgeräten parallel – durchgeführten Messungen im Bediengang des nördlichen Außenbereichs des SaLu_T-Stalles. Die zentralen Werte sind die fett hervorgehobenen Energieäquivalenten Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$); die energetische Mittelung der 20 Werte resultiert in einem mittleren $L_{A,eq}$ von 70,7 dB, mit einer Standardabweichung von +/- 2,1 dB.

Schalltechnischer Untersuchungsgegenstand im Projekt SaLu_T war die Frage, ob die Haltung von Mastschweinen in dem neu konzipierten *Emissionsarmen Tierwohlstall* höhere Lärmpegel hervorruft, als die Haltung in herkömmlichen, konventionellen, zwangsentlüfteten Systemen. Basis dieses Vergleichs sind die im *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* publizierten Schallemissionsdaten von Mastschweinen (UBA 2013, Punkt 3.4.5.1). Im Tages- und Abendzeitraum (06:00 – 19:00 Uhr bzw. 19:00 Uhr – 22:00 Uhr) liegt der A-bewertete Schalleistungspegel für 1 Tier ($L_{W,1 \text{ Schwein-Ma,TA}}$) bei 61,0 dB.

Tabelle 24: Ergebnis der Schallpegelmessungen im nördlichen Auslaufbereich des Tierwohlstalles

File	Date	Duration	LAeq	LAFmax	LAFmin	LAE	LCeq	LAF,1%	LAF,50%	LAF,95%
NOR140_8185637_220830_0011.NBF	(2022/08/30 19:47:27.00)	(0:1:0.0)	71,4	85,5	58,4	89,2	74,1	82,4	66,1	60,4
NOR140_8185637_220830_0012.NBF	(2022/08/30 19:48:47.00)	(0:1:0.0)	73,7	86,9	59,7	91,5	75,7	84,9	68,9	62,7
NOR140_8185637_220830_0013.NBF	(2022/08/30 19:50:07.00)	(0:1:0.0)	70,7	84,7	57,7	88,5	73,8	78,4	68,2	62,0
NOR140_8185637_220830_0014.NBF	(2022/08/30 19:51:25.00)	(0:1:0.0)	75,1	89,8	58,9	92,9	76,4	87,8	68,6	61,6
NOR140_8185637_220830_0015.NBF	(2022/08/30 19:52:53.00)	(0:1:0.0)	68,9	83,2	56,5	86,7	72,6	79,8	65,9	59,1
NOR140_8185637_220830_0016.NBF	(2022/08/30 19:54:15.00)	(0:1:0.0)	69,4	84,9	59,6	87,1	72,0	79,6	66,3	62,0
NOR140_8185637_220830_0017.NBF	(2022/08/30 19:55:36.00)	(0:1:0.0)	67,2	80,9	56,0	85,0	71,3	76,4	64,8	59,9
NOR140_8185637_220830_0018.NBF	(2022/08/30 19:57:01.00)	(0:1:0.0)	71,6	89,5	59,4	89,4	73,8	82,4	66,4	61,3
NOR140_8185637_220830_0019.NBF	(2022/08/30 19:58:27.00)	(0:1:0.0)	68,5	83,4	58,2	86,3	72,7	78,2	65,9	61,2
NOR140_8185637_220830_0020.NBF	(2022/08/30 19:59:49.00)	(0:1:0.0)	67,6	77,5	58,3	85,4	72,9	76,0	65,8	61,3
NOR140_6901917_220830_0012.NBF	(2022/08/30 19:47:25.00)	(0:1:0.0)	69,6	83,4	56,7	87,4	72,5	80,6	65,5	59,6
NOR140_6901917_220830_0013.NBF	(2022/08/30 19:48:48.00)	(0:1:0.0)	70,3	82,9	59,8	88,1	73,3	79,6	66,9	62,0
NOR140_6901917_220830_0014.NBF	(2022/08/30 19:50:07.00)	(0:1:0.0)	70,5	86,1	56,4	88,3	73,5	81,8	65,5	60,4
NOR140_6901917_220830_0015.NBF	(2022/08/30 19:51:24.00)	(0:1:0.0)	72,5	84,0	57,7	90,2	74,1	82,5	66,8	59,5
NOR140_6901917_220830_0016.NBF	(2022/08/30 19:52:53.00)	(0:1:0.0)	69,0	81,8	57,2	86,8	72,5	78,8	65,7	59,8
NOR140_6901917_220830_0017.NBF	(2022/08/30 19:54:17.00)	(0:1:0.0)	71,0	86,8	59,5	88,7	73,0	80,8	67,3	61,6
NOR140_6901917_220830_0018.NBF	(2022/08/30 19:55:33.00)	(0:1:0.0)	70,2	88,3	57,2	88,0	73,4	82,4	65,1	59,3
NOR140_6901917_220830_0019.NBF	(2022/08/30 19:57:01.00)	(0:1:0.0)	70,8	85,1	56,7	88,6	73,4	82,4	65,5	60,5
NOR140_6901917_220830_0020.NBF	(2022/08/30 19:58:27.00)	(0:1:0.0)	68,8	79,7	56,9	86,6	72,5	77,8	65,9	61,2
NOR140_6901917_220830_0021.NBF	(2022/08/30 19:59:47.00)	(0:1:0.0)	66,6	76,4	57,8	84,4	71,8	74,2	64,6	59,7

Entsprechend der in Kapitel 5 des *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* (Ermittlung des Stallinnenpegels) dargelegten Vorgangsweise wurden aus den in Tabelle 24 gelisteten Energieäquivalenten Dauerschallpegel (LA,eq), die dem vorherrschenden Innenpegel entsprechen, die A-bewerteten Schallleistungspegel für 1 Tier aus der Messserie vom 30.08.2022 abgeleitet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 gelistet.

Tabelle 25: Aus den Innenpegelmessungen abgeleitete Schalleistungspegel pro Tier ($L_{WA,1 \text{ Schwein-Ma,SaLu}_T}$)

Stall	Messung Nr.	Messdauer	Situation	Sv / m ²	Volumen / m ³	Anzahl Tiere	α	L _i (dB)	laufd. Nr.	L _{W,Agessamt}	L _{WA,1 Schwein}
Neuhold_Auslauf_Nord	1	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	71,4	nor140_alt_1	86,1	61,6
Neuhold_Auslauf_Nord	2	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	73,7	nor140_alt_2	88,4	63,9
Neuhold_Auslauf_Nord	3	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	70,7	nor140_alt_3	85,4	60,9
Neuhold_Auslauf_Nord	4	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	75,1	nor140_alt_4	89,8	65,3
Neuhold_Auslauf_Nord	5	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	68,9	nor140_alt_5	83,6	59,1
Neuhold_Auslauf_Nord	6	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	69,4	nor140_alt_6	84,1	59,6
Neuhold_Auslauf_Nord	7	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	67,2	nor140_alt_7	81,9	57,4
Neuhold_Auslauf_Nord	8	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	71,6	nor140_alt_8	86,3	61,8
Neuhold_Auslauf_Nord	9	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	68,5	nor140_alt_9	83,2	58,7
Neuhold_Auslauf_Nord	10	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	67,6	nor140_alt_10	82,3	57,8
Neuhold_Auslauf_Nord	11	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	69,6	nor140_neu_1	84,3	59,8
Neuhold_Auslauf_Nord	12	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	70,3	nor140_neu_2	85,0	60,5
Neuhold_Auslauf_Nord	13	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	70,5	nor140_neu_3	85,2	60,7
Neuhold_Auslauf_Nord	14	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	72,5	nor140_neu_4	87,2	62,7
Neuhold_Auslauf_Nord	15	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	69,0	nor140_neu_5	83,7	59,2
Neuhold_Auslauf_Nord	16	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	71,0	nor140_neu_6	85,7	61,2
Neuhold_Auslauf_Nord	17	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	70,2	nor140_neu_7	84,9	60,4
Neuhold_Auslauf_Nord	18	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	70,8	nor140_neu_8	85,5	61,0
Neuhold_Auslauf_Nord	19	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	68,8	nor140_neu_9	83,5	59,0
Neuhold_Auslauf_Nord	20	(0:1:0.0)	normal	784,9	1683,6	280	0,15	66,6	nor140_neu_10	81,3	56,8

Die energetische Mittelung der Werte aus Spalte „L_{WA,1 Schwein}“ resultiert in einem mittleren Schalleistungspegel pro Mastschwein im Auslaufbereich des Tierwohlstalls von $L_{WA,1 \text{ Schwein-Ma,SaLu}_T} = 60,9$ dB. Der Vergleich dieses tierspezifischen Schallemissionsfaktors des untersuchten *Emissionsarmen Tierwohlstalls* für Mastschweine mit dem korrespondierenden Wert

aus dem *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* für Tiere aus konventioneller Haltung ($L_{W,1 \text{ Schwein-Ma,TA}} = 61,0 \text{ dB}$) zeigt eine beinahe exakte Übereinstimmung. Daraus ist abzuleiten, dass die Haltung der Tiere im neuen Tierwohlstall, im Betrachtungszeitraum Tag und Abend, zu keiner Änderung der schallemissionstechnischen Situation führt.

Entsprechend des Tierverhaltens während der Nachtstunden (22:00 – 06:00 Uhr), außerhalb der Fütterungsperioden, liegt der im *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* ausgewiesene Schalleistungspegel für diesen Betrachtungszeitraum bei 58,0 dB. Die Nachtzeit wurde in gegenständlichem Projekt messtechnisch nicht separat erfasst; es ist, analog zu konventionellen Systemen, jedoch davon auszugehen, dass im Tierwohlstall ebenso eine Absenkung des Emissionspegels in den Nachtstunden erfolgt.

Ergänzend wurde, auf Basis der ermittelten Emissionsfaktoren, eine Schallausbreitungsrechnung durchgeführt und diese mit Schallimmissionen seitens eines konventionellen, zwangsbelüfteten Systems für die Mastschweinehaltung verglichen. Sind die Schallimmissionen – ausgehend vom untersuchten *Emissionsarmen Tierwohlstall* – im unmittelbaren Nahbereich z. T. höher (auf Grund der Öffnungen der Stallaußenwand und der Ventilatoren der Unterflurzuluftführung) so zeigt sich, dass die Schallimmissionen im Umfeld solcher Stallungen in Summe geringer sind, als bei einem Konventionellen. Dies ist in erster Linie durch die erheblichen immissionstechnischen Beiträge der erforderlichen Ventilation bei zwangsbelüfteten Stallgebäuden begründet. Das Konzept des neuen *Emissionsarmen Tierwohlstalls* für Mastschweine sieht nur 2 Ventilatoren vor, die zu dem unterirdisch verbaut sind – der flächige Immissionsbeitrag ist hier wesentlich geringer als bei einer Zwangsentlüftung via Kamin.

Abbildung 139 zeigt die Gegenüberstellung von zwei Schallausbreitungsrechnungen – verglichen werden die Immissionen des SaLu_T-Projektstalls mit einem konventionellen, zwangsbelüfteten Mastschweinestall. Deutlich zeigt sich die geringere Ausdehnung der flächenhaften Schallimmissionsbelastung beim SaLu_T-Stall; der Übergang der 35 dB-Isophone zum Bereich mit geringeren Schallpegelwerten liegt hier bei max. 50 m Entfernung vom Stallgebäude. Bei einem vergleichbaren zwangsbelüfteten Stallgebäude (für 850 Mastschweine) ist eine Entfernung von rd. 90 m erforderlich, bis Immissionspegel kleiner 35 dB erreicht werden.



Abbildung 139: Flächenhafte Schallimmissionsberechnung des SaLu_T-Stalles im Vergleich mit einem zwangsbelüfteten Stallsystem

6.5 Literaturverzeichnis

- Kropsch, M., Lechner, C. 2013: Manual for the assessment of noise originating from farms. Vortrag Internoise, Innsbruck, 2013
- Kropsch, M., Lechner, C. 2013: Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft. UBA REP-0409, Forum Schall, Umweltbundesamt, Wien, 2013

7 Bioaerosolerhebung

Herbert Galler, Martin Stonitsch, Sophie Steflitsch, Merna Massoud, Doris Haas, Franz F. Reinthaler;
D&F Institut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin, Medizinische Universität Graz

7.1 Zusammenfassung

7.1.1 Ziel

Immissionen von Bioaerosolen sollten im Umfeld des steirischen SaLu_T Tierhaltungsbetriebes, eines emissionsarmen Tierwohlstalles für die Schweinemast, quantitativ und qualitativ erhoben werden. Für die Erfassung wurden die Messmethoden des Impingements und der Impaktion angewandt. An neun Messtagen und an sechs Messstellen wurden im Zeitraum von Juni 2021 bis März 2022 Luftkeimmessungen im und um das Stallgebäude vorgenommen. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen wurde auf die Gattung der Staphylokokken bzw. auf die Spezies *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) gelegt, welche als Leitparameter in der VDI-Richtlinie 4253 Blatt 3:2019 definiert sind. Des Weiteren wurden die Gesamtbakterienkonzentrationen erfasst und Abstriche an der Nackenfalte und der Nase/Stirn der Schweine bzw. an den Wänden der Buchten im Stall genommen.

7.1.2 Methode

Die Bioaerosolmessungen wurden beim SaLu_T-Stall sowohl innerhalb als auch im Umkreis des Stalles durchgeführt. Die Abluftführung des Stalles führt zunächst über den Bewegungsbereich im Stall und schließlich entweicht die Stallluft über offene Flächen am First über das Dach ins Freie. Daher wurden in Hauptwindrichtung die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 in unterschiedlichen Entfernungen (25 m bis 300 m) zum Stall positioniert. Die Messstelle SaMP1 befand sich im Inneren des Stalles und die Messstelle SaMP6 stellte die Hintergrundmessstelle dar. Pro Messstelle wurde jeweils eine Messung mittels Impingement (Impinger AGI-30) und Impaktion (Impaktor MAS-100NT®, SAS Super IAQ) durchgeführt. Die Probenahme erfolgte 1,3 m über dem Bodenniveau. Für die Erfassung der Luftkeime mittels Impingement wurden an der Messstelle SaMP1 im Stall 30 ml phosphatgepufferte Salzlösung (VDI-Richtlinie 4257 Blatt 2) eingesetzt, für die anderen Messstellen 30 ml 0,9 % Kochsalz-Lösung. Als Nährmedien bei der Aufarbeitung der Proben wurde TSA+Cycloheximid für die mesophilen Gesamtbakterien, MAN für die Staphylokokken und SAIDE-Agar zur Identifizierung von *S. aureus* verwendet. Nach der Inkubation (48 h, 37 °C) erfolgte die Auszählung der Kolonien. Ausgewählte Einzelkolonien wurden anschließend durch MALDI-TOF MS qualitativ analysiert und identifiziert. Im Anschluss erfolgte eine Antibiotikaresistenztestung nach EUCAST V12.0, sowie eine *spa*-Typisierung der *S. aureus* Isolate. Um die Hautflora der Tiere zu

untersuchen wurden von beliebig ausgewählten Tieren Nase/Stirn- und Nackenfaltenabstriche genommen. Zusätzlich wurden auch von zufällig ausgewählten Wänden der Buchten im Stall Abstriche genommen. Auch hier wurde ein besonderes Augenmerk auf den Nachweis von *S. aureus* gelegt.

7.1.3 Ergebnisse

Quantitative Auswertung

Die Impingement-Messungen ergaben die höchsten medianen Konzentrationen sowohl für die mesophilen Gesamtbakterien von $5,3 \times 10^4$ KBE/m³, als auch für die Staphylokokken mit $1,1 \times 10^4$ KBE/m³ an Messstelle 1 (SaMP1, im Stallinneren). An den Immissions-Messstellen 2 bis 5 und am Hintergrundmessstelle 6 wurden mediane Konzentrationen im Bereich von $1,0 \times 10^3$ KBE/m³ für die Gesamtbakterien und $1,0 \times 10^2$ KBE/m³ für die Staphylokokken nachgewiesen. Im Vergleich der Immissionsmessstellen wurde mit $1,4 \times 10^2$ KBE/m³ die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration an Messstelle 3 (SaMP3) ermittelt. An der Hintergrund-Messstelle (SaMP6) wurde eine mediane Staphylokokken-Konzentration von $6,4 \times 10^1$ KBE/m³ nachgewiesen. Bei den Messungen mittels Impaktion wurde am Messplatz 1 (SaMP1, im Stallinneren) die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $1,2 \times 10^4$ KBE/m³ nachgewiesen. Mit zunehmender Entfernung zum Schweinestall, d. h. von Messstelle 2, welche 25 m vom Stall entfernt lag, bis zu Messstelle 5 in 300 m Entfernung zum Stall, verringerte sich die mediane Konzentration an Staphylokokken von $6,5 \times 10^2$ KBE/m³ auf $2,8 \times 10^1$ KBE/m³. An der Hintergrund-Messstelle (SaMP6) betrug die mediane Staphylokokken-Konzentration $3,7 \times 10^0$ KBE/m³.

Qualitative Auswertung

Bei der qualitativen Auswertung konnten 14 *S. aureus* Isolate gewonnen werden, welche vorwiegend von den Oberflächen der Buchten im Stall stammten. Aus den Luftproben stammten zwei Isolate. Von allen *S. aureus* Isolaten wurde ein Antibiogramm erstellt und zur Typisierung wurde der *spa*-Typ ermittelt. Die *spa*-Typen t011, t034 und t1773 sind typische LA-MRSA - Nutztier assoziierte Methicillin resistente *S. aureus* - und weisen zusätzlich zum MRSA Resistenzmarker Cefoxitin (FOX) häufig eine Resistenz gegen Tetracyclin auf.

7.1.4 Diskussion

Die quantitativen Auswertungen der Bioaerosolimmissionsmessungen des SaLu_T Tierwohlstalles zeigten im Stallinneren an der Messstelle SaMP1 um bis zu drei Zehnerpotenzen höhere Bakterienkonzentrationen als an den leeseitigen Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 in 25 m bis 300 m Entfernung zur Anlage. Sowohl mit der Impingement- als auch der Impaktionsmethode war im Vergleich zum Stallinneren eine Reduktion der medianen Staphylokokken-Konzentration, von 10^4 auf 10^1 KBE/m³ zu erkennen. Eine Reduktion von 10^4 auf 10^2 KBE/m³ war auch bei den medianen mesophilen Gesamtbakterienkonzentrationen mittels Impingement zwischen dem

Stallinneren und den in Hauptwindrichtung gelegenen Immissionsmessstellen nachweisbar. Aufgrund des Verdünnungseffektes durch die Umgebungsluft, welcher selbst im Nahbereich zu Emissionsquellen rasch Faktoren zwischen 10^3 und 10^4 annimmt, ist mit keinen relevanten Zusatzimmissionen zu rechnen. Als Störfaktoren für den Nachweis der Staphylokokken-Konzentrationen an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 leeseitig der Anlage und an der Hintergrundmessstelle SaMP6 luvseitig, können der unbefestigte Weg für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge bzw. die befestigte Straße mit Durchzugsverkehr und die damit verbundenen Aufwirbelungseffekte angeführt werden. Vergleicht man die medianen Staphylokokken-Konzentrationen mit den Messergebnissen aus dem Projekt LUQUASTA, mit dem konventionellen Betrieb BA2, welcher einen ähnlichen Viehbesatz wie der SaLu_T-Stall aufweist, so sieht man, dass die medianen Konzentrationen in der Immission (Impingement) beim konventionellen Betrieb BA2 um ein bis zwei log-Stufen höher liegen, zwischen $5,9 \times 10^2$ KBE/m³ und $1,6 \times 10^3$ KBE/m³ (Haas et al., 2022). Die verwendeten Luftkeimsammelmethoden, Impingement und Impaktion, sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da sie sich hinsichtlich ihrer physikalischen Sammeleffizienz und der biologischen Erhaltungseffizienz unterscheiden. Diese Eigenschaften definieren die Fähigkeiten der Probenahmegeräte, Mikroorganismen aus der Luft zu gewinnen und die Lebensfähigkeit der Mikroorganismen bei der Probenahme zu erhalten (VDI 4300/Blatt 10).

Die qualitativen Auswertungen der *S. aureus* Isolate, welche von den Tierabstrichen, den Oberflächen der Buchten und aus der Luft gewonnen wurden, zeigten im Antibiogramm zusätzlich zum MRSA-Resistenzmarker Cefoxitin (FOX) immer eine Resistenz gegen Tetracyclin. Die *spa*-Typisierung ergab großteils die *spa*-Typen t011, t034 und t1773, welche typische Vertreter des LA-MRSA - Nutztier assoziierte Methicillin resistente *S. aureus* - sind. Der Nachweis von LA-MRSA zeigte, dass diese vor allem auf der Haut der Schweine und an den Oberflächen der Buchten im Stall zu finden sind.

7.1.5 Schlussfolgerung

Die durchgeführten Messungen im Umfeld des steirischen SaLu_T Tierhaltungsbetriebes liefern eine Einschätzung über die Bioaerosolkonzentrationen in der Umgebungsluft des beprobten Stalles, sowohl in qualitativer, als auch in quantitativer Hinsicht.

Die Gattung *Staphylococcus* spp. eignet sich als Indikatorparameter für die Bewertung der Immission, da diese Gattung auf der Haut und Schleimhaut von Tieren vorkommt und daher bei Tierstallungen in relativ konstanten Konzentrationen in der Emission auftritt. Diese Gattung ist auch in geringen Konzentrationen in der Umgebungsluft nachzuweisen, da Staphylokokken in nährstoffarmen Umgebungen über lange Zeiträume in der Luft persistieren können.

Die Ausrichtung der Messstellen fand entsprechend der prognostizierten Hauptwindrichtung statt. Die Windgeschwindigkeiten im Umfeld des Untersuchungsbetriebes waren an einigen Messtagen

sehr gering ($< 1,0$ m/s). Windschwankungen und turbulente Windströmungen traten teilweise innerhalb der Halbstundenmessungen auf. Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass die Mikroorganismenkonzentrationen an den Immissions-Messstellen in der Immission fallweise stark differieren. Die Strömungsverwirbelungen treten im Nahbereich des Gebäudes beim Austritt der Abluft über den First auf, abhängig von der Gebäudegeometrie, der Höhe über Grund, sowie von der Austrittsgeschwindigkeit und der Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Umgebungsluft.

LA-MRSA verbreitet sich wie auch andere Staphylokokken bzw. MRSA vorwiegend durch direkten Kontakt bzw. durch Schmierinfektionen. Um der Verbreitung von LA-MRSA aus dem Stall durch Schmierinfektionen entgegenzuwirken, sollte beim Verlassen des Stallgebäudes eine ausreichende Hände-Hygiene durchgeführt werden.

7.2 Summary

Emissions from agriculture, especially from livestock farming, are a significant source of bioaerosols.

The aim of this study was to quantitatively and qualitatively record bioaerosol emissions in the vicinity of a newly constructed fattening piggery in Styria (Austria), which was designed for animal welfare and low emission rates. Bioaerosol measurements by impingement and impaction were carried out at six monitoring sites in the area of the barn on nine measuring days. The focus was on the genus *Staphylococcus* and the species *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Total mesophilic bacteria concentrations were also measured and swabs were taken from the pigs and the barn walls for qualitative analysis.

The measurements showed median concentrations for staphylococci in the range of 4.6×10^1 to 1.4×10^2 CFU/m³ (impingement) and 2.8×10^1 to 6.5×10^2 CFU/m³ (impaction) and for total mesophilic bacteria 9.2×10^2 to 1.2×10^3 CFU/m³ (impingement) at the leese side monitoring sites outside the barn. Inside the barn, the highest median concentrations were 1.2×10^4 CFU/m³ (impingement) for staphylococci and 5.3×10^4 CFU/m³ (impingement) for total mesophilic bacteria. Mean concentrations of 6.4×10^1 CFU/m³ for staphylococci and 1.8×10^3 CFU/m³ for total mesophilic bacteria were found at the background monitoring site upwind of the stable building.

In the qualitative analysis, 14 *S. aureus* isolates were obtained, mainly from the surfaces of the pens in the barn. Two isolates came from the air samples. An antibiogram was performed on all *S. aureus* isolates and the *spa*-type was determined. The predominant *spa*-types t011, t034 and t1773 are typical LA-MRSA - livestock-associated methicillin-resistant *S. aureus* - and often showed resistance to tetracycline in addition to the MRSA resistance marker cefoxitin (FOX) in the antibiogram.

The quantitative analyses of the bioaerosol immission measurements of the SaLu_T animal welfare barn showed a reduction in the median staphylococcus concentration by up to three powers of ten,

from 10^4 to 10^1 , at the leeward immission monitoring sites SaMP2 to SaMP5 at a distance of 25 m to 300 m from the facility compared to the monitoring site SaMP1 inside the barn, using both the impingement and the impaction method. This reduction was also detectable by means of impingement in the median total bacterial concentrations between the inside of the barn and the immission monitoring sites located in the main wind direction. Due to the dilution effect of the ambient air, which quickly assumes factors between 10^3 and 10^4 even in the vicinity of emission sources, no relevant additional immissions are to be expected.

The *spa*-typing of 14 *S. aureus* isolates, which were obtained from the pigs, the stable walls and from the air, predominantly revealed the *spa*-types t011, t034 and t1773, typical representatives of LA-MRSA.

7.3 Material und Methoden

7.3.1 Beschreibung der Messstellen

Im Zeitraum von Juni 2021 bis März 2022 wurden am SaLu_T Tierwohlstall an sechs Messstellen Bioaerosol-Immissionsmessungen (n=18) durchgeführt. Hinsichtlich der Erhebungstage war man beim SaLu_T Mastbetrieb nicht eingeschränkt, da die Abteile stets mit Tieren aller Gewichtsklassen (vom Ferkel bis zum schlachtreifen Schwein) belegt waren.

An einem Messtag war ein Messereignis mit einer Bakterienmessung geplant. Die zwei unterschiedlichen Messverfahren Impingement und Impaktion wurden für die Bakterienmessung an jeder Immissionsmessstelle zeitgleich eingesetzt. An den jeweiligen Erhebungstagen wurden die Messereignisse vormittags zwischen 10:00 und 12:00 Uhr durchgeführt. Am letzten Messtag wurden die Messungen zwischen 13:00 und 14:00 Uhr durchgeführt.

Die Bioaerosolmessungen wurden beim SaLu_T-Stall sowohl innerhalb als auch im Umkreis des Stalles durchgeführt. Die Abluftführung des Stalles führt zunächst über den Bewegungsbereich der Tiere im Stall und schließlich entweicht die Stallluft über offene Flächen am First über das Dach ins Freie. Die vorherrschende Hauptwindrichtung aus SSO im Bereich des Betriebes wurde im Vorfeld durch eine simulierte Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung in 10 m Höhe über Grund durch das Land Steiermark ermittelt. Darauf basierend wurden die Immissionsmessstellen jeweils in einer winkelförmigen Öffnung von 100° , mit der Emissionsquelle im Scheitelpunkt, in

Windrichtung positioniert. Die aktuellen Winddaten an den Messtagen wurden mit einer mobilen Wetterstation der HBLFA Raumberg-Gumpenstein aufgezeichnet und dem Projekt zur Verfügung gestellt.



Abbildung 140: Anordnung der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 (1-6) im Luftbild (©Galler)

- Immissionsmessstelle SaMP1

Die Immissionsmessstelle SaMP1 diente zum Erfassen der Konzentrationen der Bakterien an der Emissionsquelle und wurde im Inneren des Stalles am Gang zwischen den Buchten nach dem Stalleingang positioniert (Abbildung 140). Diese Messstelle wurde mit einem AGI-30-Impinger und einem MBASS30 mit LKS30 (MBASS30) Impaktor ausgestattet.

- Immissionsmessstelle SaMP2

Die Immissionsmessstellen SaMP2 wurde nördlich im Umfeld des Stalles in Hauptwindrichtung in 25 m Entfernung positioniert (Abbildung 140). Diese Messstelle wurde mit einem AGI-30-Impinger

und einem MAS-100 NT® (MAS-100) Impaktor ausgestattet. In Abbildung 141 ist beispielhaft eine Immissionsmessstelle im Lee der Hauptwindrichtung des Stallgebäudes dargestellt.

- Immissionsmessstelle SaMP3

Die Immissionsmessstellen SaMP3 wurde nördlich des Stalles in Hauptwindrichtung in 50 m Entfernung positioniert (Abbildung 140). Diese Messstelle wurde mit einem AGI-30-Impinger und einem SAS Super DUO 360 (SAS-DUO) Impaktor ausgestattet.

- Immissionsmessstelle SaMP4

Die Immissionsmessstellen SaMP4 wurde nördlich des Stalles in Hauptwindrichtung in 50 m Entfernung positioniert (Abbildung 140). Diese Messstelle wurde mit einem AGI-30-Impinger und einem MAS-100 NT® (MAS-100) Impaktor ausgestattet.



Abbildung 141: Beispiel einer Immissions- bzw. Hintergrundmessstelle

- Immissionsmessstelle SaMP5

Die Immissionsmessstellen SaMP5 wurde nördlich des Stalles in Hauptwindrichtung in 300 m Entfernung positioniert (Abbildung 140). Diese Messstelle wurde mit einem AGI-30-Impinger und einem SAS Super IAQ (SAS-IAQ) Impaktor ausgestattet.

- Messstelle SaMP6 (Hintergrund)

Zur Erfassung der Hintergrundkonzentration wurde die Messstelle SaMP6 auf der windzugewandten Seite im Luv in 230 m Entfernung positioniert und mit einem AGI-30-Impinger und einem MBASS30 mit LKS100 (MBASS100) Impaktor zur Erfassung der Bioaerosole ausgestattet.

7.3.2 Messmethoden und Geräte

Durch eine aktive Probenahme mit entsprechenden Messverfahren kann man aus der Luft Bioaerosole gewinnen. Darunter versteht man, dass eine genau definierte Luftmenge in einer bestimmten Zeit angesaugt und die Bioaerosole abgeschieden werden, wodurch eine quantitative und qualitative Auswertung in Bezug auf die Mikroorganismen möglich ist. Die Messmethoden des Impingements und der Impaktion sind aktive Probenahmemethoden. In Tabelle 26 sind die an den jeweiligen Messstellen verwendeten Messgeräte aufgelistet, welche nachfolgend beschrieben werden. Es wurde im Simultanverfahren gearbeitet, wobei die Messzeit 30 Minuten betrug und bei jeder Messung ein Blindwert ermittelt wurde.

Tabelle 26: Überblick der Messmethoden und -geräte an den Messstellen

Messstelle	Bezeichnung	Messmethode	Messgeräte
SaMP1	Stall Innenraum - 1 (Bucht)	Impaktion Impingement	MBASS30 AGI-30
SaMP2	Immission - 2	Impaktion Impingement	MAS-100 NT AGI-30
SaMP3	Immission - 3	Impaktion Impingement	SAS Super DUO 360 AGI-30
SaMP4	Immission - 4	Impaktion Impingement	MAS-100 NT AGI-30
SaMP5	Immission - 5	Impaktion Impingement	SAS Super IAQ AGI-30
SaMP6	Hintergrund - 6 (Reinprechtweg Wald)	Impaktion Impingement	MBASS100 AGI-30

- Impaktion

Bei der Impaktion, einem direkten Messverfahren, wird ein bestimmtes Luftvolumen angesaugt und über eine perforierte Platte auf die darunterliegende Nährmedienplatte geleitet. Die Bioaerosole werden direkt auf die Nährmedienplatte abgeschieden. Die Sammeleffizienz der Bioaerosole ist abhängig von der Anzahl und dem Durchmesser der Lochdüsen, der Anströmgeschwindigkeit sowie dem aerodynamischen Teilchendurchmesser (VDI4300/Blatt10:2008).

MAS-100 NT®

Der MAS-100 NT® (Abbildung 142) funktioniert nach dem Prinzip des Andersen-Impaktors. Es handelt sich um einen Luftkeimsammler, bei dem die Luft durch den perforierten Deckel mit 400 Löchern (je 0,7 mm Durchmesser) gesaugt wird und auf die Oberfläche des Nährmediums (Plattendurchmesser 90 mm) trifft. Nach der Inkubation der Nährmedienplatte können die angewachsenen Kolonien der Mikroorganismen qualitativ und quantitativ ausgewertet werden. Der MAS-100 NT® zeichnet sich durch eine hohe Sammeleffizienz aus und verfügt über einen eingebauten Luftstromausgleich (MBV AG, 2019). Das gewählte Ansaugvolumen für die Messung der Bakterien beträgt 200 l/Nährmediumplatte. Im vorliegenden Projekt wurde der MAS-100 NT® an den Messstellen SaMP2 bzw. SaMP4 verwendet.



Abbildung 142: MAS-100 NT® (©Stonitsch)

SAS Super IAQ/SAS Super DUO 360

Bei dem SAS Super IAQ und dem SAS Super DUO 360 (Abbildung 143 und Abbildung 144) handelt es sich um einstufige Impaktoren. Durch die zwei vorhandenen Ansaugköpfe zur Probenahme beim SAS Super DUO 360, gelingt das parallele Sammeln auf zwei unterschiedlichen Nährmedienplatten (Plattendurchmesser 90 mm), wohingegen der SAS Super IAQ über einen Ansaugkopf verfügt, wodurch nur eine Nährmedienplatte beprobt werden kann. Beide SAS-Sammler wurden mit einem Ansaugvolumen von 200 l/Nährmediumplatte an den Messstellen SaMP3 bzw. SaMP5 verwendet (VWR, 2020).



Abbildung 143: SAS Super IAQ (©Stonitsch)



Abbildung 144: SAS Super DUO 360 (©Stonitsch)

MBASS30

Bei dem MBASS30 handelt es sich um einen einstufigen Impaktor, welcher über austauschbare Sammelköpfe (Loch-, Schlitzsammelkopf) verfügt. Die Mikroorganismen werden durch Ansaugen der Luft, entweder mit dem Lochsammelkopf LKS30 (30 l/min) oder dem LKS100 (100 l/min), auf Nährmedienplatten (Plattendurchmesser 90 mm) abgeschieden, welche im Anschluss inkubiert werden (Holbach, 2014). Die Apparatur ist in Abbildung 145 dargestellt. Diese Impaktoren kamen mit einem Ansaugvolumen von 50 bzw. 200 l/Nährmediumplatte an den Messstellen SaMP1 bzw. SaMP6 zum Einsatz.

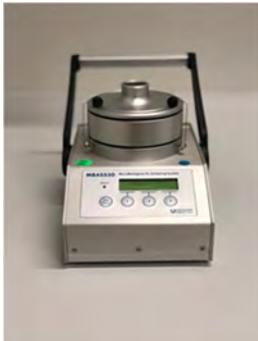


Abbildung 145: MBASS mit Luftkeimsammelkopf LKS100 (©Stonitsch)

- Impingement

Beim Impingement, einem indirekten Verfahren, wird ein definiertes Luftvolumen über ein Einlassrohr angesaugt. Der Luftstrom, welcher beim Durchströmen einer Kapillare auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird, trifft im Anschluss auf ein Sammelmedium, indem die Bioaerosole abgeschieden werden. Impinger haben kleine Einlassöffnungen und ihre Funktionsweise beruht auf dem Prinzip der kritischen Düse. Im Vergleich zur Impaktion gilt das Impingement als schonendere Sammelmethode, da die Mikroorganismen vor einer Dehydrierung besser geschützt sind. Dennoch birgt das Impingement auch Nachteile, wie zum Beispiel das Entstehen von mechanischen Schäden der Mikroorganismen durch Scherkräfte, die beim Aufprall

auf der Flüssigkeitsoberfläche auf die Mikroorganismen wirken, oder die Herausforderung eines sterilen Wechsels der Sammelflüssigkeit in der Feldforschung (Mücke und Lemmen, 2004).

All Glas Impinger 30

Bei dem All Glas Impinger 30 (AGI-30) wird der Luftstrom durch die kritische Düse angesaugt, woraufhin dieser auf die Oberfläche der Sammelflüssigkeit trifft. Der AGI-30 wird zur Gänze aus Glas gefertigt und besteht aus einem Einlassrohr, einer Kapillare und einem Sammelgefäß. Abbildung 146 zeigt einen AGI-30. Die Durchflussrate des Impingers liegt bei 12,5 l/min (Cohen und McCammon, 2001).



Abbildung 146: AGI-30 (©Stonitsch)

Aufbau einer Impingermessung

Das Impingersammelgefäß enthält 30 ml einer sterilen Sammelflüssigkeit (PBS-Puffer, NaCl-Lösung) und ist über Schläuche mit einer Gaswaschflasche verbunden, welche mit Silica-Gel befüllt ist, um Feuchtigkeit abzuscheiden. Des Weiteren ist die Gaswaschflasche durch einen Schlauch über einen Durchflussmesser mit einer Vakuumpumpe verbunden. Die Pumpe wird über einen Wechselrichter an einer 12 V Batterie angeschlossen. Abbildung 147 zeigt den schematischen Aufbau der benötigten Geräte für die Impingermessung.

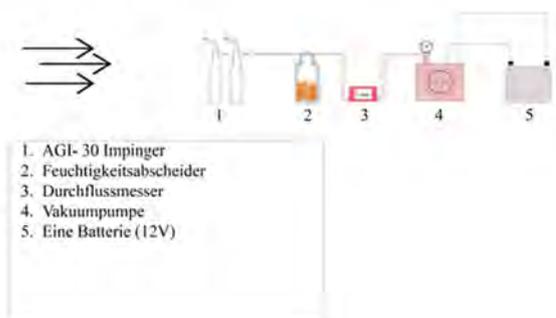


Abbildung 147: Schematischer Aufbau der Geräte einer Impingermessung (©Stonitsch)

- Zusätzliche Messgeräte

Zur konstanten Kontrolle des Durchflusses (l/min) wurden sowohl digitale, als auch analoge Durchflussmesser verwendet.

GCM-Red-y compact

Bei dem digitalen Durchflussmesser handelt es sich um einen GCM-C5EA-BN00 der Firma Vögtlin, welcher in Abbildung 148 zu sehen ist. Der Durchflussmesser verfügt über ein Touch-Interface, von welchem sowohl der aktuelle Durchfluss, als auch der gesamt gemessene Durchfluss (Totalizer) abgelesen werden kann. Der GCM-Red-y compact verfügt an beiden Seiten über G $\frac{1}{4}$ "-Anschlüsse. Die Genauigkeit des GCM-Red-y compact liegt bei $\pm 2,0\%$ des tatsächlichen Endwerts (Vögtlin, 2019).



Abbildung 148: GCM Red-y compact (©Stonitsch)

Q-Flow

Als analoges Gerät wurde der Schwebekörper Durchflussmesser Q-Flow 140 (Abbildung 149) benutzt. Führt man Luftkeimmessungen durch, liegt der Messbereich zwischen 1-34 l/min (Normbedingungen: 2 bar, 20 °C) (Vögtlin, 2022).

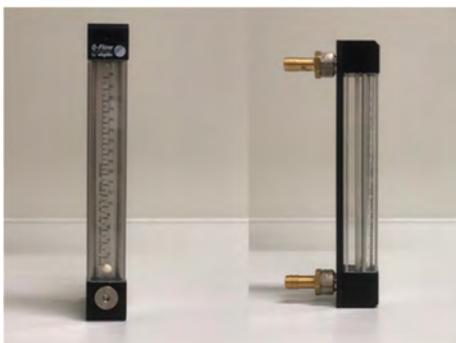


Abbildung 149: Q-Flow in Front- und Seitenansicht (©Stonitsch)

Mobile Wetterstation

Zur Messung der Wetterdaten stellte die Abteilung für Tierhaltungssysteme, Technik und Emissionen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein eine Wetterstation der Firma Kroneis zur Verfügung. Ein pneumatischer Mast (Clark Masts CQTX15-7), mit einer Höhe von 15 Metern, dient dazu, in Höhen von fünf, zehn und 15 Metern jeweils einen Sensor (WS500-UMB, Abbildung 150) der Firma OTT (2022) anzubringen. Neben der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung und der Lufttemperatur erfassen die Sensoren auch Luftfeuchte und Luftdruck. Die Daten werden durch einen sogenannten μ -EFI-Datenlogger erfasst, wobei dies in einem 5-Sekundenraster geschieht (Leineweber, 2011).



Abbildung 150: Wettersensor WS500-UMB

7.3.3 Probenaufarbeitung und Kultivierung

Sowohl die Messungen der Immission, als auch jene im Hintergrund wurden in einer Höhe von ungefähr 110 cm über dem Boden durchgeführt. Außerdem hat parallel zu jeder Messung eine Erhebung der meteorologischen Daten stattgefunden. Die Dauer der jeweiligen Probenahme ist dem Kapitel über die Messmethoden und Geräte zu entnehmen. Zwischen der Probenahme und der Aufarbeitung im Labor wurden die Nährmedien in einer Kühlbox gelagert.

In dieser Studie wurden die Leitparameter Staphylokokken inkl. *S. aureus* sowie mesophile Gesamtbakterien in Anlehnung an die VDI-Richtlinien untersucht (VDI 4250 Blatt 3:2016; VDI 4251 Blatt1:2007). Zusätzlich wurden die Konzentrationen der Gram-positiven Bakterien bestimmt.

- Probenaufbereitung Impaktion

Die bei der Impaktion verwendeten Nährmedienplatten wurden nach der Messung für 48 Stunden bei 36 ± 2 °C inkubiert. Anschließend wurde die Koloniezahl pro m^3 Luft bestimmt. Bakterienkolonien, welche makroskopische Merkmale eines *S. aureus* zeigten, wurden zur Gewinnung von Reinkulturen überimpft und im Anschluss mittels MALDI-TOF MS (Kapitel MALDI-TOF MS) ausgewertet.

- Probenaufbereitung Impingement

Die Aufarbeitung der Sammellösungen (30 ml), welche die aus der Luft abgeschiedenen Mikroorganismen enthielten, fand im Labor statt. Ausgehend von den originalen Flüssigmedien wurde eine serielle Verdünnungsreihe in Zehnerschritten $1:10^{-1}$, $1:10^{-2}$ und $1:10^{-3}$ hergestellt. Für die Messstelle SaMP1 (Stallinnenraum) wurde als Sammellösung PBS-Puffer nach VDI 4257 Blatt 2:2011 und für die anderen Messstellen 0,9 % NaCl Lösung verwendet. Aus Tabelle 27 kann entnommen werden, von welchen Verdünnungen jeweils 100 µl auf welches Medium ausplattiert wurden. Außerdem wurden von den unverdünnten Sammellösungen der Messstelle SaMP2 bis SaMP6 zusätzlich jeweils 500 µl auf CNA, MAN und SAIDE aufgebracht.

Tabelle 27: Auflistung der auf die Nährmedien ausplattierten Verdünnungen der Impinger-Proben

Nährmedium	Messstelle SaMP1	Messstelle SaMP2 bis 6
aufgetragene Verdünnung		
Tryptic-Soy-Agar+Cycloheximid (TSA)	10^0 bis 10^{-3}	10^0 bis 10^{-2}
Mannit-Kochsalz-Agar (MAN)	10^0 bis 10^{-3}	10^0 bis 10^{-2}
Columbia-CNA-Aga (CNA)r	10^0 bis 10^{-3}	10^0 bis 10^{-2}
ChromID™ S. aureus Elite-Agar (SAIDE)	10^0 bis 10^{-1}	10^0 bis 10^{-1}

Zudem wurden den ursprünglichen beprobten Sammellösungen der Messstelle SaMP2 bis SaMP6 jeweils 5 ml entnommen und mit 5 ml 0,9 % NaCl filtriert (siehe Kapitel Filtration). Alle Nährmedien wurden daraufhin bei 36 ± 2 °C für 48 Stunden inkubiert und im Anschluss wurde die Koloniezahl pro m^3 Luft (KBE/ m^3) berechnet.

Filtration

Die Sammelflüssigkeiten der Messstellen SaMP2 bis SaMP6 wurden zusätzlich membranfiltriert, um bei niedrigen Bakterienkonzentrationen in der Luft noch Nachweise aus den Proben zu erzielen. Die Filtrationsapparatur (Abbildung 151) setzte sich aus einem 1000 ml Kolben (1), der über einen Anschluss (2) mit einer Vakuumpumpe verbunden ist, sowie einem Filteraufsatz (4), der mit einer Metallklammer (3) befestigt wurde, zusammen. In den Filteraufsatz wurden Cellulose-Membran-Filter der Firma Millipore® gelegt, welche einen Durchmesser von 47 mm und eine Porengröße von 0,45 µm haben. Insgesamt wurden zehn Milliliter Flüssigkeit (fünf Milliliter 0,9 %ige NaCl und fünf Milliliter Sammelflüssigkeit) auf den Filter aufgetragen und durch das Aktivieren der Vakuumpumpe durch den Filter gesaugt. Die Filter wurden mit einer sterilen Pinzette abgenommen und direkt auf

die Nährmedien CNA, MAN und SAIDE aufgebracht. Diese wurden im Anschluss für 24 Stunden bei 36 ± 2 °C inkubiert und daraufhin quantitativ bzw. qualitativ ausgewertet.

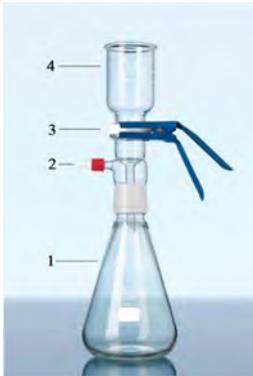


Abbildung 151: Aufbau der Filtrationsapparatur (vgl.: www.duran-group.com, bearbeitet Stonitsch)

7.3.4 Identifizierung von Gattungen und Arten

Zur qualitativen Auswertung der Mikroorganismen, mit Fokus auf *S. aureus*, wurden die Nährmedien MAN und SAIDE herangezogen. Dazu wurden Kolonien ausgewählt, welche dem makroskopischen Erscheinungsbild eines *S. aureus* entsprachen und von diesen Reinkulturen angelegt. Anschließend wurden diese dann mittels VITEK® MS (bioMérieux, Frankreich), einem MALDI-TOF MS System massenspektrometrisch identifiziert.

- Anlegen einer Reinkultur

Zum Anlegen einer Reinkultur wurde eine Bakterienkolonie mit einer sterilen Impföse mittels Drei-Phasen-Ausstrich (Verdünnungsausstrich) auf Blut- oder CNA-Agar aufgetragen. Dazu wurde die abgenommene Kolonie, durch einen senkrechten Strich mit der Impföse, auf die Agarplatte aufgebracht. Im Anschluss wurde die Kolonie in einer serpentinartigen Linie mit derselben Impföse ausgestrichen. Die Impföse wurde gewendet und nach dem gleichen Prinzip weiter ausgestrichen. Durch die Wiederholung des Vorgangs wird der Verdünnungseffekt erzeugt, wodurch man nach dem Inkubieren der beimpften Nährmedien bei 36 ± 2 °C für 24 Stunden Einzelkolonien erhält.

- MALDI-TOF MS

Die MALDI-TOF MS (bioMérieux, Frankreich) basiert auf einem massenspektrometrischen Verfahren zur Identifizierung von Mikroorganismen. Für die Bestimmung der Bakterien mit dem MALDI-TOF MS System VITEK® MS wird eine geringe Menge einer Kolonie, welche aus einer Reinkultur stammt, mit einem sterilen Zahnstocher entnommen und auf das Target aufgetragen. Auf den ProbenSpot wird außerdem 1 µl Matrix pipettiert. Als Referenzstamm wurde eine Reinkultur des *Escherichia coli*-Stammes ATCC 8739 verwendet und mit jeweils 0,5 µl Matrix überschichtet. Das Target wurde

in das Gerät eingebracht, woraufhin sich beim Starten des Geräts ein Hochvakuum bildet. Die Probe wird mit einem Laser beschossen, wodurch es zum Verdampfen der Matrix mit der Probe kommt. Die Probenmoleküle werden ionisiert und in einem elektrischen Feld beschleunigt. Die Flugzeit der unterschiedlich großen Ionen kann beim Eintreffen am Detektor erfasst werden. So wird das Peptid-Protein-Massenspektrum der einzelnen Proben ermittelt. Da dieses Massenspektrum für jeden Organismus individuell und charakteristisch ist, kann es mit einer Referenzdatenbank abgeglichen werden und so die aufgetragene Probe einem Organismus zugeordnet werden (bioMérieux, 2012a, 2012b).

7.3.5 *spa*-Typisierung

Bei der *spa*-Typisierung (*Staphylococcus* Protein A Typisierung) wird eine bestimmte polymorphe Repeat Sequenz (polymorphe Region X) des Protein A (*spa*), welches für *S. aureus* spezifisch ist, untersucht bzw. sequenziert. Für jede bestimmte Basenzusammensetzung eines Repeats, welche in einem Stamm festgestellt wird, ist ein eindeutiger Code festgelegt. Sowohl die Anzahl der Repeats, als auch die Länge dieser kann variieren, wobei die durchschnittliche Länge der Wiederholungseinheiten bei 24 Basenpaaren liegt. Je nach Anzahl und Reihenfolge der Repeats kann ein Stamm, durch den Abgleich mit der Datenbank des Ridom *spa* Servers, einem *spa*-Typ zugeordnet werden (Ruppitsch, 2006; Ridom *spa* Server, 2020). Um eine humane Kontamination der Proben auszuschließen, wurden die Projektmitarbeiter in definierten Zeitabständen auf *S. aureus* gescreent und deren *spa*-Typ ermittelt. Die Isolate mit den identischen *spa*-Typen der Mitarbeiter wurden aus den Ergebnissen ausgeschlossen.

7.3.6 Antibiogramm

Das Antibiogramm dient zur Bestimmung der Resistenz und der Empfindlichkeit von Bakterien gegenüber bestimmten Antibiotika. Mit den identifizierten *S. aureus*-Stämmen wurde ein Agardiffusionstest durchgeführt. Dazu wurde die Reinkultur mit einem sterilen Tupfer in eine NaCl-Lösung überführt und mit dem Densitometer auf eine optische Trübung von $0,5 \pm 0,08$ McFarland gebracht. Mit Hilfe eines sterilen Tupfers und eines Platten-Rotators wurde die NaCl-Suspension auf Müller-Hinton-II-Agarplatten aufgebracht und regelmäßig über die gesamte Agarplatte verteilt. Plättchen mit unterschiedlichen Antibiotika (BD BBLTM Sensi-Disc™, USA) wurden durch einen Dispenser auf die Nährmedienplatten aufgestempelt. Während einer 24-stündigen Inkubation der Agarplatten bei 37 °C, bildeten sich, je nachdem, ob die *S. aureus*-Isolate resistent oder sensibel gegenüber dem jeweiligen Antibiotikum waren, verschieden große Hemmhöfe um die Antibiotikaplättchen. Die Durchmesser der entstandenen Hemmhöfe wurden vermessen und mit den Grenzwerten von EUCAST V 12.0 (2021) ausgewertet. Durch die Erstellung eines Antibigramms konnten Aussagen über das Resistenzverhalten von den isolierten *S. aureus* Stämmen getroffen und in Methicillin-resistent (MRSA) oder Methicillin-sensibel (MSSA) eingeteilt werden.

7.3.7 Nährmedien zur Bestimmung der Mikroorganismen

In Tabelle 28 sind die verwendeten Nährmedien mit ihrem Keimspektrum, sowie die zugehörige Inkubationstemperatur und –zeit aufgelistet.

Tabelle 28: Nährmedien zur Bestimmung von Mikroorganismen, Inkubationszeiten und Keimspektren

Medium	Inkubation	Keimspektrum
Columbia-CNA-Agar (CNA)r	37 °C/ 48 h	Gram-positive Bakterien
Columbia-Blut Agar (COL-S)	37 °C/ 48 h	Reinkulturen - alle Bakterien
Mannit-Kochsalz-Agar (MAN)	37 °C/ 48 h	Staphylokokken
Müller-Hinton-II-Agar (MH)	37 °C/ 24 h	Agardiffusionstest <i>Staphylococcus aureus</i>
ChromID™ S. aureus Elite-Agar (SAIDE)	37 °C/ 24-48 h	<i>Staphylococcus aureus</i>
Tryptic-Soy-Agar+Cycloheximid (TSA)	37 °C/ 48 h	mesophile Gesamtbakterien

- Columbia CNA-Agar (CNA)

Der Columbia CNA-Agar ist ein selektives Nährmedium, das unter anderem fünf Prozent Schafblut enthält und zur Isolierung von Gram-positiven Bakterien dient. Insbesondere für Staphylokokken und Streptokokken/Aerokokken, Bazillen, Lactobazillen, Listerien und Actinomyceten ist dieses Medium gut geeignet. Da der Columbia CNA-Agar die Antibiotika Nalidixinsäure und Colistin enthält, kann das Wachstum von Gram-negativen Bakterien ausgeschlossen werden. Die Zusammensetzung des CNA-Agars kann der Tabelle 29 entnommen werden (Becton Dickinson GmbH., 2013a).

Tabelle 29: Zusammensetzung CNA-Agar

Reagenzien	Anteil [g/l]
Pankreatisch abgebautes Casein	12,0
Peptisch abgebautes Tiergewebe	5,0
Hefeextrakt	3,0
Rindfleischextrakt	3,0
Maisstärke	1,0
Natriumchlorid	5,0
Agar	13,5
Colistin	10,0 mg/l
Nalidixinsäure	10,0
Defibriniertes Schafsblut	5,0 %

- Columbia-Agar mit 5 % Schafblut (COL-S)

Der Columbia-Agar ist ein nährstoffreiches Medium, welches zum Nachweis von hämolysierenden Bakterien verwendet wird. Dieses selektive Nährmedium wird zur Isolierung und Kultivierung vieler Mikroorganismen benutzt, wobei es in diesem Projekt hauptsächlich dazu genutzt wurde, um Reinkulturen anzulegen. Die Zusammensetzung des Mediums ist in Tabelle 30 aufgelistet (Becton Dickinson GmbH, 2013b).

Tabelle 30: Zusammensetzung COL-S-Agar

Reagenzien	Anteil [g/l]
Pankreatisch abgebautes Casein	12,0
Peptisch abgebautes Tiergewebe	5,0
Hefeextrakt	3,0
Rindfleischextrakt	3,0
Maisstärke	1,0
Natriumchlorid	5,0
Agar	13,5
Defibriniertes Schafblut	5,0 %

- Mannit-Kochsalz-Agar (MAN)

Der Mannit-Kochsalz-Agar (MAN) dient als hochselektives Medium der Isolierung von pathogenen Staphylokokken. Durch den hohen Gehalt an Natriumchlorid wird das Wachstum anderer Bakterien gehemmt. Die rötliche Farbe des Agars stammt vom Fleischextrakt und dem Phenolrot. Durch den Abbau von Mannitol, welches die Kohlenstoffquelle darstellt, fällt der pH-Wert im Medium ab, wodurch beim Säureindikator Phenolrot ein Farbumschlag von rot auf gelb resultiert. Die genaue Zusammensetzung des MAN-Agars ist aus Tabelle 31 zu entnehmen (VWR Chemicals 2013).

Tabelle 31: Zusammensetzung MAN-Agar

Reagenzien	Anteil [g/l]
Pankreashydrolysat aus Casein	5,0
Pepton	5,0
Rindfleischextrakt	1,0
Natriumchlorid	75,0
D-Mannit	10,0
Phenolrot	0,025
Agar	15,0

- Müller-Hinton II Agar (MH)

Der Müller-Hinton II Agar (Tabelle 32) wurde für die Antibiogramme verwendet (Becton Dickinson GmbH, 2017). Bei Verfahren werden Hemmhöfe im Agar gebildet, je nachdem ob der aufgetragene Organismus auf das verwendete Antibiotikum sensibel oder resistent ist, siehe Punkt Antibiogramm.

Tabelle 32: Zusammensetzung Müller-Hinton II Agar

Reagenzien	Anteil [g/l]
Rindfleischextrakt	2,0
Säurehydrolysat von Casein	17,5
Stärke	1,5
Agar	17,0

- ChromID™ S.aureus Elite-Agar (SAIDE)

Der SAIDE-Agar ist ein Nährmedium zur selektiven Isolierung und Identifikation von *S. aureus*. Die makroskopische Identifikation von *S. aureus* erfolgt durch eine rosa bis violette Färbung der Kolonien. In Tabelle 33 ist die Zusammensetzung des Mediums aufgelistet (bioMerieux Austria, 2017).

Tabelle 33: Zusammensetzung SAIDE-Agar

Reagenzien	Anteil [g/l]
Pflanzliche und tierische Peptone	18,0
Tris	1,1
Chromogene Mischung	0,13
Selektivmischung	20,0 ml
Thymidin	0,025
Trübungsmittel	1,0
Agar	12,0

- Tryptic-Soy-Agar + Cycloheximid (TSA)

Der Tryptic-Soy-Agar ist ein nährstoffreiches Medium (34), das aufgrund des enthaltenen Peptons das Wachstum von Bakterien fördert. Das enthaltene Cycloheximid hemmt außerdem das Wachstum von Pilzen (VWR Chemicals, 2016). Für die Quantifizierung der mesophilen Gesamtbakterien wurde in diesem Projekt auf dieses Medium zurückgegriffen.

Tabelle 34: Zusammensetzung TSA

Reagenzien	Anteil [g/l]
Casein, tryptisch verdaut	15,0
Sojapepton	5,0
Natriumchlorid	5,0
Cycloheximid	0,28
Agar	15,0

- PBS-Puffer

Die phosphatgepufferte Kochsalzlösung (PBS-Puffer) nach VDI 4257 Blatt 2:2011 wurde in diesem Projekt als Sammellösung für den Impinger AGI-30 an Messstelle SaMP1 verwendet. Die Zusammensetzung des Puffers ist in Tabelle 35 zusammengefasst.

Tabelle 35: Zusammensetzung des PBS-Puffers

Reagenzien	Anteil [g/l]
NaCl	4,3
Na ₂ HPO ₄	7,23
KH ₂ PO ₄	3,56

7.3.8 Berechnung und Auswertung

Zur Berechnung und Auswertung der Bakterienkonzentrationen wurde für die jeweiligen Messereignisse der Mittelwert und der Median berechnet. Für die graphische Darstellung wurde nur der Median herangezogen.

- Berechnung Impaktion

Messvolumen: 100 l/min Messzeit: 2 min

Bestimmung des Multiplikationsfaktors für die ausgezählten Kolonien (n) jeder Platte, um die KBE/m³ Luft zu ermitteln:

$$\frac{1 \text{ KBE} \times 1000}{2 \text{ min} \times 100 \text{ l/min}} = \frac{1000}{200} = 5$$

Umrechnung auf 1 m³ Luft: n x 5 = KBE/m³

- Berechnung Impingement

Die Berechnung mit der angegebenen Formel wurde unter Berücksichtigung der VDI-Richtlinie (VDI 4253/Blatt 3) durchgeführt:

$$\frac{KBE}{m^3} = \frac{\sum C}{(n_1 + 0,1n_2)} \times \frac{dD}{V}$$

$\sum C$ _Summe der gezählten Kolonien auf allen ausgewerteten Nährmedienplatten

n_1 _Anzahl der Platten der niedrigsten auswertbaren Verdünnungsstufen

n_2 _Anzahl der Platten der nächst höheren Verdünnung

D _weiterer Verdünnungsfaktor, der sich daraus ergibt, dass nur ein Aliquot ausplattiert wurde

V _beprobtes Luftvolumen in m^3

7.3.9 Statistische Auswertung der Bioaerosolkonzentrationen

Zur Analyse der Bioaerosol-Daten wurde die Software IBM® SPSS® Statistics Version 27 verwendet. Die Daten wurden hinsichtlich Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum ausgewertet; die graphische Darstellung erfolgte mit Boxplots.

7.3.10 Bewertung der Windrichtung

Für die Auswertung der Bioaerosole wurden einerseits alle Messereignisse herangezogen und andererseits jene Messereignisse ausgeschlossen, welche einen Halbstundenmittelwert der Windrichtung entgegen der Hauptwindrichtung (SSO) aufwiesen, der Wind also aus WNW bis NNO anströmte. Der windbereinigte Datensatz ($n=5$) wurde für die Messstellen SaMP1 bis SaMP6 herangezogen.

7.4 Ergebnisse

Für die Auswertung der Bioaerosole wurden in einem ersten Berechnungsschritt alle Messereignisse herangezogen. In einem zweiten Berechnungsdurchgang wurden jene Messereignisse ausgeschlossen, welche einen Halbstundenmittelwert der Windrichtung entgegen der Hauptwindrichtung aufwiesen, der Wind also aus WNW bis NNO anströmte. Ein Überblick der Messereignisse inklusive der meteorologischer Parameter und des Viehbesatzes ist in Tabelle 36 aufgelistet.

Tabelle 36: Überblick der Messereignisse inkl. meteorologischer Parameter und dem Tierbesatz in Gesamt GV

Datum	Temperatur außen (°C)	LF außen (%)	Windrichtung (Grad)	Windgeschwindigkeit (m/s)	Gesamt GV*
29.06.2021	29,6	44,7	150,5	1,1	117
15.07.2021	22,4	55,5	87,2	1,9	117
19.10.2021	7,3	100	131,5	0,5	117
16.11.2021	7,3	90,3	149,8	0,7	117
18.01.2022	1,1	92,3	97,3	1,0	117
08.02.2022	9,8	38,5	284,3	2,6	117
15.03.2022	3,1	64,8	18,5	0,7	117
29.03.2022	16,6	36,9	52,0	0,8	117
29.03.2022	20,7	30,7	161,6	2,0	117

*GV...Großvieheinheit

7.4.1 Ergebnisse Messstelle SaMP1

In Tabelle 37 und Tabelle 38 ist der Vergleich aller Daten von Messstelle SaMP1 dargestellt. In Tabelle 37 ist der Vergleich der Impingement-Daten aufgelistet, in Tabelle 38 die Impaktions-Daten.

- Impingement

Den insgesamt höchsten medianen Wert von $5,3 \times 10^4$ BE/m³ und somit die höchste Konzentration weisen die mesophilen Gesamtbakterien auf, gefolgt von den Gram-positiven Bakterien auf CNA mit einem medianen Wert von $2,1 \times 10^4$ KBE/m³. Die Konzentration der Staphylokokken auf CNA beträgt $1,2 \times 10^4$ KBE/m³ und auf MAN $1,1 \times 10^4$ KBE/m³. Tabelle 37 zeigt alle Daten der Impingement-Messungen an Messstelle SaMP1.

Tabelle 37: Impingement-Daten von Messstelle SaMP1 im Vergleich

	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)					
Gesamt*	9	$2,2 \times 10^5$	$5,3 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$	$8,6 \times 10^3$ $5,9 \times 10^5$
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)					
Gesamt	9	$3,8 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	$4,3 \times 10^4$	$2,3 \times 10^3$ $1,3 \times 10^5$
Immission CNA Gram-positive Bakterien Konzentration (KBE/m ³)					
Gesamt	9	$2,5 \times 10^5$	$2,1 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$	0 $6,3 \times 10^4$
Immission CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)					
Gesamt	9	$1,9 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$	0 $8,8 \times 10^4$

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen

- Impaktion

Der mediane Wert der Staphylokokken-Konzentration im Stallinneren liegt bei $1,2 \times 10^4$ KBE/m³. Tabelle 38 zeigt die Daten der Impaktion von Messstelle SaMP1.

Tabelle 38: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP1 im Vergleich

	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt*	9	$1,2 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$4,8 \times 10^3$	0	$1,7 \times 10^4$

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen

7.4.2 Ergebnisse Messstelle SaMP2

In Tabelle 39 und Tabelle 40 ist der Vergleich aller Daten von Messstelle SaMP2, mit jenen, welche aufgrund der Windrichtung als gültig gewertet werden können, dargestellt. In Tabelle 39 ist der Vergleich der Impingement-Daten aufgelistet, in Tabelle 40 die Impaktions-Daten.

- Impingement

Den insgesamt höchsten medianen Wert von $2,3 \times 10^3$ KBE/m³ und somit die höchste Konzentration weisen die Gram-positiven Bakterien auf CNA-Agar auf, gefolgt von der Gesamtbakterienkonzentration auf TSA, unter Berücksichtigung der Windverhältnisse, mit einem medianen Wert von $2,1 \times 10^3$ KBE/m³. Die Konzentration an Staphylokokken auf CNA beträgt sowohl bei den gesamten Messereignissen, als auch unter Berücksichtigung der Windverhältnisse $1,5 \times 10^1$ KBE/m³. Tabelle 39 zeigt alle Daten der Impingement-Messungen an Messstelle SaMP2.

Tabelle 39: Impingement-Daten von Messstelle SaMP2 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt*	9	4,8x10 ³	1,2x10 ³	8,3x10 ³	3,1x10 ²	2,5x10 ⁴
WB*	5	8,2x10 ³	2,1x10 ³	1,0x10 ⁴	1,2x10 ³	2,5x10 ⁴
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	2,0x10 ²	4,6x10 ¹	3,0x10 ²	0	8,6x10 ²
WB	5	2,3x10 ²	4,6x10 ¹	3,6x10 ²	7,4x10 ⁰	8,6x10 ²
Immission CNA Gram-positive Bakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	2,5x10 ³	2,3x10 ³	2,7x10 ³	1,5x10 ¹	8,1x10 ³
WB	5	2,9x10 ³	2,3x10 ³	3,3x10 ³	1,5x10 ¹	8,1x10 ³
Immission CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	1,6x10 ³	1,5x10 ¹	2,5x10 ³	0	6,9x10 ³
WB	5	2,1x10 ³	1,5x10 ¹	3,1x10 ³	0	6,9x10 ³

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

- Impaktion

Der mediane Wert von 8,6x10² KBE/m³ der Staphylokokken-Konzentration der windbereinigten Messungen übersteigt jenen mit allen Messereignissen von 6,5x10² KBE/m³ deutlich. Tabelle 40 zeigt alle Daten der Impaktion von Messstelle SaMP2.

Tabelle 40: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP2 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt*	9	7,1x10 ²	6,5x10 ²	4,6x10 ²	1,1x10 ²	1,4x10 ³
WB*	5	7,7x10 ²	8,6x10 ²	4,9x10 ²	1,1x10 ²	1,4x10 ³

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

7.4.3 Ergebnisse Messstelle SaMP3

In Tabelle 41 und Tabelle 42 ist der Vergleich aller Daten von Messstelle SaMP3, mit jenen, welche aufgrund der Windrichtung als gültig gewertet werden können, dargestellt. In Tabelle 41 ist der Vergleich der Impingement-Daten aufgelistet, in Tabelle 42 die Impaktions-Daten.

- Impingement

Der höchste erzielte mediane Wert bei Messstelle SaMP3 von $1,9 \times 10^3$ KBE/m³ liegt bei der Erfassung der mesophilen Gesamtbakterien unter Betrachtung der windbereinigten Messungen vor. Die Konzentration von $1,0 \times 10^3$ KBE/m³ der mesophilen Gesamtbakterien auf TSA, welche sich aus den gesamten Messungen zusammensetzt, liegt etwas niedriger. Alle Daten der Impingement-Messungen sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Impingement-Daten von Messstelle SaMP3 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt*	9	$2,1 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	0	$8,3 \times 10^3$
WB*	5	$2,6 \times 10^3$	$1,9 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$	0	$8,3 \times 10^3$
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$2,8 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$	$3,3 \times 10^2$	0	$9,2 \times 10^2$
WB	5	$2,9 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$2,1 \times 10^1$	$7,5 \times 10^2$
Immission CNA Gram-positive Bakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$1,4 \times 10^3$	$6,6 \times 10^2$	$1,6 \times 10^3$	$1,0 \times 10^1$	$4,6 \times 10^3$
WB	5	$1,1 \times 10^3$	$6,6 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	$1,0 \times 10^1$	$2,7 \times 10^3$
Immission CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$8,6 \times 10^2$	$1,0 \times 10^1$	$1,7 \times 10^3$	0	$4,6 \times 10^3$
WB	5	$6,3 \times 10^2$	$6,9 \times 10^1$	$1,2 \times 10^3$	0	$2,7 \times 10^3$

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

- Impaktion

Da bei Messstelle SaMP3 der SAS Super DUO 360 zum Einsatz kam, konnten hier Impaktionsmessungen zum Nachweis der mesophilen Gesamtbakterien- und der Staphylokokken-Konzentrationen (KBE/m³) zeitgleich durchgeführt werden. In der Tabelle 42 sind alle Daten der Messungen mittels Impaktion aufgelistet. Der höchste mediane Wert liegt bei $9,4 \times 10^2$ KBE/m³ und betrifft die Gesamtkonzentration an mesophilen Bakterien der windbereinigten Messungen. Die restlichen medianen Werte liegen relativ nahe aneinander: $5,8 \times 10^2$ KBE/m³ (Staphylokokken-Konzentration, windbereinigte Messungen), $5,7 \times 10^2$ KBE/m³ (Staphylokokken-Konzentration, gesamte Messungen) und $5,7 \times 10^2$ KBE/m³ (mesophile Gesamtbakterienkonzentration, gesamte Messungen).

Tabelle 42: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP3 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt*	9	7,2x10 ²	5,7x10 ²	5,8x10 ²	3,8x10 ¹	2,0x10 ³
WB*	5	1,0x10 ³	9,4x10 ²	6,3x10 ²	2,5x10 ²	2,0x10 ³
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	3,9x10 ²	5,6x10 ²	2,7x10 ²	7,3x10 ⁰	6,7x10 ²
WB	5	5,1x10 ²	5,8x10 ²	2,0x10 ²	1,5x10 ²	6,4x10 ²

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

7.4.4 Ergebnisse Messstelle SaMP4

In Tabelle 43 und Tabelle 44 ist der Vergleich aller Daten von Messstelle 4 dargestellt. In Tabelle 43 ist der Vergleich der Impingement-Daten aufgelistet, in Tabelle 44 die Impaktions-Daten.

- Impingement

In Tabelle 43 sind die berechneten Werte für Messstelle SaMP4, der Impingement-Messungen, angegeben. Mit einem medianen Wert von 9,2x10² KBE/m³ werden die höchsten Konzentrationen bei den mesophilen Gesamtbakterien, sowohl in Bezug auf die gesamten Messungen, als auch bei den windbereinigten, erreicht. Für die Gram-positiven Bakterien wird eine Konzentration von 4,3x10² KBE/m³ in Betracht aller Messungen berechnet. Die Staphylokokken-Konzentration, welche bei den gesamten Messungen auf CNA nachgewiesen wurde, beträgt 9,0x10¹ KBE/m³. Die auf MAN nachgewiesenen Staphylokokken, sowohl bei den gesamten Messungen, als auch bei den windbereinigten, weisen einen medianen Wert von 6,6x10¹ KBE/m³ auf.

Tabelle 43: Impingement-Daten von Messstelle SaMP4 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	1,7x10 ³	9,2x10 ²	2,2x10 ³	0	6,6x10 ³
WB	5	2,3x10 ³	9,2x10 ²	2,6x10 ³	2,9x10 ²	6,6x10 ³
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	2,6x10 ²	6,6x10 ¹	3,4x10 ²	0	1,0x10 ³
WB	5	3,0x10 ²	6,6x10 ¹	4,3x10 ²	0	1,0x10 ³
Immission CNA Gram-positive Bakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	1,2x10 ³	4,3x10 ²	1,2x10 ³	1,3x10 ¹	2,6x10 ³
WB	5	1,1x10 ³	3,1x10 ²	1,3x10 ³	1,3x10 ¹	2,6x10 ³
Immission CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	6,5x10 ²	9,0x10 ¹	9,8x10 ²	0	2,5x10 ³
WB	5	6,5x10 ²	2,9x10 ²	8,7x10 ²	0	2,2x10 ³

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

- Impaktion

Aus Tabelle 44 ist zu entnehmen, dass die Konzentration an Staphylokokken bei den windbereinigten Messungen mit einem Medianwert von 3,1x10² KBE/m³, jene, der Gesamtanzahl der Messungen, mit 9,0x10¹ KBE/m³ übersteigt.

Tabelle 44: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP4 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	3,4x10 ²	9,0x10 ¹	4,2x10 ²	9,0x10 ⁰	1,2x10 ³
WB	5	4,7x10 ²	3,1x10 ²	5,1x10 ²	9,0x10 ⁰	1,2x10 ³

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

7.4.5 Ergebnisse Messstelle SaMP5

In Tabelle 45 und Tabelle 46 ist der Vergleich aller Daten von Messstelle SaMP5, mit jenen, welche aufgrund der Windrichtung als gültig gewertet werden können, dargestellt. In Tabelle 45 ist der Vergleich der Impingement-Daten aufgelistet, in Tabelle 46 die Impaktions-Daten.

- Impingement

Der maximale mediane Wert mit einer Konzentration von $1,1 \times 10^3$ KBE/m³, wird sowohl für die mesophilen Gesamtbakterien (TSA, gesamte Messungen) als auch die Gram-positiven Bakterien (CNA, windbereinigte Messungen) berechnet. Gefolgt von medianen Werten von $6,6 \times 10^2$ KBE/m³ der Gesamtbakterien (TSA) bei windbereinigten Messungen und $4,4 \times 10^2$ KBE/m³ der Gram-positiven Bakterien (CNA) bei den gesamten Messungen. Für die Staphylokokken-Konzentration, welche auf MAN nachgewiesen wurde, wurde ein medianer Wert von $2,8 \times 10^2$ KBE/m³ berechnet, für die Staphylokokken-Konzentration, welche auf CNA nachgewiesen wurde, ein medianer Wert von $4,2 \times 10^1$ KBE/m³. Bei den beiden letzteren handelt es sich um die Daten von den windbereinigten Messungen. Bei den gesamten Messungen zum Nachweis von Staphylokokken auf CNA wird ein medianer Wert von 0 KBE/m³ berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 45 erfasst.

Tabelle 45: Impingement-Daten von Messstelle SaMP5 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$2,8 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$3,1 \times 10^3$	$3,5 \times 10^2$	$7,6 \times 10^3$
WB	5	$3,2 \times 10^3$	$6,6 \times 10^2$	$3,6 \times 10^3$	$4,8 \times 10^2$	$7,6 \times 10^3$
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$6,2 \times 10^2$	$1,3 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$	0	$3,3 \times 10^3$
WB	5	$8,3 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$	$3,1 \times 10^1$	$3,3 \times 10^3$
Immission CNA Gram-positive Bakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$7,8 \times 10^2$	$4,4 \times 10^2$	$8,2 \times 10^2$	0	$2,7 \times 10^3$
WB	5	$1,1 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	0	$2,3 \times 10^3$
Immission CNA Staphylokokken C Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	$2,7 \times 10^2$	0	$6,2 \times 10^2$	0	$1,8 \times 10^3$
WB	5	$4,9 \times 10^2$	$4,2 \times 10^1$	$7,9 \times 10^2$	0	$1,8 \times 10^3$

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

- Impaktion

Der mediane Wert von $2,8 \times 10^1$ KBE/m³ der Staphylokokken-Konzentration (MAN) aller Messungen, liegt etwas über dem der windbereinigten von $2,5 \times 10^1$ KBE/m³. Weitere berechnete Werte können aus Tabelle 46 entnommen werden.

Tabelle 46: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP5 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	6,4x10 ¹	2,8x10 ¹	9,2x10 ¹	1,3x10 ⁰	3,0x10 ²
WB	5	7,6x10 ¹	2,5x10 ¹	1,2x10 ²	1,3x10 ⁰	3,0x10 ²

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

7.4.6 Ergebnisse Messstelle SaMP6

In Tabelle 47 und Tabelle 48 ist der Vergleich aller Daten von Messstelle SaMP6, mit jenen, welche aufgrund der Windrichtung als gültig gewertet werden können, dargestellt.

- Impingement

Wie Tabelle 47 zeigt, liegt der höchste mediane Wert bei 1,8x10³ KBE/m³, welcher sowohl bei den windbereinigten Messungen, als auch bei der Gesamtanzahl der Messungen, für die mesophile Gesamtbakterienkonzentration (TSA) berechnet wurde. Für die Konzentration an Gram-positiven Bakterien (CNA) wird abermals für die windbereinigten Messungen und die gesamte Anzahl der Messungen der gleiche Wert erhalten: 3,5x10² KBE/m³. Bei den auf MAN nachgewiesenen Staphylokokken beträgt der mediane Wert der Konzentration 6,4x10¹ KBE/m³ wenn alle Messungen miteinbezogen werden, betrachtet man nur die windbereinigten, ergibt sich ein medianer Wert von 6,5x10⁰ KBE/m³. Für die Staphylokokken-Konzentration (CNA) wurde bei der Berücksichtigung aller Messungen und bei den windbereinigten Messungen ein medianer Wert von 0 KBE/m³ berechnet.

Tabelle 47: Impingement-Daten von Messstelle SaMP6 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	1,8x10 ³	1,8x10 ³	1,2x10 ³	0	3,9x10 ³
WB	5	1,6x10 ³	1,8x10 ³	1,2x10 ³	0	3,0x10 ³
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	4,4x10 ²	6,4x10 ¹	8,1x10 ²	0	2,5x10 ³
WB	5	5,1x10 ²	6,5x10 ⁰	1,1x10 ³	0	2,5x10 ³
Immission CNA Gram-positive Bakterien Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	9,6x10 ²	3,5x10 ²	1,7x10 ³	0	5,2x10 ³
WB	5	5,5x10 ²	3,5x10 ²	7,3x10 ²	0	1,8x10 ³
Immission CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	6,2x10 ²	0	1,7x10 ³	0	5,2x10 ³
WB	5	6,9x10 ¹	0	1,6x10 ²	0	3,5x10 ²

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

- Impaktion

Für die Staphylokokken-Konzentration bei Messstelle SaMP6 wird unter Berücksichtigung aller Messungen und auch für die windbereinigten Messungen ein medianer Wert von 3,7x10⁰ KBE/m³ berechnet. Tabelle 48 zeigt alle berechneten Ergebnisse.

Tabelle 48: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP6 im Vergleich

		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Immission MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m ³)						
Gesamt	9	1,2x10 ¹	3,7x10 ⁰	1,4x10 ¹	1,0x10 ⁰	3,5x10 ¹
WB	5	1,2x10 ¹	3,7x10 ⁰	1,5x10 ¹	1,0x10 ⁰	3,5x10 ¹

*Gesamt: Gesamtanzahl der Messungen; WB: Anzahl der windbereinigten Messungen

7.4.7 Vergleich der Bioaerosolkonzentrationen aller Messstellen

In diesem Abschnitt werden alle Daten der Impingement- und Impaktions-Messungen verglichen. In den Tabelle 49 und Tabelle 50 geht es um die Gesamtanzahl der Messungen, in den Tabelle 51 und Tabelle 52 werden die windbereinigten Messungen verglichen.

- Impingement – Gesamt

Beim Vergleich aller Werte liegt der maximale mediane Wert bei $2,3 \times 10^3$ KBE/m³ und wird der Konzentration von Gram-positiven Bakterien (CNA) der Messstelle SaMP2 zugeordnet. Die höchste Konzentration der mesophilen Gesamtbakterien (TSA) liegt mit einem medianen Wert bei $1,8 \times 10^3$ KBE/m³ und wurde für Messstelle SaMP6 berechnet. Die auf MAN nachgewiesenen Staphylokokken weisen bei Messstelle SaMP3 einen medianen Wert von $1,4 \times 10^2$ KBE/m³ auf, wohingegen der Wert der für die auf CNA nachgewiesenen Staphylokokken bei Messstelle SaMP4 bei $9,0 \times 10^4$ KBE/m³ liegt. Der niedrigste mediane Wert mit 0 KBE/m³ wurde für Messstelle SaMP5 und SaMP6 berechnet und betrifft die Staphylokokken-Konzentration, welche auf CNA nachgewiesen wurde. In Tabelle 49 sind alle berechneten Werte aufgelistet.

Tabelle 49: Impingement-Daten aller Messungen

Medium	Messstelle	Median	Mittelwert	Minimum	Maximum
TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	$5,3 \times 10^4$	$2,2 \times 10^5$	$8,6 \times 10^3$	$5,9 \times 10^5$
	SaMP2	$1,2 \times 10^3$	$4,8 \times 10^3$	$3,1 \times 10^2$	$2,5 \times 10^4$
	SaMP3	$1,0 \times 10^3$	$2,1 \times 10^3$	0	$8,3 \times 10^3$
	SaMP4	$9,2 \times 10^2$	$1,7 \times 10^3$	0	$6,6 \times 10^3$
	SaMP5	$1,1 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$3,5 \times 10^2$	$7,6 \times 10^3$
	SaMP6	$1,8 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	0	$3,9 \times 10^3$
MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	$1,1 \times 10^4$	$3,8 \times 10^4$	$2,3 \times 10^3$	$1,3 \times 10^5$
	SaMP2	$4,6 \times 10^1$	$2,0 \times 10^2$	0	$8,6 \times 10^2$
	SaMP3	$1,4 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	0	$9,2 \times 10^2$
	SaMP4	$6,6 \times 10^1$	$2,6 \times 10^2$	0	$1,0 \times 10^3$
	SaMP5	$1,3 \times 10^2$	$6,2 \times 10^2$	0	$3,3 \times 10^3$
	SaMP6	$6,4 \times 10^1$	$4,4 \times 10^2$	0	$2,5 \times 10^3$
CNA Gram- positive Bakterien Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	$2,0 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	0	$6,3 \times 10^4$
	SaMP2	$2,3 \times 10^3$	$2,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^1$	$8,1 \times 10^3$
	SaMP3	$6,6 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$	$1,0 \times 10^1$	$4,6 \times 10^3$
	SaMP4	$4,3 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	$1,3 \times 10^1$	$2,6 \times 10^3$
	SaMP5	$4,4 \times 10^2$	$7,8 \times 10^2$	0	$2,7 \times 10^3$
	SaMP6	$3,5 \times 10^2$	$9,6 \times 10^2$	0	$5,2 \times 10^3$
CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	$1,2 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	0	$8,8 \times 10^4$
	SaMP2	$1,5 \times 10^1$	$1,6 \times 10^3$	0	$6,9 \times 10^3$
	SaMP3	$1,0 \times 10^1$	$8,6 \times 10^2$	0	$4,6 \times 10^3$
	SaMP4	$9,0 \times 10^1$	$6,5 \times 10^2$	0	$2,5 \times 10^3$
	SaMP5	0	$2,7 \times 10^2$	0	$1,8 \times 10^3$
	SaMP6	0	$6,2 \times 10^2$	0	$5,2 \times 10^3$

In Abbildung 152 sind die mesophilen Gesamtbakterienkonzentrationen der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Messstelle SaMP1, im Stallinneren, wies die höchsten medianen Konzentrationen an mesophilen Gesamtbakterien von $5,3 \times 10^4$ KBE/m³ auf. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 zeigten mesophile Gesamtbakterienkonzentrationen von $9,2 \times 10^2$ bis $1,0 \times 10^3$ KBE/m³. Die Immissions-Messstelle SaMP2 erreichte die höchste mediane Gesamtbakterienkonzentration mit $1,2 \times 10^3$ KBE/m³ und die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Gesamtbakterienkonzentration von $1,8 \times 10^3$ KBE/m³ (Tabelle 49).

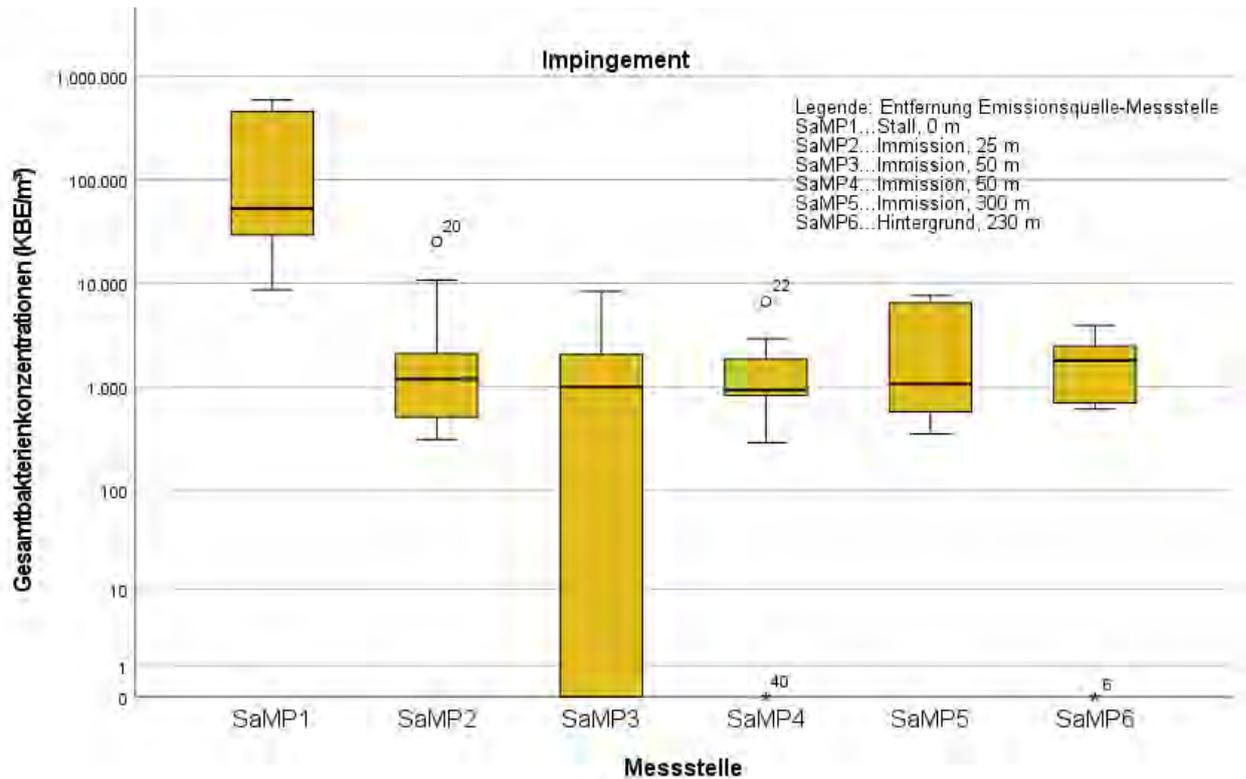


Abbildung 152: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impingement (n=9) an den Messstellen

In Abbildung 153 sind die Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Messstelle SaMP1, im Stallinneren zeigte die höchsten medianen Konzentrationen an Staphylokokken mit $1,1 \times 10^4$ KBE/m³. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 wiesen Staphylokokken mit Konzentrationen von $4,6 \times 10^1$ bis $1,4 \times 10^2$ KBE/m³ auf. An der Immissions-Messstelle SaMP3 wurde die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $1,4 \times 10^2$ KBE/m³ errechnet. Die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Staphylokokken-Konzentration von $6,4 \times 10^1$ KBE/m³ (Tabelle 49).

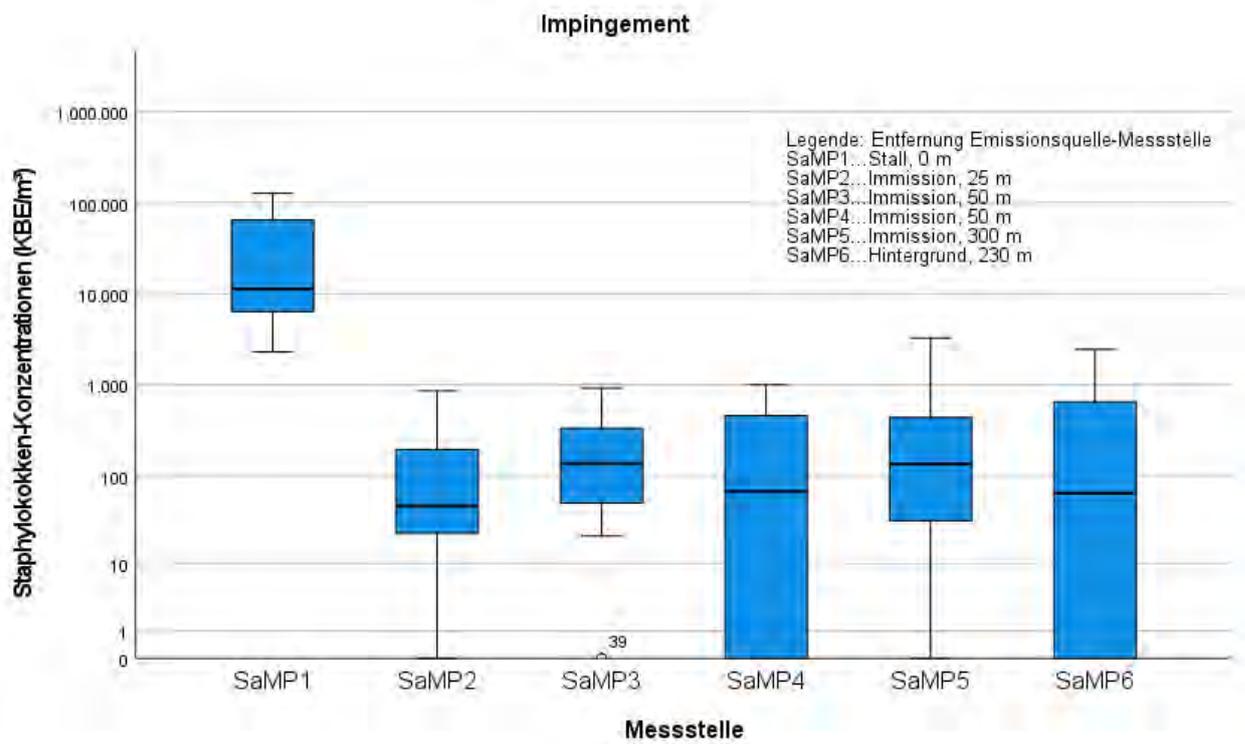


Abbildung 153: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impingement (n=9) an den Messstellen

In Abbildung 154 sind die Konzentrationen der Gram-positiven Bakterien der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Messstelle SaMP1, im Stallinneren wies die höchsten Konzentrationen an Gram-positiven Bakterien mit $2,0 \times 10^4$ KBE/m³ auf. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 zeigten Gram-positive Bakterienkonzentrationen von $4,3 \times 10^2$ bis $2,3 \times 10^3$ KBE/m³. An der Immissions-Messstelle SaMP2 konnte die höchste Gram-positive Bakterienkonzentration mit $2,3 \times 10^3$ KBE/m³ nachgewiesen werden. Die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine Gram-positive Bakterienkonzentration von $3,5 \times 10^2$ KBE/m³ (Tabelle 49).

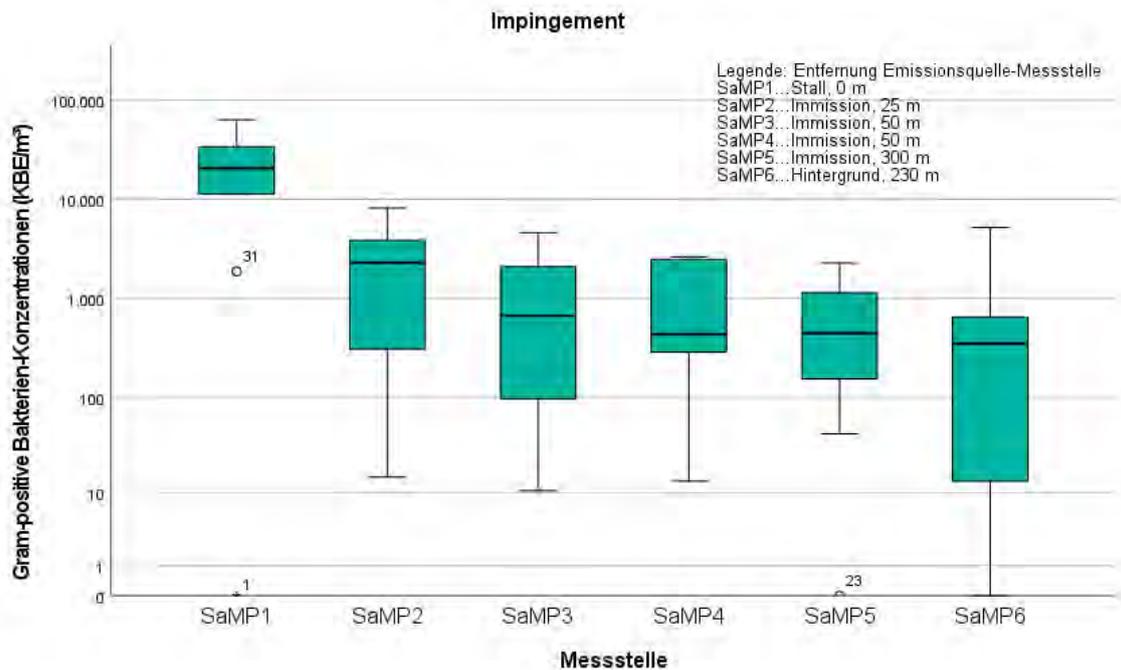


Abbildung 154: Gram-positive Bakterien Konzentrationen auf CNA Agar mittels Impingement (n=9) an den Messstellen

In Abbildung 155 sind die Staphylokokken-Konzentrationen auf CNA Agar der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Messstelle SaMP1, im Stallinneren zeigte die höchsten medianen Konzentrationen an Staphylokokken mit $1,2 \times 10^4$ KBE/m³. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 wiesen Staphylokokken mit Konzentrationen von 0 bis $9,0 \times 10^1$ KBE/m³ auf. An Immissions-Messstelle SaMP4 wurde die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $9,0 \times 10^1$ KBE/m³ errechnet. Die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Staphylokokken-Konzentration von 0 KBE/m³ (Tabelle 49).

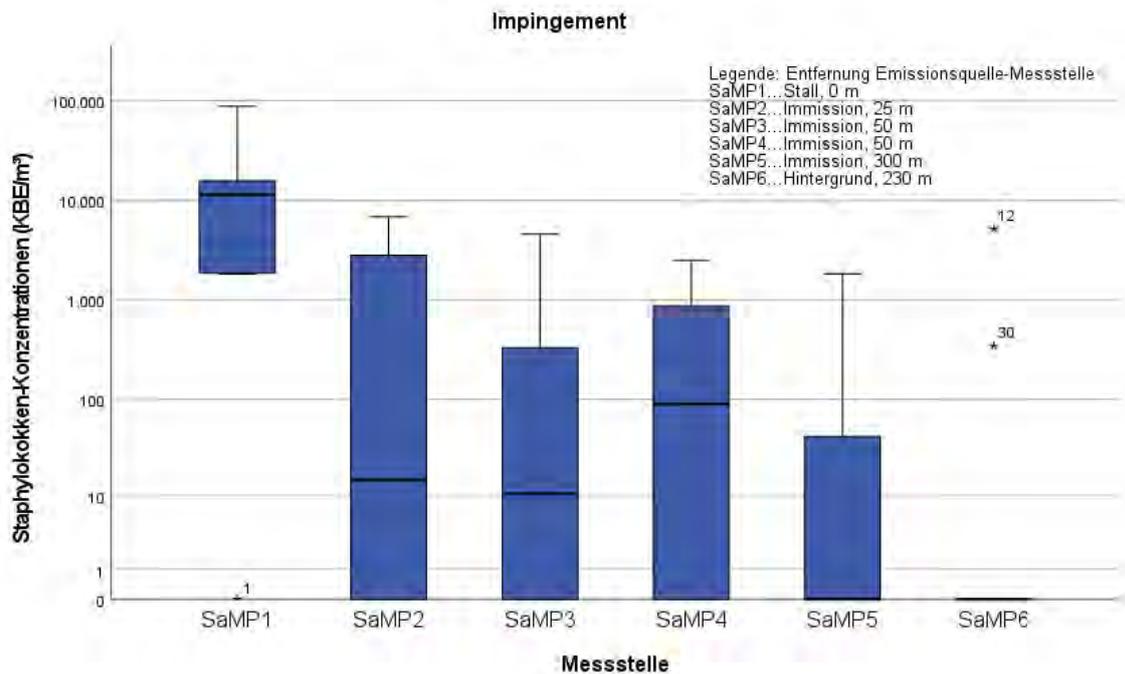


Abbildung 155: Staphylokokken-Konzentrationen auf CNA Agar mittel Impingement (n=9) an den Messstellen

- Impaktion – Gesamt

In Tabelle 50 sind die Gesamt-Daten der Impaktionsmessungen im Vergleich erfasst. Der höchste mediane Wert der bei den Messungen erzielt wurde, beträgt $6,5 \times 10^2$ KBE/m³ und ist der Staphylokokken-Konzentration an Messstelle SaMP2 zuzuordnen. Der mediane Wert für die mesophilen Gesamtbakterienkonzentration beträgt $5,7 \times 10^2$ KBE/m³.

Tabelle 50: Impaktions-Daten aller Messungen

Medium	Messstelle	Median	Mittelwert	Minimum	Maximum
MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	$1,2 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	0	$1,7 \times 10^4$
	SaMP2	$6,5 \times 10^2$	$7,1 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$
	SaMP3	$5,6 \times 10^2$	$3,9 \times 10^2$	$7,3 \times 10^0$	$6,7 \times 10^2$
	SaMP4	$9,0 \times 10^1$	$3,4 \times 10^2$	$9,0 \times 10^0$	$1,2 \times 10^3$
	SaMP5	$2,8 \times 10^1$	$6,4 \times 10^1$	$1,3 \times 10^0$	$3,0 \times 10^2$
	SaMP6	$3,7 \times 10^0$	$1,2 \times 10^1$	$1,0 \times 10^0$	$3,5 \times 10^1$
TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m³)	SaMP3	$5,7 \times 10^2$	$7,2 \times 10^2$	$3,8 \times 10^1$	$2,0 \times 10^3$

In Abbildung 156 sind die mittels Impaktion erfassten Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Messstelle SaMP1, im Stallinneren zeigte die höchsten medianen Konzentrationen an Staphylokokken mit $1,2 \times 10^4$ KBE/m³. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 wiesen Staphylokokken mit Konzentrationen von $2,8 \times 10^1$ bis $6,5 \times 10^2$ KBE/m³ auf. An Immissions-Messstelle SaMP2 wurde die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $6,5 \times 10^2$ KBE/m³ errechnet. Die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Staphylokokken-Konzentration von $3,7 \times 10^0$ KBE/m³ (Tabelle 50).

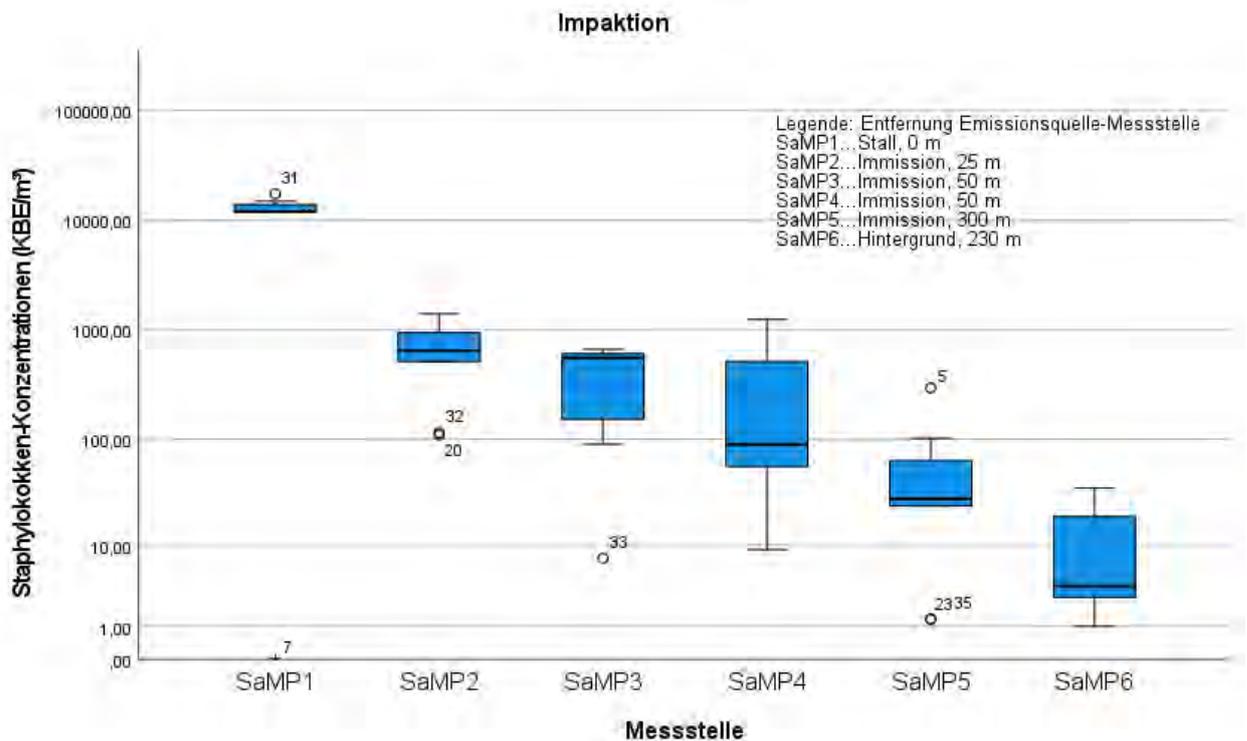


Abbildung 156: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impaktion (n=9) an den Messstellen

In Abbildung 157 sind die mittels Impaktion erfassten Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar der Messstelle SaMP3 dargestellt. Es konnte eine mediane Gesamtkonzentration mesophiler Bakterien von $5,7 \times 10^2$ KBE/m³ (Tabelle 50) nachgewiesen werden.

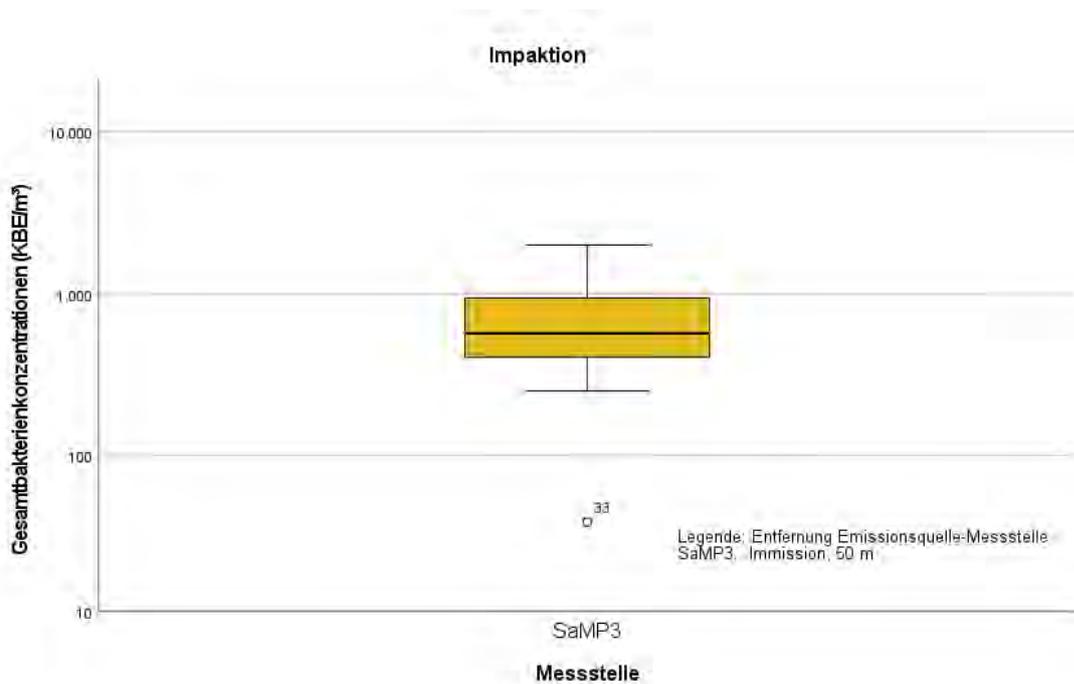


Abbildung 157: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impaktion (n=9) an der Messstelle SaMP3

7.4.8 Impingement – windbereinigte Probenahmen

Beim Vergleich aller windbereinigten Messdaten wurde der insgesamt höchste mediane Wert von $2,3 \times 10^3$ KBE/m³ bei Messstelle SaMP2 für die Konzentration an Gram-positiven Bakterien berechnet. Der maximale mediane Wert für die mesophilen Gesamtbakterienkonzentration beträgt $2,1 \times 10^3$ KBE/m³, ebenfalls bei Messstelle SaMP2. Die Staphylokokken-Konzentration auf MAN mit einem medianen Wert von $4,6 \times 10^2$ KBE/m³ (SaMP2) übersteigt die Staphylokokken-Konzentration auf CNA mit einem Wert von $2,9 \times 10^2$ KBE/m³ (SaMP4). An Messstelle SaMP6 beträgt der mediane Wert für die Staphylokokken-Konzentration auf CNA 0 KBE/m³. Die gesamten Daten der windbereinigten Messungen sind Tabelle 51 zu entnehmen.

Tabelle 51: Impingement-Daten (n=5) der windbereinigten Messungen

Medium	Messstelle	Median	Mittelwert	Minimum	Maximum
TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	4,0x10 ⁴	1,9x10 ⁵	8,6x10 ³	5,9x10 ⁵
	SaMP2	2,1x10 ³	8,2x10 ³	1,2x10 ³	2,5x10 ⁴
	SaMP3	1,9x10 ³	2,6x10 ³	0	8,3x10 ³
	SaMP4	9,2x10 ²	2,3x10 ³	2,9x10 ²	6,6x10 ³
	SaMP5	6,6x10 ²	3,2x10 ³	4,8x10 ²	7,6x10 ³
	SaMP6	1,8x10 ³	1,6x10 ³	0	3,0x10 ³
MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	8,8x10 ³	4,2x10 ⁴	2,3x10 ³	1,3x10 ⁵
	SaMP2	4,6x10 ²	2,3x10 ²	7,4x10 ⁰	8,6x10 ²
	SaMP3	2,3x10 ²	2,9x10 ²	2,1x10 ¹	7,5x10 ²
	SaMP4	6,6x10 ¹	3,0x10 ²	0	1,0x10 ³
	SaMP5	2,8x10 ²	8,3x10 ²	3,1x10 ¹	3,3x10 ³
	SaMP6	6,5x10 ⁰	5,1x10 ²	0	2,5x10 ³
CNA Gram- positive Bakterien Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	2,1x10 ⁴	2,7x10 ⁴	0	6,3x10 ⁴
	SaMP2	2,3x10 ³	2,9x10 ³	1,5x10 ¹	8,1x10 ³
	SaMP3	6,6x10 ²	1,1x10 ³	1,0x10 ¹	2,7x10 ³
	SaMP4	3,1x10 ²	1,1x10 ³	1,3x10 ¹	2,6x10 ³
	SaMP5	1,1x10 ³	1,1x10 ³	0	2,3x10 ³
	SaMP6	3,5x10 ²	5,5x10 ²	0	1,8x10 ³
CNA Staphylokokken Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	1,2x10 ⁴	2,3x10 ⁴	0	8,8x10 ⁴
	SaMP2	1,5x10 ¹	2,1x10 ³	0	6,9x10 ³
	SaMP3	6,9x10 ¹	6,3x10 ²	0	2,7x10 ³
	SaMP4	2,9x10 ²	6,5x10 ²	0	2,2x10 ³
	SaMP5	4,2x10 ¹	4,9x10 ²	0	1,8x10 ³
	SaMP6	0	6,9x10 ¹	0	3,5x10 ²

In Abbildung 158 sind die windbereinigten mesophilen Gesamtbakterienkonzentrationen der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 zeigten mediane Gesamtbakterienkonzentrationen von $6,6 \times 10^2$ bis $2,1 \times 10^3$ KBE/m³. Die Immissions-Messstelle SaMP2 erreichte die höchste mediane Gesamtbakterienkonzentration mit $2,1 \times 10^3$ KBE/m³ und die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane mesophile Gesamtbakterienkonzentration von $1,8 \times 10^3$ KBE/m³.

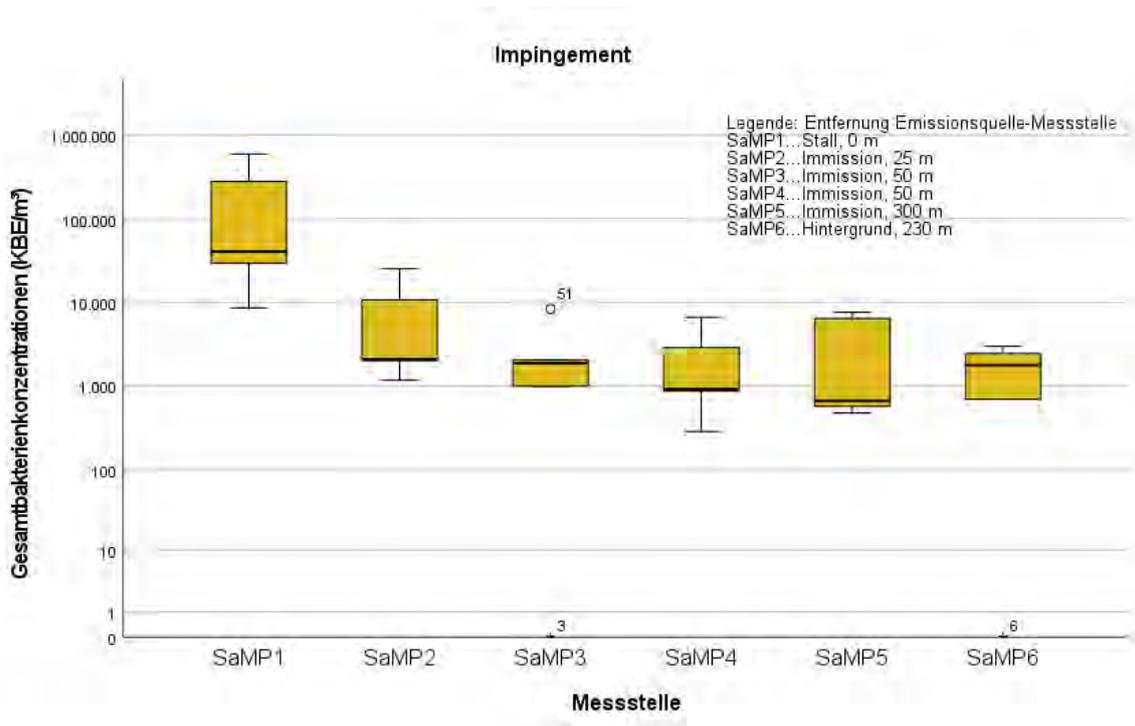


Abbildung 158: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)

In Abbildung 159 sind die windbereinigten Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 zeigten mediane Staphylokokken-Konzentrationen von $6,6 \times 10^1$ bis $4,6 \times 10^2$ KBE/m³. Die Immissions-Messstelle SaMP2 erreichte die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $4,6 \times 10^2$ KBE/m³ und die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Staphylokokken-Konzentration von $6,5 \times 10^0$ KBE/m³.

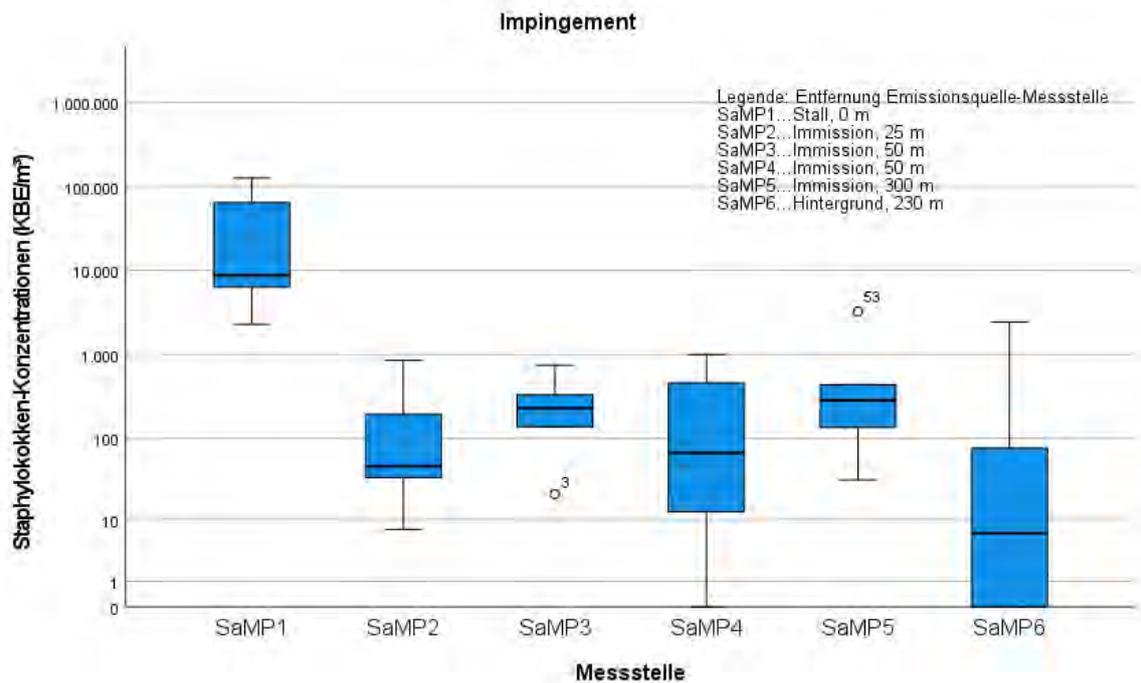


Abbildung 159: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)

In Abbildung 160 sind die windbereinigten Konzentrationen von Gram-positiven Bakterien der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 zeigten mediane Gram-positive Bakterien Konzentrationen von $3,1 \times 10^2$ bis $2,3 \times 10^3$ KBE/m³. Die Immissions-Messstelle SaMP2 erreichte die höchste mediane Konzentration an Gram-positiven Bakterien mit $2,3 \times 10^3$ KBE/m³ und die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Konzentration von $3,5 \times 10^2$ KBE/m³.

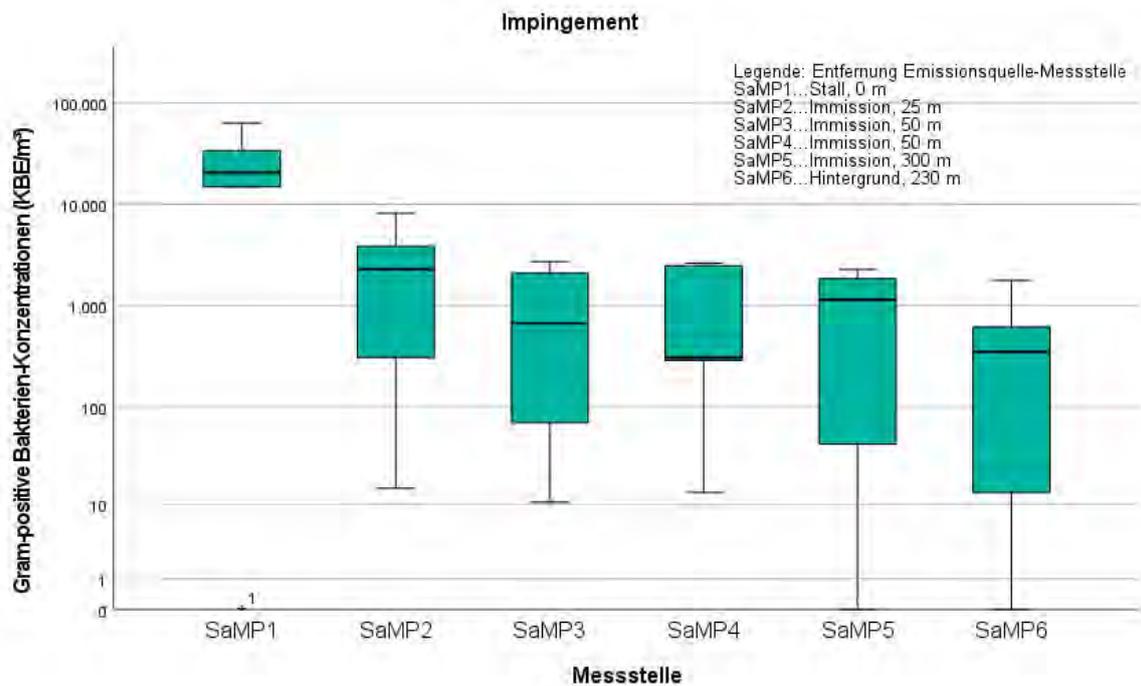


Abbildung 160: Gram-Positive Bakterien Konzentrationen auf CNA Agar mittel Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)

In Abbildung 161 sind die windbereinigten Staphylokokken-Konzentrationen auf CNA der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 zeigten mediane Staphylokokken-Konzentrationen von 0 bis $6,9 \times 10^1$ KBE/m³. Die Immissions-Messstelle SaMP3 erreichte die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $6,9 \times 10^1$ KBE/m³ und die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Staphylokokken-Konzentration von 0 KBE/m³.

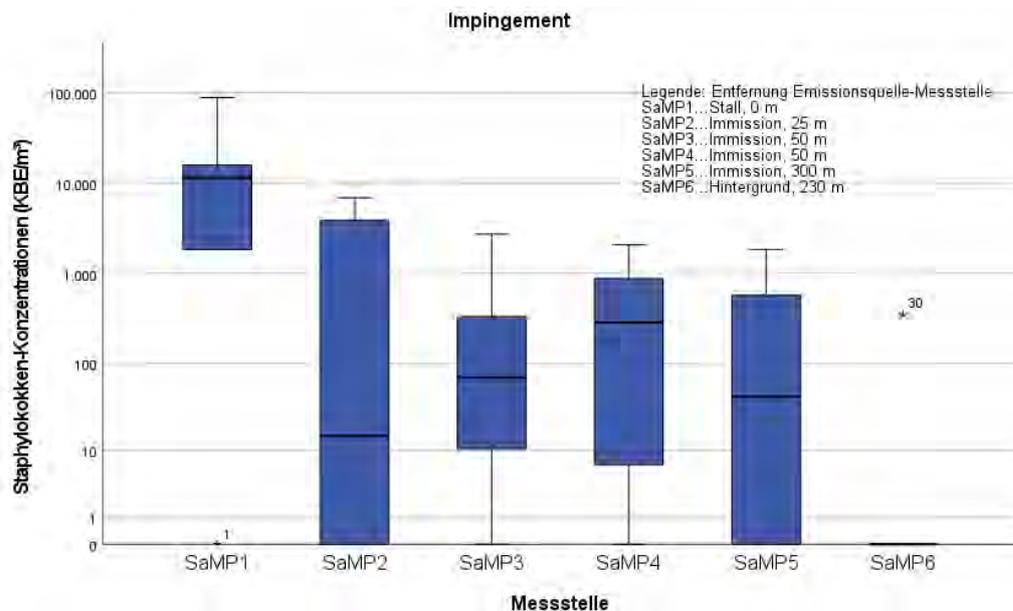


Abbildung 161: Staphylokokken Konzentrationen auf CNA Agar mittel Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)

7.4.9 Impaktion – windbereinigte Probenahmen

In Tabelle 52 sind alle windbereinigten Daten der Impaktions-Messungen zusammengefasst. Der in Summe höchste mediane Wert an einer Immissionsmessstelle im Lee des Stallgebäudes von $9,4 \times 10^2$ KBE/m³ wurde für die mesophile Gesamtbakterienkonzentration an Messstelle SaMP3 berechnet. Die höchste Staphylokokken-Konzentration mit einem Median von $8,6 \times 10^2$ KBE/m³ wurde an Messstelle SaMP2 erzielt. Die insgesamt geringste Staphylokokken-Konzentration mit einem medianen Wert von $3,7 \times 10^0$ KBE/m³ wurde bei Messstelle SaMP6 nachgewiesen.

Tabelle 52: Impaktions-Daten (n=5) der windbergeinigten Messungen

Medium	Messstelle	Median	Mittelwert	Minimum	Maximum
MAN Staphylokokken Konzentration (KBE/m³)	SaMP1	$1,2 \times 10^4$	$1,3 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$
	SaMP2	$8,6 \times 10^2$	$7,7 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$
	SaMP3	$5,8 \times 10^2$	$5,1 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$6,4 \times 10^2$
	SaMP4	$3,1 \times 10^2$	$4,7 \times 10^2$	$9,0 \times 10^0$	$1,2 \times 10^3$
	SaMP5	$2,5 \times 10^1$	$7,6 \times 10^1$	$1,3 \times 10^0$	$3,0 \times 10^2$
	SaMP6	$3,7 \times 10^0$	$1,2 \times 10^1$	$1,0 \times 10^0$	$3,5 \times 10^1$
TSA Gesamtbakterien Konzentration (KBE/m³)	SaMP3	$9,4 \times 10^2$	$1,0 \times 10^3$	$2,5 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$

In Abbildung 162 sind die mittels Impaktion erfassten Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 dargestellt. Messstelle SaMP1, im Stallinneren zeigte die höchsten medianen Konzentrationen an Staphylokokken mit $1,2 \times 10^4$ KBE/m³. Die Immissions-Messstellen SaMP2 bis SaMP5 wiesen Staphylokokken mit Konzentrationen von $2,5 \times 10^1$ bis $8,6 \times 10^2$ KBE/m³ auf. An Immissions-Messstelle SaMP2 wurde die höchste mediane Staphylokokken-Konzentration mit $8,6 \times 10^2$ KBE/m³ errechnet. Die Hintergrund-Messstelle SaMP6 zeigte eine mediane Staphylokokken-Konzentration von $3,7 \times 10^0$ KBE/m³ (Tabelle 52).

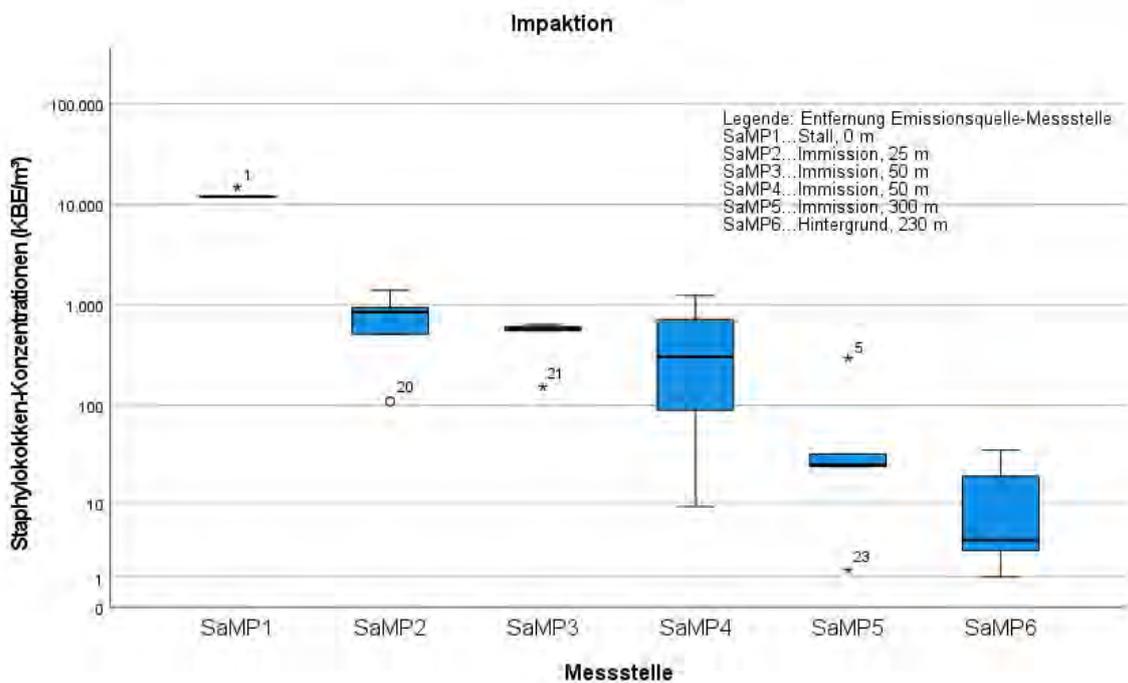


Abbildung 162: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impaktion (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)

In Abbildung 163 sind die mittels Impaktion erfassten mesophilen Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar der Messstelle SaMP3 dargestellt. Es konnte eine mediane Gesamtbakterienkonzentration von $9,4 \times 10^2$ KBE/m³ nachgewiesen werden (Tabelle 52).

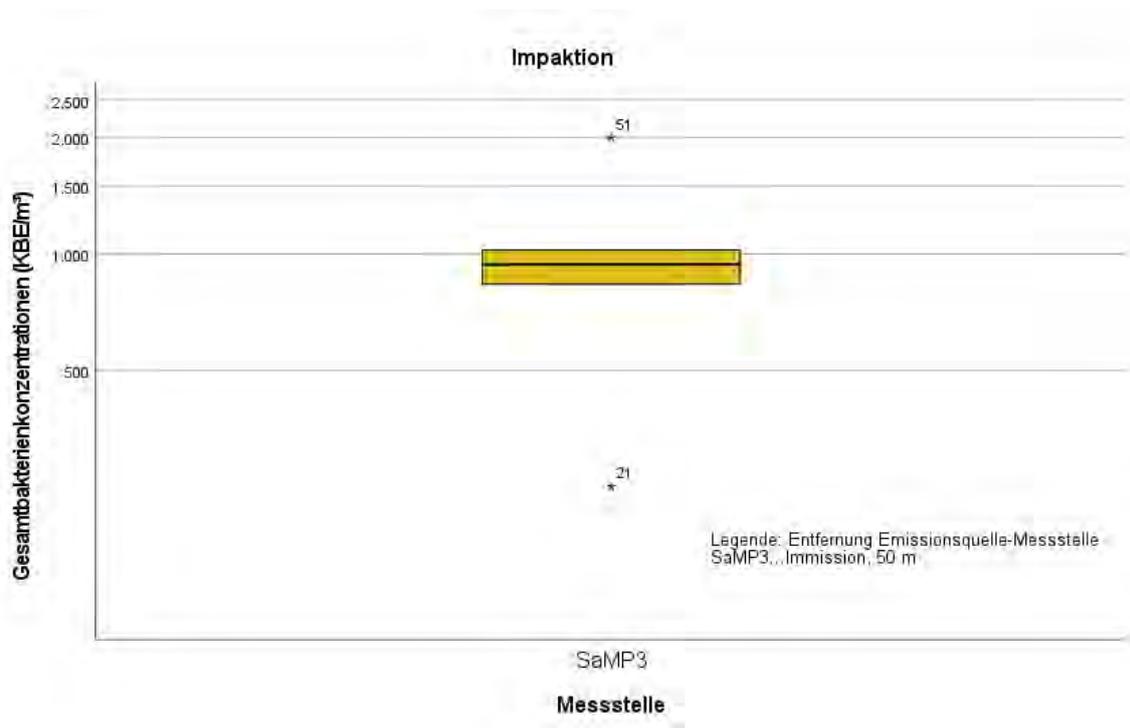


Abbildung 163: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impaktion ($n=5$) an der Messstelle SaMP3 (Windrichtung optimal)

7.4.10 Ergebnisse Antibiogramm und *spa*-Typisierung

Insgesamt wurden von 40 *S. aureus* Isolate Antibiogramme erstellt. Vierzehn Isolate wurden aufgrund ihres Antibiogramms zur *spa*-Typisierung ausgewählt. Zwei Isolate konnten aus der Luft an den Messstellen SAMP4 und SaMP5 gewonnen werden. In Tabelle 53 sind die Ergebnisse der Auswertung der Antibiogramme und der *spa*-Typisierung der *S. aureus* Isolate aufgelistet. Die Auswertung erfolgte anhand der Richtlinien der EUCAST V12.0. Die *spa*-Typen t011, t034 und t1773 sind typische Vertreter des LA-MRSA - Nutztier assoziierter Methicillin resistenter *S. aureus*. Der *spa*-Typ t230 konnte als ein Vertreter von humanassoziierten MRSA zugeordnet werden.

Tabelle 53: Auswertung der Antibiogramme der *S. aureus* Isolate nach EUCAST V12.0

Isolat	Messstelle	Bezeichnung	Datum	spa-Typ	P	FOX	TE	CC	E	NOR	GM	MUP	LZD	RA	FA	SXT
043b	SaMP1	Abstrich Schwein	15.07.2021	t1773	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
045a	SaMP1	Abstrich Schwein	15.07.2021	t1773	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
046a	SaMP1	Abstrich Schwein	15.07.2021	t1773	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
049a	SaMP1	Abstrich Wand	15.07.2021	t1773	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
049b	SaMP1	Abstrich Wand	15.07.2021	t230	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
002a	SaMP1	Abstrich Wand	29.06.2021	t011	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
002c	SaMP1	Abstrich Wand	29.06.2021	t011	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
002d	SaMP1	Abstrich Wand	29.06.2021	t034	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
003c1	SaMP1	Abstrich Wand	29.06.2021	t011	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
008	SaMP4	Impaktor	29.06.2021	t011	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
042	SaMP1	Abstrich Schwein	29.03.2022	t011	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
037	SaMP5/2	Impinger	29.03.2022	t011	R	S	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S
003a	SaMP1	Abstrich Schwein	29.03.2022	t011	R	S	R	R	R	S	S	S	R	S	S	S
003b	SaMP1	Abstrich Schwein	29.03.2022	t011	R	S	R	R	R	S	S	S	R	R	S	S

Legende: Penicillin [P], Cefoxidin [FOX], Tetracyclin [TE], Clindamycin [CC], Erythromycin [E], Norfloxacin [NOR], Gentamicin [GM], Mupirocin [MUP], Linezolid [LZD], Rifampicin [RA], Fusidinsäure [FA], Sulfamethoxazole-trimethprim [SXT]
 R...resistent, S...sensibel

7.5 Diskussion

In einem emissionsarmen Tierwohlstall für die Schweinemast wurde bereits beim Bau darauf geachtet, dass Maßnahmen zur Emissionsreduzierung umgesetzt werden. Anhand der Immissionsmessungen konnte die Emissionsminderung von Bioaerosolen in einem Schweinemaststall dokumentiert werden.

Die quantitativen Auswertungen der Bioaerosolimmissionsmessungen des SaLu_T Tierwohlstalles zeigten an den leeseitigen Immissionsmesspunkten SaMP2 bis SaMP5 in Hauptwindrichtung in 25 m bis 300 m Entfernung zur Anlage im Vergleich zum Messpunkt SaMP1 im Stallinneren eine Reduktion der Bioaerosolkonzentrationen. Die medianen Staphylokokken-Konzentrationen reduzierten sich bereits in unmittelbarer Nähe zum Stallgebäude um zwei Zehnerpotenzen, von 10^4 auf 10^2 , mittels Impingement und Impaktion. Diese Reduktion war auch mittels Impingement bei den medianen Gesamtbakterienkonzentrationen zwischen dem Stallinneren und den in Hauptwindrichtung gelegenen Immissionsmesspunkten nachweisbar. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Staphylokokken als Leitparameter für eine Bewertung eines möglichen Anlageneinflusses auf die Umgebungsluft herangezogen werden können. Diese Gattung kommt auf der Haut und Schleimhaut von Tieren vor und ist daher bei Tierstallungen in relativ konstanten Konzentrationen in der Emission nachzuweisen. Diese Leitparameter wurden von der VDI empfohlen (VDI 4250 Blatt 3:2016) und wurden unter anderem auch im österreichischen Projekt LUQUASTA (Haas et al., 2022) erfolgreich verwendet.

Staphylokokken auf MAN Agar

Die Messstelle SaMP1 im Stallinneren weist im Vergleich zu den Immissionsmessstellen mit einem medianen Wert von $1,1 \times 10^4$ KBE/m³ (Impingement) bzw. $1,2 \times 10^4$ KBE/m³ (Impaktion) die höchste Konzentration der Staphylokokken auf. An der Hintergrundmessstelle SaMP6 luvseitig der Anlage in 230 m Entfernung wurde die mediane Staphylokokken-Konzentration von $6,4 \times 10^1$ KBE/m³ mit dem Impingement bzw. von $3,7 \times 10^0$ KBE/m³ mit der Impaktion ermittelt. An den leeseitigen Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 in 25 m bis 300 m Entfernung zur Anlage wurden, im Vergleich zur Messstelle im Stall, eine Reduktion der Staphylokokken-Konzentration um zwei Zehnerpotenzen an SaMP3 und SaMP5 und um drei Zehnerpotenzen an SaMP2 und SaMP4 mittels Impingement gemessen. Auch an den windbereinigten Daten, also jene Messereignisse, welche einen Halbstundenmittelwert der Windrichtung entsprechend der Hauptwindrichtung aus SSO aufwiesen, kann man einen ähnlichen Verlauf der Staphylokokken-Konzentrationen erkennen. Am Boxplot bzw. an der Länge der Box ist ersichtlich, dass die Streuung der Daten geringer ist. Mit Hilfe der Impaktion wurden an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5, im Vergleich zu SaMP1 eine

Reduktion der Staphylokokken-Konzentration um zwei Zehnerpotenzen an SaMP2 und SaMP3 und um drei Zehnerpotenzen an SaMP4 und SaMP5 ermittelt. Bereits an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP4 in der Nähe der Anlage in 25 m bzw. in 50 m Entfernung ist eine Reduktion der Staphylokokken-Konzentration bis in den Bereich der Hintergrundkonzentration an SaMP6 nachweisbar. Aufgrund des Verdünnungseffektes durch die Umgebungsluft, welcher selbst im Nahbereich zu Emissionsquellen rasch Faktoren um 10^3 annehmen kann, konnte mit Hilfe der medianen Staphylokokken-Konzentrationen der Stallemission, im Vergleich zum Hintergrund gezeigt werden, dass mit keinen relevanten Zusatzimmissionen zu rechnen ist. Als Störfaktoren für den Nachweis der Staphylokokken-Konzentrationen an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 leeseitig der Anlage und an der Hintergrundmessstelle SaMP6 luvseitig, können der unbefestigte Weg für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge bzw. die befestigte Straße mit Durchzugsverkehr und die damit verbundenen Aufwirbelungseffekte angeführt werden. Vergleicht man die medianen Staphylokokken-Konzentrationen mit den Messergebnissen aus dem Projekt LUQUASTA, mit dem konventionellen Betrieb BA2, welcher einen ähnlichen Viehbesatz wie der Salu_T-Stall aufweist, so sieht man, dass die medianen Konzentrationen in der Immission (Impingement) beim konventionellen Betrieb BA2 um ein bis zwei log-Stufen höher liegen, nämlich zwischen $5,9 \times 10^2$ KBE/m³ und $1,6 \times 10^3$ KBE/m³ (Haas et al., 2022). Gärtner et al. verwendeten für ihre Immissionsmessungen die Filtrationsmethode und konnten Staphylokokken-Konzentrationen von rund $2,3 \times 10^2$ KBE/m³ erzielen, welche den Konzentrationen in der vorliegenden Studie ähnlich sind (Gärtner et al., 2004).

Gesamtbakterien

An der Messstelle SaMP1 im Stallinneren wurde im Vergleich zu den Immissionsmessstellen mit einem medianen Wert von $5,3 \times 10^4$ KBE/m³ (Impingement) die höchste Konzentration der Gesamtbakterien ermittelt. Im Luv der Anlage an der Hintergrundmessstelle SaMP6 in 230 m Entfernung wurde die mediane Gesamtbakterienkonzentrationen von $1,8 \times 10^3$ KBE/m³ mit dem Impingement ermittelt. An den leeseitigen Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 in 25 m bis 300 m Entfernung zur Anlage wurde, im Vergleich zur Messstelle im Stall, eine Reduktion der Gesamtbakterienkonzentration um zwei Zehnerpotenzen an SaMP4 und um eine Zehnerpotenz an SaMP2, SaMP3 und SaMP5 mittels Impingement gemessen. Bereits an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP4 in der Nähe der Anlage in 25 m bzw. in 50 m Entfernung ist eine Reduktion der Gesamtbakterienkonzentration bis in den Bereich der Hintergrundkonzentration an SaMP6 nachweisbar. Die windbereinigten Daten, welche jene Messereignisse einschließen, die einen Halbstundenmittelwert der Windrichtung entsprechend der Hauptwindrichtung aus SSO aufwiesen, zeigten einen ähnlichen Verlauf der Gesamtbakterienkonzentrationen. Am Boxplot bzw. an der

Länge der Box ist ersichtlich, dass die Streuung der Daten geringer ist. Als Störfaktoren für den Nachweis der Gesamtbakterienkonzentration an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 leeseitig der Anlage und an der Hintergrundmessstelle SaMP6 luvseitig, können der unbefestigte Weg für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge bzw. die befestigte Straße mit Durchzugsverkehr und die damit verbundenen Aufwirbelungseffekte angeführt werden. Die medianen Gesamtbakterienkonzentrationen aus dem Projekt LUQUASTA, mit dem konventionellen Betrieb BA2 liegen an den Immissionsmessstellen zwischen $9,6 \times 10^2$ KBE/m³ und $2,3 \times 10^3$ KBE/m³ (Impingement) und damit in einem ähnlichen Bereich wie in dieser Studie (Haas et al., 2022).

Gram-positive Bakterien

Die Messstelle SaMP1 im Stallinneren weist im Vergleich zu den Immissionsmessstellen mit einem medianen Wert von $2,0 \times 10^4$ KBE/m³ (Impingement) die höchste Konzentration der Gram-positiven Bakterien auf. An der Hintergrundmessstelle SaMP6 luvseitig der Anlage in 230 m Entfernung wurde die mediane Gram-positiven Bakterienkonzentrationen von $3,5 \times 10^2$ KBE/m³ mit dem Impingement Verfahren ermittelt. Im Lee der Anlage in 25 m bis 300 m Entfernung an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 wurden, im Vergleich zur Messstelle im Stall, eine Reduktion der Gram-positiven Bakterienkonzentrationen um zwei Zehnerpotenzen an SaMP3 bis SaMP5 und um eine Zehnerpotenzen an SaMP2 mittels Impingement ermittelt. Bereits an den Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP4 in der Nähe der Anlage in 25 m bzw. in 50 m Entfernung ist eine Reduktion der Gram-positiven Bakterienkonzentrationen bis in den Bereich der Hintergrundkonzentration von $3,5 \times 10^2$ KBE/m³ an SaMP6 nachweisbar. Auch die windbereinigten Daten zeigten einen ähnlichen Verlauf der Bakterienkonzentrationen. Am Boxplot bzw. an der Länge der Box ist ersichtlich, dass die Streuung der Daten geringer ist. Vergleicht man die medianen Konzentrationen der Gram-positiven Bakterien aus dem Projekt LUQUASTA, mit dem konventionellen Betrieb BA2, liegen die medianen Konzentrationen an den Immissionsmessstellen ($2,6 \times 10^3$ KBE/m³ bis $8,2 \times 10^3$ KBE/m³, Impingement) um eine Zehnerpotenz höher als in dieser Studie (Haas et al., 2022).

Staphylokokken auf CNA Agar

An der Messstelle SaMP1 im Stallinneren wurde im Vergleich zu den Immissionsmessstellen mit einem medianen Wert von $1,2 \times 10^4$ KBE/m³ (Impingement) die höchste Konzentration der Staphylokokken auf CNA Agar nachgewiesen. Im Luv der Anlage an der Hintergrundmessstelle SaMP6 in 230 m Entfernung wurde die mediane Staphylokokken-Konzentration von 0 KBE/m³ mit dem Impingement-Verfahren ermittelt. An den leeseitigen Immissionsmessstellen SaMP2 bis SaMP5 in 25 m bis 300 m Entfernung zur Anlage wurden, im Vergleich zur Messstelle im Stall, eine Reduktion der Staphylokokken-Konzentration um drei Zehnerpotenzen an SaMP2 bis SaMP4 mittels

Impingement gemessen. Auch an den windbereinigten Daten kann man einen ähnlichen Verlauf der Staphylokokken-Konzentrationen erkennen. Vergleicht man die Staphylokokken-Konzentrationen auf CNA und MAN Agar, so sieht man, dass die Konzentrationen in einem ähnlichen Bereich liegen. Unterschiede ergeben sich aus der unterschiedlichen Zusammensetzung der Nährmedien und der damit gegebenen unterschiedlichen Spezifität und dem Wachstum der Bakterien. Auf dem CNA Agar ist die Konkurrenz um Nährstoffe mit anderen Gram-positiven Bakterien für die Staphylokokken größer als auf dem MAN Agar.

Vergleich der Messmethoden für Bioaerosole

Die Bioaerosolkonzentrationen im Stallinneren und in der Abluft können im Haltungszeitraum starken Schwankungen unterliegen. Im Tagesverlauf werden die Schwankungen von Staub und Bioaerosolen durch die Art der Fütterung, der Tätigkeiten im Stall und den Aktivitäts- und Ruhephasen der Tiere bestimmt. Sowohl das Stallklima als auch die Lüftung (Luftwechselrate, Luftführung) beeinflussen das Emissionsgeschehen. Ein hoher Stichprobenumfang ist meist für eine repräsentative Erfassung der Bioaerosol-Emissionen aus Tierhaltungsbetrieben erforderlich (VDI 4257/Blatt 1:2013; Gärtner et al., 2017).

Für die Luftkeimmessungen wurden die Messmethoden Impingement und Impaktion eingesetzt. Diese beiden Sammelmethode gehören zu den gebräuchlichsten Methoden bei der Probennahme luftgetragener Partikel. Die Wirksamkeit der Abscheidung von luftgetragenen Partikeln bzw. Mikroorganismen eines Sammelgerätes wird durch den Cut-off-Wert d_{50} beschrieben. Für eine effiziente Sammlung von luftgetragenen Schimmelpilzen und Bakterien werden Impinger und Impaktoren verwendet werden, deren Cut-off-Werte unter der mittleren Größe der zu sammelnden Mikroorganismen liegen (VDI 4300/Blatt 10:2008; Buttner et al., 1997; Nevalainen et al., 1992).

Der Impinger AGI-30 besitzt die Fähigkeit, in der Luft suspendierte Partikel einer bestimmten Größe (Cut-off Wert $d_{50} = 0,3 \mu\text{m}$) beim Sammelvorgang in eine Flüssigkeit abzuscheiden. AGI-30-Impinger haben ihre optimale physikalische Sammeleffizienz für Partikel mit einer Korngröße von $1-5 \mu\text{m}$, bei Durchflussraten von $10-12,5 \text{ L/min}$ (Seedorf, 2012; Kesavan et al., 2010; VDI 4252/Blatt 3:2008; Lin und Li, 1998; Grinshpun et al., 1997; Juozaitis et al., 1994). Die biologische Sammeleffizienz des AGI-30-Impingers kann durch eine etwas reduzierte Flussrate von ca. 10 L/min , gegenüber $12,5 \text{ L/min}$, verbessert werden; die Vermehrungsfähigkeit der gesammelten Bakterien wird durch die verringerten Scherkräfte begünstigt. Die längere Dauer der Sammelzeit und die damit verbundenen Verdunstungseffekte der Sammelflüssigkeit, die einen Austrag von Sekundäraerosolen zur Folge haben, können zu Minderbefunden der erfassten Mikroorganismenkonzentrationen führen (Seedorf, 2012; Kesavan et al., 2010; Lin et al., 2000; Grinshpun et al., 1997; Terzieva et al., 1996).

Partikel mit einer Korngröße von $> 30 \mu\text{m}$ werden mit dem AGI-30-Impinger nur zu geringen Anteilen erfasst. Bakterien, die auf Konglomeraten mit größeren Fraktionen sitzen, werden in der Abluftfahne weniger weit transportiert. Daher können sie auch in der Bioaerosolkonzentration an einzelnen Messpunkten nicht erfasst werden, was dazu führen kann, dass es in Anlagennähe zu Minderbefunden kommen kann (Gärtner et al., 2017; Clauß und Hinz, 2014). Als Sammellösung wurde im Inneren des Stallgebäudes eine phosphatgepufferte Salzlösung (PBS), ohne Zusatz von emulgierenden Stoffen zur Reduktion der Oberflächenspannung der Sammelflüssigkeit, eingesetzt. Gärtner et al. konnten zeigen, dass je nach Füllmenge durch das Schäumen, unter Zusatz der grenzflächenaktiven Substanz Polysorbat 80 (Tween 80), ein geringer bzw. hoher Flüssigkeitsaustritt auftrat (Gärtner et al., 2005). Des Weiteren können durch größere Mengen an Sammelflüssigkeit und hohen Flussraten vermehrt Luftblasen entstehen, welche die gesammelten Partikel mitreißen und beim Aufprall auf der Oberfläche der Sammelflüssigkeit platzen. Die mitgerissenen Partikeln reaerosolisieren dadurch; dies führt ebenfalls zu einer reduzierten Sammeleffizienz (Grinshphun et al., 1997).

Die Impaktoren MAS-100 NT[®], SAS Super IAQ, SAS Super DUO 360 und MBASS30 (LKS 100) weisen Cut-off-Werte von $d_{50} = 0,9\text{-}1,7 \mu\text{m}$ auf. Diese sind geeignet, um luftgetragene Bakterien $\geq 1 \mu\text{m}$ im aerodynamischen Durchmesser, zu sammeln (VDI 4300/Blatt 10:2008; Yao und Mainelis, 2006; Wüst et al., 2003). Diese Luftkeimsammler arbeiten mit einer Durchflussrate von 100 L/min, die gesammelten Partikel bzw. Mikroorganismen werden direkt auf eingelegte Nährmedienplatten abgeschieden. Auch in den Studien von Chang et al. bzw. Bilić et al. wurde ein einstufiger Andersen-Impaktor bzw. ein MAS-100 NT[®], als Luftsammelgerät eingesetzt, um die Immissionen in der Umgebung, bzw. an einem Schweinemastbetrieb, zu erfassen (Chang et al., 2001; Bilić et al., 2000). Wird die Impaktion für Immissionsmessungen im Feldeinsatz verwendet, ist zu beachten, dass jedes Partikel, unabhängig von der Anzahl aggregierter lebensfähiger Zellen, nur eine Kolonie auf der Platte hervorbringt. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass die impaktierten Mikroorganismen direkt auf Nährmedien treffen, bebrütet werden und einem wesentlich geringeren Sammelstress unterliegen (Lippmann et al., 2016; Clauß und Hinz, 2014). Andererseits zeigen Stewart et al., dass Gram-positive und Gram-negative Bakterien durch den Sammelstress bei der Impaktion geschädigt werden können; dadurch kann sich die Konzentrationen der erfassten Mikroorganismen vermindern. Diese negativen Effekte wirken sich stärker auf die Rekultivierung von Gram-negativen als von Gram-positive Bakterien aus (Stewart et al., 1995).

Die verwendeten Luftkeimsammelmethoden, Impingement und Impaktion, sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da sie sich hinsichtlich ihrer physikalischen Sammeleffizienz und der

biologischen Erhaltungseffizienz unterscheiden. Diese Eigenschaften definieren die Fähigkeiten der Probenahmegeräte, Mikroorganismen aus der Luft zu gewinnen und die Lebensfähigkeit der Mikroorganismen bei der Probenahme zu erhalten (VDI 4300/Blatt 10:2008). Bei der Impingement-Methode, einer indirekten Sammelmethode, werden luftgetragene Mikroorganismen beim Sammelvorgang in einer Flüssigkeit abgeschieden. Diese muss im Labor verdünnt oder gefiltert und dann auf Nährmedienplatten zur Inkubation aufgebracht werden (VDI 4253/Blatt 3:2019). Bei der Impaktion, einer direkten Sammelmethode, werden die Mikroorganismen über eine Siebplatte angesaugt und direkt auf ein Nährmedium abgeschieden. Die Platten können ohne weitere Bearbeitung sofort zur Inkubation eingelagert werden. Die Volumina der angesaugten Luftmenge sind so zu wählen, dass eine Überbelegung des verwendeten Nährmediums verhindert und dadurch eine klare Auswertung gewährleistet wird. Die verwendeten Sammelmethoden bzw. Probenahmegeräte unterscheiden sich auch hinsichtlich der jeweiligen Durchflussraten. Der Impinger, mit ca. 12 L/min, hat eine wesentlich geringere Durchflussrate im Vergleich zum Impaktor, mit 100 L/min. Thorne et al. verglichen zwei verschiedene Messverfahren für die Sammlung von Bioaerosolen in Tierstallungen und befanden die Impingement-Methode für effizienter als die Impaktion (Thorne et al., 1992). Predicala et al. hielten die Impaktions-Methode für geeigneter als die Filtrations-Methode (Predicala et al., 2001).

Ein zentraler Grund für das Auftreten von Unterschieden in den mit verschiedenen Methoden erhobenen Ergebnissen bei der Rekulтивierung und Wiederfindung von luftgetragenen Bakterien und Pilzen, ist der Einfluss von Sammelstress. Die Mikroorganismen können bei Stress zwar in einem lebensfähigen Zustand verweilen, sind aber nicht mehr vermehrungsfähig (Heidelberg et al. 1997; Stewart et al., 1995). Lippmann et al. erwähnen in ihrer Studie, dass die Kultivierbarkeit auch von der Qualität des Bioaerosols aus dem Stall abhängt, d. h. je jünger die emittierten Zellen sind, desto größer ist die Chance auf Kultivierbarkeit (Lippmann et al., 2016b). Burrows et al. berichten in ihrer Arbeit, dass meteorologische Faktoren die Gesamtbakterienkonzentration stark beeinflussen, dieser Rückschluss aber nicht durch die Erfassung von kultivierbaren Bakterien gezogen werden kann (Burrows et al., 2009). Idealerweise sollte ein Messsystem mit geringen Scherkräften bei hohen Ansaugraten zum Abscheiden von Mikroorganismen in Flüssigkeiten Verwendung finden.

Während der Messungen nahmen Windrichtung und -geschwindigkeit Einfluss auf die Ergebnisse. Die Veränderungen der Windbedingungen während der Probenahme traten zufällig auf. Die Probenahme und die Ausrichtung der Messstellen wurden mit Schwerpunkt auf die vorhergesagte Windrichtung und -geschwindigkeit ausgewählt. Windschwankungen traten teilweise innerhalb der Halbstundenmessungen auf und waren bei Erfassung mittels Impaktoren direkt an den

mikrobiologischen Messergebnissen für Staphylokokken, zu erkennen. Diese Konzentrationsänderungen konnten auch Lippmann et al. beobachten und erklärten diese mit der zumeist turbulenten Strömung des Windes und der damit verbundenen Verwirbelung (Lippmann et al., 2016). Wetterlagen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten führen häufig zu großen Windrichtungsänderungen. Die Windgeschwindigkeiten lagen in dieser Studie zwischen 0,5 m/s bis hin zu 2,6 m/s.

Antibiogramm und *spa*-Typisierung

Betrachtet man die qualitativen Auswertungen der *S. aureus* Isolate, welche von den Tieren, den Oberflächen der Buchten und aus der Luft gewonnen wurden, so zeigten die Antibiogramme zusätzlich zum MRSA-Resistenzmarker Cefoxitin (FOX) ebenfalls immer eine Resistenz gegen Tetracyclin. Die *spa*-Typisierung ergab die *spa*-Typen t011, t034, t230 und t1773. Die *spa*-Typen t011, t034 und t1773 sind typische Vertreter des LA-MRSA - Nutztier assoziierter Methicillin resistenter *S. aureus*. Der *spa*-Typ t230 konnte den humanassoziierten MRSA zugeordnet werden.

7.6 Literaturverzeichnis

- Andersen, A.A. (1958). New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *Journal of Bacteriology*. 76(5), 471–484.
- Becton Dickinson GmbH. (2013a): Columbia CNA Agar with 5% Sheep Blood, Improved II. deutschsprachige Gebrauchsanweisung 1–5. (Zugriff 10.1.2022)
- Becton Dickinson GmbH (2013b). BD Columbia Agar with 5% Sheep Blood, <https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8609> (Zugriff 11.1.2022)
- Becton Dickinson GmbH (2017). BD Mueller Hinton II Agar, Gebrauchsanweisung <https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8623> (Zugriff 30.06.2022)
- Becton Dickinson GmbH (2023). BD BBL™ Sensi-Disc™ Antibiotikaresistenztestblättchen. <https://www.bd.com/de-de/offerings/capabilities/microbiology-solutions/clinical-microbiology/identification-and-susceptibility-testing/bbl-disc-diffusion/bd-bbl-sensi-disc-antimicrobial-susceptibility-test-discs> (Zugriff 30.05.2023)
- Bilić, V., Habrun, B., Barač, I., Humski, A. (2000). Distribution of airborne bacteria in swine housing facilities and their immediate environment. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*. 51(2), 199–205.
- bioMérieux Austria (2017). chromID™ *S. aureus* Elite agar (SAIDE). <https://www.biomerieux.at/klinische-diagnostik/chromidtm-s-aureus-elite-agar-saide> (Zugriff: 10.1.2022)
- bioMérieux S. A. (2012a). Leistungsmerkmale und Spezies der VITEK MS V2.0 Wissensdatenbank inkl. Species Update 07/2016, Clinical use
- bioMérieux S. A. (2012b). VITEK MSTM Workflow Benutzerhandbuch - Klinische Verwendung DE. 2012.
- Burrows, S.M., Elbert, W., Lawrence, M.G., Poschl, U. (2009). Bacteria in the global atmosphere – Part 1: Review and synthesis of literature data for different ecosystems. *Atmospheric Chemical Physics Discussion*. 9, 10777–10827.

- Buttner, M.P., Willeke, K., Grinshpun, S.A. (1997). Sampling and analysis of airborne microorganisms. In C.J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach, and M.V. Walter (ed.), *Manual of environmental microbiology*. ASM Press, Washington, DC. 629–640.
- Chang, C.W., Chung, H., Huang, C.F., Su, H.J.J. (2001). Exposure of Workers to Airborne Microorganisms in Open-Air Swine Houses. *Applied and Environmental Microbiology*. 67(1), 155–161.
- Clauß, M., Hinz, T. (2014). Einfluss der Probenahmebedingungen auf die Höhe von Emissionsfaktoren für luftgetragene Mikroorganismen aus der Nutztierhaltung (Influence of sampling conditions on the height of emission factors for airborne micro-organisms from livestock production). *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*. 74(10), 447–453.
- Clauß, M. (2020). Emission von Bioaerosolen aus Tierhaltungsanlagen – Methoden und Ergebnisse verfügbarer Bioaerosoluntersuchungen in und um landwirtschaftliche Nutztierhaltung. Thünen-Institut für Agrartechnologie; Braunschweig, Deutschland. Thünen Working Paper. 138a, 51–57.
- Cohen, B.S., McCammon, C.S. (2001). Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants, 9th Ed., American Conference of Governmental and Industrial Hygienists, Cincinnati, 740.
- Devriese, L.A., Schleifer, K.H., Adegoke, G.O. (1985). Identification of coagulase-negative staphylococci from farm animals. *Journal of Applied Bacteriology*. 58(1), 45–55.
- Dungan, R.S. (2010). Board-Invented Review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. *Journal of Animal Science*. 88(11), 3693–3706.
- EUCAST European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing Clinical breakpoints and dosing of antibiotics. (2022). Clinical breakpoints - breakpoints and guidance. Version 12.0. https://www.eucast.org/clinical_breakpoints/. (Zugriff 05.07.2022)
- Feld, L., Bay, H., Angen, O., Larsen, A.R., Madsen, A.M. (2018). Survival of LA-MRSA in Dust from Swine Farms. *Annals of Work Exposures and Health*. 1–10.
- Gärtner, A., Köllner, B., Heller, D. (2004). Wirkung von Bioaerosolen aus der Landwirtschaft, Erste Ergebnisse der LUA Studie "Bioaerosole aus Tierställen". <http://docplayer.org/80674830-Novellierungen-der-gesetzlichen-grundlagen.html>. Last update 2004. (Zugriff 24.01.2019).
- Gärtner, A., Gessner, A., Rabe, R., Mehring, M. (2005). Entwicklung und Erprobung eines Impinger-Messverfahrens zur Emissionsmessung von Mikroorganismen. *Kommission Reinhaltung der Luft*. 35, 101–115.
- Gärtner, A., Gessner, A., Knust, S. (2014). Ermittlung der Emissionen von Mikroorganismen aus Schweinemastanlagen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*. 74(11/12), 505–510.
- Gärtner, A., Gessner, A., Gromöller, S., Klug, G., Knust, S., Jäckel, U. (2016). Emissionen aus Schweinemastanlagen - Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaresistenz. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*. 76(1/2), 31–38.
- Gärtner, A., Geburek, F., Geiger, J., Gessner, A., Gladke, D., Hebbinghaus, H., Heller, D., Müller-Keilholz, V., Scholten, P., Wurzler, S. (2017). Bioaerosole aus der Tierhaltung, Fachbericht 80. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen – LANUV.
- Gessner, A. (2017). Bioaerosolemissionen aus der Schweinemast. <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Bioaerosolemissionen.pdf>. Köllitscher Fachgespräch – Bioaerosole aus der Tierhaltung 28. März 2017 – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. abgerufen 05.02.2023.
- Grinshpun, S.A., Willeke, K., Ulevicius, V., Juozaitis, A., Terzieva, S., Donnelly, J., Stelma, G.N., Brenner, K.P. (1997). Effect of Impaction, Bounce and Reaerosolization on the Collection Efficiency of Impingers. *Aerosol Science and Technology*. 26, 326–342.
- Haas, D., Fritz, T., Galler, H., Gressenberger, H., Kropsch, M., Ofner Kopeinig, P., Öttl, D., Stonitsch, M., Strasser, A. (2022). LUQUASTA - Immissions- und Emissionsmessungen von Bioaerosolen im Bereich von Geflügel- und Schweinestallungen. Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 101263, Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

- Heidelberg, J.F., Shahamat, M., Levin, M., Rahman, I., Stelma, G., Grim, C., Colwell, R.R. (1997). Effect of aerosolization on culturability and viability of gram-negative bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 63(9), 3585–3588.
- Holbach Umweltanalytik GmbH. (2014). MBASS30 Handbuch – Operating Manual.
- Hoy, S., Gauly, M., Krieter, J. (2016). *Nutztierhaltung und -hygiene*, 2. Aufl., utb GmbH, Stuttgart.
- Juozaitis, A., Willeke, K., Grinshpun, S.A., Donnelly, J. (1994). Impaction onto a Glass Slide or Agar versus Impingement into a Liquid for the Collection and Recovery of Airborne Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*. 60(3), 861–870.
- Kesavan, J., Schepers, D., McFarland, A.R. (2010). Sampling and Retention Efficiencies of Batch-Type Liquid-Based Bioaerosol Samplers. *Aerosol Science and Technology*. 44(10), 817–829.
- Leineweber GmbH. (2011). technische Dokumentation μ -EFI 3.3. http://www.leineweb.de/downloads/Doku_EFI_ger.pdf (Zugriff 29.06.2022)
- Lin, W., Li, C. (1998). The Effect of Sampling Time and Flow Rates on the Bioefficiency of Three Fungal Spore Sampling Methods. *Aerosol Science and Technology*. 28(6), 511–522.
- Lin, X., Reponen, T., Willeke, K., Wang, Z., Grinshpun, S.A., Trunov, M. (2000). Survival of Airborne Microorganisms During Swirling Aerosol Collection. *Aerosol Science and Technology* 32(3), 184–196.
- Lippmann, J., Heidenreich, T., Mietke-Hofmann, H., Deichmann, J. (2016). Bestimmung und Beurteilung wichtiger Bestandteile des Bioaerosols in der Stall- und Abluft sowie im Stallumfeld (Luv/Lee) zur Bereitstellung von Kenndaten und Bewertung des Emissions- und Immissionsverhaltens mikrobieller Luftbestandteile aus Tierställen (Geflügel). Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden, Deutschland.
- MBV AG. (2019). MAS-100 NT®. https://www.mbv.ch/de/luftkeimsammler/mas-100-nt/MBV_AG_2019. (Zugriff 15.8.2022)
- Mücke, W., Lemmen, C. (2004). *Schimmelpilze – Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen*, 3. Aufl., ecomed-Storck GmbH, Landsberg.
- OTT HydroMet Fellbach GmbH. (2022), Bedienungsanleitung Intelligente Wettersensoren. <https://www.lufft.com/de-de/produkte/download-de/bedienanleitung-lufft-wsxxx-umb-wettersensoren-de/> (Zugriff 28.05.2023)
- Predicala, B.Z., Urban, J.E., Jerez, S.B., Maghirang, R.G., Goodband, R.D. (2001). Comparison of bioaerosol sampling methods for swine barns. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 0(10), 127–130.
- Nevalainen, A., Pastuszka, J., Liebhaber, F., Willeke, K. (1992). Performance of bioaerosol samplers: collection characteristics and sampler design considerations. *Atmospheric Environment*. 26, 531–540.
- Ruppitsch, W., Indra, A., Stöger, A., Mayer, A., Stadlbauer, S., Wewalka, G., Allerberger, F. (2006). Classifying *spa* Types in Complexes Improves Interpretation of Typing Results for Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Clinical Microbiology*. 44(7), 2442–2448.
- Ridom Spa Server. (2020). Ridom Spa Server. <https://spa.ridom.de/> (Zugriff 13.01.2023)
- Seedorf, J. (2012). Systemimmanente Biopartikel in biologischen Abluftreinigungsanlagen. *BioAbluftRa*. Habilitationsschrift. Technische Universität Clausthal, Deutschland.
- Stewart, S.L., Grinshpun, S.A., Willeke, K., Terzieva, S., Ulevicius, V., Donnelly, J. (1995). Effect of impact stress on microbial recovery on an agar surface. *Applied and Environmental Microbiology*. 61(4), 1232–1239.
- Terzieva, S., Donnelly, J., Ulevicius, V., Grinshpun, S.A., Willeke, K., Stelma, G.N., Brenner, K.P. (1996). Comparison of methods for detection and enumeration of airborne microorganisms collected by liquid impingement. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(7), 2264–2272.
- Thorne, P.S., Kiekhaefer, M.S., Whitten, P., Donham, K.J. (1992). Comparison of Bioaerosol Sampling Methods in Barns Housing Swine. *Applied and Environmental Microbiology*. 58(8), 2543–2551.

- VDI-Richtlinie 3894/Blatt 1 (2011). Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen - Haltungsverfahren und Emissionen - Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4250/Blatt 3 (2016). Bioaerosole und biologische Agenzien - Analogbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter und Beurteilungswerte. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4251/Blatt 1 (2007). Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Planung von analogbezogenen Immissionsmessungen. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4252/Blatt 3 (2008). Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Aktive Probenahme von Bioaerosolen - Abscheidung von luftgetragenen Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4253/Blatt 3 (2019). Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft - Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4255/Blatt 4 (2017). Bioaerosole und biologische Agenzien - Emissionsfaktoren für Schweinehaltung. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4257/Blatt 1 (2013). Bioaerosole und biologische Agenzien - Messen von Emissionen - Planung und Durchführung von Emissionsmessungen. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4257/Blatt 2 (2011). Bioaerosole und biologische Agenzien - Messen von Emissionen - Probenahme von Bioaerosolen und Abscheidung in Flüssigkeiten. Beuth Verlag Berlin.
- VDI-Richtlinie 4300/Blatt 10 (2008). Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messstrategien zum Nachweis von Schimmelpilzen im Innenraum. Beuth Verlag Berlin.
- Vogl, U., Kurzai, O., Claus, H., Knaust, A., Pitten, F. A. (2005). *Spa*-Typisierung von Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* Stämmen am Universitätsklinikum Würzburg. *Der Microbiologe* 15.Jg., 131-135.
- Vögtlin Thermische Masse Durchflussmesser und Regler für Gase, red-y compact series Bedienungsanleitung. (2019). Vögtlin Instruments GmbH.
- Vögtlin Bedienungsanleitung Schwebekörper Durchflussmesser Q-Flow. (2022). Vögtlin Instruments GmbH.
- VWR Chemicals. (2013). Mannitol salt agar. Technisches Datenblatt. 1–2. (2013). VWR Chemicals. VWR International GmbH.
- VWR Chemicals. (2016). Trypton- Soja- Agar mit Cycloheximid. Technisches Datenblatt. 1–2. https://at.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product_id=21633613 (Zugriff 30.06.2022)
- VWR® Surface Air System (SAS) Monitoring Instruments (2020). VWR International GmbH. https://at.vwr.com/assetsvc/asset/de_AT/id/25422008/contents (Zugriff 13.01.2022)
- Wüst, G., Friedl, H., Haas, D., Köck, M., Pichler-Semmelrock, F., Reinthaler, F.F., Marth, E. (2003). A comparison between Andersen (ACFM) and Reuter Centrifugal. *Aerobiologia*. 19, 125–128.
- Yao, M., Mainelis, G. (2006). Investigation of cut-off sizes and collection efficiencies of portable microbial samplers. *Aerosol Science and Technology*. 40(8), 595–606.

8 Staubemissionen

Irene Mösenbacher-Molterer, Abteilung Tierhaltungssysteme, Technik und Emissionen;
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

8.1 Zusammenfassung

Die Werte der Staubmessungen sind allgemein sehr positiv und lassen Rückschlüsse auf die gute Wirksamkeit der Strohentstaubung durch eine Strohmatic-Welfare-Anlage sowie der zusätzlichen Dosierung einer ölhaltigen Substanz über eine Niederdruck-Ölsprühanlage zu. Durch die umfangreiche messtechnische Begleitung über einen Zeitraum von 1,5 Jahren war nicht nur die Erfassung jahreszeitlicher Verläufe möglich, auch eine abgesicherte Expertise zu den eingesetzten Techniken konnte abgegeben werden. Der Tagesverlauf der Staubmassenkonzentration als auch Staubpartikelzahlen wird jedenfalls beeinflusst von der Aktivität der Tiere sowie der Häufigkeit und Art von Einstreuvorgängen. Die Partikelanzahl war im Herbst/Winter tendenziell höher (Lufrate, Feuchtegehalt der Luft) mit einer statistischen Signifikanz betreffend Jahreszeit und Partikelanzahl. Die Partikelanzahl war bei unterschiedlichen Messbedingungen signifikant unterscheidbar, wobei händische Einstreu mit Langstroh im Vergleich sehr gute Werte zeigte, jedoch durch den Betriebsleiter die Akzeptanz der Tiere aufgrund mangelnder Beschäftigung und Annahme des Liegeplatzes durch mäßigen Liegekomfort subjektiv schlechter beurteilt wurde.

Zur Überprüfung einer neuartigen Einstreuanlage mit Entstaubung Strohmatic light sowie dem Effekt des Versprühens von Öl auf die Staubbelastung in der Innenluft wurde in einer Folgemessung in einem weiteren Tierwohlstall für Mastschweine in einem identen Versuchsaufbau wiederum ein mehrtägiger Variantenvergleich durchgeführt. Der Stall für gesamt 400 Mastschweine (doppelreihiger Stall mit 2 x 200 Tieren je Ruhebereich) war mit Zuluftkühlung, Strohmatic light und zusätzlich einer Schauer AirCleaner-Niederdrucköleinsprühanlage zur Staubbindung im Liegebereich ausgestattet. Die Werte zeigten sich aufgrund der Unterschiede hinsichtlich der Tierplatzzahlen, Konzeption des Gebäudes als auch der integrierten Technik generell reduziert zum Hauptversuch. Wieder bestätigte sich die hervorragende Wirkung der Öleinbringung, ebenso eine Staubminderung von durchschnittlich 45 % bei Einbringung des Streumaterials über die Strohmatic light-Anlage ohne Ölzudosierung im Ruhebereich im Vergleich zu händischem Einstreuen von Häckselstroh ohne Ölzudosierung.

Zusammenfassend ist die Vermeidung und Bindung von Staub als unverzichtbarer Bestandteil im eingestreuten Tierbereich zu sehen. Als beste verfügbare Technik zeigt sich in punkto Arbeitswirtschaft, Innovation und Automation im Tierbereich sowie zur Abfederung von Qualitätsmängeln der Einstreumaterialien klar eine Beimischung öliger Substanzen über Hoch- oder

Niederdrucksprühanlagen direkt in den Tierbereich sowie zeitgleich eine Entstaubung des einzubringenden Materials und Automatisierung der Einstreutechnik (im Projekt überprüft: Strohmatic Welfare und Strohmatic light), um durch Feinstaub bedingten respiratorischen Erkrankungen für Mensch und Tier vorzubeugen.

8.2 Summary

The values of the dust measurements are very promising and allow conclusions to be drawn about the good effectiveness of the straw dedusting by a Strohmatic Welfare system as well as the additional dosing of an oil-containing substance via a low-pressure oil spray system. Extensive monitoring over a period of 1.5 years made it possible to record seasonal trends and also provide a reliable expert opinion on the techniques used. The daily course of the dust mass concentration as well as the dust particle numbers is in any case influenced by the activity of the animals as well as the frequency and type of bedding processes. The particle count tended to be higher in autumn/winter (air rate, humidity content of the air) with a statistical significance concerning season and particle count. The number of particles was significantly distinguishable under different measuring conditions, whereby manual litter with long straw showed very good values in comparison, but the acceptance of the animals was subjectively rated worse by the farm manager due to a lack of occupation and acceptance of the lying place due to moderate lying comfort.

In order to test a new type of straw dedusting (Strohmatic light) and the effect of spraying oil on dust levels in the indoor air, a comparison of variants was carried out over several days in a follow-up measurement in another animal welfare barn for fattening pigs. The barn for a total of 400 fattening pigs (double-row barn with 2 x 200 animals per resting area) was equipped with supply air cooling, Strohmatic light and additionally a Schauer AirCleaner high-pressure oil injection system for dust binding in the lying area. The values were generally reduced compared to the main trial due to the differences in the number of animals, the design of the building and the integrated technology. The excellent effect of oil application was again confirmed, as well as a dust reduction of 45% on average when the litter material was applied via the Strohmatic light system without oil dosage in the resting area compared to manual littering of chopped straw without oil dosage.

In summary, the prevention and binding of dust is to be seen as an indispensable component in the bedded animal area. In terms of labour management, innovation and automation in the animal area, as well as to mitigate quality deficiencies in the bedding materials, the best available technology is clearly an admixture of oily substances via high- or low-pressure spraying systems directly into the animal area and, at the same time, automation of the bedding process to prevent respiratory diseases for humans and animals caused by particulate matter.

Einleitung

Die Bedeutung der Luftqualität hinsichtlich der Entwicklung von Atemwegserkrankungen wird in zahlreichen Untersuchungen dokumentiert. Staub, hohe Schadgaskonzentrationen, Trockenheit und extrem hohe oder niedrige Luftfeuchtigkeit erhöhen die Empfindlichkeit von Nutztieren gegenüber Pneumonie und verursachen häufig Lungenveränderungen. Staubpartikel können Infektionserreger sowie Endotoxine beherbergen und gemeinsam mit anderen Luftschadstoffen den Atmungstrakt schädigen.

Diese Erkenntnisse sind vor allem im Hinblick auf Ställe mit Fokus auf mehr Tierwohl wichtig: Mehr Platz und Einstreu, eine Strukturierung der Buchten zur Unterscheidung von Aktivitäts- und Ruhezeiten und das Anbieten von Außenklimareizen wird gefordert. Bezogen auf unterschiedliche Witterungsverhältnisse während der Ernte sowie die Qualitätsparameter des Erntegutes ist beispielsweise nicht jedes Jahr Stroh von bester Qualität verfügbar. Vergleichbare Untersuchungen der Universität Göttingen zeigen erhöhte Staubemissionen bei Weizenstroh-Holzspänen - Strohpellets sind günstiger zu beurteilen (HESSEL, 2012).

Um diese Mängel abzuschwächen und eine unbedenkliche Umgebung für die Tiere bereitzustellen, ist es in vielen Fällen notwendig, Techniken zur Bindung oder wesentlichen Vermeidung von Staub zu installieren. Bei der Minderung der Staubemissionen spielt der Feuchtigkeitsgehalt sowohl in der Luft als auch bauwerksbezogen im Stall eine wichtige Rolle. Eine feuchte Bodenfläche hemmt die Aufwirbelung von Partikeln deutlich. Als eine Maßnahme zur Emissionsminderung von PM10 wird das Versprühen von Öl angeführt (BERRY et.al., 2002).

Vorarbeiten zum Projekt

Bezüglich des Aufkommens von Stäuben in der landwirtschaftlichen Tierhaltung gab es bereits im Sommer 2019 Messungen in eingestreuten Tierwohlställen, wobei durch Entstaubung des Strohs und Mechanisierung des Einstreuvorganges eine 80 %ige Staubminderung und somit eine Verbesserung der gesundheitlichen Aspekte für Mensch und Tier erreicht wurden (MÖSENBACHER-MOLTERER et.al., 2019).

Eine im Jahr 2020 durchgeführte Untersuchung einer Zweistoffdüsenteknik zur Versprühung von Wasser und Zudosierung weiterer flüssiger Substanzen zeigte in einem Tierwohlstall für Mastschweine ebenso positive Ergebnisse. Vor allem die Variante Wasser + Öl zeigte eine deutliche Verminderung des Staubanteils in der Luft. Die Minderung der Gesamtstaubkonzentration betrug während Nachtmessungen knapp 82 % (MÖSENBACHER-MOLTERER et.al., 2020). Beim Versprühen von Wasser war die Reduktionszeit kürzer, jedoch etwas weniger ausgeprägt mit einer Reduktion von 73 %. Diese Minderungswerte sind als maximale Möglichkeit einzustufen, da abhängig von Management und Aktivität der Tiere untertags große Schwankungsbreiten zu verzeichnen sind und die Reduktionsgrade dementsprechend variieren.

8.3 Material und Methode

Strohmatic Welfare

Eine Strohmatic-Anlage ist ein von der Fa. Schauer OG, Prambachkirchen, konzipiertes System zur Automatisierung der Einstreuvorgänge in Ställen der Nutztierhaltung (Abbildung 164). Eine Strohmühle zerkleinert das eingebrachte Material (Rund- oder Quaderballen), welches anschließend vollautomatisch im Stall verteilt wird. Die Einstreumenge ist einstellbar. Durch eine Entstaubungstechnik wird eine geringere Belastung mit schädlichen Stoffen erwartet.



Abbildung 164: Schematische Darstellung Strohmatic (Fa. Schauer)

Das Stroh wird in einen Übergabebehälter geblasen und durch die Drehbewegung eines Rotors in die Förderleitung befördert (Abbildung 165). Der durch die Strohmühle erzeugte Luftstrom wird abgesaugt. Ein Sieb im Inneren des Übergabebehälters verhindert, dass Stroh über die Abluftleitung entweicht. Um eine Überfüllung der Übergabeeinheit zu verhindern, erfolgt eine ständige Überwachung durch einen Sensor. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass die Übergabeeinheit direkt nach der Antriebseinheit (in Förderrichtung) montiert wird.

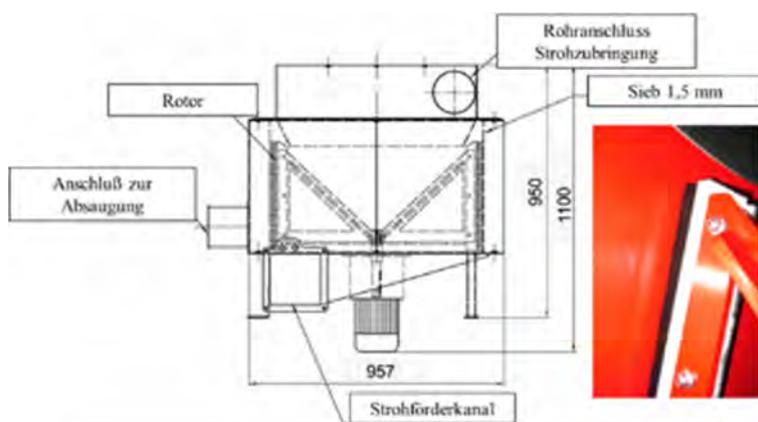


Abbildung 165: Übergabeeinheit - Entstaubung (Fa. Schauer)

Die Absauganlage ist für die Absaugung des Staubes und der überschüssigen Luft aus der Übergabeeinheit zuständig. Der Staub wird in einem Behälter (V= 360 Liter) gesammelt, die Abluft entweicht über Filterschläuche (Abbildung 166). Die Entleerung erfolgt über eine Klappe mittels einer Seilwinde. Nach ca. 1 Tonne verarbeitetem Stroh ist die Absaugung zu entleeren.



Abbildung 166: Absauganlage (Fa. Schauer)

Einstreumenge

Im Versuchsverlauf betrug die tägliche Einstreumenge ca. 100 Gramm pro Tier. Eingestreut wurde vollautomatisiert zweimal täglich, um 8:00 Uhr morgens sowie um 12:00 Uhr mittags.

Niederdruck-Ölsprühanlage

Die Niederdruck-Ölsprühanlage wurde von der Fa. Schauer OG, Prambachkirchen, konzipiert zur Bindung von Stäuben in der Stallluft. Die Anlage wird in einem Druckbereich zwischen 3 und 6 bar betrieben. Eingesetzt wird reines Speiseöl (Rapsöl). Der Verbrauch beträgt bei Standardeinstellung: je nach Düsenart ca. 0,06-0,08l/Bucht/Tag. Das Sprühintervall wurde mit 2 Sekunden pro Tag und Bucht je Sprühzyklus eingestellt.

Im Versuchszeitraum wurde die Anlage zweimal täglich, um 8:00 Uhr sowie um 12:00 Uhr, betrieben.



Abbildung 167: Niederdruck-Ölsprühanlage (Fa. Schauer)

Messtechnik

Zur Anwendung gelangte ein Messgerät der Firma Grimm (Environmental Dust Monitor - Spektrometer 11-C), wobei als Auswertegrößen die Klassen PM_{10} – $PM_{2,5}$ – PM_1 , sowie die Verteilung über 31 Größenkanäle festgelegt waren.

Das tragbare Mini-Laser-Aerosol-Spektrometer 11-C von Grimm erfasst jedes einzelne Partikel im Bereich von 0,25 bis 32 μm und unterteilt es in 31 Kanäle (Abbildung 168). Es eignet sich für eine breite Palette von Anwendungen, von der Feinstaubüberwachung in Industrie- und Fertigungsstätten bis hin zu Arbeitsplatzmessungen. Das Gerät gibt im kleinstmöglichen Messintervall alle 6 Sekunden Daten als Partikelzahl und Staubmassenanteil aus. Durch Vor- und Rücklauf der permanenten Spülluft wird die optische Messzelle nicht verunreinigt.

Die gemessene Staubprobe wird auf einem integrierten herausnehmbaren PTFE-Filter gesammelt, so dass eine spätere Analyse jederzeit möglich ist. Der bequeme Zugriff auf Messdaten erfolgt über die integrierte Ethernet-Verbindung, die online über Laptop oder Tablet abgerufen und auf SD-Karte oder USB-Stick gespeichert werden kann.



Abbildung 168: Grimm 11-C Aerosol-Spektrometer

Versuchsaufbau Ruhe-(Innen-)bereich

Die Durchführung der Messungen erfolgte im Stallinneren, in Mitte des Ruhebereiches einer Bucht. Das Staubmessgerät wurde frei hängend in einer Höhe von 1,50 m positioniert (Abbildung 169). Störende Einflüsse durch Licht, klimatische Veränderungen im Außenbereich oder durch den Menschen herbeigeführte Verhaltensänderungen der Tiere wurden so vermieden bzw. allenfalls notwendige Managementmaßnahmen, Fütterungszeiten oder Einzeltierbehandlungen genau protokolliert.

Die Messungen erfolgten:

23.07.2021 - 01.08.2021 (Innenbereich)

22.10.2021 - 01.11.2021 (Innenbereich)

31.01.2022 (Innenbereich – *nur 1 Messtag aufgrund Gerätefehler*)

21.03.2022 - 28.03.2022 (Innenbereich)

24.01.2023 - 02.03.2023 (Innenbereich - 5 unterschiedliche Messvarianten)

wobei der jeweils erste und letzte Tag der Messung aufgrund von Management- und Installationsmaßnahmen nicht zur Auswertung herangezogen wurden. Das Messintervall betrug 1 Minute.



Abbildung 169: Messkorb mit Spektrometer 11-C im Ruhebereich

Versuchsaufbau Außenbereich

Ergänzend zu den Messungen im Innenbereich wurden auch die Staubgehalte im Außenbereich (Aktivitäts-/Fress- und Ausscheidungsbereich) erhoben. Der Messaufbau war ident zum Ruhebereich, jeweils in Mitte einer Bucht im Nahebereich der Futtertröge, frei hängend in einer Höhe von 1,50 m.

Die Messungen erfolgten:

31.01.2022 - 09.02.2022 (Aktivitätsbereich)

21.03.2022 - 28.03.2022 (Aktivitätsbereich)

wobei der jeweils erste und letzte Tag der zweiten Messreihe aufgrund von Management- und Installationsmaßnahmen nicht zur Auswertung herangezogen wurden. Das Messintervall betrug 1 Minute.

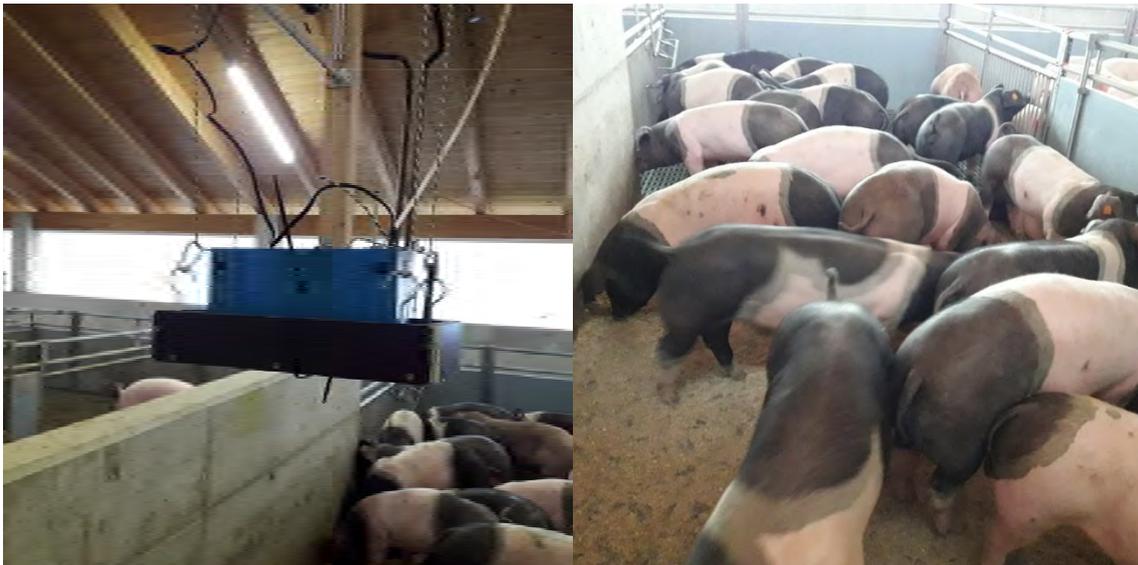


Abbildung 170: Messkorb mit Spektrometer 11-C im Aktivitäts- und Ausscheidungsbereich der Tiere

Folgende Forschungsfragen wurden erstellt:

1. Gibt es einen Zusammenhang hinsichtlich des Staubgehaltes
 - a. und dem tages- sowie jahreszeitlichen Verlauf?
 - b. zwischen dem Ruhe- sowie dem Aktivitätsbereich?
2. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Einstreutechnik und dem Staubgehalt im Innenbereich?
3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Niederdruck-Ölsprühanlage und dem Staubgehalt im Innenbereich?

8.4 Ergebnisse

Zur Auswertung wurden Einzeltage sowie gezielt interessante Zeiträume herausgefiltert, um den Einfluss der Strohentstaubung sowie dem Einsprühen der ölhaltigen Flüssigkeit zeigen zu können. Die Auflistung der Tagesmittelwerte über 24 h und alle Messtage befindet sich im Anhang dieses Berichtes.

Im Vergleich zu vorliegenden Untersuchungen aus Deutschland sind die erhobenen Staubpartikelkonzentrationen mit Mittelwerten über den gesamten Untersuchungszeitraum von 212, 29 und 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1 als sehr niedrig zu beurteilen (Tabelle 54).

Tabelle 54: Gegenüberstellung der Feinstaubkonzentrationen in Mastschweineeställen (BÜSCHER et.al., 2012)

	Stall 1	Stall 2	Stall 3	Stall 4	Stall 5
Untersuchungszeitraum	Sept. 2010	Sept. 2010	Sept. 2010	Okt. 2010	Okt. 2010
Tierzahl	10	160	120	181	143
Ø Gewicht [kg]	105	95	70	91	42
Lüftung	Offenfront	Rieselkanallüftung	Ganglüftung	Strahl- lüftung	Türgang- lüftung
Aufstallung	Tieflaufstall	Vollspaltenboden			
Fütterung	Trocken- futter- automat	Breifutterautomat		Flüssigfütterung am Quertrog	
Ammoniak [ppm]	17,7	5,0	4,2	5,3	5,5
Innenraum- temperatur [°C]	18	25	25	23	23
$\text{PM}_{2,5}$ [$\mu\text{g m}^{-3}$]	123	488	331	107	171
PM_{10} [$\mu\text{g m}^{-3}$]	893	4.285	3.086	1.023	1.979
Gesamtstaub [$\mu\text{g m}^{-3}$]	1.684	7.494	4.090	1.834	3.985

Verteilt über die einzelnen Messtage gab es nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Partikelkonzentrationen, welche sowohl in der Aktivität der Tiere als auch durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse (Gehalt an relativer Luftfeuchtigkeit in der Stallluft) resultierten.

Eine im Jahr 2019 durchgeführte Erstuntersuchung an einer Strohmatic-Classic-Anlage im Vergleich zu einem Betrieb mit händischem Einstreuen von unentstaubtem Stroh zeigt Vergleichswerte in nachstehender Tabelle. Die PM_{10} -Werte liegen deutlich unter jenen des Vorversuches, die $\text{PM}_{2,5}$ -Werte zeigen sich ähnlich (Tabelle 55).

Tabelle 55: Gemittelte Staubpartikelkonzentrationen über 24h in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ über alle Messtage

	PM₁₀	PM_{2,5}	PM₁
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
23.07.2021	418	40	13
24.07.2021	270	35	15
25.07.2021	163	30	17
26.07.2021	203	35	16
27.07.2021	164	27	11
28.07.2021	193	27	11
29.07.2021	239	25	7
30.07.2021	192	30	12
31.07.2021	116	22	8
01.08.2021	161	22	7
Mittelwert	212	29	12

Tabelle 56: Staubkonzentrationen im Innenraum mit unterschiedlicher Einstreutechnik (MÖSENBACHER-MOLTERER et.al., 2019)

	Betrieb 1	Betrieb 2
	Strohmatic Classic	Händisches Einstreuen
PM₁₀	712 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.323 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{2,5}	32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Zur Ermittlung der Größenverteilung der Staubpartikel in Ruhe wurde ein Messtag (31.07.2021) exemplarisch herangezogen und die Werte um 0:00 Uhr nachts analysiert. Hier zeigt sich, dass die Partikelgrößen kleiner $0,50 \mu\text{m}$ den größten Anteil darstellen (Abbildung 171).

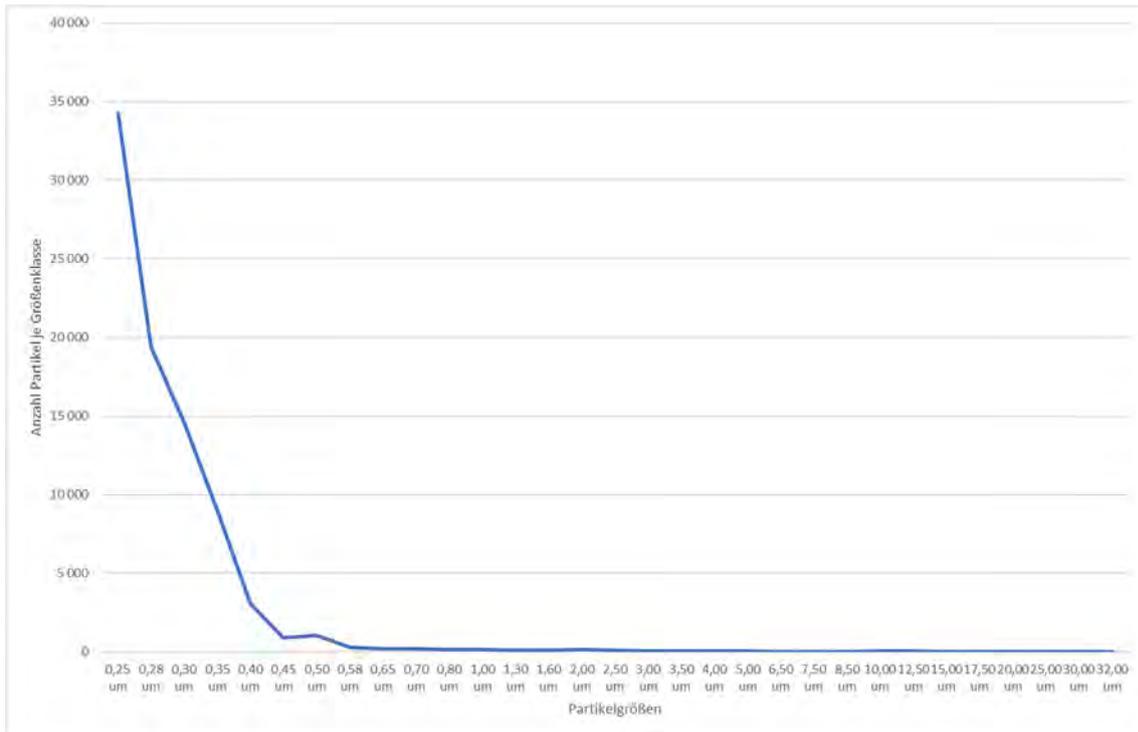


Abbildung 171: Partikelzahlen über alle Größenklassen am 23.07.2021 um 0:00 Uhr

Anhand der Ergebnisse zeigen sich sowohl tages- als auch jahreszeitliche Verläufe, wobei tendenziell in Zeiten mit reduzierter Luftrate höhere Konzentrationen messbar waren. Ebenso ergab sich ein Unterschied zwischen dem eingestreuten Aktivitätsbereich mit höheren Werten, sowie dem Aktivitätsbereich. Bei einem Vergleich unterschiedlicher Varianten (Einstreu händisch/automatisiert, Entstaubung mit/ohne, etc.) zeigte sich ein optimales Ergebnis für die aktivierte Strohmatic-Welfare-Anlage in Verbindung mit einer Zudosierung von Speiseöl in die Stallluft.

Forschungsfrage 1

Gibt es einen Zusammenhang hinsichtlich des Staubgehaltes und dem tages- & jahreszeitlichen Verlauf sowie zwischen dem Ruhe- & dem Aktivitätsbereich?

Durchgängig zeigen sich im Ruhebereich höhere Werte in den frühen Morgenstunden ab 6:00 bis 10:00 Uhr. Dies ist auf die erhöhte Aktivität der Tiere (Aufsuchen des Fress- und Aktivitätsbereiches) zurückzuführen. Jeweils weitere Konzentrationsanstiege erstreckten sich von etwa 14:00 bis 15:00 Uhr und nochmals von 17:30 bis 20:00 Uhr (Abbildung 172).

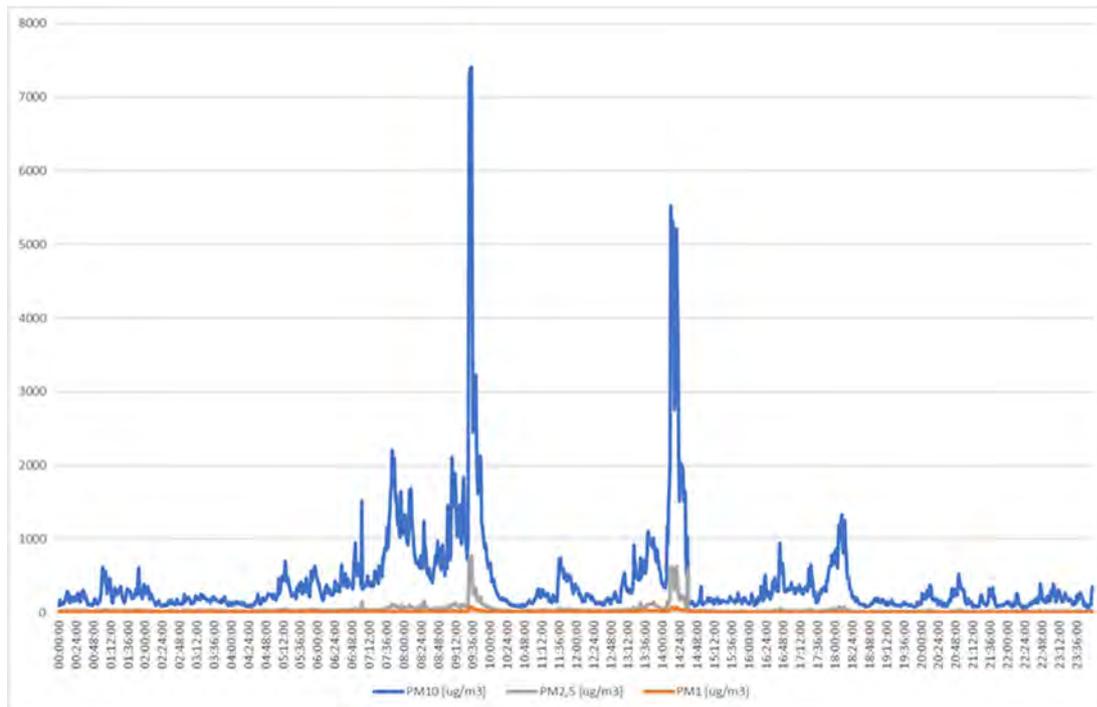


Abbildung 172: Konzentrationen an PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ am 23.07.2021 über 24 Stunden

Im Jahresverlauf waren vor allem während der warmen Jahreszeit (Sommermonate) niedrigere Staubpartikelzahlen zu verzeichnen. Dies ist auf die erhöhte Durchlüftung des Innenraums zurückzuführen, wo über einen großvolumigen Unterflurkanal aktiv über Cool Pads Frischluft angesaugt und über zwei Ventilatoren in den Ruhebereich eingebracht wurde.

Bei einer Kubatur des Innenraums von $\sim 50 \text{ m L} \times 11 \text{ m B} \times 3 \text{ m H}$ ergibt sich eine Luftmenge von 1.650 m^3 für 850 Tierplätze.

Über die Unterflurzuluft gelangen im Jahresverlauf im Mittel folgende Luftmengen in den Innenraum/Ruhebereich:

- 20 % Ventilation $\sim 15 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluft / TP (Winter)
- 50 % Ventilation $\sim 25 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluft / TP (Herbst, Frühjahr)
- 85 % Ventilation $\sim 40 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluft / TP (Sommer)
- (2x FF091 Ziehl-Abegg, zusätzl. Cool Pads)

Betrachtet man die Verteilung der Staubpartikel über die einzelnen Größenklassen im Ruhebereich, so ergibt sich auch hier ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer und Winter. Beträgt der Anteil an Staubteilchen im Größensegment PM_{10} im Sommer knapp 100 % (99,91 %) sowie 98,22 bei PM_1 – so reduzieren sich diese Werte im Winter auf 88,26 % bei PM_1 sowie 99,41 bei PM_{10} . Der Anteil feinsten Staubteilchen ist während der kälteren Jahreszeit reduziert.

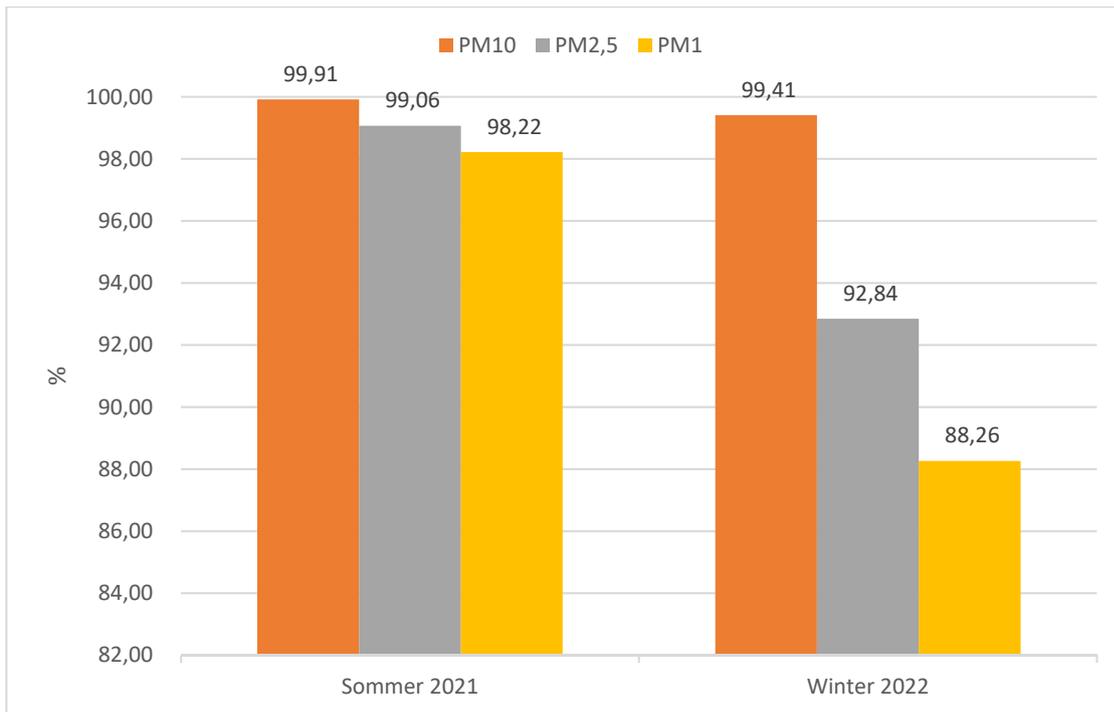


Abbildung 173: Mengenmäßige Verteilung der Staubpartikelzahlen auf die Feinstaubsegmente (Sommer 2021 vs. Winter 2021/22)

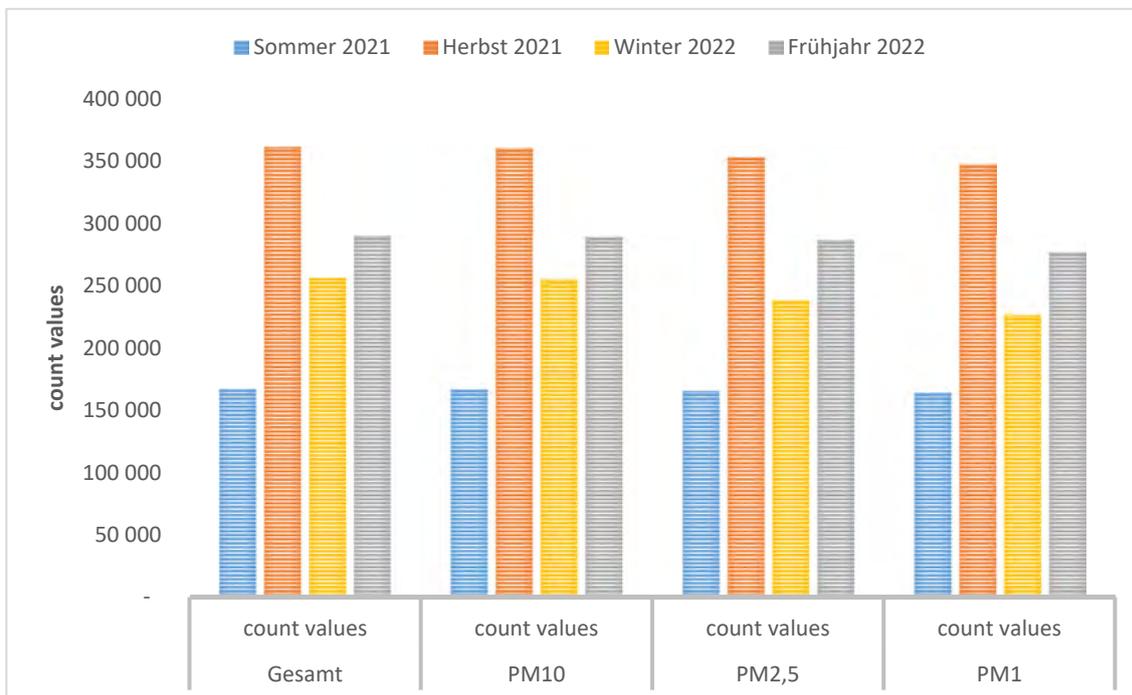


Abbildung 174: Gemittelte Staubpartikelzahlen im Jahresverlauf (Messperiode 2021/22 - Ruhebereich)

Die Ergebnisse der Staubmessungen wurden mittels SPSS analysiert, um auch einen möglichen statistischen Zusammenhang erheben zu können. Bei einer Datengrundlage von gesamt 28 Messtagen wurde vor allem zwischen Sommer und Herbst ein signifikanter Unterschied von $p=0,037$ mit einer Effektstärke von 0,68 (stark) festgestellt.

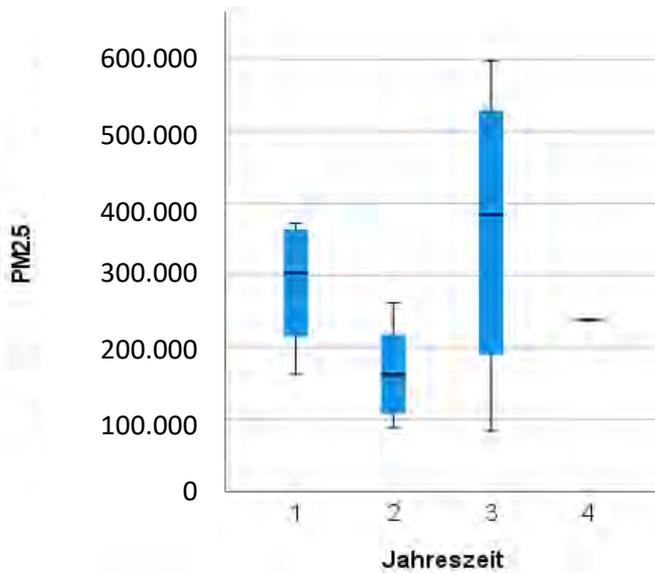


Abbildung 175: Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben (1= Frühjahr, 2= Sommer, 3= Herbst, 4= Winter), SPSS

Analysiert man nun den Einfluss des Messortes (Ruhe- oder Aktivitätsbereich), so konnten auch hier Unterschiede gemessen werden.

Tabelle 57: Gemittelte Staubpartikelzahlen im Ruhe- und Außenbereich im Jahresverlauf

	Gesamt	PM₁₀	PM_{2,5}	PM₁
	count values	count values	count values	count values
RUHEBEREICH				
Sommer 2021	167 223	167 079	165 657	164 241
Herbst 2021	361 341	360 108	353 032	347 175
Winter 2022	256 636	255 113	238 274	226 508
Frühjahr 2022	290 101	288 902	286 668	276 584
AUßENBEREICH				
Winter 2022	175 828	175 698	174 807	173 857
Frühjahr 2022	286 226	285 951	284 696	283 864

Nach einem Anstieg der Staubgehalte während der Herbstmonate um einen mehr als 2-fachen Faktor (Einfluss: reduzierte Durchlüftung, möglicher Effekt durch Phasen erhöhter Luftfeuchte-/Nebel) waren wiederum niedrigere Werte während der Wintermonate zu verzeichnen, wobei es dennoch einen deutlichen Unterschied zwischen dem eingestreuten Ruhebereich sowie dem teilperforierten Aktivitätsbereich mit niedrigeren Werten gab.

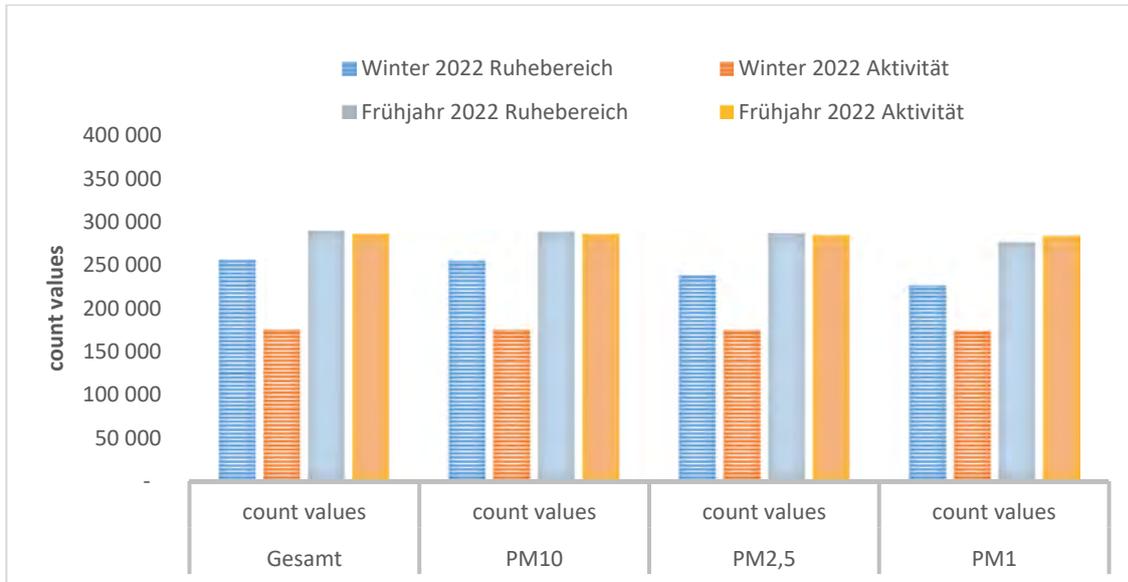


Abbildung 176: Partikelzahlen über alle Größenklassen im Vergleich zwischen Ruhe- und Aktivitätsbereich (Winter/Frühjahr 2022)

Eine Häufigkeitsverteilung in SPSS zeigte aufgrund der Werte im Ruhebereich zwar eine höhere Nennrate in der Fraktion PM_{2,5} bei Werten ab 200.000 Teilchen pro Liter Luft, jedoch war dieser Unterschied nicht signifikant.

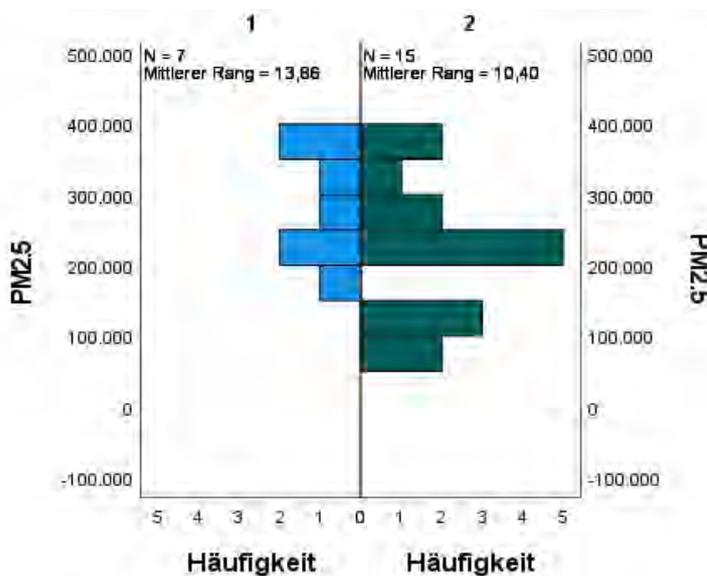


Abbildung 177: Mann-Whitney-Test bei unabhängigen Stichproben in der Fraktion PM_{2,5} (Messort 1 = Ruhebereich, Messort 2 = Aktivitätsbereich), SPSS

Die Forschungsfrage kann somit klar mit JA beantwortet werden, da sich bei Durchsicht verschiedenster Szenarien Unterschiede im Tages- als auch Jahresverlauf zeigen, wobei vor allem die Unterschiede im Jahresverlauf auch signifikant sind.

Die Bearbeitung der Forschungsfragen 2 und 3 wurde in einer Messreihe zusammengefasst, da diese alternierend im Versuchsstall erfolgte.

Forschungsfrage 2

Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Einstreutechnik und dem Staubgehalt im Innenbereich?

Forschungsfrage 3

Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Niederdruck-Ölsprühanlage und dem Staubgehalt im Innenbereich?

In einer mehrwöchigen Messreihe im Frühjahr 2023 wurde über einen Variantenvergleich ein Effekt der eingebauten Techniken (Strohmatic-Welfare-Anlage sowie Niederdruckölsprühanlage) untersucht.

Hierfür war folgende Messanstellung durchgeführt worden:

- 2 Messgeräte diagonal im Ruhebereich
- Je Variante 3 Messtage zu je 24 Stunden
- 15 x 2 ausgewertete Messtage in Summe

(2-

3 Tage Umstellungsphase zwischen den Varianten)

- ✓ Datengrundlage = 8.640 Messungen je Variante

Folgende Varianten wurden untersucht:

ab Mittwoch, 25.01.2023

- Strohmatic ohne Ölvernebelung
VERNEBELUNG AUS 8:00 Uhr

ab Montag, 30.01.2023

- Strohmatic + Ölvernebelung
VERNEBELUNG EIN 8:00 Uhr

ab Freitag, 03.02.2023

- händisches Einstreuen ohne Ölvernebelung
VERNEBELUNG AUS 8:00 Uhr
STROHMATIC AUS
EINSTREU HÄNDISCH IM GESAMTGEBÄUDE, 1x täglich morgens, alle Buchten

ab Dienstag, 07.02.2023

- händisches Einstreuen + Ölvernebelung
VERNEBELUNG EIN 8:00 Uhr
STROHMATIC AUS
EINSTREU HÄNDISCH IM GESAMTGEBÄUDE, 1x täglich morgens, alle Buchten

ab Samstag, 11.02.2023

- Strohmatic mit Wegschaltung der Entstaubung ohne Ölvernebelung
VERNEBELUNG AUS 8:00 Uhr
STROHMATIC EIN
ENTSTAUBUNGSMOTOR AUS

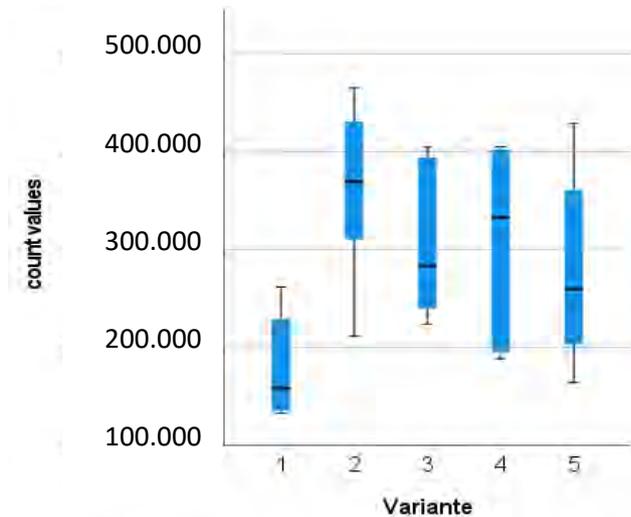


Abbildung 178: Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben (1 = Strohmatic Welfare + Öl, 2 = Strohmatic Welfare ohne Öl, 3 = Einstreu händisch ohne Öl, 4 = Einstreu händisch + Öl, 5 = Strohmatic Welfare ohne Entstaubung ohne Öl), SPSS

Vor allem die Kombination beider Maßnahmen ergab die größte Reduktion bezüglich des Staubgehaltes im Stall, welche sich vor allem gegenüber den Varianten 2, 3 und 4 auch statistisch signifikant darstellte.

Tabelle 58: Statistische Analyse des Variantenvergleiches, SPSS

Paarweise Vergleiche von Variante					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardteststatistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
1,0-5,0	-8,667	5,083	-1,705	0,088	0,882
1,0-4,0	-11,167	5,083	-2,197	0,028	0,280
1,0-3,0	-11,333	5,083	-2,230	0,026	0,258
1,0-2,0	-15,500	5,083	-3,050	0,002	0,023
5,0-4,0	2,500	5,083	0,492	0,623	1,000
5,0-3,0	2,667	5,083	0,525	0,600	1,000
5,0-2,0	6,833	5,083	1,344	0,179	1,000
4,0-3,0	0,167	5,083	0,033	0,974	1,000
4,0-2,0	4,333	5,083	0,853	0,394	1,000
3,0-2,0	4,167	5,083	0,820	0,412	1,000

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Nachstehende Tabelle 59 zeigt die Mittelwerte über alle Messperioden der einzelnen Varianten und verdeutlicht wiederum den hohen Anteil kleiner Größenklassen am Gesamtstaubgehalt. Rund 99 % der Partikel entfallen auf Staubgehalte der Fraktion PM₁₀ und kleiner. Rechnerisch ergeben sich Minderungen von durchschnittlich minus 48,33 % durch die zusätzliche zweimal tägliche Zudosierung von Öl bei aktivierter Strohmatic-Welfare-Anlage, so ist der Einbringung öligler Substanzer ein sehr hoher Wirkungsgrad beizumessen. Vergleich man die Variante 1 (volltechnisiert) mit der praxisüblichen händischen Einstreu ohne Ölzudosierung, so ergibt sich ein Minderungsgrad von minus 51,49 %. Schaltet man den Entstaubungsmotor der Strohmatic-Welfare-Anlage weg, so erhöht sich die Anzahl der Staubteilchen um knapp 37 % - somit zeigt sich die Wichtigkeit, hier auf ein Gesamtsystem zu setzen.

Tabelle 59: Gemittelte Staubpartikelzahlen der unterschiedlichen Fraktionsklassen über alle fünf Varianten (1 = Strohmatic Welfare + Öl, 2 = Strohmatic Welfare ohne Öl, 3 = Einstreu händisch ohne Öl, 4 = Einstreu händisch + Öl, 5 = Strohmatic Welfare ohne Entstaubung ohne Öl), SPSS

	Gesamt_countvalue	PM10_countvalue	PM2,5_countvalue	PM1_countvalue
1	165 797	188	258	013
2	320 921	648	651	158
3	341 821	025	627	585
4	304 734	856	363	813
5	263 061	757	959	222

Der Vergleich von 24-stündigen Verläufen zeigte nochmals in aller Deutlichkeit die Unterschiede, welche vor allem auf die Häufigkeit der Einstreuvorgänge (händisch = einmal täglich, automatisiert = zweimal täglich) sowie die Zudosierung des Öls (zweimal täglich) zurückzuführen waren.

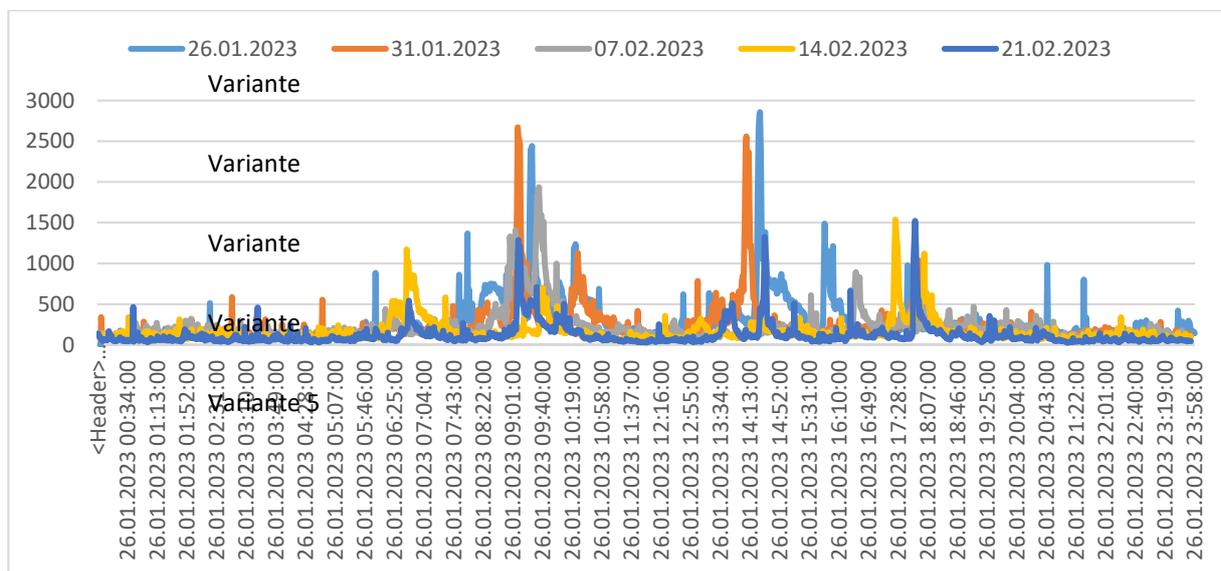


Abbildung 179: Vergleich der Staubmassenkonzentrationen der Fraktion PM_{2,5} [µg/m³] über 5 Messtage

Folgemessungen

Um die Messungen anlässlich des Projektes SaLu_T abzusichern und in diesem Zusammenhang auch eine neuartige Entstaubungs- und Einstreutechnik „Strohmatic light“ zu testen, wurden von 04.04.2023 bis 24.04.2023 Folgemessungen in einem emissionsarmen Tierwohlstall für 400 Mastschweine in der Südsteiermark durchgeführt.

Material und Methode

Dieser Stall wird unter dem AMA TW 100 Programm mit 100 % mehr Platz und Verzicht auf Schwanzkupieren betrieben. Er ist in punkto Emissionsminderung nach den aktuellsten Erkenntnissen und Weiterentwicklungen umgesetzt. So verfügt der Tierwohlstall über eine Zuluftkühlung, Strohmatic light Einstreuanlage mit Entstaubung und zusätzlich eine Schauer AirCleaner-Öl-Einsprühanlage zur Staubbindung im Liegebereich.

Der NatureLine Tierwohlmaststall wurde als 2-reihiger Stall mit innenliegendem Auslauf gebaut. Das Stallgebäude wurde teilweise aus schichtverleimten Holzwänden ausgeführt. Durch geöffnete Firstseiten und einen eingebauten Lichtfirst ist eine gute Durchlüftung gewährleistet.



Abbildung 180: Für 200 Mastschweine konzipierter Ruhebereich eines Tierwohlstalles

Die Zuluft wird im Sommer mit Cool Pads gekühlt und über einen tiefer liegenden Zuluftkanal am Gang in den Ruhebereich geführt.



Abbildung 181: Zuluft einbringung in den Ruhebereich über eine Unterflurzuluft mit Cool Pads

Die Liegeflächen werden mit einer Strohmatic light Einstreuanlage automatisch 2 mal täglich eingestreut. Dabei wird der Großteil des Staubs abgesondert und in einem Zwischenbehälter gelagert.



Abbildung 182: Automatisierte Einbringung entstaubter Einstreu über eine Strohmatic light-Anlage

Zusätzlich verfügt der Stall über eine Niederdruck-Ölsprühanlage Schauer AirCleaner, die an den Außenwänden der Liegehalle montiert ist und knapp über dem Boden den Staub bindet, der im Stall entsteht.

Im überdachten Außenbereich ist der Großteil der Fläche planbefestigt. Um die Verschmutzung in diesem Bereich zu minimieren, werden die Schweine mit einer Spotmix Multiphasenfütterung trocken gefüttert.



Abbildung 183: Fütterung über eine Spotmix-Fütterungsanlage

Der Ausscheidungsbereich als schmaler Streifen im Auslaufbereich am Ende der Buchten wurde mit MIK Kunststoffrosten sowie einem integrierten Kotschlitz ausgestattet. Der darunterliegende Kanal ist mit geneigten Seitenwänden und einer Harrinne (Kot-/Hartrennung) ausgestattet. Im Ausscheidungsbereich wurden zur Lenkung des Tierverhaltens die Tränken positioniert.



Abbildung 184: Ausscheidungsbereich mit perforiertem Kunststoffboden, Kotschlitz und Tränkeeinrichtungen

Eine Besonderheit in der Bauform des Stalles ist, dass der 2-reihige Stall die Ausläufe nicht an den Außenseiten, sondern als „Innenhof“ ausgebildet hat. Um dennoch die Außenklimareize und gute Durchlüftung zu gewährleisten, sind die beiden Firstseiten offen. Sie können bei starkem Wind durch Windschutznetze vor Zugluft geschützt werden. Ein großer Lichtfirst sorgt durch die Thermik zusätzlich für die gute Entlüftung des Auslaufbereiches.



Abbildung 185: Aktivitätsbereich als Innenhof mit groß dimensioniertem Lichtfirst und geöffneten Stirnseiten

Versuchsaufbau

In einem mehrtägigen Kurzversuch wurde in einem Ruhebereich mit Kapazität für 200 Mastschweine eine Messerie durchgeführt, welche die Staubbelastung im Innenraum quantifizieren sollte. Die verwendete Messtechnik war ident zum Hauptversuch (Grimm Aerosol Spektrometer). Die Messdauer je Variante betrug 4 Tage, das Messintervall 60 Sekunden.

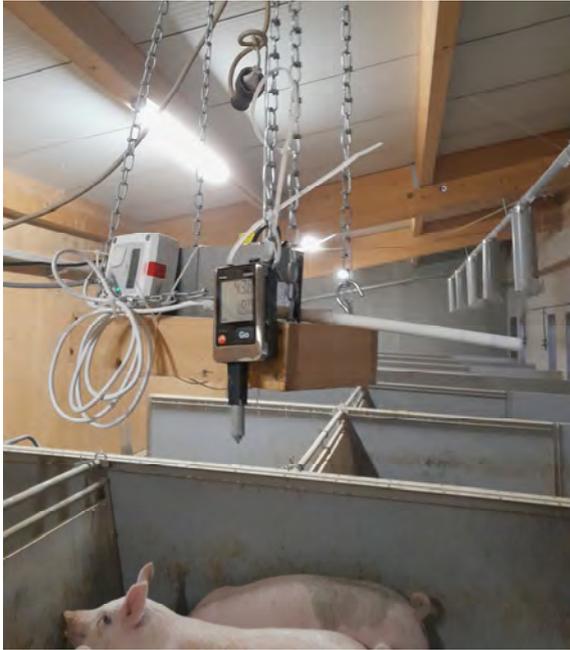


Abbildung 186: Messeinheit im Ruhebereich des Tierwohlstalles

Zusätzlich erfolgte eine kontinuierliche Messung der Parameter Temperatur sowie relative Luftfeuchtigkeit (testo mini 175) im Ruhe- sowie im Aktivitäts-(Außen)bereich, weiters eine Messung der Strömungsgeschwindigkeit (Thermischer Strömungssensor KIMO CTV 110 mit mikromec-multisens-Datenlogger) und der Schadgaskonzentrationen (Dräger X-am 8000) mit einem jeweiligen Messintervall von 10 Minuten im Innenraum. Für die Auswertung wurden je Variante 3 Messtage herangezogen, um Umstellungsphasen der Technik zu berücksichtigen.



Abbildung 187: Grimm Aerosol Spektrometer während des Messvorganges

Folgende vier Varianten wurden untersucht:

ab Dienstag, 04. April 2023

- händisches Einstreuen ohne Ölvernebelung

VERNEBELUNG AUS

STROHMATIC LIGHT AUS

EINSTREU HÄNDISCH IM GESAMTGEBÄUDE, 1x täglich morgens, alle Buchten

ab Montag, 10. April 2023

- händisches Einstreuen + Ölvernebelung

VERNEBELUNG EIN

STROHMATIC LIGHT AUS

EINSTREU HÄNDISCH IM GESAMTGEBÄUDE, 1x täglich morgens, alle Buchten

ab Samstag, 15. April 2023

- Strohmatic light ohne Ölvernebelung

VERNEBELUNG AUS

STROHMATIC LIGHT EIN

ab Donnerstag, 20. April 2023

- Strohmatic light + Ölvernebelung

VERNEBELUNG EIN

STROHMATIC LIGHT EIN

Ergebnisse

Die Auswertung der Klimaparameter zeigte einen relativ gleichmäßigen Verlauf sowie einheitliche Bedingungen über die Messperiode mit geringen tagesabhängigen Unterschieden. Eine größere Differenz ergab sich bei Betrachtung der Feuchtwerte, welche sich doch um bis zu 15 % im Innenbereich unterschieden. Wieder zeigt sich der mögliche Einfluss der Öl-Vernebelungsanlage mit höheren Luftfeuchtwerten.

Tabelle 60: Mittelwerte der Parameter Temperatur, relative Feuchte und Strömung über den Messzeitraum

	Innenbereich %rF	Innenbereich °C	Außenbereich %rF	Außenbereich °C	Strömung m/s	Temp °C
Variante 1	39,85	18,24	56,15	8,51	0,18	19,09
Variante 2	49,35	18,72	70,26	10,28	0,19	19,55
Variante 3	53,02	18,84	71,49	11,92	0,19	19,73
Variante 4	54,84	18,62	70,29	13,72	0,18	19,45

(1 = Einstreu händisch ohne Öl, 2 = Einstreu händisch + Öl, 3 = Strohmatic light ohne Öl, 4 = Strohmatic light + Öl)

Sehr gute Bedingungen spiegeln sich bei Betrachtung der Schadgaskonzentrationen wider: Mit Werten zwischen 0 und 10 ppm Ammoniak und einem Mittelwert von 4 ppm über den gesamten Versuchsverlauf konnte den Techniken keine eindeutige Minderungswirkung zugeschrieben werden, wenngleich sich ein Effekt jeweils bei verschlechterten Bedingungen zeigen sollte. Leicht erhöht zeigten sich die Kohlenstoffdioxidkonzentrationen mit einem Maximum von 2.150 ppm und

einem Mittelwert von 1.011 ppm. Dieser Umstand resultiert aus der freien Durchlüftung des Ruhebereiches mit untechnisierter Abluftführung (Schwerkraftprinzip).

Tabelle 61: Mittelwerte und Median der Staubpartikelzahlen je Liter Luft Gesamt; PM10, PM2.5, PM1

V	count value Gesamt - Ruhebereich	Median - Gesamt - Ruhe	count value PM10 – Ruhe- bereich	Median - PM10 – Ruhe- bereich	count value PM2.5 – Ruhe- bereich	Median - PM2,5 - Ruhe- bereich	count value PM1 – Ruhe- bereich	Median - PM1 – Ruhe- bereich
1	136 135	121 273	134 349	120 282	123 455	113 295	118 684	110 123
2	33 187	20 550	33 090	20 402	32 165	19 509	31 569	19 118
3	74 855	70 729	74 697	70 627	72 388	68 489	70 985	67 604
4	52 731	47 614	52 555	47 374	50 703	45 619	49 802	44 705

V –Variante (1 = Einstreu händisch ohne Öl, 2 = Einstreu händisch + Öl, 3 = Strohmatic light ohne Öl, 4 = Strohmatic light + Öl)

Wie im Hauptversuch zeigt sich auch in dieser Folgemessung eine sehr gute Wirksamkeit bei Kombination der Maßnahme vollautomatisierte Einstreu mit Entstaubung (Strohmatic light) und zusätzlicher Einbringung von Öl über eine Niederdrucksprühanlage (AirCleaner) in die Stallumgebung mit einem Mittelwert von gesamt 52.731 Staubteilchen pro Liter Luft. Hier ergab sich im Vergleich 4 Strohmatic Air mit Öl zur Variante 3 ohne Öleinbringung ein Minderungswert von durchschnittlich minus 29 %.

Die absolut gesehen niedrigsten Werte von 33.187 Staubteilchen pro Liter Luft wurden bei händischer Einstreu mit zusätzlich zweimal täglicher Versprühung von Öl erreicht (Variante 2). Wiederum zeigt sich der positive Effekt im Blick auf die Staubpartikelzahlen und respektive Qualität der Stallluft durch die Einbringung von Öl. Hier ist jedoch der arbeitswirtschaftliche Aspekt mit händischer Einbringung der Streu sowie dauerhafter Lagerung eines Quaderballens im Ruhebereich zu berücksichtigen.

Die höchsten Werte wurden in Variante 1 bei händischer Einstreu von gehäckseltem Stroh ohne Ölvernebelung mit einem Mittelwert von 136.135 Staubteilchen pro Liter Luft gemessen. Ohne Öl ergab sich eine durchschnittliche Erhöhung der Partikelzahlen über drei Messtage von rund 75 %.

Zur Mitte jeder Variante wurde exemplarisch ein Messtag über einen Verlauf von 24 Stunden herangezogen, um in einem grafischen Vergleich die Unterschiede darzulegen. Die Grafik zeigt die Staubmassenkonzentration der Fraktion PM_{2.5} für jeden einzelnen Messtag.

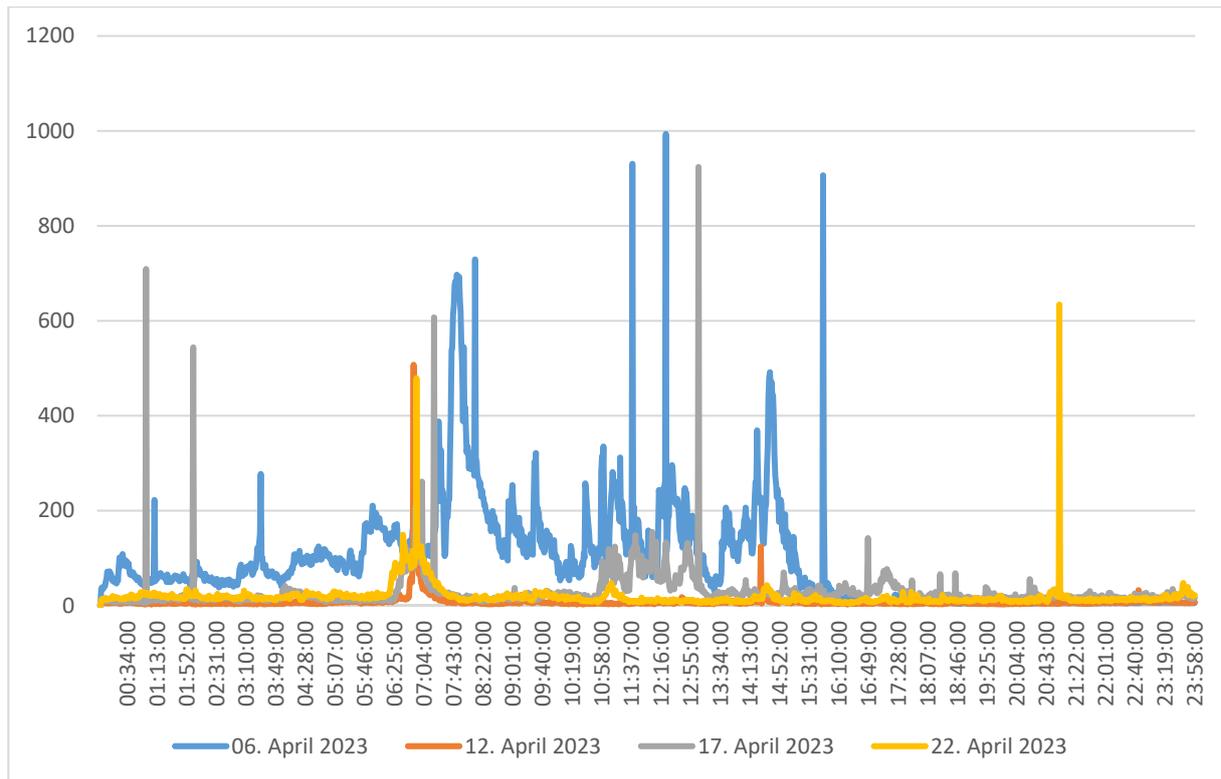


Abbildung 188: Staubmassenkonzentration der Fraktion $PM_{2,5}$ über einen 24-stündigen Verlauf (06.04.2023, Variante 1 = Einstreu händisch ohne Öl, 12. April, Variante 2 = Einstreu händisch + Öl, 17.04.2023, Variante 3 = Strohmatic light ohne Öl, 22.04.2023, Variante 4 = Strohmatic light + Öl)

Je reduzierter und hoch technisierter die Tätigkeiten im Ruhebereich durchgeführt werden, umso niedriger zeigt sich der Staubgehalt in der Innenluft. Variante 1 sticht durch durchwegs höhere Konzentrationen untertags hervor, wobei vor allem auch die Strohlagerung im Innenraum einen entscheidenden Faktor darstellt, welcher durch die Einbringung von Öl in Variante 2 deutlich gemindert werden konnte.

Zur Absicherung der Ergebnisse wurde eine statistische Überprüfung in SPSS durchgeführt. Bei Abzug der Umstellungstage ergaben sich effektiv 13 Gesamtmesstage, welche gleichmäßig auf die Varianten aufgeteilt wurden.

Tabelle 62: Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests bei unabhängigen Stichproben

Gesamtzahl	13
Teststatistik	10,852 ^a
Freiheitsgrad	3
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,013

a. Die Teststatistik wird für Bindungen angepasst.

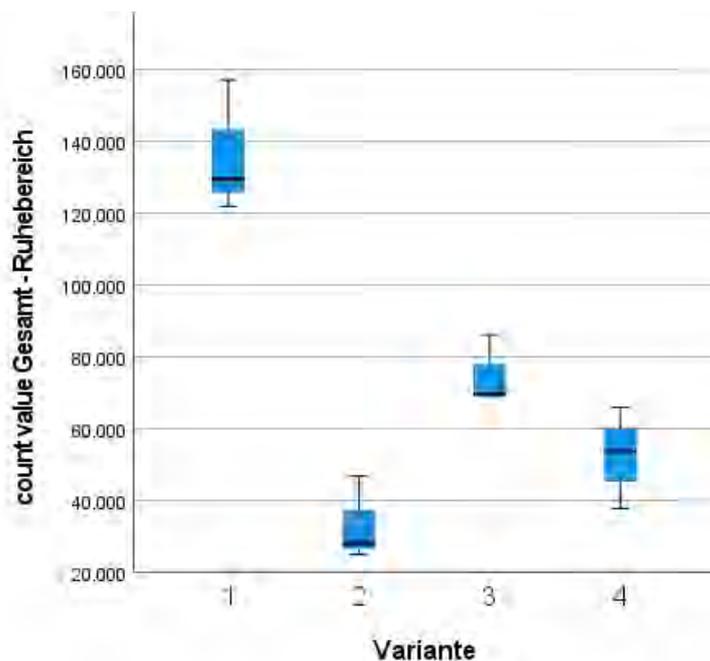


Abbildung 189: Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben - count values Gesamt (1 = Einstreu händisch ohne Öl, 2 = Einstreu händisch + Öl, 3 = Strohmatic light ohne Öl, 4 = Strohmatic light + Öl)

Tabelle 63: Paarweise Vergleiche der Varianten, SPSS

Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardteststatistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
2-4	-2,917	2,974	-,981	,327	1,000
2-3	-6,667	3,180	-2,097	,036	,216
2-1	9,667	3,180	3,040	,002	,014
4-3	3,750	2,974	1,261	,207	1,000
4-1	6,750	2,974	2,269	,023	,139
3-1	3,000	3,180	,943	,345	1,000

8.5 Literatur

BERRY, N., ZEYER, K., EMMENEGGER, L., KECK, M. (2005): Emissionen von Staub (PM₁₀) und Ammoniak (NH₃) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung. Agroscope FAT Tänikon, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

BÜSCHER, W., HENSELER-PARBMANN, J., SCHMITHAUSEN, A. (2012): Feinstaubbelastungen in Tierställen - Situationsbewertung und Minderungsmaßnahmen. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 169, 212 Seiten.

HESSEL, E. (2012): Stäube und Schadgase in der Pferdehaltung – Quellen der Entstehung, Auswirkung auf die Pferdegesundheit und Möglichkeiten der Reduzierung. Stallbau Pferdehaltung, 13. März 2012, Georg-August-Universität Göttingen, Außenstelle Vechta, Department für Nutztierwissenschaften, Abteilung Verfahrenstechnik

MÖSENBACHER-MOLTERER, I., KROPSCH (2019): Staubkonzentrationen im Ruhebereich von Tierwohlstallungen. Messbericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal.

MÖSENBACHER-MOLTERER, I., KROPSCH, M. (2020): Prüfung einer Zweistoffdüsenteknik zur Reduktion von luftgetragenen Stäuben und Optimierung des Stallklimas in der Schweinehaltung. Messbericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal

8.6 Anhang

Mittelwerte über 24h von vier mehrtägigen Messreihen zur Erhebung der Staubpartikelzahlen und Staubmassenkonzentrationen

Mittlere Staubmassenkonzentration über einen Tag von			
Innenraum	PM10	PM2,5	PM1
1. Messreihe	ug/m3	ug/m3	ug/m3
23.07.2021	418	40	13
24.07.2021	270	35	15
25.07.2021	163	30	17
26.07.2021	203	35	16
27.07.2021	164	27	11
28.07.2021	193	27	11
29.07.2021	239	25	7
30.07.2021	192	30	12
31.07.2021	116	22	8
01.08.2021	161	22	7
<i>10 Tage</i>	212	29	12

Gemittelte Staubpartikelanzahl (count values) über einen Tag von 24h				
<i>errechnet aus Teilchensumme je Messpunkt, gemittelt über den Tag</i>				
	Gesamt	PM10	PM2,5	PM1
1. Messreihe	count values	count values	count values	count values
23.07.2021	178 429	178 172	175 621	173 696
24.07.2021	219 876	219 703	217 982	216 537
25.07.2021	263 271	263 180	262 136	261 106
26.07.2021	233 337	233 214	231 800	230 125
27.07.2021	145 449	145 342	144 177	142 626
28.07.2021	149 548	149 406	148 138	146 691
29.07.2021	90 742	90 562	88 989	87 746
30.07.2021	181 793	181 636	180 292	178 829
31.07.2021	108 692	108 608	107 608	106 363
01.08.2021	101 088	100 965	99 823	98 688
	167 223	167 079	165 657	164 241
Anteil in %	100	99,91	99,06	98,22

Mittlere Staubmassenkonzentration über einen Tag von 24h				
Innenraum	PM10	PM2,5	PM1	
2. Messreihe	ug/m3	ug/m3	ug/m3	
22.10.2021	1 278	67	8	
23.10.2021	1 337	86	14	
24.10.2021	1 672	109	14	
25.10.2021	1 753	124	18	
26.10.2021	1 370	113	20	
27.10.2021	1 213	125	36	
28.10.2021	1 338	161	54	
29.10.2021	1 024	98	36	
30.10.2021	1 036	95	34	
31.10.2021	902	96	33	
01.11.2021	745	72	25	
11 Tage	1 242	104	27	

Gemittelte Staubpartikelanzahl (count values) über einen Tag von 24h					
	Gesamt	PM10	PM2,5	PM1	
2. Messreihe	count values	count values	count values	count values	
22.10.2021	91 756	90 642	83 779	80 397	neu
23.10.2021	181 311	180 047	172 948	168 744	
24.10.2021	172 280	170 027	161 483	155 859	
25.10.2021	218 793	217 254	207 088	200 552	
26.10.2021	263 742	262 520	254 081	248 225	
27.10.2021	392 831	391 733	384 395	374 387	
28.10.2021	607 372	606 088	597 897	582 567	
29.10.2021	575 593	574 453	568 798	565 254	
30.10.2021	548 533	547 507	541 892	538 417	
31.10.2021	523 405	522 553	516 879	513 175	
01.11.2021	399 131	398 363	394 115	391 352	
	361 341	360 108	353 032	347 175	
Anteil in %	100,00	99,66	97,70	96,08	

Mittlere Staubmassenkonzentration über einen Tag von 24h				
Aktivitätsbereich	PM10	PM2,5	PM1	
3. Messreihe	ug/m3	ug/m3	ug/m3	
31.01.2022	370	38	16	
01.02.2022	175	28	16	
02.02.2022	181	21	8	
03.02.2022	113	15	7	
04.02.2022	111	24	14	
05.02.2022	82	21	16	
06.02.2022	69	24	18	
07.02.2022	238	22	6	
08.02.2022	139	14	5	
9 Tage	164	23	12	

Gemittelte Staubpartikelanzahl (count values) über einen Tag von 24h				
Aktivitätsbereich	Gesamt	PM10	PM2,5	PM1
3. Messreihe	count values	count values	count values	count values
31.01.2022	222 931	222 666	220 659	218 875
01.02.2022	240 420	240 315	239 319	238 257
02.02.2022	126 649	126 501	125 424	124 569
03.02.2022	105 827	105 729	105 551	104 477
04.02.2022	214 524	214 434	213 732	212 889
05.02.2022	245 045	244 993	244 538	244 037
06.02.2022	277 738	277 687	277 261	276 751
07.02.2022	79 441	79 228	77 821	76 573
08.02.2022	69 876	69 732	68 960	68 286
9 Tage	175 828	175 698	174 807	173 857
Anteil in %	100,00	99,93	99,42	98,88

Mittlere Staubmassenkonzentration über einen Tag von 24h				
Innenraum	PM10	PM2,5	PM1	
3. Messreihe	ug/m3	ug/m3	ug/m3	
31.01.2022	2 766	199	24	
1 Tag	2 766	199	24	

Gemittelte Staubpartikelanzahl (count values) über einen Tag von 24h					
Innenraum	Gesamt	PM10	PM2,5	PM1	
3. Messreihe	count values	count values	count values	count values	
31.01.2022	256 636	255 113	238 274	226 508	alt
1 Tag	256 636	255 113	238 274	226 508	
Anteil in %	100,00	99,41	92,84	88,26	

Mittlere Staubmassenkonzentration über einen Tag von 24h				
Innenraum	PM10	PM2,5	PM1	
4. Messreihe	ug/m3	ug/m3	ug/m3	
22.03.2022	2 233	137	22	
23.03.2022	1 727	89	13	
24.03.2022	1 236	94	17	
25.03.2022	1 122	98	25	
26.03.2022	934	86	25	
27.03.2022	798	83	22	
<i>6 Tage</i>	1 342	98	21	

Gemittelte Staubpartikelanzahl (count values) über einen Tag von 24				
Innenraum	Gesamt	PM10	PM2,5	PM1
4. Messreihe	count values	count values	count values	count values
22.03.2022	298 590	296 511	292 835	278 497
23.03.2022	166 856	165 260	162 376	152 050
24.03.2022	217 979	216 851	214 781	204 777
25.03.2022	366 437	365 508	363 638	354 095
26.03.2022	374 624	373 815	372 282	364 243
27.03.2022	316 123	315 467	314 096	305 842
	290 101	288 902	286 668	276 584
Anteil in %	100,00	99,59	98,82	95,34

Mittlere Staubmassenkonzentration über einen Tag von 24h

Aktivitätsbereich	PM10	PM2,5	PM1
4. Messreihe	ug/m3	ug/m3	ug/m3
22.03.2022	276	32	17
23.03.2022	311	34	15
24.03.2022	253	21	9
25.03.2022	246	38	23
26.03.2022	212	36	23
27.03.2022	174	29	19
	245	32	18

Gemittelte Staubpartikelanzahl (count values) über einen Tag von 24h

Aktivitätsbereich	Gesamt	PM10	PM2,5	PM1
4. Messreihe	count values	count values	count values	count values
22.03.2022	268 152	267 819	266 507	265 581
23.03.2022	235 803	235 450	233 909	232 765
24.03.2022	127 481	127 191	125 987	125 286
25.03.2022	376 490	376 233	374 989	374 012
26.03.2022	391 740	391 510	390 098	389 616
27.03.2022	317 687	317 505	316 685	315 921
	286 226	285 951	284 696	283 864
Anteil in %	100,00	99,90	99,47	99,17

9 Fachbereich Baukosten

Christian Fritz, Abteilung für Ökonomie und Ressourcenmanagement,
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

9.1 Zusammenfassung

In der Schweinehaltung zeigen sich vermehrt Stallbaukonzepte für mehr Tierwohl. Die Deckungsbeiträge erlauben wenig Spielraum und den Baukosten kommt daher ein wichtiges Augenmerk zu. Der vorliegende Beitrag beschreibt eine Investitionskostenauswertung auf Grundlage von fünf Bauprojekten bzw. Projektplanungen im Bereich von ca. 600 bis 1 000 Mastplätzen. Die Ergebnisse zeigen indexangepasste Baukosten in der Größenordnung von ca. € 1 300 pro Mastplatz. Die Hälfte davon entfällt auf Unterbau und Stallgebäude, wesentliche Anteile auch auf Aufstallung und Güllegrube. Die Auswertung bietet Anhaltspunkte für die Höhe der Baukosten von Tierwohlstallungen. Ob diese wirtschaftlich darstellbar sind, hängt u.a. von der konkreten Umsetzung und der Vermarktungsseite ab.

9.2 Summary

In pig farming, we observe an increasing awareness of barn construction concepts that prioritize animal welfare. Contribution margins leave little room for maneuver, making construction costs crucial. The report outlines an investment cost evaluation involving five construction projects, each with approximately 600 to 1,000 places for pig fattening. The results reveal index-adjusted construction costs of around €1,300 per fattening place. The substructure (foundation of the building) and the barn building account for half of this amount, with significant portions also attributed to housing and the slurry pit. The evaluation offers insights into the construction costs associated with animal welfare housing in pig fattening. The economic feasibility of these projects depends, among other factors, on their actual implementation (e.g. management of fattening) and marketing strategies (e.g. price premiums).

9.3 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Projekts SaLu_T „Saubere Luft in der Tierhaltung“ wird neben zahlreichen anderen Aspekten auch der Frage der Wirtschaftlichkeit von Tierwohlstallungen nachgegangen. Ein wichtiges Augenmerk kommt hierbei den Baukosten zu. Der vorliegende Bericht zeigt eine Auswertung zu den Baukosten von Tierwohlstallprojekten in Österreich, die mit dem Stallbau für das SaLu_T-Projekt in wichtigen Punkten vergleichbar sind.

9.3.1 Zukunftsfähige Stallungen

Die Anforderungen an zukunftsfähige Stallungen sind hoch. In der Ausgestaltung sind neben den Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit auch Tierwohl, Umwelt, Emissionen und Klimaschutz zu berücksichtigen. Dabei schließt die Wirtschaftlichkeit in der Fleischproduktion immer stärker auch die Frage der langfristigen Vermarktbarkeit der erzeugten Produkte mit ein. Im Projekt SaLu_T wurde ein Stallkonzept mit Fokus auf das Tierwohl und die Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen verfolgt. Neben den gesellschaftlichen Erwartungen haben in diesen Punkten auch die Landwirtinnen und Landwirte ein großes Interesse an bestmöglichen Haltungsbedingungen.

Gemäß einer Befragungsstudie von 2019 können sich 29 % der LandwirtInnen einen Umbau hin zu größerem Platzangebot, Einstreu und Auslauf vorstellen, und zwar bei höheren Produktpreisen oder Investitionszuschüssen (Kirner und Stürmer 2021). Der Beisatz spiegelt wider, dass auf der betrieblichen Seite neben dem Tierwohl eben auch die wirtschaftliche Tragfähigkeit entscheidend ist. Zuletzt wurden in Österreich – unterschiedlich nach Betriebsgröße – ca. 70 % bis 80 % der Mastschweine auf Vollspaltensystemen gehalten (Kirner et al. 2019 zit. n. Kirner und Stürmer 2021). Zugleich hatten zum Zeitpunkt der Befragungsstudie 4 % der LandwirtInnen bereits entsprechende Tierwohlstallungen in Planung (ebd.).

Mit den Angaben im vorliegenden Bericht sollen zusätzliche Daten speziell zu den Kosten von Tierwohlstallungen, ausgehend von einem Neubau bereitgestellt werden.

9.3.2 Hintergrund zur Wirtschaftlichkeit

Kostenseitig hängt die Wirtschaftlichkeit der Schweinemast primär von Futtergrundlage, Arbeitswirtschaft und Stallbau ab. Für die ökonomische Effizienz kommen der Fütterung und dem Management und teilweise auch den Haltungsbedingungen und der Tiergesundheit eine wichtige Bedeutung zu. Auf der Erlöseseite stellt sowohl die mengenmäßige Situation auf den Absatzmärkten, aber auch deren qualitative Anforderungen wichtige Faktoren dar. Ein Beispiel wäre das Mastendgewicht, da bei hohen Endgewichten die durchschnittliche Futtermittelverwertung geringer ausfällt.

In letzter Zeit werden Fragen zu Haltungsbedingungen und Tierwohl von Handelspartnern, KonsumentInnen und der allgemeinen Gesellschaft vermehrt ins Auge genommen. Dies erfolgt vor dem Hintergrund eines allgemein sinkenden Fleischkonsums. Die folgende Grafik zeigt mit der oberen Linie (linearer Trend) den Rückgang im Schweinefleischkonsum pro Einwohner und Jahr. Der mittlere Rückgang beträgt 0,3 kg pro Jahr über einen Zeitraum von 25 Jahren. Die untere Linie (linearer Trend) zeigt den Produktionswert der Schweinehaltung (in Euro gemessen zu Herstellungspreisen) in Relation zum Produktionswert der gesamten tierischen Erzeugung in

Österreich. Der Anteil lag im Fünf-Jahres-Mittel 1997 bis 2001 noch bei ca. 27 % und in den Jahren 2017 bis 2021 nur mehr bei ca. 22 %.

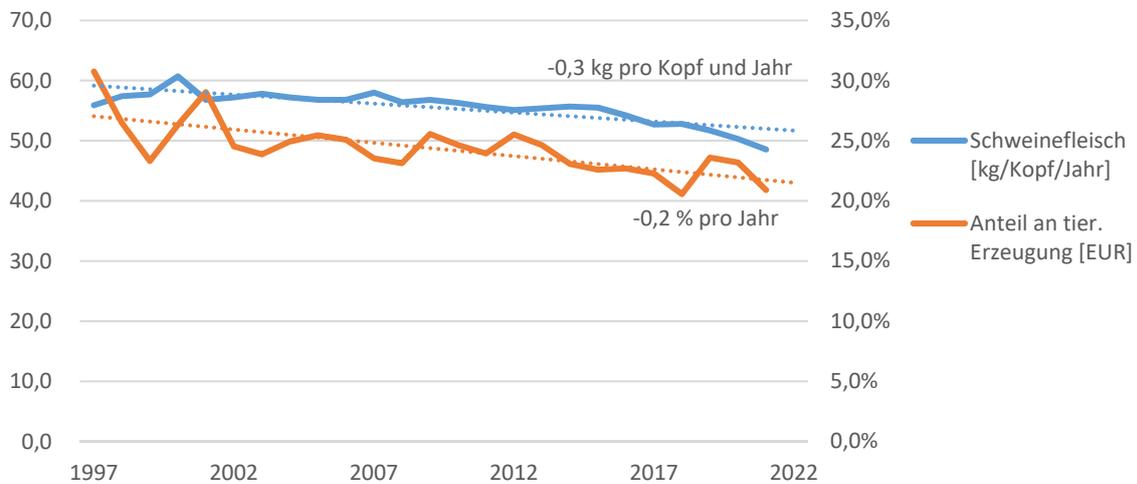


Abbildung 190: Rückgang im Schweinefleischkonsum pro Einwohner und Jahr

Die Ausgestaltung der Stallungen von einzelnen Betrieben nehmen auf diese Kurven keinen direkten Einfluss. Dennoch nehmen aber die Tierhaltungs- und Umweltbedingungen der heutigen und zukünftigen Stallbauvorhaben einen maßgeblichen Einfluss auf die Sicht der KonsumentInnen auf die Schweinehaltung in den nächsten 20 Jahren und darüber hinaus.

9.3.3 Referenzsituation und Literaturüberblick

Als eine Referenz kann von der gesetzlichen Mindestanforderung von 0,7 m² pro Mastschwein für die Endmast und einem Vollspaltensystem mit gemeinsamen Fress- und Liegebereich ausgegangen werden. Je nach Ausformung können Tierwohlstandards unterschiedlich hoch ausfallen. Als ein Richtwert für einen ersten Tierwohlstandard kann von mind. 1 m² pro Tier mit Einstreu ausgegangen werden. Erweiterte Standards können ein Platzangebot von 1,4 m² bis 2 m² pro Mastschwein umfassen, hinzu kommen Punkte wie ein getrennter Fress- und Liegebereich, Einstreu, Auslauf, Verzicht auf Schwanzkupieren, betäubungslose Kastration bis hin zu einer gentechnikfreien Fütterung.

In Hinblick auf betriebswirtschaftliche Referenzwerte zeigen österreichische Arbeitskreisauswertungen (Ø 2001 bis 2021) Erlöse von ca. € 166 und Direktkosten von ca. € 141 pro Mastschwein. Eine exemplarische Vollkostenmodellrechnung zeigt kalkulatorische Stallplatzkosten von ca. € 75 pro Mastplatz und Jahr (Arbeitskreise Ferkelproduktion und Schweinemast 2021). Damit können bereits unter konventionellen Bedingungen allenfalls die Stallplatzkosten, aber keine weiteren Vorleistungskosten oder Faktorkosten aus den Direktleistungen gedeckt werden.

Entsprechend der Unterschiede in der stallbaulichen Situation und resultierend in der Arbeitswirtschaft zeigen Literaturangaben eine hohe Bandbreite für die Mehrkosten der Mast in Tierwohlstallungen. In einer öst. Studie wurden Mehrkosten von ca. € 6 bis € 49 pro Mastschwein bzw. ca. Ct 6 bis Ct 51 pro kg Schlachtgewicht errechnet (Kirner und Stürmer 2021). Die maximalen Mehrkosten, die anhand von deutschen Studien zitiert werden, liegen in einem Bereich von bis zu € 63 pro Mastplatz (ebd.). Die Unterschiede in der Höhe der Mehrkosten resultieren aus unterschiedlichen Annahmen zu den stallbaulichen, haltungstechnischen und arbeitswirtschaftlichen Bedingungen. Allen voran werden, wie bereits beschrieben, je nach Projekt und Vermarktungsziel für die Berechnungen zwischen 1 m² und 2 m² pro Tierplatz hinterlegt. Auch für das Einstreuen von Stroh werden unterschiedliche Intensitäten und Arbeitsabläufe angenommen. Zugleich spielen aber auch unterschiedliche Kostenansätze, zuletzt speziell auch aufgrund der (bau-)wirtschaftlichen Gegebenheiten verbunden mit Preissteigerungen, eine Rolle für die Mehrkosten.

Veränderte Mastparameter sind aufgrund von Tierwohlstallungen nicht zwingend zu erwarten. Veränderungen können sich allerdings aufgrund von anderen Rassen und Mast- und Vermarktungszielen ergeben. Kirner und Stürmer gingen in ihren Berechnungen zu den Tierwohlkosten (2021) von Werten gemäß Internetdeckungsbeitragsrechner der öst. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen aus. Die Vorbelegung bezieht sich 2,83 Umtriebe, Tageszunahmen von 800 Gramm und ein Schlachtgewicht von 96 kg.

9.4 Datenmaterial und Methodik

Die hier angeführten Berechnungen zu den Baukosten erfolgen auf der Grundlage von drei realisierten und zwei in Planung befindlichen Bauprojekten für die Schweinemast. Drei Datensätze beschreiben Tierwohl-Stallungen, die in den Jahren 2020 bis 2022 in Österreich umgesetzt und bereits abgerechnet wurden. Die weiteren Kostendaten betreffen Projektierungen von Tierwohlstallungen im Jahr 2023, ebenfalls in Österreich. Erhebungsgegenstand waren die Baukosten der jeweiligen Projekte im Hoch- und Tiefbau und inklusive der bauseitig anfallenden Kosten. Die Daten werden anhand des Statistik Austria Baupreisindex auf das Jahr 2022 valorisiert.

9.4.1 Beschreibung der Bauprojekte

Die Bauvorhaben betreffen Stallungen mit einer maximalen Kapazität von ca. 600 bis 1 100 Mastplätzen, bei entsprechend reduzierter Tierplatzzahl für die Endmast. Die Grundfläche der Stallbauprojekte liegt zwischen ca. 700 und 1 500 m², wobei die Tierbuchten zwischen 65 % und 78 % der Bruttogeschoßfläche einnehmen. Die Stallungen umfassen zwischen 20 und 40 Buchten mit einer Fläche von 23 bis 30 m² pro Bucht. Die durchschnittliche Fläche pro Tierplatz in der Endmast beträgt zwischen 1,0 und 1,4 m².

Tabelle 64: Eckdaten der fünf Bauprojekte/Projektplanungen als Grundlage Kostenauswertung, MP=Mastplätze (eigene Darst.)

Bauprojekt Nr	1	2	3	4	5
Bruttogrundfläche Stall	1201	664	1894	766	1481
Anzahl der Buchten	28	24	36	20	40
Anteil der Buchtenfläche	66 %	74 %	63 %	75 %	78 %
Fläche der Buchten	788	492	1200	576	1152
Fläche pro Bucht Endmast	28	23	30	29	29
Breite Bucht Endmast	2,5	2,1	2,5	2,4	2,4
Länge Bucht Endmast	11,3	10,9	12,2	12,0	12,0
Fläche pro Tier \emptyset	1,4	1,0	1,3	1,1	1,1

9.4.2 Kalkulationsschema / Kostenpositionen

Die ökonomische Kalkulation basiert auf einer Aufstellung der abgerechneten Baukosten (drei Projekte) bzw. der veranschlagten Baukosten erhöht um kalkulatorische, bauseitig anfallende Kosten (zwei Projekte). Die folgende Tabelle 65 zeigt die Aufteilung der Positionen auf diverse Baubereiche/Gewerke und die jeweils verfügbaren Datenquellen. Sofern bei einem Bauprojekt einzelne Gewerke nicht oder nicht vollständig zur Ausführung kamen, weil beispielsweise ein Teil der Fütterungstechnik bereits vorhanden war, wurden hierfür Kostenvoranschläge oder Kostenschätzungen angesetzt. Ziel war eine möglichst vollständige Aufstellung an Kostenpositionen für den Fall eines Stallneubaus mit neuwertiger Einrichtung.

Tabelle 65: Schema zur Aufschlüsselung der Kostenpositionen und Anzahl der verfügbaren Datensätze (eigene Darst.)

Bereich/Gewerk	Positionen	Verfügbare Datensätze (Projekte)
Güllegrube	Erdarbeiten, Beton, Ausführung, Abdeckung, Rührwerk, Pumpe, weitere Gülletechnik	5
Unterbau	Erdarbeiten, Beton, Ausführung	5
Halle/Stall	Errichtung der Halle inkl. Strohlager	5
Aufstallung/Entmistung	Aufstallung, Entmistung, Lüftung, Windschutznetz	5
Installationen	Elektro- und Wasserinstallation	5
Fütterungstechnik	Ausstattung für Mehrphasenfütterung (min. 3-phasig)	3
Nicht enthaltene Positionen		
Aufschließung	Leitungen, Erdarbeiten, Wegebau/Schotter	
Einstreutechnik	Einstreu- und Entstaubungstechnik (automatisiert)	
Getreidelagerung	Getreidesilos, Anlagen für Futtermischen	

Nicht berücksichtigte Kostengruppen

Die Kosten (a) für etwaige Anlagen für eine automatisierte Einstreu- und Entstaubungstechnik und die Kosten (b) für die etwaige Errichtung von Getreidelagern bzw. von Anlagen für das Futtermischen werden nicht berücksichtigt und wurden, gegebenenfalls, von den Baukosten der jeweiligen Projekte subtrahiert. Auch die Aufschließungskosten (c) werden, aufgrund der hohen Variabilität dieser Kosten und der geringen Anzahl an verfügbaren Datensätzen, in den Auswertungen nicht weiter betrachtet.

9.4.3 Anpassung anhand Baupreisindex

Verbunden mit starken Preisänderungen in den letzten Jahren ist eine Valorisierung der mehrjährigen Daten erforderlich. Diese erfolgt anhand von Daten von Statistik Austria zum Preisindex für Waren und Dienstleistungen landwirtschaftlicher Investitionen (Input 2) mit dem Zieljahr 2022. Das Basisjahr des verwendeten Index ist 2015 (Statistik Austria 2023). Für das erste Quartal 2023 liegen hier noch keine Daten vor. Allerdings können anhand des allgemeinen Statistik Austria Baupreisindex (alle Wirtschaftssektoren) für Q1 2023 gegenüber dem Jahresende 2022 annähernd unveränderte Preise angenommen werden. Gemäß Statistik Austria zeigen die Baukostenindizes „...die Entwicklung der Kosten, die den Bauunternehmern bei der Ausführung von Bauleistungen durch Veränderung der Kostengrundlagen (Material und Arbeit) entstehen.“

(Statistik Austria 2023b). Die Erhebungen zur Berechnung des Baupreisindex erfolgen vierteljährlich und sollen die tatsächlich anfallenden Preise aus Bauherrensicht dokumentieren (ebd.). Das Diagramm zeigt den Preisindex für die landwirtschaftlichen Investitionen und für die Gesamtbaukosten im Wohnhaus- und Siedlungsbau.

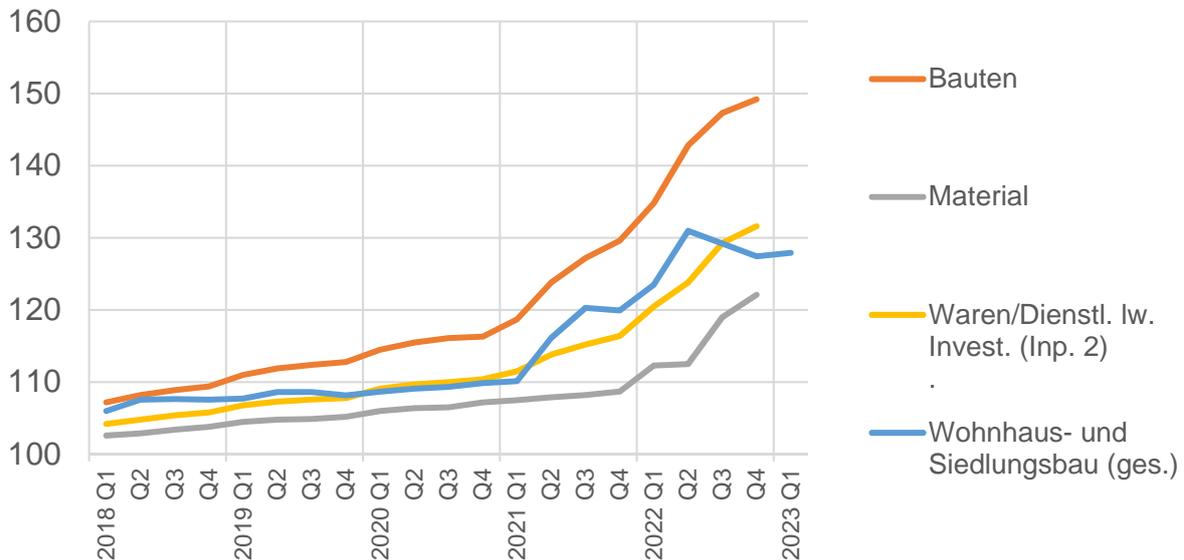


Abbildung 191: Preisindex für Waren und Dienstleistungen landwirtschaftlicher Investitionen (Input 2) und Wohnhaus- und Siedlungsbau (Gesamtbaukosten), Statistik Austria (2023a, 2023b)

9.5 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Baukostenauswertungen für die fünf beschriebenen Tierwohlstallprojekte dargestellt. Zuerst erfolgt ein Überblick über die mittleren Gesamtbaukosten und danach eine Detaildarstellung nach Projekten und Gewerken.

9.5.1 Die Baukosten im Überblick

Die Gesamtkosten der betrachteten Bauprojekte betragen zwischen ca. € 0,7 Mio. und € 1,6 Mio (Preise 2022). Im Durchschnitt der Projekte belaufen sich die Baukosten inkl. Güllegrube, Stalleinrichtung und Anlagen für die Fütterung und das Einstreuen auf ca. € 1 300 pro Mastplatz. Die Kosten für eine etwaige Aufschließung des Grundstücks und die Kosten für die Getreidelagerung und das Getreidevormischen sind hierbei nicht inkludiert und würden die Kosten um zumindest € 100 pro Mastplatz erhöhen.

Die Grafik zu den Kostengruppen nach Baubereichen/Gewerken zeigt, dass die Errichtung des Stallgebäudes mitsamt dem Unterbau ungefähr 50 % der Kosten ausmacht. Auf die Güllegrube und

auf die Stalleinrichtung (Aufstallung, Entmistung, etc.) entfallen jeweils ca. 15 % der Kosten, auf die Wasser- und Elektroinstallationen und die Fütterung und das Einstreuen jeweils weniger als 10 % der Kosten.

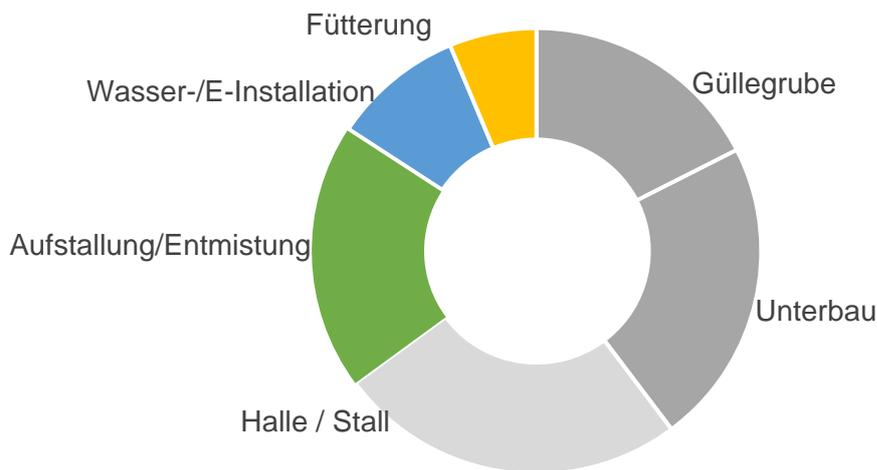


Abbildung 192: Übersicht über die Baukosten nach Baubereichen/Gewerken, Mittelwerte für n=5 Tierwohlstallprojekte, indexangepasst auf 2022

9.5.2 Kostenstreuung über Projekte und Baubereiche/Gewerke

Die Gesamtkosten der einzelnen Projekte, wiederum inkl. Güllegrube, Stalleinrichtung, Fütterung und exkl. Aufschließung und Getreidelager, liegen zwischen € 1 100 und € 1 600 pro Mastplatz. Die Tabelle 66 zeigt die Kosten pro Mastplatz für die einzelnen Projekte. Während der Mittelwert bei € 1 300 pro Mastplatz liegt, weisen einzelne Projekte auch deutlich günstigere oder teurere Baukosten auf. Das Diagramm zeigt, dass ein erkennbarer, aber nicht stark ausgeprägter Zusammenhang zwischen dem Platzangebot und den Kosten pro Mastplatz besteht.

Tabelle 66: Investitionskosten pro Mastplatz (exkl. Aufschließung und Getreidelager) nach Größenklassen (eigene Darst.)

Bauprojekt Nr	1	2	3	4	5
Bruttogrundfläche Stall	1201	664	1894	766	1481
Anzahl der Buchten	28	24	36	20	40
Anteil der Buchtenfläche	66 %	74 %	63 %	75 %	78 %
Fläche der Buchten	788	492	1200	576	1152
Fläche pro Bucht Endmast	28	23	30	29	29
Breite Bucht Endmast	2,5	2,1	2,5	2,4	2,4
Länge Bucht Endmast	11,3	10,9	12,2	12,0	12,0
Fläche pro Tier \emptyset	1,4	1,0	1,3	1,1	1,1

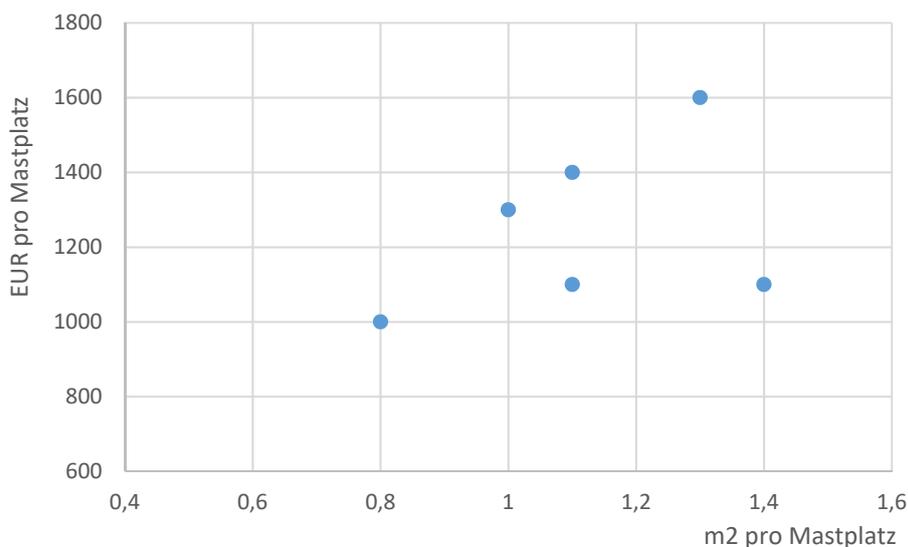


Abbildung 193: Zusammenhang zwischen der Fläche in m² pro Mastplatz und den Kosten in EUR pro Mastplatz (eigene Darst.)

Vier Einflussgrößen haben potenziell maßgebliche Auswirkungen auf die Baukosten:

1. **Anzahl der Mastplätze** bzw. Größendegression der Kosten – größere Projekte weisen geringere Kosten pro Mastplatz auf.
2. **Unterschiedliche Ausgestaltung des Tierwohlstalls** und der Anlagentechnik (z.B. m² pro Tierplatz, Qualität von Materialien, Fütterungs- und Entstaubungstechnik).
3. **Bauseitige Gegebenheiten** (z.B. teilweise Nutzung von bestehenden Bauten/Anlagen/Technik, Eigenleistungen).
4. **Valorisierung mit Baupreisindex** – monatliche Schwankung der Baupreise speziell in den letzten Jahren (Zeitpunkt der Beauftragung/Ausführung ist nicht deckungsgleich mit der hier vorgenommenen Jahresindexanpassung).

Ausgehend von der Kostenstreuung und den genannten Einflussgrößen auf die Kostenhöhe erfolgt eine Detailanalyse nach den einzelnen Bereichen/Gewerken. Statistisch aufgrund der geringen Projektzahl wenig aussagekräftig, aber inhaltlich sinngemäß, könnte man eine Darstellung nach unterem Quartil (Q1), Mediankosten (Q2) und oberem Quartil (Q3) wählen.¹ Hier werden aber anstelle der Quartilsbetrachtung jeweils die einzelnen Gewerke (a) der beiden günstigsten, (b) der beiden teuersten und (c) der mittleren drei Bauprojekte summiert und miteinander verglichen.

Die Abbildung 194 zeigt die Streuung in den Kosten pro Mastplatz bei einer solchen Aufschlüsselung der Projekte auf die einzelnen Baubereiche/Gewerke. Die mittleren Projektkosten liegen, gleich wie bei Betrachtung des arithmetischen Mittels der Projektvolumina, bei ca. € 1 300 pro Mastplatz. Die Summe der günstigsten Einzelgewerkekosten beträgt € 1 000 pro Mastplatz. Die Summe der teuersten Gewerkekosten beträgt ca. € 1 600.

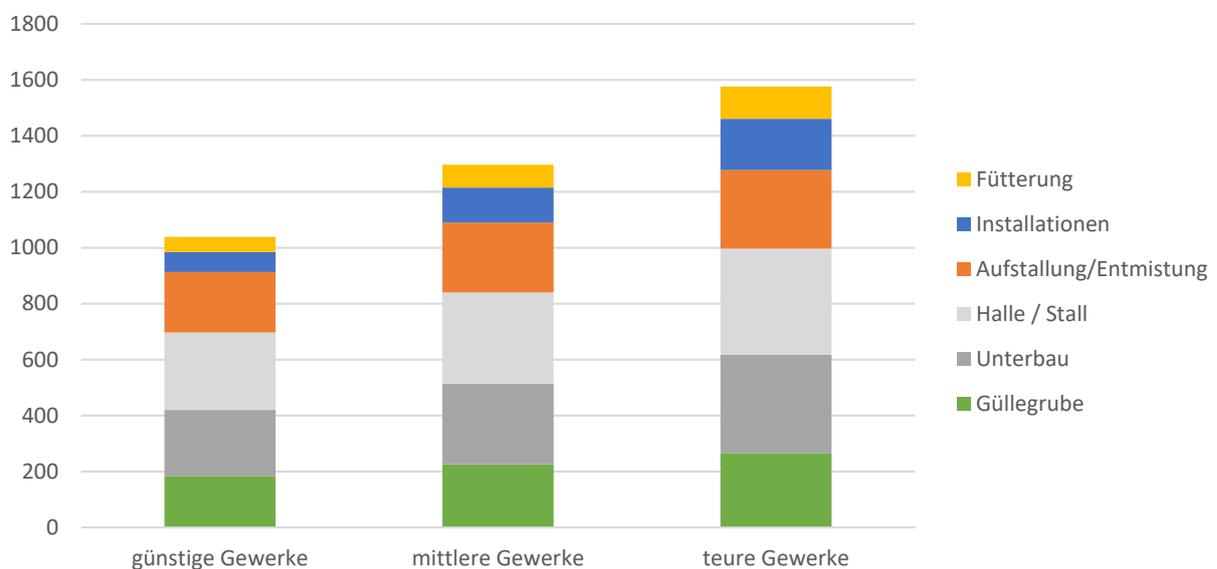


Abbildung 194: Kosten der einzelnen Gewerke und deren Streuung über die Projekte, n=5 Tierwohlstallprojekte, indexangepasst auf 2022

9.5.3 Gegenüberstellung mit Modellrechnung Arbeitskreisbericht

Der Bericht zur Betriebszweigauswertung aus den Arbeitskreisen in der Ferkelproduktion und Schweinemast (2021, Tabelle 67) gibt einen Anhaltspunkt über die Stallplatzkosten bei konventionellen Haltungsbedingungen. Die abgebildete Tabelle fasst die Werte der Investitionskosten gemäß Arbeitskreise Ferkelproduktion und Schweinemast zusammen (2021). Der Arbeitskreisbericht weist auch darauf hin, dass die Kosten am Einzelbetrieb nicht mit den

¹ Die rechnerischen Werte betragen gerundet € 1 200 pro Mastplatz (Q1), € 1 300 pro Mastplatz (Q2) und € 1 400 pro Mastplatz (Q3).

allgemeinen Angaben zu den Investitionskosten übereinstimmen müssen, sondern beispielsweise aufgrund der Nutzung von Zuschüssen geringer ausfallen können.

Die Gegenüberstellung der Kostenauswertung in der letzten Zeile der Tabelle 67 zeigt, dass sich die Stallplatzkosten für die Tierwohlstallungen am oberen Ende der Modellkostenangaben gemäß Arbeitskreisbericht einreihen. Berechnet aus der Differenz von ca. € 102 gegenüber durchschnittlich ca. € 83 für konventionelle Stallungen betragen die baulichen Mehrkosten ca. € +19. Dieser Wert kann in Relation zur eingangs zitierten Berechnung von Kirner und Stürmer (2021) gesetzt werden, gemäß der die Gesamtmehrkosten für Bau, Arbeitswirtschaft und Haltungsverfahren plus € 6 bis € 49 pro Mastplatz betragen.

Ergänzend ist zu berücksichtigen, dass sich die Arbeitskreisdaten zu den Baukosten auf die Vergangenheit beziehen, zwischen 2020/2021 und 2022 der Baukostenindex aber deutlich gestiegen ist. Damit würden die Kosten der Tierwohlstallprojekte mit den kostspieligen Berechnungsvarianten zu den konventionellen Stallungen gleichziehen.

Tabelle 67: Modellangaben zu Investitionskosten pro Stallplatz bei Stallneubau (adaptiert übernommen aus Arbeitskreise Ferkelproduktion und Schweinemast 2021) und Auswertung der Bauprojekte für Tierwohlstallungen (2022, eigene Daten)

Investitionssumme pro Mastplatz (2021) inkl. 3,5 % Verzinsung und 0,8 % Instandhaltung und Versicherung	Jährliche Stallplatzkosten bei Nutzungsdauer 20 Jahre	
	Pro Mastplatz	Pro Mastschwein bei 2,8 Umtrieben
700	54,90	19,60
800	62,70	22,40
900	70,50	25,20
1000	78,40	28,00
1100	86,20	30,80
1200	94,00	33,60
Auswertung Bauprojekte Tierwohlstallungen (2022)		
1300	101,90	36,40

9.6 Diskussion und Fazit

Der vorliegende Beitrag geht der Frage nach, mit welchen Baukosten für Tierwohl-Mastschweineställe unter österreichischen Bedingungen zu rechnen ist. Er zeigt die mittleren Stallbaukosten für fünf Tierwohlstallungsprojekte für Mastschweine in Österreich der Jahre 2020 bis 2023 (Baupreisindex 2022). Die Auswertung zeigt, dass die Baukosten der Tierwohlställe nur zum Teil von der Anzahl der Mastplätze bzw. von der Größendegression der Kosten abhängen. Vielmehr spielen die betrieblichen Entscheidungen zur Ausgestaltung des Tierwohlstalles, allen voran die Quadratmeter pro Mastplatz, aber beispielsweise auch der Anteil der effektiv nutzbaren Buchtenfläche in Relation zur Stallfläche, eine Rolle.

Die Auswertung in diesem Beitrag kann nicht als allgemeingültige Angabe zur Ableitung der Kosten von zukünftigen Stallbauprojekten dienen. Sie erlaubt aber eine Einordnung der Größenordnung der Kosten von solchen Stallbauprojekten. Der Vergleich der neuen Auswertungen mit bestehenden Baukostenberechnungen zu konventionellen Stallungen zeigt erwartungsgemäß, dass die Tierwohlprojekte am höheren Ende der Skala angesiedelt sind. Dennoch zeigt sich kein eklatanter

Abstand in den Baukosten, und vergleichsweise günstige Tierwohlställe kommen mitunter im Bereich von teuer gebauten konventionellen Ställen zu liegen. Wenngleich Tierwohlställe also teurer sind, reflektiert dies die Praxisbeobachtung, dass Betriebe in Tierwohlställe investieren und diese abhängig von der Betriebs- und Vermarktungssituation im Bereich des betriebswirtschaftlich Darstellbaren liegen können.

Eine vollständige Analyse zur Wirtschaftlichkeit der Mastschweinehaltung mit verbesserten Tierwohlbedingungen erfordert Auswertungen, die über die Darstellung der Baukosten hinausgehen. Insofern sollten sich zukünftige Arbeiten auch mit Aspekten der Haltungsbedingungen und der Arbeitswirtschaft sowie mit der Vermarktungsseite und Veränderungen in der betrieblichen Erlössituation auseinandersetzen.

9.7 Literatur

- Arbeitskreise Ferkelproduktion und Schweinemast (2021) Ferkelproduktion und Schweinemast 2021. Ergebnisse und Konsequenzen der Betriebszweigauswertung aus den Arbeitskreisen in Österreich. BMLRT, Abt. II 1, Wien.
- Kirner, L., Stürmer, B. (2021) Mehrkosten von und Erfahrungen mit höheren Tierwohlstandards in der österreichischen Schweinemast. Berichte über Landwirtschaft, Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. Band 99, Ausgabe 1. BMEL.DE
- Kirner, L., Payrhuber, A., Prodingler, M. und Hager, V. (2019): Professionalisierung der Weiterbildung und Beratung in der Rinder- und Schweinehaltung. Projektbericht der Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik Wien.
- Statistik Austria (2023a) Agrarpreisindex Landwirtschaftliche Betriebsmittel.
<https://www.statistik.at/statistiken/land-und-forstwirtschaft/land-und-forstwirtschaftliche-oekonomie-und-preise/preisindizes> (abgerufen am 26.04.2023)
- Statistik Austria (2023b) Baukostenindex Wohnhaus und Siedlungsbau.
<https://www.statistik.at/statistiken/industrie-bau-handel-und-dienstleistungen/konjunktur/baukostenindex> (abgerufen am 26.04.2023)

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schnitt des doppelreihigen emissionsarmen Tierwohlmaststalls mit Darstellung der Funktionsbereiche und Unterflur-Zuluftführung (Quelle: Fa. Lorber&Partner)	12
Abbildung 2: Stallinnenraum mit zuluftführendem Kontrollgang, Zuluft orange dargestellt, Liegebereich links und rechts mit verschiebbaren Buchtenrückwänden (Quelle: Raumberg-Gumpenstein).....	13
Abbildung 3: Zuluftführung in den Tierbereich (Quelle: Fa. Schauer Agrotronic)	15
Abbildung 4: Positionierung der Logger in der Zuluft (Quelle: HBLFA Raumberg-Gumpenstein) ...	15
Abbildung 5: Temperatur wärmster Tag 2021	17
Abbildung 6: relative Luftfeuchte wärmster Tag 2021	17
Abbildung 7: Temperatur wärmste Woche 2021.....	18
Abbildung 8: Relative Luftfeuchte wärmste Woche 2021	18
Abbildung 9: Temperatur wärmstes Monat 2021.....	19
Abbildung 10: Relative Luftfeuchte wärmstes Monat 2021	19
Abbildung 11: Temperatur kältester Tag 2021	20
Abbildung 12: Relative Luftfeuchte kältester Tag 2021	20
Abbildung 13: Temperatur kälteste Woche 2021	21
Abbildung 14: Relative Luftfeuchte kälteste Woche 2021.....	21
Abbildung 15: Temperatur kältestes Monat 2021	22
Abbildung 16: Relative Luftfeuchte kältestes Monat 2021	22
Abbildung 17: Temperatur wärmster Tag 2022	23
Abbildung 18: Relative Luftfeuchte wärmster Tag.....	23
Abbildung 19: Temperatur wärmste Woche 2022.....	24
Abbildung 20: Relative Luftfeuchte wärmste Woche 2022	24
Abbildung 21: Temperatur wärmstes Monat 2022.....	25
Abbildung 22: Relative Luftfeuchte wärmstes Monat 2022	25
Abbildung 23: Temperatur kältester Tag 2022	26
Abbildung 24: Relative Luftfeuchte kältester Tag 2022	26
Abbildung 25: Temperatur kälteste Woche 2022	27
Abbildung 26: Relative Luftfeuchte kälteste Woche 2022	27
Abbildung 27: Temperatur kältestes Monat 2022	28
Abbildung 28: Relative Luftfeuchte kältestes Monat 2022.....	28
Abbildung 29: Grundriss des Stallgebäudes für 900 Tierplätze mit Funktionseinheiten (Plan: Fa. Lober und Partner, Skizze: Fa. Schauer Agrotronic).....	38
Abbildung 30: Draufsicht Bucht mit Funktionsbereiche (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic).....	39
Abbildung 31: Lüftungsprinzip	41
Abbildung 32: Visualisierung der Zuluftführung mittels Vernebelung (Bildquelle: Zentner E. Raumberg Gumpenstein)	42

Abbildung 33: Cool Pad-System (links) mit Lamellenwand (rechts), Pumpe und Auffangwanne (Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)	43
Abbildung 34: Grafische Darstellung des Spotmix-Systems mit (v. l. n. r.) Futter- komponentenvorratsilo, Dosier- und Mischeinheit, Übergabeeinheit, Zuteilung im Lang- oder Rundtrog (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)	44
Abbildung 35: Systemskizze Strohmatic Welfare (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)	45
Abbildung 36: Automatische Stroh-zuteilung über die Strohmatic-Anlage, Qualität von entstaubten Stroh (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)	46
Abbildung 37: Ballenauflöser und Stroh-zuteiler der Strohmatic light-Anlage (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic)	47
Abbildung 38: Vorratsbehälter mit Abwurfstelle für Mittellangstroh (Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic).....	47
Abbildung 39: Kotbereich im Außenklima (Bildquelle: Neuhold, Steirischer Tierschutzpreis)	49
Abbildung 40: Schieberkanal mit Beschichtung und mittig vor dem Kotschieber abgedeckter Urinrinne (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic).....	50
Abbildung 41: Baukonstruktion des Stallgebäudes (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic).....	51
Abbildung 42: Einrichten der Baustelle mit Bauzaun (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner).....	52
Abbildung 43: Beginn der Aushubarbeiten (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	53
Abbildung 44: Erstellen der Zuluftkanäle (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	53
Abbildung 45: Schulungsarbeiten für die Wand in den Auslauf (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner).....	54
Abbildung 46: Harnsammelkanal und Außenwand (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner).....	54
Abbildung 47: Lüftungskanal und Außenwände (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	55
Abbildung 48: Fressbereich (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	55
Abbildung 49: Innenbereich mit Zuluftkanal (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner).....	56
Abbildung 50: Ansicht von Norden – links Auslauf, rechts Liegebereich (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner).....	56
Abbildung 51: Außenbereich (Fress- und Kotbereich) (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	57
Abbildung 52: Innenbereich Montage Aufstallung (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	57
Abbildung 53: Entmistungskanal mit Beschichtung (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner)	58
Abbildung 54: geschlossene Kunststoffroste über der Harnrinne (Bildquelle: Fa. Lorber und Partner).....	58
Abbildung 55: Stall fertiggestellt (Bildquelle: Familie Neuhold)	59
Abbildung 56: Stall eingestallt (Bildquelle: Familie Neuhold)	59
Abbildung 57: Stall in CLT Holzbauweise als Planungsbeispiel und in der Praxis umgesetzt (Bildquelle: Schauer Agrotronic)	61
Abbildung 58: Positionen der sechs Versuchsbuchten im Stallgebäude während Durchgang 1 (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic).....	68
Abbildung 59: Positionen der vier Versuchsbuchten im Stallgebäude während Durchgang 2 und 3 (Skizze: Fa. Schauer Agrotronic).....	69

Abbildung 60: Kreuzungstiere Edelschwein x Pietrain (mit gelber Ohrmarke, im Bildvordergrund) und reinrassiges Edelschwein (mit roter Ohrmarke, in der Bildmitte rechts)	70
Abbildung 61: Kreuzungstiere Edelschwein x Duroc (mit blauer Ohrmarke).....	71
Abbildung 62: Kreuzungstiere Schwäbisch-Hällisch x Duroc.....	71
Abbildung 63: Links: Karree; Rechts: Schopf von Kreuzungstieren Pietrain x Edelschwein (Bildquelle: Jaga´s Steirerei, Fam. Neuhold)	72
Abbildung 64: Links und rechts: Karree; Mitte: Schopf von Kreuzungstieren Edelschwein x Duroc (Bildquelle: Jaga´s Steirerei, Fam. Neuhold).....	73
Abbildung 65: Links und rechts: Karree; Mitte: Schopf Kreuzungstieren Schwäbisch-Hällisch x Duroc (Bildquelle: Jaga´s Steirerei, Fam. Neuhold).....	73
Abbildung 66: Einteilung der Liegefläche und des Fressbereichs in Sektoren für die Bewertung der Buchtenverschmutzung.....	76
Abbildung 67: Kameraposition über dem Liegebereich (links über Nord-Bucht, rechts über Süd-Bucht).....	77
Abbildung 68: Kameraposition über dem planbefestigten Fressbereich (links über Nord-Bucht, rechts über Süd-Bucht)	77
Abbildung 69: Kameraposition über dem perforierten Ausscheidungsbereich (links über Nord-Bucht, rechts über Süd-Bucht)	77
Abbildung 70: Relative Häufigkeiten der vergebenen Scores zur Buchtenverschmutzung nach Buchtensektoren (LB = Liegebereich, FB = Fressbereich, Sekt. = Sektor)	81
Abbildung 71: Relative Häufigkeiten der vergebenen Scores zur Buchtenverschmutzung (Liegebereich und Fressbereich) innerhalb der jeweiligen Rassen.....	82
Abbildung 72: Schwein harnt im von den Tieren bevorzugten Ausscheidungsbereich auf dem den Tränken (rot eingekreist) gegenüberliegenden Kunststoffrost; deutlich erkennbar ist auch die Verschmutzung der geschlossenen Fläche neben dem Trog.	84
Abbildung 73: Schwein harnt im geschlossenen Bereich neben dem Trog, wobei der Kopf in Richtung des Ausscheidungsbereichs orientiert ist und Sichtkontakt zum Buchtenachbarn besteht.	84
Abbildung 74: Möglicher Bereich für eine Verlängerung des Futtertroges	85
Abbildung 75: Von der Herstellerfirma in einem neu gebauten Stallsystem umgesetzte Verlängerung des Troges (Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)	85
Abbildung 76: Boxplots für die Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Buchtenbereich über die drei Durchgänge hinweg	97
Abbildung 77: Boxplots für die Anteile liegender Tiere an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Erhebungszeitpunkt und Buchtenbereich über die drei Durchgänge hinweg (EHT 1=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastbeginn; EHT 2=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin in der Mastmitte; EHT 3=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastende; LB=Liegebereich; FB=Fressbereich; SB=Spaltenbereich).....	97

Abbildung 78: Boxplots für die Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach definierter Jahreszeit und Buchtenbereich (Fr=Frühling; So=Sommer; H/W=Herbst/Winter; LB=Liegebereich; FB=Fressbereich; SB=Spaltenbereich)	99
Abbildung 79: Über die 3 Tage vor dem 1. Erhebungstermin (Mastbeginn) in Durchgang 1 ermittelten Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Buchtenbereich und Tageszeit.....	100
Abbildung 80: Über die 3 Tage vor dem 2. Erhebungstermin (Mittelmast) in Durchgang 1 ermittelten Anteile liegender Schweine an insgesamt liegenden Tieren (in %) nach Buchtenbereich und Tageszeit.....	100
Abbildung 81: Boxplots für die Anteile fressender Tiere bezogen auf die Gesamtzahl der Tiere in der Bucht (in %) nach Erhebungszeitpunkt (Mastphase) über die drei Durchgänge hinweg (EHT 1=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastbeginn, EHT 2=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin in der Mastmitte, EHT 3=Beobachtungszeitraum 3 Tage vor Erhebungstermin zu Mastende)	101
Abbildung 82: Gedränge („Traubenbildung“) rund um den untersten Tränkenippel.....	104
Abbildung 83: Permanenter Verschluss des Kotschlitzes durch 75 cm langes Kunststoffrost-Element im Tränkebereich	105
Abbildung 84: Beengte Situation im Liegebereich bei fortgeschrittener Mastdauer	106
Abbildung 85: Fressplatzabtrennungen am Futtertrog.....	107
Abbildung 86: Kombiniertes Tränkesystem bestehend aus einer Schalentränke und drei Tränkenippeln (Bildquelle: Fa. Schauer Agrotronic)	109
Abbildung 87: Lage des Tierwohlstalls nordöstlich der Ortschaft Leitersdorf im Bezirk Leibnitz..	124
Abbildung 88: Gelände in der Umgebung des Forschungsstalls	124
Abbildung 89: Ansicht des Tierwohlstalls von Süden.....	125
Abbildung 90: Außenbereich mit Lüftungsöffnungen im Firstbereich.....	125
Abbildung 91: Cool Pads zur Zuluftkühlung	126
Abbildung 92: Außenbereich für die Futteraufnahme und Ausscheidungen	126
Abbildung 93: Multiphasenfütterung.....	126
Abbildung 94: Entstaubungsanlage für Einstreu	126
Abbildung 95: Entmistung (Schrapper) mit Kot-Harn Trennung	127
Abbildung 96: Abtransport des Festmistes; links im Bild: geschlossene Güllegrube	127
Abbildung 97: Prüfpersonen am Olfaktometer (Symbolfoto).....	128
Abbildung 98: Ergebnis der mit n-Butanol getesteten und geeigneten Probanden.....	129
Abbildung 99: Team der Geruchserhebungen bei der Einschulung am 16.12.2021 beim Forschungsstall.....	129
Abbildung 100: Lage der Erhebungspunkte für die Geruchsbegehungen	130
Abbildung 101: Verwendetes Geruchsprotokoll während der Begehungen	131
Abbildung 102: Anzahl der Erhebungen pro Wochentag.....	132
Abbildung 103: Anzahl der Erhebungen im Tagesverlauf	132
Abbildung 104: Anzahl der Erhebungen pro Proband	132

Abbildung 105: Akustischer und optischer 10 s Taktgeber (Entwickler: Ing. Heinz Gressenberger, A15)	133
Abbildung 106: Vergleich der erhobenen Geruchshäufigkeiten auf Basis der Feldbegehungen mit den prognostizierten Häufigkeiten aus dem Einreichprojekt (Bachler, 2019)	135
Abbildung 107: Lage der Erhebungspunkte für die Ammoniakmessungen	136
Abbildung 108: Sammlereinrichtung für die NH ₃ -Messung	137
Abbildung 109: Eingabeparameter für GRAL	140
Abbildung 110: Modellgebiet, Gebäude, Bewuchs und Lage des Stalls	140
Abbildung 111: Aufteilung der diffusen Emissionsquellen für die Ausbreitungsrechnungen	141
Abbildung 112: Meteorologische Messungen beim Betriebsstandort	142
Abbildung 113: Gemessene Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung in 8 m Höhe über Grund an der Hofstelle (Oben: gesamt, Mitte: Tag, Unten: Nacht)	143
Abbildung 114: Gemessene Häufigkeit ausgewählter Windrichtungen und mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit in 8 m über Grund	144
Abbildung 115: Häufigkeit der Ausbreitungsklassen (Oben links: gesamt, Oben rechts: Tag, Unten links: Nacht)	145
Abbildung 116: Erhobene und modellierte Geruchshäufigkeiten mit einer mittleren Emissionsfracht von 3,5 MGE/h	147
Abbildung 117: Ergebnis der Ausbreitungsberechnung für eine mittlere Emissionsfracht von 3,5 MGE/h und Vergleich mit den bei der Rasterbegehung erhobenen Geruchshäufigkeiten	148
Abbildung 118: Gemessene Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung in 10 m Höhe über Grund an der Hofstelle (Oben: gesamt, Mitte: Tag, Unten: Nacht)	150
Abbildung 119: Gemessene Häufigkeit ausgewählter Windrichtungen und mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	151
Abbildung 120: Häufigkeit der Ausbreitungsklassen (Oben links: gesamt, Oben rechts: Tag, Unten links: Nacht)	152
Abbildung 121: Vergleich der modellierten NH ₃ -Immissionsbelastung für eine mittlere Emissionsfracht von 0,07 kg/h und einer durchschnittlichen Hintergrundbelastung von 4,0 µg/m ³ mit den gemessenen NH ₃ Konzentrationen.....	154
Abbildung 122: Vergleich zwischen gemessenen und simulierten NH ₃ -Konzentrationen an den einzelnen Messpunkten	154
Abbildung 123: Berechnete Emissionsfaktoren für die einzelnen Monate	155
Abbildung 124: Berechnete Monatsmittelwerte der NH ₃ -Hintergrundkonzentration.....	155
Abbildung 125: Eine von insgesamt 10 Messsäulen mit montierten Radiellos zur Ammoniakmessung sowie der der Positionsplan der 10 Messpunkte (Zentner, 2020).....	159
Abbildung 126: Zwei Radiellos in den Diffusionskörpern zur Erhebung der Ammoniakbelastung.	160
Abbildung 127: FTIR-Anlage der DLG Deutschland. Spektrometer + Sampler und Bedienungseinheit	161
Abbildung 128 und Abbildung 129: Gasmessleitung mit Staubfilter im Ruhebereich der nördlichen Bucht und im Kotbereich	162

Abbildung 130: Windrose für den Untersuchungsstandort (Windgeschw. und –richtung in 5 m Höhe über Grund; Beobachtungszeitraum 1.10.2020 – 31.03.2022).....	163
Abbildung 131: NH ₃ -Immissionen (Darstellung nach Jahr, Quartal und Trasse) im Beobachtungszeitraum (09/2020 – 02/2022) – gewichtetes Mittel.....	165
Abbildung 132: NH ₃ -Immissionen (Darstellung nach Stallabstand, Jahr und Quartal) im Beobachtungszeitraum (09/2020 – 02/2022) – gewichtetes Mittel.....	166
Abbildung 133: Vergleich der Ammoniaktagesmittelwerte der Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- und Wintermessung 2021- Unterteilung in die drei Funktionsbereiche (Ruhen, Fressen, Koten) (Einheit in ppm).....	168
Abbildung 134: Vergleich der Ammoniakgesamtmittelwerte der einzelnen Funktionsbereiche zwischen den vier Messperioden (Einheit in ppm).....	169
Abbildung 135: Gegenüberstellung der Ammoniakmittelwerte der einzelnen Funktionsbereiche zwischen den vier Messperioden (Blaue Säulen) im Projektstall zu Ammoniakmittelwerten aus einem konventionellen Mastschweinestall auf Vollspaltenböden (2 Umtrieb; Orange dargestellt) (Einheit in ppm).....	169
Abbildung 136: Schallpegelmessgerät Nor140 im Messeinsatz.....	172
Abbildung 137: Plan SaLu_T-Stallgebäude mit Markierung des nördlichen Auslaufbereichs, in dem die Schallmessungen stattfanden	174
Abbildung 138: Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine, Blick in den nördlichen Auslaufbereich	175
Abbildung 139: Flächenhafte Schallimmissionsberechnung des SaLu_T-Stalles im Vergleich mit einem zwangsbelüfteten Stallsystem	178
Abbildung 140: Anordnung der Messstellen SaMP1 bis SaMP6 (1-6) im Luftbild (©Galler	184
Abbildung 141: Beispiel einer Immissions- bzw. Hintergrundmessstelle	185
Abbildung 142: MAS-100 NT® (©Stonitsch).....	187
Abbildung 143: SAS Super IAQ (©Stonitsch).....	188
Abbildung 144: SAS Super DUO 360 (©Stonitsch)	188
Abbildung 145: MBASS mit Luftkeimsammelkopf LKS100 (©Stonitsch)	188
Abbildung 146: AGI-30 (©Stonitsch).....	189
Abbildung 147: Schematischer Aufbau der Geräte einer Impingermessung (©Stonitsch)	189
Abbildung 148: GCM Red-y compact (©Stonitsch).....	190
Abbildung 149: Q-Flow in Front- und Seitenansicht (©Stonitsch).....	190
Abbildung 150: Wettersensor WS500-UMB	191
Abbildung 151: Aufbau der Filtrationsapparatur (vgl.: www.duran-group.com , bearbeitet Stonitsch)	193
Abbildung 152: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impingement (n=9) an den Messstellen	210
Abbildung 153: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impingement (n=9) an den Messstellen	211
Abbildung 154: Gram-positive Bakterienkonzentrationen auf CNA Agar mittels Impingement (n=9) an den Messstellen.....	212

Abbildung 155: Staphylokokken-Konzentrationen auf CNA Agar mittel Impingement (n=9) an den Messstellen	213
Abbildung 156: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impaktion (n=9) an den Messstellen	214
Abbildung 157: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impaktion (n=9) an der Messstelle SaMP3	215
Abbildung 158: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)	217
Abbildung 159: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)	218
Abbildung 160: Gram-Positive Bakterienkonzentrationen auf CNA Agar mittel Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)	219
Abbildung 161: Staphylokokken-Konzentrationen auf CNA Agar mittel Impingement (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)	220
Abbildung 162: Staphylokokken-Konzentrationen auf MAN Agar mittels Impaktion (n=5) an den Messstellen (Windrichtung optimal)	221
Abbildung 163: Gesamtbakterienkonzentrationen auf TSA Agar mittels Impaktion (n=5) an der Messstelle SaMP3 (Windrichtung optimal)	222
Abbildung 164: Schematische Darstellung Strohmatic (Fa. Schauer)	237
Abbildung 165: Übergabeeinheit - Entstaubung (Fa. Schauer)	237
Abbildung 166: Absauganlage (Fa. Schauer)	238
Abbildung 167: Niederdruck-Ölsprühanlage (Fa. Schauer)	239
Abbildung 168: Grimm 11-C Aerosol-Spektrometer	239
Abbildung 169: Messkorb mit Spektrometer 11-C im Ruhebereich	240
Abbildung 170: Messkorb mit Spektrometer 11-C im Aktivitäts- und Ausscheidungsbereich der Tiere	241
Abbildung 171: Partikelzahlen über alle Größenklassen am 23.07.2021 um 0:00 Uhr	244
Abbildung 172: Konzentrationen an PM ₁₀ , PM _{2,5} und PM ₁ in µg/m ³ am 23.07.2021 über 24 Stunden	245
Abbildung 173: Mengenmäßige Verteilung der Staubpartikelzahlen auf die Feinstaubsegmente (Sommer 2021 vs. Winter 2021/22)	246
Abbildung 174: Gemittelte Staubpartikelzahlen im Jahresverlauf (Messperiode 2021/22 - Ruhebereich)	246
Abbildung 175: Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben (1= Frühjahr, 2= Sommer, 3= Herbst, 4= Winter), SPSS	247
Abbildung 176: Partikelzahlen über alle Größenklassen im Vergleich zwischen Ruhe- und Aktivitätsbereich (Winter/Frühjahr 2022)	248
Abbildung 177: Mann-Whitney-Test bei unabhängigen Stichproben in der Fraktion PM 2.5 (Messort 1 = Ruhebereich, Messort 2 = Aktivitätsbereich), SPSS	248

Abbildung 178: Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben (1 = Strohmatic Welfare + Öl, 2 = Strohmatic Welfare ohne Öl, 3 = Einstreu händisch ohne Öl, 4 = Einstreu händisch + Öl, 5 = Strohmatic Welfare ohne Entstaubung ohne Öl), SPSS	250
Abbildung 179: Vergleich der Staubmassenkonzentrationen der Fraktion PM _{2,5} [µg/m ³] über 5 Messtage.....	252
Abbildung 180: Für 200 Mastschweine konzipierter Ruhebereich eines Tierwohlstalles	253
Abbildung 181: Zuluft einbringung in den Ruhebereich über eine Unterflurzuluft mit Cool Pads	254
Abbildung 182: Automatisierte Einbringung entstaubter Einstreu über eine Strohmatic light-Anlage	254
Abbildung 183: Fütterung über eine Spotmix-Fütterungsanlage	255
Abbildung 184: Ausscheidungsbereich mit perforiertem Kunststoffboden, Kotschlitz und Tränkeeinrichtungen.....	256
Abbildung 185: Aktivitätsbereich als Innenhof mit groß dimensioniertem Lichtfirst und geöffneten Stirnseiten	256
Abbildung 186: Messeinheit im Ruhebereich des Tierwohlstalles	257
Abbildung 187: Grimm Aerosol Spektrometer während des Messvorganges.....	257
Abbildung 188: Staubmassenkonzentration der Fraktion PM _{2,5} über einen 24-stündigen Verlauf (06. April, Variante 1 = Einstreu händisch ohne Öl, 12. April, Variante 2 = Einstreu händisch + Öl, 17. April, Variante 3 = Strohmatic light ohne Öl, 22. April, Variante 4 = Strohmatic light + Öl)	260
Abbildung 189: Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben - count values Gesamt (1 = Einstreu händisch ohne Öl, 2 = Einstreu händisch + Öl, 3 = Strohmatic light ohne Öl, 4 = Strohmatic light + Öl)	261
Abbildung 190: Rückgang im Schweinefleischkonsum pro Einwohner und Jahr.....	269
Abbildung 191: Preisindex für Waren und Dienstleistungen landwirtschaftlicher Investitionen (Input 2) und Wohnhaus- und Siedlungsbau (Gesamtbaukosten), Statistik Austria (2023a, 2023b)	273
Abbildung 192: Übersicht über die Baukosten nach Baubereichen/Gewerken, Mittelwerte für n=5 Tierwohlstallprojekte, indexangepasst auf 2022	274
Abbildung 193: Zusammenhang zwischen der Fläche in m ² pro Mastplatz und den Kosten in EUR pro Mastplatz (eigene Darst.).....	275
Abbildung 194: Kosten der einzelnen Gewerke und deren Streuung über die Projekte, n=5 Tierwohlstallprojekte, indexangepasst auf 2022	276

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilung der unterschiedlichen eingestellten Tiere nach Rassen bzw. der Kreuzungstiere in den drei Durchgängen und Buchten	74
Tabelle 2: Einstalldatum und Datum der drei Erhebungstermine je Durchgang	75
Tabelle 3: Durchschnittlicher Score zur Buchtenverschmutzung bzw. Median in Klammern nach Funktionsbereichen und Buchtensektoren (über alle Durchgänge und Erhebungstermine hinweg)	80
Tabelle 4: Durchschnittlicher Score zur Buchtenverschmutzung bzw. Median in Klammern nach Rassen und Funktionsbereichen (über alle Durchgänge und Erhebungstermine hinweg)	82
Tabelle 5: Anteil von Tieren (in %) mit zumindest einer verschmutzten Körperpartie getrennt nach Rassen und Durchgängen (über die drei Erhebungstermine je Durchgang hinweg; DG = Durchgang)	83
Tabelle 6: Anteil (in %) von als verschmutzt beurteilten Körperpartien nach Durchgang, Erhebungstermin und Buchtenlage (EHT = Erhebungstermin, DG = Durchgang).....	87
Tabelle 7: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Anzahl der im jeweiligen Durchgang eingestellten Tiere) der notwendigen Tierbehandlungen in den einzelnen Durchgängen (DG = Durchgang)	88
Tabelle 8: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere) von auseinandergewachsenen bzw. kümmernden Schweinen nach Durchgang (DG)	89
Tabelle 9: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere) von mittel- bzw. hochgradigen Lahmheiten nach Durchgang (DG)	89
Tabelle 10: Absolute und relative Häufigkeiten (bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere) von unterschiedlichen Indikatoren im Zusammenhang mit Atemwegen, Luftqualität und Hitzestress nach Durchgang (DG)	91
Tabelle 11: Absolute und relative Häufigkeiten von Tieren mit zumindest einer Hautverletzung nach Rasse und Durchgang (relative Häufigkeit bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Durchgang beurteilten Tiere der jeweiligen Rasse).....	91
Tabelle 12: Absolute und relative Häufigkeiten von beurteilten Schwäbisch-Hällischen Kreuzungstieren mit intakten Ringelschwänzen nach Durchgang (DG) und Erhebungstermin	92
Tabelle 13: Absolute und relative Häufigkeiten von Verletzungen, die gesamthaft/beidseits beurteilt wurden, nach Körperregion, Art/Schweregrad und Durchgang (Schweregrade gemäß Definitionen in Anhang A).....	93
Tabelle 14: Absolute und relative Häufigkeiten von Verletzungen, die einseitig beurteilt wurden, nach Körperregion, Art/Schweregrad und Durchgang (S.G. = Schweregrade gemäß Definitionen in Anhang A).....	94
Tabelle 15: Absolute und relative Häufigkeiten von Auffälligkeiten, die im Zuge der Erhebungen festgestellt wurden	95

Tabelle 16: Jahreszeitliche Zuordnung der Erhebungstermine aus den drei Durchgängen (Frühling = März bis Mai; Sommer = Juni bis August; Herbst/Winter = September bis Februar).....	99
Tabelle 17: Anzahl von im Videomaterial vorgefundenen und analysierten Vorfällen des Hineintretens bzw. Hineinfallens im Zusammenhang mit dem Kotschlitz nach Buchtenlage, Durchgängen (DG) und Beobachtungszeiträumen (EHT = Erhebungstermin, h = Stunde) sowie Anteil (in %) von Fällen im Tränkebereich	103
Tabelle 18: Ergebnisse der Geruchserhebungen für die einzelnen Aufpunkte für Stallgerüche	134
Tabelle 19: Gemessene Mittelwerte der NH ₃ Messungen in [µg/m ³] für den Auswertzeitraum vom Jänner bis November 2021	136
Tabelle 20: Methodik und Eingabeparameter für das verwendete Ausbreitungsmodell GRAL.....	139
Tabelle 21: Verteilung rel. Windrichtungshäufigkeiten (in %) während des Beobachtungszeitraums.....	163
Tabelle 22: Windgeschwindigkeiten während des Beobachtungszeitraums.....	164
Tabelle 23: Errechnete Emissionen in kg/Tierplatz/Jahr (mit Hilfe der CO ₂ -Bilanz, den Emissionskonzentrationen, der Luftrate, 75 kg/Tier, bei 2,8 Umtriebe/Jahr).....	170
Tabelle 24: Ergebnis der Schallpegelmessungen im nördlichen Auslaufbereich des Tierwohlstalles	176
Tabelle 25: Aus den Innenpegelmessungen abgeleitete Schalleistungspegel pro Tier (L _{WA,1} Schwein-Ma,SaLu_T)	176
Tabelle 26: Überblick der Messmethoden und -geräte an den Messstellen	186
Tabelle 27: Auflistung der auf die Nährmedien ausplattierten Verdünnungen der Impinger-Proben.....	192
Tabelle 28: Nährmedien zur Bestimmung von Mikroorganismen, Inkubationszeiten und Keimspektren	195
Tabelle 29: Zusammensetzung CNA-Agar	195
Tabelle 30: Zusammensetzung COL-S-Agar.....	196
Tabelle 31: Zusammensetzung MAN-Agar.....	196
Tabelle 32: Zusammensetzung Müller-Hinton II Agar.....	197
Tabelle 33: Zusammensetzung SAIDE-Agar.....	197
Tabelle 34: Zusammensetzung TSA.....	198
Tabelle 35: Zusammensetzung des PBS-Puffers	198
Tabelle 36: Überblick der Messereignisse inkl. meteorologischer Parameter und dem Tierbesatz in Gesamt GV	200
Tabelle 37: Impingement-Daten von Messstelle SaMP1 im Vergleich	200
Tabelle 38: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP1 im Vergleich	201
Tabelle 39: Impingement-Daten von Messstelle SaMP2 im Vergleich	202
Tabelle 40: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP2 im Vergleich	202
Tabelle 41: Impingement-Daten von Messstelle SaMP3 im Vergleich	203
Tabelle 42: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP3 im Vergleich	204

Tabelle 43: Impingement-Daten von Messstelle SaMP4 im Vergleich	205
Tabelle 44: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP4 im Vergleich	205
Tabelle 45: Impingement-Daten von Messstelle SaMP5 im Vergleich	206
Tabelle 46: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP5 im Vergleich	207
Tabelle 47: Impingement-Daten von Messstelle SaMP6 im Vergleich	208
Tabelle 48: Impaktions-Daten von Messstelle SaMP6 im Vergleich	208
Tabelle 49: Impingement-Daten aller Messungen	209
Tabelle 50: Impaktions-Daten aller Messungen.....	213
Tabelle 51: Impingement-Daten (n=5) der windbereinigten Messungen.....	216
Tabelle 52: Impaktions-Daten (n=5) der windbergeinigten Messungen	220
Tabelle 53: Auswertung der Antibiogramme der S. aureus Isolate nach EUCAST V12.0.....	223
Tabelle 54: Gegenüberstellung der Feinstaubkonzentrationen in Mastschweineeställen (BÜSCHER et.al., 2012)	242
Tabelle 55: Gemittelte Staubpartikelkonzentrationen über 24h in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ über alle Messtage	243
Tabelle 56: Staubkonzentrationen im Innenraum mit unterschiedlicher Einstreutechnik (MÖSENBACHER-MOLTERER et.al., 2019)	243
Tabelle 57: Gemittelte Staubpartikelzahlen im Ruhe- und Außenbereich im Jahresverlauf	247
Tabelle 58: Statistische Analyse des Variantenvergleiches, SPSS	251
Tabelle 59: Gemittelte Staubpartikelzahlen der unterschiedlichen Fraktionsklassen über alle fünf Varianten (1 = Strohmatic Welfare + Öl, 2 = Strohmatic Welfare ohne Öl, 3 = Einstreu händisch ohne Öl, 4 = Einstreu händisch + Öl, 5 = Strohmatic Welfare ohne Entstaubung ohne Öl), SPSS	252
Tabelle 60: Mittelwerte der Parameter Temperatur, relative Feuchte und Strömung über den Messzeitraum.....	258
Tabelle 61: Mittelwerte und Median der Staubpartikelzahlen je Liter Luft Gesamt; PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, PM_1	259
Tabelle 62: Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests bei unabhängigen Stichproben	260
Tabelle 63: Paarweise Vergleiche der Varianten, SPSS	261
Tabelle 64: Eckdaten der fünf Bauprojekte/Projektplanungen als Grundlage Kostenauswertung, MP=Mastplätze (eigene Darst.)	271
Tabelle 65: Schema zur Aufschlüsselung der Kostenpositionen und Anz. der verfügbaren Datensätze (eigene Darst.).....	272
Tabelle 66: Investitionskosten pro Mastplatz (exkl. Anschließung und Getreidelager) nach Größenklassen (eigene Darst.).....	275
Tabelle 67: Modellangaben zu Investitionskosten pro Stallplatz bei Stallneubau (adaptiert übernommen aus Arbeitskreise Ferkelproduktion und Schweinemast 2021) und Auswertung der Bauprojekte für Tierwohlstallungen (2022, eigene Daten)	278

Article

Assessment of Odour and Ammonia Impacts for a Novel Fattening Piggery Tailored for Animal Welfare and Low Emission Rates

Dietmar Oettl ^{1,*} , Eduard Zentner ², Andreas Zentner ², Robert Mair ³, Hannah Oettl ⁴ and Michael Kropsch ²¹ Air Quality Control, Regional Government of Styria, 8010 Graz, Austria² Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Regions and Water Management, Agricultural Research and Education Center Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning-Donnersbachtal, Austria³ TÜV Austria, 1230 Vienna, Austria⁴ Institute of Geography and Regional Science, University of Graz, 8010 Graz, Austria

* Correspondence: dietmar.oettl@stmk.gv.at

Abstract: According to the European Commission, Austria is obliged to reduce ammonia emissions by 12% between 2005 and 2030. Agriculture, in particular livestock buildings and the spreading of manure, is the predominant source of ammonia in most countries, calling for stringent mitigation measures in this area. This study investigated a combination of measures implemented in a newly constructed fattening piggery in Styria (Austria) for reducing ammonia, particulate matter (not subject of this publication), and odour emissions. Additionally, the livestock building should meet standards to enhance animal welfare as well. Based on observed ammonia concentrations at several locations in the vicinity of the farm as well as field inspections for odour according to EN 16841-1, corresponding emission factors were derived using the Lagrangian particle model GRAL and in situ measurements of meteorology. The resulting emission factor for ammonia was found to be 80% lower compared to the standard emission factor of 3.64 kg a⁻¹ for fattening piggeries according to the German guideline VDI 3894-1. Moreover, the emission factor for odour was 95% lower than the standard factor of 0.180 ou_E kg⁻¹ s⁻¹ used in Styria for conventional fattening piggeries without any reduction techniques.

Keywords: Salu_T; GRAL; fattening piggery; ammonia; odour; emission factor; animal husbandry



Citation: Oettl, D.; Zentner, E.; Zentner, A.; Mair, R.; Oettl, H.; Kropsch, M. Assessment of Odour and Ammonia Impacts for a Novel Fattening Piggery Tailored for Animal Welfare and Low Emission Rates. *Atmosphere* **2023**, *14*, 75. <https://doi.org/10.3390/atmos14010075>

Academic Editors: David Janke, Sabrina Hempel, Chaoyuan Wang and Yunhua Chang

Received: 24 October 2022
Revised: 15 December 2022
Accepted: 23 December 2022
Published: 30 December 2022



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

In recent years, globalization has set Austria's fattening-pig production under economic pressure due to the comparably small farm sizes. According to the Austrian Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Regions and Water Management, roughly 2.8 million pigs are kept by 24,200 farmers (<https://info.bml.gv.at/en/topics/agriculture/agriculture-in-austria/animal-production-in-austria/pig-keeping-in-austria.html> accessed on 24 October 2022) resulting in an average of little more than 100 pigs per farm. The high share of mountainous regions in Austria often sets natural limits for expanding farms towards very large animal numbers. In Styria, which is among the most productive regions in Austria concerning fattening pigs, only a few farms hold more than 1500 fattening pigs. Therefore, alternative forms of production emphasizing animal welfare are on the rise. Aside from that, the European Commission issued target values for 2030 for reducing ammonia emissions in each member state [1]. As agriculture is responsible for more than 90% of ammonia emissions in the European Union [2], stringent abatement strategies mainly within this sector must be developed. Moreover, complaints about odour nuisance arising from livestock buildings are among the most frequent issues regional authorities must deal with. Hooiveld et al. [3] found that odour annoyance can be associated with reduced general health and increased reporting of respiratory, gastrointestinal, neurological

and stress-related symptoms. As ammonia emissions from fattening piggeries are partly correlated with odour emissions, reducing them would help to minimize this problem as well.

To deal with these difficulties, a new kind of livestock building for fattening pigs has been erected in southeaster Styria. Several novel technologies for reducing ammonia, odour, and dust emissions have been implemented. In autumn 2020, pig production started as well as the collection of meteorological (e.g., temperature, humidity, wind) and air-quality data (e.g., particulate matter, ammonia), which has been collected within the livestock building and in the surroundings of the fattening piggery. In the next section, the abatement measures implemented in the livestock building are highlighted and in Section 3 the methodology used for deriving emission factors for ammonia and odour is outlined. Results are presented in Section 4, followed by a discussion of emission rates found in previous studies in Section 5. Finally, conclusions are drawn in Section 6.

2. Description of the Fattening Piggery

The livestock building for fattening pigs offers three compartments to foster animal welfare: (i) a rest zone inside the shed with reduced light and a thin straw layer (approximately 50 g per animal and day), (ii) a zone for taking up food and water outside, and (iii) a small excretion area with a perforated floor made of plastic (Figure 1). The whole area outside is covered by a roof and can optionally be protected from intense irradiation or adverse weather conditions (e.g., strong winds, high relative humidity) by roller blinds. The temperature inside can be conditioned either by an underfloor heating system for the winter months or fresh air cooled by heat exchangers at the inlets (so-called ‘cool pads’). In this way, a maximum degree of comfort for the pigs should be guaranteed, which in addition shall keep the animals from excreting inside. Moreover, a mixture of organic oil and water is sprinkled regularly via numerous nozzles in the compartments inside for minimizing airborne particulate matter concentrations. The straw is initially cleaned using dust filters before application.

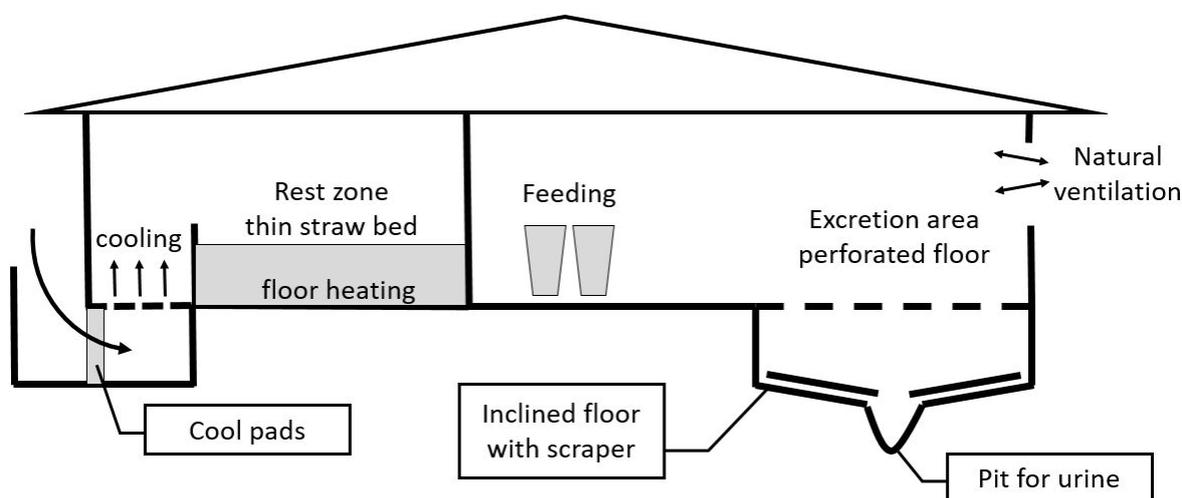


Figure 1. Sketch of the fattening piggery with the various areas for resting, feeding and excretion.

One of the key techniques for reducing ammonia and therefore odour emissions is the separation of the liquid and solid fraction of excrements for avoiding urease. A mechanical scraper under slats for the solid fraction of excrement operated every 2 h in combination with a pit allowing the liquid phase to run off efficiently accomplishes this. Loussouarn et al. [4] observed a reduction in ammonia emissions of at least 40% using a V-shaped scraper in a fattening piggery. The share of protein in the fodder is automatically adjusted according to the growing rates of the pigs in each partition, which is also a well-known technique for reducing ammonia emissions, too (e.g. [5]).

The rest zone inside is flexible in size offering typically 0.20–0.46 m² per animal. The corresponding areas per animal for feeding is 0.40 m² and for dunging 0.24 m². A total of 36 pens are used to separate the animals into smaller groups, whereby the time for moving the piglets in varies from pen to pen (i.e., an all-in-all out system is not practiced). The initial weight of the piglets is 30 kg while at the end a weight of 120 kg is reached. The whole livestock building comprises space for 850 fattening pigs with an average weight of 75 kg, which did not vary significantly during the observational period.

Multiphase feeding has been applied over the investigation period using five different feed compositions during the growing phase. Table 1 lists some important components differentiated according to animal weight. As can be seen, the share of raw protein, which is the dominant source of potential ammonia emissions, is reduced from 15.90% at the beginning down to 13.83% at the end of the fattening period. The metabolizable energy is being kept rather constant, while lysine is also reduced over the fattening cycle.

Table 1. Composition of the feeding stuff dependent on animal weight for a dry mass of 880 g.

	<35 kg	35–45 kg	45–70 kg	70–90 kg	>90 kg
Dry mass [g]	880	880	880	880	880
Raw protein [%]	15.90	15.18	14.77	14.15	13.83
Metabolizable energy [MJ]	12.83	12.91	13.00	12.96	12.99
Lysine [g]	11.77	11.41	11.01	10.24	9.25

3. Methodology

As the livestock building is naturally ventilated via lateral openings causing fugitive emissions, it is impossible to measure the source strengths of ammonia and odour in a direct manner. In this study, dispersion modelling has been used for assessing the corresponding source strengths (e.g. [6]). Therefore, ammonia concentrations have been observed at ten monitoring sites in the vicinity of the livestock building at distances of approximately 15 m, 130 m, and 250 m (Figure 2). According to the observed wind-direction distribution (note that the wind measurements started prior to the ammonia observations), sampling points have been placed along the axis of the main wind directions, which is approximately north-south orientated (Figure 3). Two additional samplers (W2 and W3) have been placed lateral to this axis to capture background concentrations.

Source strengths in the dispersion model have been varied until the mean absolute bias (MAB) between observed (O_n) and modelled concentrations (M_n) had become a minimum.

$$MAB = \frac{1}{n} \sum_n |O_n - M_n| \quad (1)$$

Ammonia was measured using passive samplers ([7]) at 2.5 m above ground level. The exposure time was four weeks and analyzation was carried out following the German standard VDI 3869-4 [8] by means of ion chromatography. At each monitoring site, two passive samplers have been placed in parallel for quality control. The average difference between each pair was 0.2 µg m⁻³ over the entire period. In addition, blind samples have been analyzed for each period. The concentration for these samples was <0.1 µg m⁻³ in all cases.

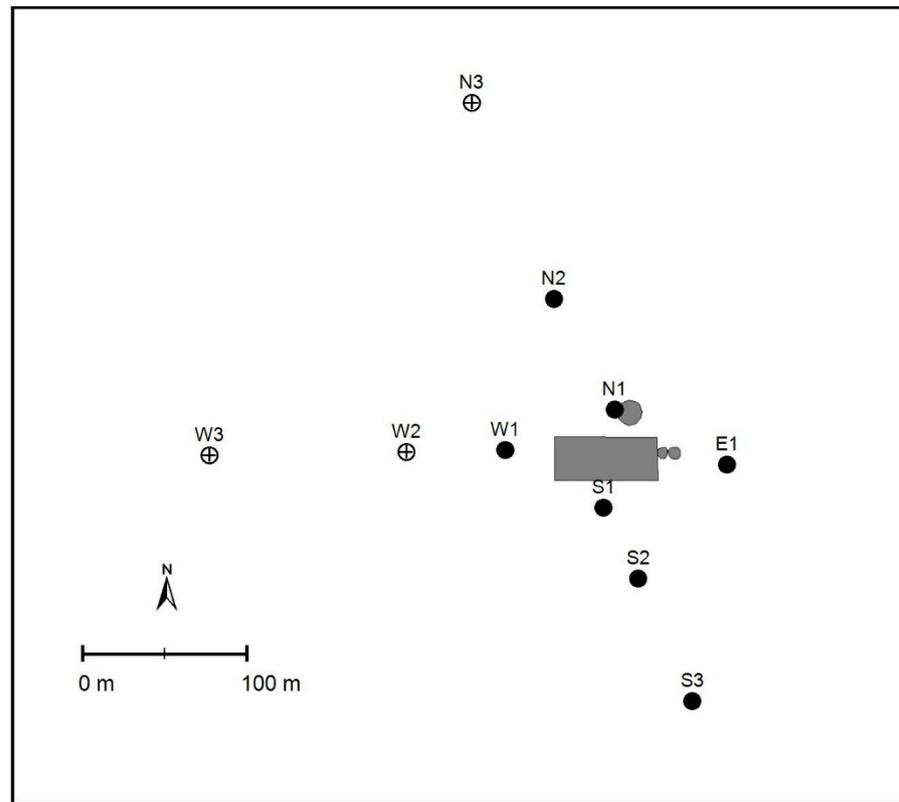


Figure 2. Sitemap of the monitoring sites for ammonia, the fattening piggery including two silos at the east side of the building, and the closed slurry pit north of the livestock building. The modelling domain is marked by the grey rectangle.

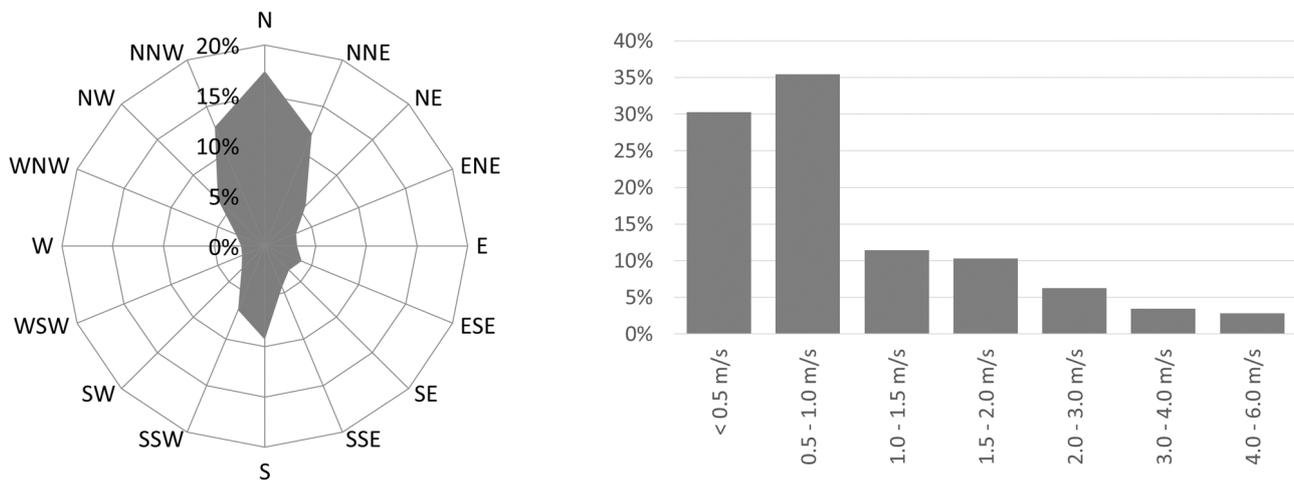


Figure 3. Observed wind-direction and wind-speed frequencies averaged over the period of the field inspections (10 January–12 July 2022).

Odour concentrations cannot be measured by any technical device. Therefore, a different approach had to be adopted for assessing the source strength. The European standard EN 16841-1 outlines how field inspections by trained panellists must be carried out for obtaining odour-hour frequencies. To keep field inspections in a reasonable frame, the time a panellist must evaluate odours at each location is limited to 10 min and the observation frequency is strictly 10 s according to the EN16841-1. At least six odour detections are necessary for the identification of an odour-hour. Simply explained, an odour-hour can be described as the recognition of odour for at least six minutes within an

hour by at least 50% of the people exposed to it. A more detailed definition is provided in the German guideline VDI 3788 [9] for instance.

Odour-hours can also be simulated by suitable dispersion models. Based on the work of [10] and [11], $1 \text{ OU}_E \text{ m}^{-3}$ was taken as threshold for the 90th percentile. In other words, if the simulated odour concentration of the 90th percentile is above this threshold, an odour-hour is counted. Using the aforementioned *MAB* it is possible to derive a source strength for odour in a similar way for ammonia. The Lagrangian particle model GRAL (Graz Lagrangian Model [12]) has been used for the dispersion modelling. It is particularly suited for assessing odour-hour frequencies [11,13,14], taking into account horizontal wind meandering in low wind speed conditions [15], and the influence of buildings and/or vegetation on the microscale flow field [16,17]. For a comprehensive discussion about the implementation of methodologies for assessing odour-hours in a dispersion model the reader is referred to [18] or [14].

It should be noted that it is not possible to provide an estimate of the uncertainty of the derived emission factors introduced by the dispersion modelling. However, GRAL has been thoroughly evaluated using various tracer experiments carried out in different environmental settings regarding meteorology, source configurations, and building geometries. Chang and Hanna [19] suggested using an upper bound for the normalized mean square error below 4, and a max. fractional bias of $+/-0.3$ as criteria to define acceptable model performance. GRAL fulfils these criteria in 28 out of 29 experiments used for model evaluation [12]. Moreover, the GRAL model has also been tested using data from a field inspection according to EN16841-1 for a fattening piggery [11]. In this study, no bias was found between computed odour-hour frequencies and observed ones. Brancher et al. [14] evaluated the concentration-variance model used in GRAL for computing odour-hours and found a fractional bias of -0.25 for the computed 90 percentile of the concentration distribution, which were observed at some sampling points in the surroundings of a fattening piggery in Germany [20]. Based on these studies one might expect that the emission factors derived by dispersion modelling with GRAL have a bias of less than $\pm 30\%$.

Another issue that might contribute to the uncertainty is existing background odour concentration, which cannot be readily taken into account in the modelling because of non-linear effects in the calculation of odour-hours. For instance, if an odour-hour is triggered by the emissions from the fattening piggery at a particular location, an existing background odour concentration would not contribute to this odour-hour anymore and vice versa, although it does so regarding the odour concentration. Therefore, observed odour-hour frequencies at greater distances from the fattening piggery, could not be used as background value and added to modelled ones. To take background odour concentrations in the modelling into account, one would need to know the odour-emission strengths from all sources in the surroundings including their temporal patterns. For the estimation of the source strengths information about the activity, feeding, manure handling, etc. for each livestock is required. However, such data were not available for this study.

A total of 53 field inspections have been carried out between 10 January and 12 July 2022 at the same locations where ammonia has been observed, except at the sites N3 and W3 which were not deemed necessary for assessing the odour-emission factor due to the low expected odour impact at these locations. The European standard for field inspections EN 16841-1 [21] requires at least a pool of eight panel members qualified according to EN 13725 [22]. This means that each participant must be able to detect a reference odorant (n-butanol) within a prescribed concentration range (20–80 ppb in the case of n-butanol), which is calculated as an average over at least 10 but not exceeding 20 tests. In addition, the standard deviation needs to be lower than 2.3. Eventually, eight panellists were selected and an additional one was picked as a standby in case of illnesses etc. The panellists have been trained beforehand to make them familiar with the type of odour and the site itself according to the suggestions in EN 16841-1. Surveys must be distributed evenly over the days, hours, and the panellists, which required a lot of planning, particularly in cases of illnesses or other unforeseeable events preventing a field inspection at a scheduled date

and time. As can be seen from Table 2, the distribution of the inspections over time and day was in accordance with the requirements of the EN16841-1, while the distribution of the panellists was not. This was due to some COVID-19 cases that complicated the whole study enormously.

Table 2. Sampling frequencies separated for staff, weekday, and time of the day of sampling.

Staff	Samples	Day	Samples	Time	Samples
P1	7	Monday	8	0 a.m.	4
P2	5	Tuesday	7	2 a.m.	4
P3	5	Wednesday	8	4 a.m.	4
P4	5	Thursday	8	6 a.m.	4
P5	9	Friday	8	8. a.m.	4
P6	8	Saturday	7	10 a.m.	5
P7	7	Sunday	7	12 a.m.	5
P8	6			2 p.m.	5
P9	1			4 p.m.	5
				6 p.m.	5
				8 p.m.	4
				10 p.m.	4
Total	53		53		53

A two-dimensional sonic anemometer was set up northeast of the livestock building about 40 m away and 7 m above ground level. The in situ observed wind speed and direction accompanied by measured air temperature (2 m above ground level) and incoming solar radiation have been used for the model simulations. As mentioned previously, GRAL uses a non-hydrostatic prognostic model to take into account the effects of buildings and vegetation on the microscale flow field. At the inflow boundaries, a first-guess wind field is prescribed, while at the outflow lateral boundaries homogeneous Neumann conditions are imposed to avoid the reflection of waves [23]. Whether any lateral side of the modelling domain is classed as an outflow or inflow boundary is determined at the beginning of any simulation by the direction of the wind component normal to the specific boundary. The first-guess wind field is a simple vertical profile determined by the wind observation at 7 m above ground level and using a power-law function as suggested by US-EPA [24]. The power-law exponent is computed as a function of the aerodynamic roughness length z_0 and the Obukhov length [12]. The latter is derived from the stability class as outlined in the VDI 3783-8 [25]. For more information about the solution techniques used in the microscale flow-field model the reader is referred to [15,16]. After a wind-field computation has been completed, tracer dispersion is modelled with the Lagrangian dispersion module of GRAL until a steady-state concentration field is achieved. Based on the Obukhov length, roughness length and wind speed, turbulence quantities such as friction velocity, standard deviations of wind-speed fluctuations, dissipation rate of turbulent kinetic energy are calculated. For a comprehensive description of the turbulence parameterizations used in GRAL the reader is referred to the model documentation [12].

The average wind-direction and wind-speed frequencies are shown in Figure 3. During nighttime winds from the north prevail, while during daytime wind directions were mainly from the south. Low wind speeds ($\leq 1.5 \text{ m s}^{-1}$) dominated more than 70% of the time emphasizing the need for a dispersion model suitable for treating horizontal wind meandering in such conditions. GRAL requires turbulence information, which has been provided by stability classes derived according to the Austrian standard ON M9440 [26]. In 32% of the time convective conditions predominated, neutral conditions made up 17%,

and stable conditions were found in 51% of the time. Figure 4 shows the same as Figure 3 but exactly for the times of the field inspections. It can be seen that the meteorological conditions were comparable. Therefore, no significant bias between modelled and observed odour-hours due to the underlying meteorological conditions is to be expected.

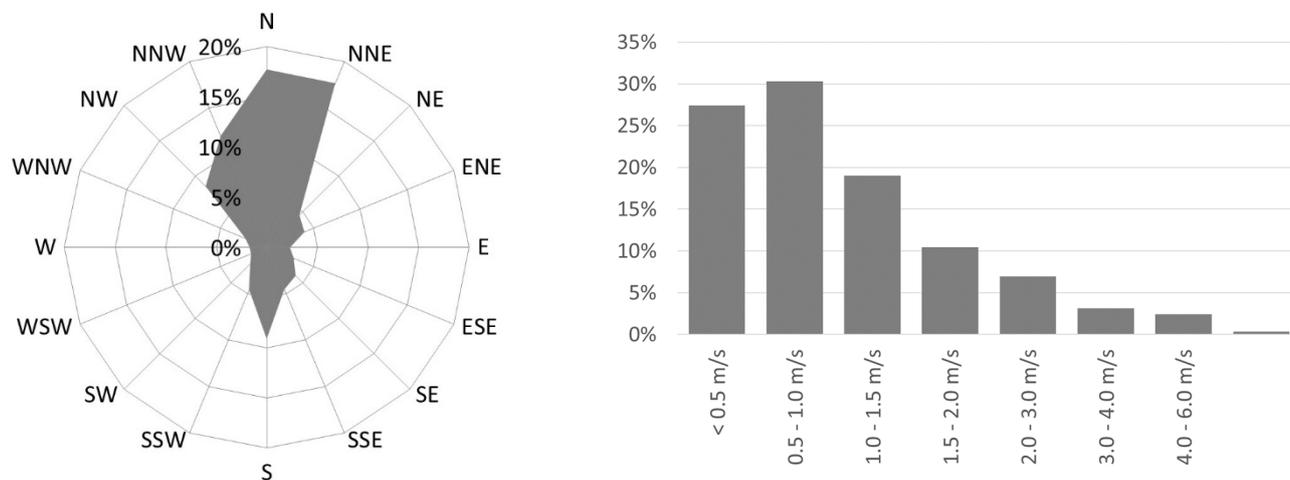


Figure 4. Observed wind-direction and wind-speed frequencies exactly at the times of the field inspections.

The surroundings of the fattening piggery are very flat, hence, topography has been neglected in the simulations. A small forested area is situated approximately 40 m east of the stable, which has been taken into account in the dispersion modelling as well as the livestock building itself by applying a non-hydrostatic prognostic flow-field model prior to dispersion modelling [12,16].

4. Results

4.1. Odour

Figure 5 depicts modelled and observed odour-hour frequencies for the observation period. The vertical bars indicate the 95% confidence interval of the field observations evaluated according to the German guideline VDI 3940-1 [27]. Equivalence of modelled and observed odour-hour frequencies is assumed when modelled values fall within the 95% confidence interval of the field inspections, which is the case for all observational sites except for N2 and E1. Here, the model significantly underestimates observed odour-hour frequencies. The discrepancy might be partly reasoned by occasional odour impacts from other fattening piggeries located approximately 700 m north of the study site. An elaboration of observed wind directions for all cases, where an odour-hour has been detected by panellists at site N2, indicated that in two cases wind directions were exclusively from the north. Excluding these two cases would lower the percentage of odour-hours from 24% to 20% and considering the 95% confidence interval would lead to an overlapping with the corresponding modelled odour-hour frequency. It should be emphasized that odour impacts of other fattening piggeries north of the study area are not likely to increase the odour-hours perceived by panellists south of the livestock building, because in most of the cases the stable itself would trigger an odour-hour even without any background odour concentration caused by these farms.

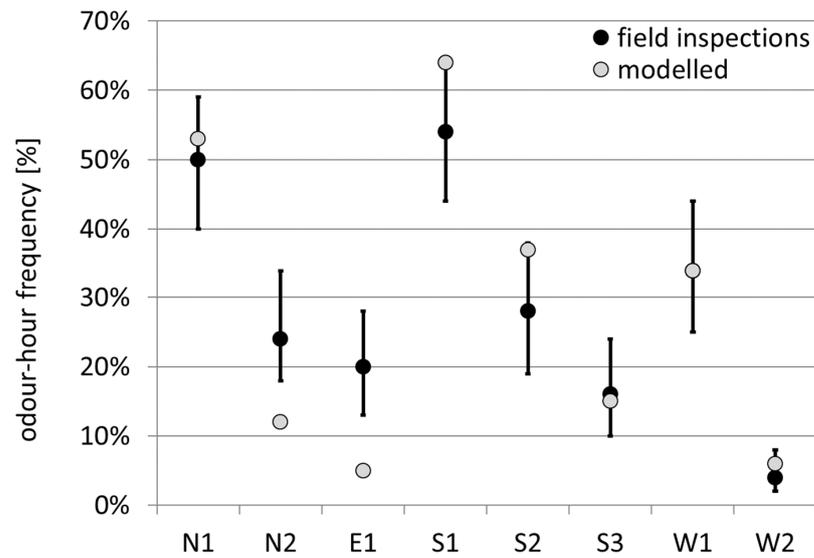


Figure 5. Observed and modelled odour-hour frequencies in the vicinity of the fattening piggery. Vertical bars indicate the 95% confidence interval of the observations.

The simulated pattern of odour-hour frequencies is depicted in Figure 6. An emission rate of $3.5 \text{ MOU}_E \text{ h}^{-1}$ ($\text{OU}_E = \text{European odour unit}$) provides the minimum *MAB* (Equation (1)). Due to the frequent northerly wind directions the odour plume extends mainly towards the south. The corresponding odour-hour frequencies derived from the field inspections are depicted by the circles. Modelled odour-hour frequencies exhibit particularly strong gradients close to the fattening piggery, thus, equal magnitudes of modelled and observed odour-hour frequencies can be found just within a few metres around the sites S1 and S2.

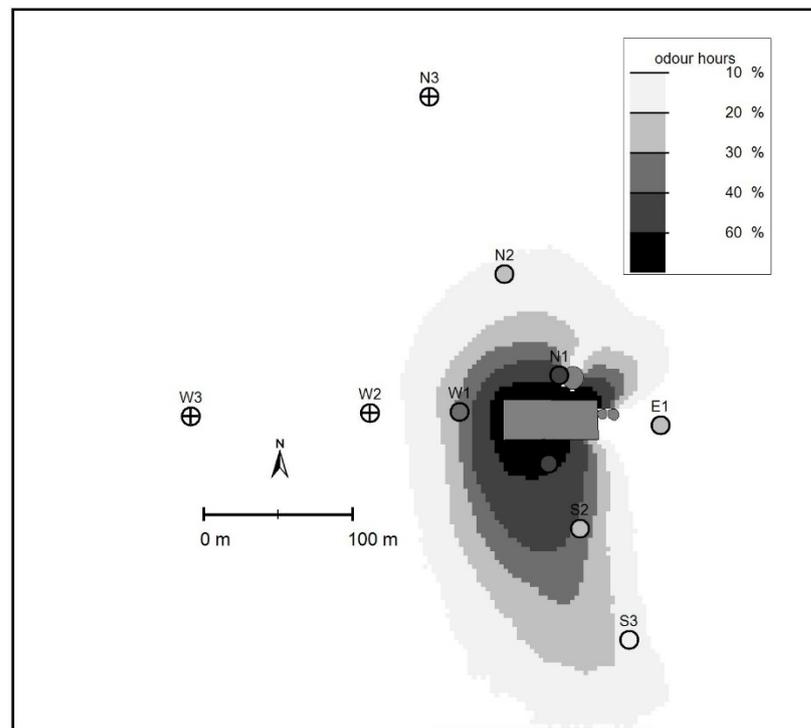


Figure 6. Simulated odour-hour frequencies with the Lagrangian particle model GRAL using an emission rate of $3.5 \text{ MOU}_E \text{ h}^{-1}$. Observed odour-hour frequencies are depicted by the circles. Sites N3, W2, and W3 were not included in the field campaign.

4.2. Ammonia

Observed ammonia concentrations at the locations as illustrated in Figure 2 for the period from January to November 2021 were used for deriving corresponding emission factors. Highest concentrations were between 25 and 30 $\mu\text{g m}^{-3}$ at the sites S1 and N1 (Figure 7), which are located less than 20 m away from the fattening piggery. At the sampling points W1 and E1, which are also very close to the livestock building, measured ammonia concentrations were below 10 $\mu\text{g m}^{-3}$. This can be reasoned by the predominant northerly and southerly wind directions. Less than 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ were observed at the sampling points W2 and W3. These two sites seem to represent already the prevailing background concentration over the observational period in this area.

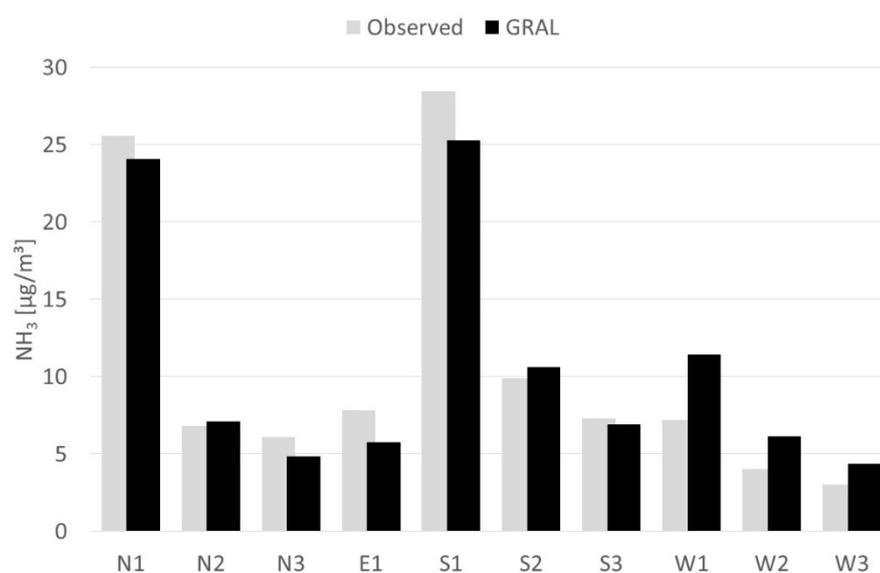


Figure 7. Comparison of observed and modelled ammonia concentrations for each sampling point averaged over the period from January to November 2021.

The meteorological conditions in this period did not differ significantly from the ones during the field inspections for odour. Dispersion modelling has been carried out in a similar way as for odour, while Equation (1) has been slightly amended to take the background ammonia concentrations B_{NH_3} into account:

$$MAB = \frac{1}{n} \sum_n |O_n - (M_n + B_{\text{NH}_3})| \quad (2)$$

Equation (2) has been applied using monthly mean ammonia concentrations. Furthermore, the background ammonia concentration was assumed to be horizontally homogenous for each month. This is likely a simplification of real conditions as other sources for ammonia emissions such as fattening piggeries in the surroundings or manure spreading may cause horizontally non-homogenous concentrations patterns. Nevertheless, very good agreement between observed and modelled ammonia concentrations (Figures 7 and 8) were found for an average emission factor of 0.07 kg h^{-1} and a background concentration for ammonia of 4.0 $\mu\text{g m}^{-3}$ over the entire period. The latter is in very good accordance with observed background concentrations in the region. In the period from April 2021 to April 2022 a mean background concentration of 3.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ was measured at six sampling sites, which were placed remote from any livestock buildings near the villages of St. Anna and Heimschuh, Styria (Austria). Both are within a distance of about 25 km of the study site and share the same characteristics regarding meteorology and agricultural activities.

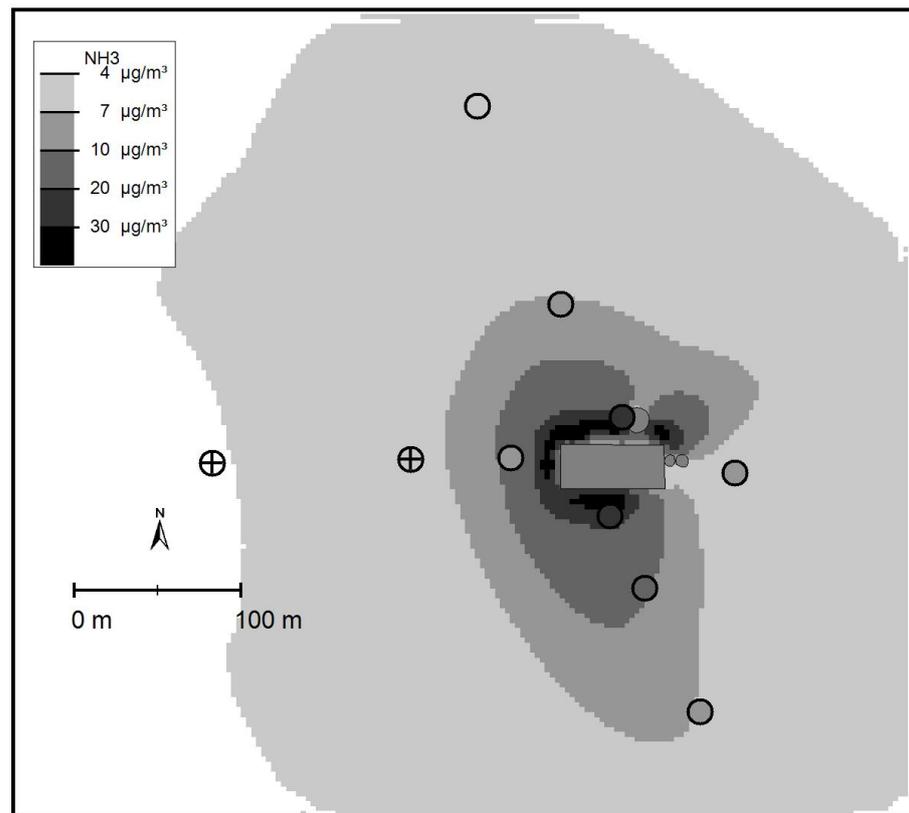


Figure 8. Simulated average ammonia concentrations with the Lagrangian particle model GRAL using an emission rate of 0.07 kg h^{-1} . Observed concentrations are depicted by the circles.

The calculated monthly mean background concentrations for ammonia by applying Equation (2) are shown in Figure 9. A clear seasonal variability with a maximum in spring and autumn is visible, which can be attributed most likely to enhanced manure spreading during these months.

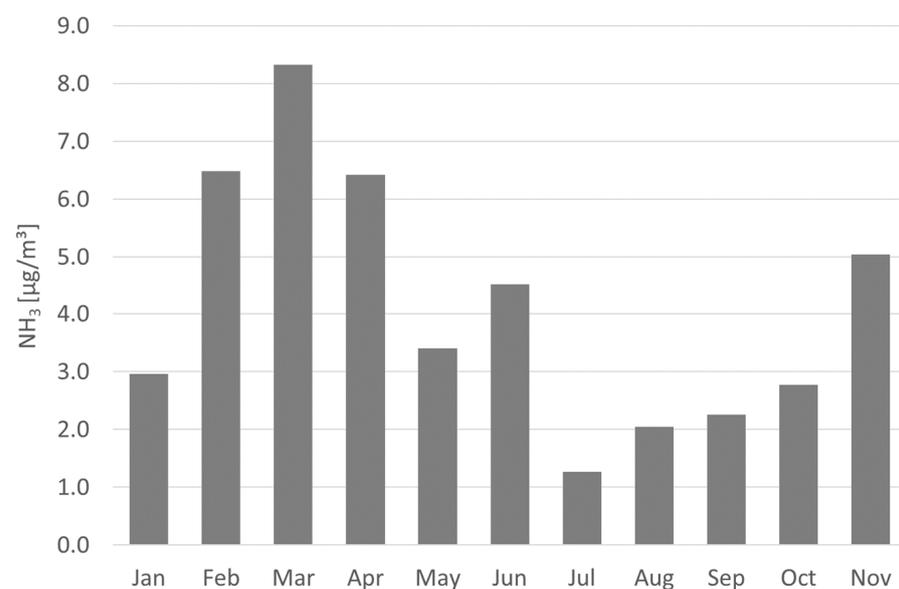


Figure 9. Derived background concentrations for ammonia on a monthly mean basis for the entire observational period from January to November 2021.

5. Discussion

The main drawbacks of the observational campaigns are that they were limited to a single fattening piggery and that the experimental layout did not allow for testing each mitigation technique separately. Therefore, it might be useful to compare the emission rates derived in this study with previously observed emission rates in fattening piggeries, where either none or only single mitigation techniques were implemented. This can give some more insight into the reduction potential of each mitigation technique.

Considering the average number and weight of the pigs over the investigation period (850 animals; average weight 75 kg) would give an odour-emission rate (OER) of $0.015 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ per animal place. This OER is about 95% lower compared to previously measured odour emissions in Styria in conventional fattening piggeries without the reduction measures outlined in chapter 2 [11,28]. Table 3 lists some OER observed in other countries. To allow a comparison of reported OER in the various studies an average weight of 75 kg (as in this study) for the fattening pigs was used to convert OER given in $\text{OU}_E \text{ animal}^{-1} \text{ s}^{-1}$ into $\text{OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Without any mitigation measures OER are mostly larger than $0.250 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$, except for the standard OER suggested by the VDI 3894-1 [5] of $0.100 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$, which does not compare well with OER from other countries as has already been discussed in [18]. Nevertheless, the reduction potential for protein-adjusted feeding is estimated to be 20% by the VDI 3894-1 [5]. Sun et al. [29] reported about 30% reduction in OER between fully and partly slatted floors in Canada. A quite low OER of $5.9 \text{ OU}_E \text{ animal s}^{-1}$ was found in the Netherlands for a combination of a partly slatted floor and a V-shaped manure belt [30].

Table 3. Comparison of published emission factors for fattening piggeries in the literature.

Study	Emission Factor [$\text{OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$]	Remarks	Country
This work	0.015	Separation liquid/solid excrements Protein-adjusted feeding Reduced excretion area Excretion area outside	Austria
Oettl et al. [11]	0.277	No reduction measures.	Austria
Mösenbacher et al. [28]	0.282	No reduction measures.	Austria
Sun et al. [29]	0.299	No reduction measures.	Canada
	0.212	Partly slatted floor.	
VDI 3894-1 [5]	0.100	No reduction measures.	Germany
Hayes et al. [31]	0.246	No reduction measures.	Ireland
Rzeźnik and Mielcarek-Bocheńska [32]	0.419	No reduction measures.	Poland
Calafat and Gallego-Salguero [33]	0.196	No reduction measures.	Spain
Ogink and Koerkamp [34]	0.299	No reduction measures.	Netherlands
	0.128	Restricted emitting surface.	
	0.144	Cooled surface of stored slurry.	
	0.145	Flushing system (twice daily)	
Santonja et al. [30]	0.079	V-shaped manure belts Partly slatted floor	Netherlands

It is worthwhile mentioning that the fattening piggery of this study had to undergo the obliged licencing procedure as any other livestock building in Styria. As the exact OER was not available at that time, the following OER was assumed in the odour assessment carried out for the authorities:

$$\text{OER} = 0.180 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \times 0.8 \text{ (protein-reduced feeding)} \times 0.8 \text{ (open shed)} \times 0.9 \text{ (cool pads)} \times 0.25 \text{ (separation of excrements and urine)} = 0.026 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

The reference OER of $0.180 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ as well as the reduction factors were taken from the Styrian guideline for estimating OER from animal husbandry as presented in [18]. As can be seen, the assumed reference OER and the reduction factors for each mitigation technique have already been in fair agreement with the OER derived in this work.

An average emission factor for ammonia of $0.73 \text{ kg}^{-1} \text{ a}^{-1}$ per animal place can be derived from this study. The EMEP/EEA (2019) emission inventory guidebook as well as the German guideline VDI 3894-1 [5] suggest an emission factor for fattening piggeries with slurry of $3.64 \text{ kg}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In comparison, the emission factor derived in this study is about 80% lower highlighting the effectiveness of the implemented reduction measures. Further emission rates of other studies are listed in Table 4. As for odour, strong reduction potentials were found for partly slatted floors and V-shaped manure belts [29,30].

Table 4. Comparison of published emission factors for fattening piggeries in the literature (AP = animal place).

Study	Emission Factor [kg AP ⁻¹ a ⁻¹]	Remarks	Country
This work	0.73	Separation liquid/solid excrements Protein-adjusted feeding Reduced excretion area Excretion area outside	Austria
Mösenbacher et al. [28]	3.26	No reduction measures.	Austria
Sun et al. [29]	5.68	No reduction measures.	Canada
	3.79	Partly slatted floor.	
VDI 3894-1 [5]	3.64	No reduction measures.	Germany
Hayes et al. [31]	3.66	No reduction measures.	Ireland
Santonja et al. [30]	1.05	V-shaped manure belts Partly slatted floor	Netherlands

6. Conclusions

The study reveals that the placement of a V-shaped scraper in combination with a pit for efficiently separating the liquid excrements from the solid ones, a protein-reduced feeding adjusted for the actual growing rate of the pigs, and a reduced area for dunging successfully minimizes the emissions of ammonia and odour from fattening piggeries. The climate conditions prevailing in Austria characterised by very low ambient-air temperatures in wintertime (e.g., the mean winter temperature in the southeast lowlands of Styria over the period of 1981–2010 is approximately 0 °C) help also in reducing emissions when the dunging area is placed outside of the livestock building. Consequently, using the emission factors of this work in different climate conditions requires careful examination about possible influences of ambient air temperatures and possibly wind speeds as well, due to the impact on evaporation fluxes.

Taking the emission factor from the EMEP/EEA [35] for fattening pigs with slurry as reference, a reduction potential of 80% was found for ammonia. Unfortunately, the methodology does not allow for estimating the reduction potentials for each mitigation technique separately. In the future, additional studies at other fattening piggeries will certainly be necessary for confirming the obtained results and for discriminating the reduction potential for each abatement technique. For instance, [29] found about 35% lower ammonia emissions for partly slatted floors compared to fully slatted floors in a fattening piggery in Canada.

It is worthwhile mentioning that an odour-emission factor of $0.02 \text{ OU}_E \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$, derived in a study carried out in the region of Upper Austria at a similar fattening piggery [36]

using dynamic field inspections and dispersion modelling, is in good agreement with the corresponding emission factor found in this work.

Though odour emissions were found to be on a comparably low level, care must be taken in odour assessment studies for regulatory purposes as emissions are emitted close to the surface. In this study, the maximum setback distance in main wind direction (towards south) would be 170 m based on the corresponding limit value of 20% odour-hours, which is prescribed for rural villages in many regions in Austria [18].

Ultimately, there does not seem to be a trade-off between techniques supporting animal welfare and methods for reducing ammonia and odour emissions in fattening piggeries.

Author Contributions: Conceptualization, D.O.; Methodology, D.O.; Investigation, R.M., A.Z., H.O. and M.K.; Project Administration, E.Z.; Simulations, D.O.; Writing—Original Draft Preparation, D.O.; Writing—Review and Editing, H.O., M.K.; Funding Acquisition, E.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This project received funding from the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) under grant Nr. LE 14–20, and the Austrian Federal Ministry for Agriculture, Regions and Tourism.

Institutional Review Board Statement: Ethical review and approval were waived for this study, due to the fact that there exists a national Austrian law strictly regulating animal husbandry (1. Tierschutzverordnung, BGBl. II Nr. 485/2004).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data reported in this study is available on request from the authors.

Acknowledgments: We would like to express our gratefulness to the owners of the fattening piggery Josef and Christine Neuhold for their support (e.g., catering with home-made products) while carrying out the study.

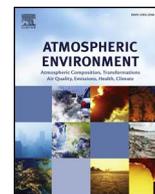
Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. European Commission (EC). Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. *Off. J. Eur. Union* **2016**, *59*, 1–31.
2. European Environmental Agency (EEA). *European Union Emission Inventory Report 1990–2020 under the UNECE Air Convention*; Rep. No 03/2022; European Environmental Agency: Copenhagen, Denmark, 2022; 170p.
3. Hooiveld, M.; van Dijk, C.; van der Sman-de Beer, F.; Smit, L.A.M.; Vogelaar, M.; Wouters, I.M.; Heederik, D.J.; Yzermans, C.J. Odour annoyance in the neighbourhood of livestock farming—Perceived health and health care seeking behaviour. *Ann. Agric. Environ. Med.* **2015**, *22*, 55–61. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Loussouarn, A.; Lagadec, S.; Robin, P.; Hassouna, M. V-shaped scraper: Environmental and technical assessment for seven years in the Guernévez experimental farm. *J. Rech. Porc.* **2014**, *46*, 199–204.
5. VDI 3894-1; Emissions and Immissions from Animal Husbandries. Housing Systems and Emissions. Pigs, Cattle, Poultry, Horses. German Engineering Association VDI: Düsseldorf, Germany, 2011; 84p.
6. Flesch, T.K.; Harper, L.A.; Powell, J.M.; Wilsdon, J.D. Inverse-Dispersion Calculation of Ammonia Emissions from Wisconsin Dairy Farms. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* **2009**, *52*, 253–265.
7. Puchalski, M.A.; Sather, M.E.; Walker, J.T.; Lehmann, C.M.B.; Gay, D.A.; Mathewe, J.; Robargef, W.P. Passive ammonia monitoring in the United States: Comparing three different sampling devices. *J. Environ. Monit.* **2011**, *13*, 3156–3167. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. VDI 3869-4; Measurement of Ammonia in Ambient Air—Sampling with Diffusive Samplers—Photometric or Ion Chromatographic Analysis. German Engineering Association VDI: Düsseldorf, Germany, 2012; 38p.
9. VDI 3788-1; Environmental Meteorology—Dispersion of Odorants in the Atmosphere—Fundamentals. German Engineering Association VDI: Düsseldorf, Germany, 2000; 25p.
10. Janicke, L.; Janicke, U. *Development of the Dispersion Model AUSTAL2000G*; Berichte zur Umweltphysik, 5; Ingenieurbüro Janicke: Dunum, Germany, 2004; 122p. Available online: <http://www.janicke.de/data/bzu/bzu-005-02.pdf> (accessed on 22 November 2022).
11. Oettl, D.; Kropsch, M.; Mandl, M. Odour assessment in the vicinity of a pig-fattening farm using field inspections (EN 16841-1) and dispersion modelling. *Atmos. Environ.* **2018**, *181*, 54–60. [[CrossRef](#)]
12. Oettl, D. *Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL Vs. 20.1*; Amt d. Stmk. Landesregierung: Graz, Austria, 2020; 208p. Available online: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/12894598/2222407/> (accessed on 24 October 2022).

13. Oettl, D.; Ferrero, E. A simple model to assess odour hours for regulatory purposes. *Atmos. Environ.* **2017**, *155*, 162–173. [[CrossRef](#)]
14. Brancher, M.; Hieden, A.; Baumann-Stanzer, K.; Schaubberger, G.; Piringner, M. Performance evaluation of approaches to predict sub-hourly peak odour concentrations. *Atmos. Environ. X* **2020**, *7*, 100076. [[CrossRef](#)]
15. Oettl, D.; Goulart, A.; Degrazia, G.; Anfossi, D. A new hypothesis on meandering atmospheric flows in low wind speed conditions. *Atmos. Environ.* **2005**, *39*, 1739–1748. [[CrossRef](#)]
16. Oettl, D. Quality assurance of the prognostic, microscale wind-field model GRAL 14.8 using wind-tunnel data provided by the German VDI guideline 3783-9. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* **2015**, *142*, 104–110. [[CrossRef](#)]
17. Oettl, D. Evaluation of the revised Lagrangian particle model GRAL against wind-tunnel and field experiments in the presence of obstacles. *Bound. Layer Meteorol.* **2015**, *155*, 271–287. [[CrossRef](#)]
18. Oettl, D.; Ferrero, E.; Moshhammer, H.; Weitensfelder, L.; Kropsch, M.; Mandl, M. Recent developments in odour modelling and assessment in five provinces in Austria. *Air Qual Atmos. Health* **2022**, *15*, 1647–1657. [[CrossRef](#)]
19. Chang, J.C.; Hanna, S.R. Air quality model performance evaluation. *Meteorol. Atmos. Phys.* **2004**, *87*, 167–196. [[CrossRef](#)]
20. Bächlin, W.; Rühling, A.; Lohmeyer, A. *Bereitstellung von Validierungsdaten für Geruchsausbreitungsmodelle—Naturmessungen*; Ingenieurbüro Lohmeyer: Karlsruhe, Germany, 2003; 187p. Available online: <http://www.lohmeyer.de/de/system/files/content/download/publikationen/1408bericht.pdf> (accessed on 19 October 2022).
21. *EN 16841-1*; Ambient Air—Determination of Odour in Ambient Air by Using Field Inspection—Part 1: Grid Method. Draft Version; European Standard (EN): Vienna, Austria, 2016; 53p.
22. *EN 13725*; Air Quality—Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. European Standard (EN): Vienna, Austria, 2003; 71p.
23. Grawe, D.; Schlünzen, K.H.; Pascheke, F. Comparison of results of an obstacle resolving microscale model with wind tunnel data. *Atmos. Environ.* **2013**, *79*, 495–509. [[CrossRef](#)]
24. US-EPA. *Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications*; EPA-454/R-99-005; Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, NC, USA, 2000; 171p.
25. *VDI 3783-8*; Environmental Meteorology—Turbulence Parameters for Dispersion Models Supported by Measurement Data. German Engineering Association VDI: Düsseldorf, Germany, 2012; 70p.
26. *ON M9440*; Dispersion of Pollutants in the Atmosphere—Calculation of Ambient Air Concentrations. Austrian Standards: Vienna, Austria, 2019; 22p.
27. *VDI 3940-1*; Measurement of Odour Impact by Field Inspection—Measurement of the Impact Frequency of Recognizable Odours—Grid Measurement. German Engineering Association VDI: Düsseldorf, Germany, 2006; 29p.
28. Mösenbacher, I.; Huber, G.; Gasteiner, J.; Bachler, C.; Mayer, M.; Zainer, J.; Brettschuh, S.; Rudorfer, B.; Schauer, A.; Kitzler, R.; et al. *Untersuchung eines Futtermittelzusatzes im Hinblick auf Emissionsminderung und Leistungsdaten unter Berücksichtigung der IEP (IPPC)-Richtlinie (Investigation of a Fodder Supplement with Respect to Lowering Emissions and Animal Growth in the Frame of the IPPC Directive)*; Rep. Nr. 3594; HBLFA Raumberg-Gumpenstein: Irdning, Austria, 2011; 32p.
29. Sun, G.; Guo, H.; Peterson, J. Seasonal Odor, Ammonia, Hydrogen Sulfide, and Carbon Dioxide Concentrations and Emissions from Swine Grower-Finisher Rooms. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2010**, *60*, 471–480. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Santonja, G.G.; Georgitzikis, K.; Scalet, B.M.; Montobbio, P.; Roudier, S.; Sancho, L.D. *JRC Science for Policy Report. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU*; Rep. EUR 28674-EN; EU Publications: Luxembourg, 2017; 898p. [[CrossRef](#)]
31. Hayes, E.T.; Curran, T.P.; Dodd, V.A. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. *Bioresour. Technol.* **2006**, *97*, 933–939. [[CrossRef](#)]
32. Rzeźnik, W.; Mielcarek-Bocheńska, P. Odour Emissions from Livestock Buildings. *Atmosphere* **2022**, *13*, 254. [[CrossRef](#)]
33. Calafat, C.; Gallego-Salguero, A. Livestock odour dispersion and its implications for rural tourism: Case study of Valencian Community (Spain). *Span. J. Agric. Res.* **2020**, *18*, e0106. [[CrossRef](#)]
34. Ogink, N.W.M.; Groot Koerkamp, P.W.G. Comparison of odour emissions from animal housing systems with low ammonia emission. *Water Sci. Technol.* **2001**, *43*, 245–252. [[CrossRef](#)]
35. EMEP/EEA. *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019*; Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories. Rep. No 13/2019; European Environmental Agency: Copenhagen, Denmark, 2019. Available online: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (accessed on 11 October 2022).
36. TÜV Austria. *Geruchsbegehungen und Ausbreitungsrechnungen am Außenklima-Schweinestall Langdorf 3, 4714 Meggenhofen*; Bericht Nr. 17-IN-AT-UW-WE-EX-267; TÜV Austria: Vienna, Austria, 2018; 97p.

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Odour assessment in the vicinity of a pig-fattening farm using field inspections (EN 16841-1) and dispersion modelling

Dietmar Oettl^{a,*}, Michael Kropsch^b, Michael Mandl^c

^a Air Quality Control, Government of Styria, Landhausgasse 7, 8010, Graz, Austria

^b Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Agricultural Research and Education Center Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, 8952, Irdning, Austria

^c Chemistry and Environment, Government of Salzburg, Michael-Pacher-Straße 36, 5020, Salzburg, Austria

ARTICLE INFO

Keywords:

Odour
Field inspections
EN 16841-1
GRAL
Odour-hour assessment
Concentration-variance model

ABSTRACT

The assessment of odour annoyance varies vastly among countries even within the European Union. Using so-called odour-hour frequencies offers the distinct possibility for either applying dispersion models or field inspections, both generally assumed to be equivalent. In this study, odour-hours based on field inspections according to the European standard EN 16841-1 (2017) in the vicinity of a pig-fattening farm have been compared with modelled ones using the Lagrangian particle model GRAL, which uses odour-concentration variances for computing odour hours as recently proposed by Oettl and Ferrero (2017). Using a threshold of 1 ou m^{-3} ($\text{ou} = \text{odour units}$) for triggering odour hours in the model, as prescribed by the German guideline for odour assessment, led to reasonable agreements between the two different methodologies. It is pointed out that the individual odour sensitivity of qualified panel members, who carry out field inspections, is of crucial importance for selecting a proper odour-hour model. Statistical analysis of a large number of data stemming from dynamic olfactometry (EN 13725, 2003), that cover a wide range of odorants, suggests that the prescribed method in Germany for modelling odour hours may likely result in an overestimation, and hence, equivalence with field inspections is not given. The dataset is freely available on request.

1. Introduction

In 2017 a new European standard has been issued (EN 16841-1) providing a method for assessing so-called odour hours by field inspections, whereby an odour hour is defined by at least 6 min of detectable odour concentrations. One aspect of the study presented herein was to test the practicability of this new European standard for regulatory purposes.

Only in a few European countries odour-hour frequencies are the standard assessment method (Brancher et al., 2017). In most countries (e.g. Belgium, Netherlands, Ireland, France, UK) the 98th percentile of hourly-averaged odour concentrations over an entire year is utilized. It has to be said that dispersion modelling is the only method that can be used for assessing 98th percentiles. Modelling, though, is limited to cases, where odour emissions are well known with regard to their strengths, locations and types (e.g. point, diffusive) of release. The concept of odour-hours (applied for instance in Germany, Lombardy, and Austria) allows for both field inspections (EN 16841-1) and dispersion modelling (not regulated at European level by now). Therefore, another objective of this work was to examine whether, and under

which conditions, dispersion modelling provides equivalent results to field inspections. It should be recalled that dispersion models typically provide mean concentrations for an averaging time of one hour, owned to their inherent turbulence parameterizations. However, modelling odour hours requires the determination of the 90th percentile (corresponding with 6 min of perceivable odour within one hour) of the corresponding cumulative frequency distribution of odour concentrations. Often the 90th percentile is normalized by the hourly-mean concentration by defining $R_{90} = C_{90}/\bar{C}$, where \bar{C} is the hourly-mean odour concentration, and C_{90} the 90th percentile. Various approaches can be found in literature for calculating R_{90} . In Germany, the regulatory odour dispersion model AUSTAL2000G (GOAA, 2008) uses the simple relationship $R_{90} = 4$, which is based on the work of Janicke and Janicke (2004). Piringer et al. (2016) use an empirical approach for assessing R_{90} , which depends on atmospheric turbulence and the distance to a (point) source. Recently, Oettl and Ferrero (2017) developed a model for R_{90} , which is based on the concentration-variance distribution. Both the German approach and the one of Oettl and Ferrero (2017) have been implemented in the Lagrangian particle model GRAL (Oettl, 2017a), which is used in this work for comparison purposes with

* Corresponding author.

E-mail addresses: dietmar.oettl@stmk.gv.at (D. Oettl), michael.kropsch@raumberg-gumpenstein.at (M. Kropsch), michael.mandl@salzburg.gv.at (M. Mandl).

field inspections that have been carried out in the vicinity of a pig-fattening shed in Styria, Austria.

Another important issue dealt with in this study concerns the odour concentration above which odour can be perceived and recognized by qualified panellists during field inspections. By definition, an odour concentration of 1 ou m^{-3} ($\text{ou} = \text{odour unit}$) can be detected by 50% of a qualified panel of observers working in an odour-free laboratory using odour-free air as the zero reference. In real world, background odour concentrations from other sources than the one investigated and fast adaptation of the human nose, when continuously exposed to the same type of odour, may increase the threshold above which odour can finally be detected. The recognition threshold is generally assumed to be $1\text{--}5 \text{ ou m}^{-3}$ depending on the type of odour (van Harreveld and Jones, 2001). Clearly, the odour-concentration threshold used in dispersion modelling when assessing odour hours has a large impact on resulting odour-hour frequencies. In Germany, a threshold of 1 ou m^{-3} is applied for C_{90} and it is stated in GOAA (2008) that in combination with $R_{90} = 4$ modelled odour-hour frequencies are equivalent with odour-hours deduced from field inspections, i.e. EN 16841-1. However, several presentations given at the VDI conference in Karlsruhe, Germany, in 2015 revealed large discrepancies between observed and modelled odour-hour frequencies (e.g. Grotz and Zimmermann, 2015; Hartmann and Borcherdig, 2015; Oetl and Oitzl, 2015). Therefore, another objective of this study was whether setting a threshold of 1 ou m^{-3} is suitable for odour-hour modelling or not.

In the following, the experimental layout, the methods applied for the field inspections and the modelling are outlined in detail.

2. Description of odour-assessment methods

2.1. Field inspections

The European standard for field inspections EN 16841-1 requires at least a pool of eight panel members qualified according to EN 13725. Thereby, each participant must be able to detect a reference odorant (*n*-butanol) within a prescribed concentration range (20–80 ppb in case of *n*-butanol), which is calculated as an average over at least 10 and not exceeding 20 tests. In addition, the standard deviation needs to be below 2.3. Fig. 1 depicts the results of all candidates taken part in the study. Only 15 persons out of 23 tested, fulfilled the criteria set up by EN 13725 (2003), which are indicated by the grey rectangle. The large scatter visible in Fig. 1 indicates the usefulness of the selection procedure prescribed in EN 13725, as some of the candidates were not able to perceive the reference odorant adequately. Nevertheless, it becomes clear that a large pool of candidates is necessary for performing field inspections, which indeed can be very challenging for regulatory odour assessments.

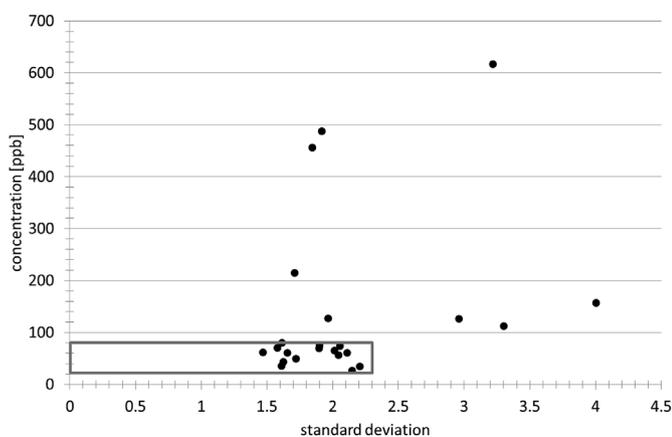


Fig. 1. Results of the dynamic olfactometry according to EN 13725 using *n*-butanol for each candidate participating in this study.

The field inspections started on 1 February and ended on 31 July 2017. A total of 52 observations were carried out at each one of the twelve measurement points (Fig. 2). An odour-hour is defined in EN 16841-1 by at least 6 odour detections during a 10 min sniffing time. Basically, the EN 16841-1 foresees the evaluation of odour-hour frequencies on a more or less rectangular grid by averaging four observations at the corners to get a mean value for the area in between, though, it allows for an evaluation of odour-hour frequencies at single points, too. As already outlined in the introduction, one objective of this study has been the comparison with dispersion modelling. Comparing simulations with observations at single points is stricter than it would be for averaged grid concentrations, as it requires a model to properly represent spatial concentration gradients more accurately. Typically, concentrations are quite non-homogenous, specifically in the very vicinity of sources and buildings, but often conflicts due to odour annoyance arise among neighbours living closely-spaced.

The maximum number of observational points assessed by a panellist during the field inspection is limited to 12 according to EN 16841-1. As the sniffing time at each point is 10 min, it took about 2.5–3 h to carry out the field inspection in our case, where the maximum number of observational points was chosen. Surveys have to be distributed evenly over the days, hours, and panellists (Table 1), which required a lot of planning in particular in case of illnesses or other unforeseeable events preventing a field inspection at a scheduled date and time. Inspections in winter time, between midnight and the early morning hours, and on weekends were naturally irksome. Unfortunately, there is no exception foreseen in the EN 16841-1 for skipping field inspections on weekends. From the meteorological point of view there is clearly no need to include weekends, unless the odour release is different on weekends than on working days. For instance, most agricultural odour sources are not varying with weekday, hence, it would improve the practicability of field inspections a lot, if inspections on weekends could be shifted and evenly distributed over the working days.

The experimental set up is illustrated in Fig. 2. Field inspections took place in the vicinity of a pig-fattening shed with a total of 1225 pigs on average. The mean weight of the pigs was 65 kg over the entire period as each compartment was charged on different times with piglets. The air sucked off from each compartment is collected in one channel and finally released via six chimneys (each 0.8 m in diameter) 8.5 m above ground level and 1.5 m above the roof top (gable roof). Next to the shed is an open manure storage tank 17 m in diameter, which had to be taken into account in the dispersion modelling, too.

The positions of the observational points were determined on the bases of expected main wind directions, evaluated a couple of weeks before the beginning of the field campaign using locally observed wind data. A few points were placed very close to the odour sources (P1 was in less than 10 m distance from the shed) and some were situated at larger distances (P9 was more than 300 m away from the shed) to enable subsequent model evaluations for the near and far field, respectively.

Apart from a small hill southeast of the shed rising approx. 40 m above the valley floor, the area is almost perfectly flat. A small river, accompanied on both sides by bushes and trees up to about 10 m, traverses the area north of the shed in west – east direction.

2.2. Dispersion modelling

For the simulations performed within this study the GRAL 17.9 model was applied. A comprehensive description of the model as well as its evaluation can be found in Oetl (2017a). The model is freely available (<http://lampx.tugraz.at/~gral/>) and consists of a prognostic microscale flow-field module to account for obstacles and a Lagrangian particle model for the dispersion of non-reactive pollutants. Both modules have been extensively tested and evaluated (e.g. Berchet et al., 2017a,b; Rollings, 2017; Manansala, 2017; Oetl, 2015a,b,c; Oetl,

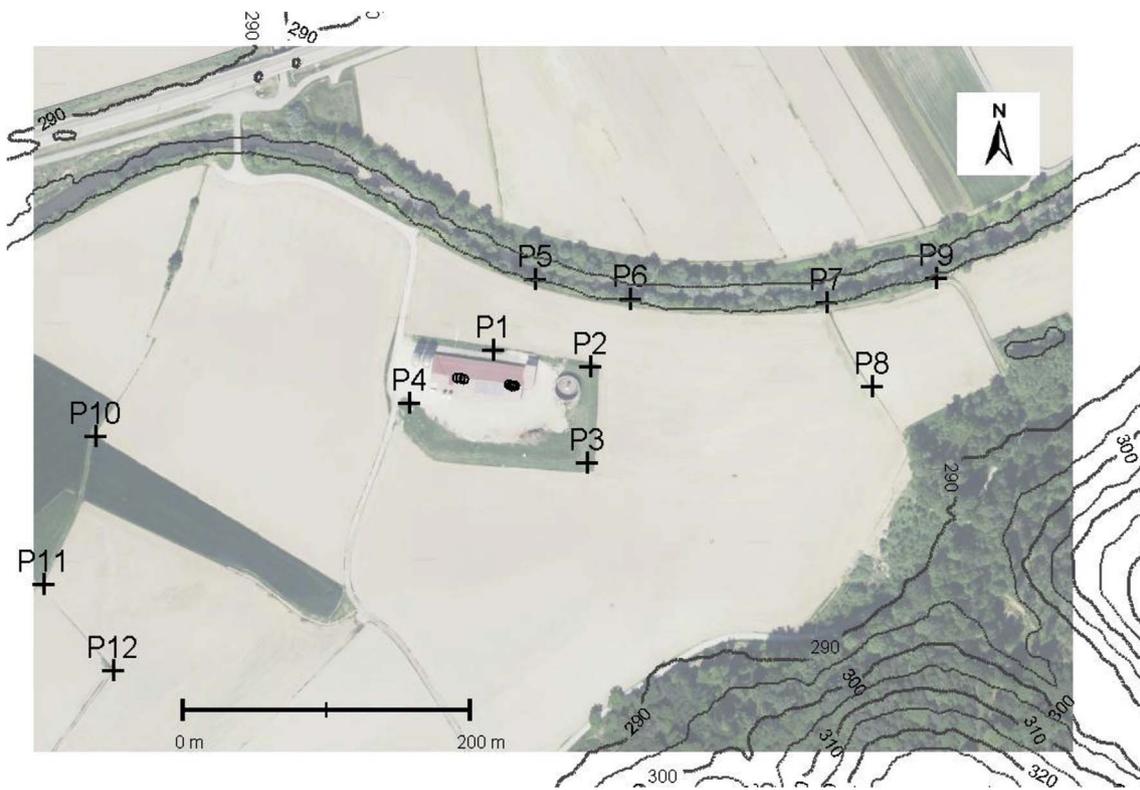


Fig. 2. Aerial view of the pig farm. The observational points for the field inspections are indicated by crosses. 5 m isopleths depict topography.

Table 1
Sampling frequencies separated for staff, weekday, and the start time of sampling.

Staff	Samples	Day	Samples	Time	Samples
OED	4	Monday	7	0 a.m.	4
KOW	5	Tuesday	7	2 a.m.	4
TAM	5	Wednesday	8	4 a.m.	4
MAM	4	Thursday	8	6 a.m.	4
VOD	4	Friday	7	8 a.m.	4
INM	4	Saturday	7	10 a.m.	5
KAA	4	Sunday	8	12 a.m.	5
SCA	4			2 p.m.	5
KOC	4			4 p.m.	4
ROA	5			6 p.m.	5
LED	4			8 p.m.	4
NIP	5			10 p.m.	4
Total	52		52		52

2017a). In the frame of this work the way the GRAL model computes odour-hours is of major interest. In contrast to the German (GOAA, 2008) factor-4-model ($R_{90} = 4$), Oettl and Ferrero (2017) developed a new technique for computing odour-hours, which has been implemented in the latest GRAL version 17.9. They derived a simplified equation for computing the concentration variance:

$$\frac{\partial \overline{c'^2}}{\partial t} = 2\sigma_{ui}^2 T_{Li} \left(\frac{\partial \overline{C}}{\partial x_i} \right)^2 - \frac{\overline{c'^2}}{t_d} \quad (1)$$

In eq. (1) $\overline{c'^2}$ is the concentration variance, \overline{C} is the average concentration, σ_{ui}^2 are the variances of wind speed fluctuations, and T_{Li} are the Lagrangian time scales. The proper determination of the dissipation time scale t_d is still an open matter of research. In this work we set $t_d = 2 T_{L3}$, which has been proposed in Oettl and Ferrero (2017). Hereby, T_{L3} is the Lagrangian time scale in vertical direction. T_{Li} and σ_{ui}^2 are dependent on the height above ground and atmospheric stability. For further details on the meteorological pre-processor the reader is referred to the GRAL documentation (Oettl, 2017a).

Once $\overline{c'^2}$ is computed by eq. (1), the concentration intensity $i = \overline{c'}/\overline{C}$ is utilized for subsequently calculating R_{90} :

$$R_{90} = \text{Max} \left\{ 1.5 \frac{(-\ln 0.1)^{1/k}}{\lambda \overline{C}}, 1.5 \right\} \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{i^{1.086}} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1 + 1/k)}{\overline{C}} \quad (4)$$

$$p(c) = \lambda k (\lambda c)^{k-1} e^{-(\lambda c)^k} \quad (5)$$

In eqs. (2)–(5) λ and k are the scale and shape parameters of the Weibull probability density function (pdf) (eq. (5)), and $\Gamma()$ is the Gamma function. As can be seen in eq. (2), the minimum value for R_{90} is 1.5 in the GRAL model to ensure conservativeness, as the model is frequently used for regulatory purposes in several countries.

Locally observed wind speeds and directions at a height of 7 m above ground level were used for the model simulations. A three-dimensional sonic anemometer was set up close to observational point P3 (Fig. 2). The average wind-direction frequencies are shown in Fig. 3. During night time winds from south west prevail, while during daytime wind directions shift mainly to northeast.

GRAL requires turbulence information, which has been provided by stability classes derived as proposed in the GRAL recommendation guide (Oettl, 2017b). In 28% of the time convective conditions prevailed, neutral conditions made up 23%, and stable conditions were found in 49% of the time. Therefore, during night time quite low wind speeds and stable conditions occurred influencing the odour dispersion towards northeast (P1, P2, and P5 – P9). During day time convective conditions accompanied by significantly higher wind speeds composed the dispersion conditions for the observational points P4, and P10 – P12. Note, that point P3 was placed outside of the main plume trajectories. These marked differences allow for evaluating dispersion models

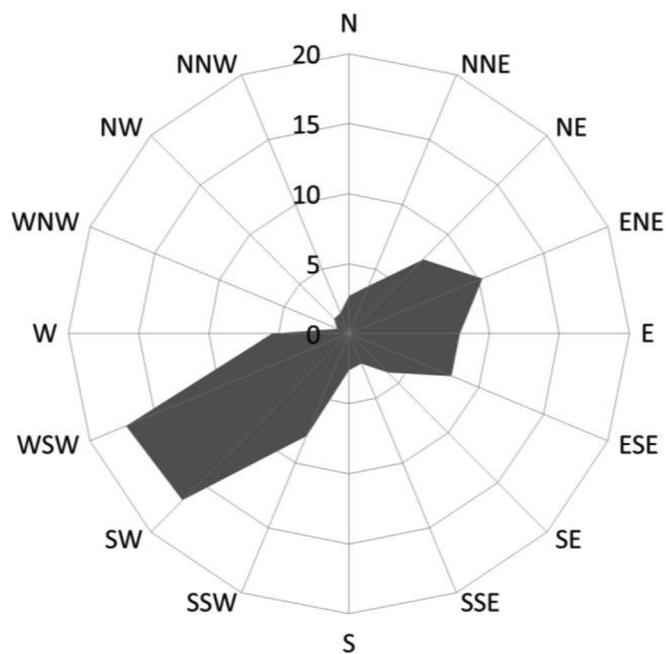


Fig. 3. Observed average wind-direction frequencies over the period of the field inspections (1 Feb – 31 Jul 2017).

with regard to their ability to account for these varying dispersion conditions.

3. Results

3.1. Emission rates and sensitivity functions

Table 2 lists the results of olfactometric observations on five different days during the field campaign. Samples were taken at the 6 chimneys and analysed using dynamic olfactometry following the prescribed procedure in EN 13725. In principle, a dynamic olfactometer mixes odourless air with the odour sample in specified ratio by flowrate and delivers mixture to panellists. The dilutions are presented in decreasing order until odour is detected. In this way, odour concentrations of samples are obtained in ou m^{-3} .

Listed odour-emission concentrations represent mean values of the samples taken at each chimney. The average odour concentration for a single sample (one chimney) consisted of three repeated olfactometric measurements by four qualified panel members. Hence, each odour concentration listed in the second column in Table 2 is made up of 72 concentration values.

For the dispersion modelling the overall average emission rate of $22,060 \text{ ou s}^{-1}$ was applied for the pig-fattening shed. Interestingly, the observed emission factor per animal place of $0.277 \text{ ou kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ animal}^{-1}$ is much higher than $0.1 \text{ ou kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ animal}^{-1}$, which is

Table 2
Olfactometric measurements at the pig-fattening shed and corresponding calculated emission factors.

Date	Emission [OU m ⁻³]	Flow rate [m ³ h ⁻¹]	Mean animal weight [kg]	Number of animals	Emission factor [ou kg ⁻¹ s ⁻¹ animal ⁻¹]
28.03.2017	1727	36072	65	1216	0.219
02.05.2017	3565	39262	65	1176	0.509
06.06.2017	914	44516	65	1149	0.151
03.07.2017	1177	56017	65	1266	0.223
31.07.2017	1117	78905	65	1319	0.286
Average				1225	0.277

suggested by VDI 3894-1 (2011). The reason is not quite clear at the moment, but it might be a consequence of the fact, that the shed is heated in winter time by a chip-wood vessel. Thus, indoor temperatures are probably higher during the cold season compared to typically non-heated pig-fattening sheds. Odour emissions from the open manure storage east of the shed were calculated using VDI 3894-1 (2011), which results in an emission rate of 1624 ou s^{-1} .

Some more words about the computation of odour-hours are necessary at this stage. According to VDI 3788 the correct calculation of odour-hours is carried out by taking into account the individual odour sensitivity of qualified panel members, which is usually approximated by a log-normal distribution (Janicke and Janicke, 2004)

$$P_0(c) = 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln\left(\frac{c}{c_{OT}}\right)}{\sqrt{2}\alpha} \right) \right], \tag{6}$$

with erf being the error function, c the odour concentration, c_{OT} the odour concentration detected by 50% of qualified panel members, and α a scale parameter. Hence, $P_0(c)$ describes the fraction of qualified panel members, which are able to detect a certain odour concentration. In this way, an odour hour can be defined more precisely by computing

$$\kappa = \int_0^\infty P_0(c)f(c)dc, \tag{7}$$

whereby $f(c)$ is the pdf of odour concentrations at some observational point of one hour. An odour hour is defined by $\kappa \geq 0.9$, i.e. in 10% of the time odour will be detected by the qualified panellists. We define c_{OH} as the odour-concentration threshold that just triggers an odour hour defined in this way. As demonstrated by Janicke and Janicke (2004), the value of α in eq. (6) is crucial when determining c_{OH} . In the following analysis two different odour-concentration pdfs for $f(c)$ are used to show the effect of different values of α on c_{OH} . The first one is a Weibull distribution (eq. (5)) using a large value for the shape parameter k , and the second one is an exponential pdf obtained by setting $k = 1$ in the Weibull pdf (Fig. 4). With increasing values of k the distribution function becomes more peaked, which corresponds to a low odour-concentration variance at a certain point in space. Such distributions can be expected at large distances from odour sources, or whenever odour plumes overlap. An exponential shape is rather typical for plumes from single sources in the near field from emission sources. Using eq. (2) for computing R_{90} , as done in the GRAL model, gives 1.9 and 3.4, respectively (see Table 3).

In the last three columns in Table 3 calculated ratios of c_{OH}/\bar{c} for different values of α using eq. (7) are listed. It can be seen that for large values of α a ratio close to 4 is obtained, independent on the shape of the concentration pdf. This is the reason, why the prescribed method in

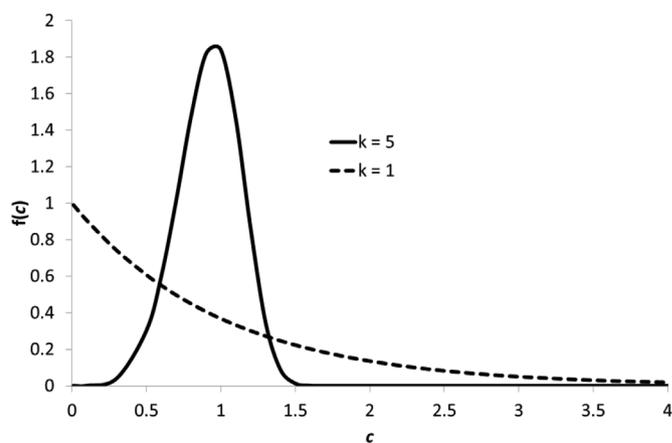


Fig. 4. Examples for two Weibull probability density functions representing odour-concentrations with low ($k = 5$) and medium variance ($k = 1$).

Table 3

R_{90} computed using eq. (2) for two chosen Weibull distributions. In addition, corresponding ratios for c_{OH}/\bar{C} triggering an odour hour according to eq. (7) are listed. The different values for α correspond to the ability of qualified panellists to detect a specific odorant according to eq. (6).

	R_{90}	c_{OH}/\bar{C}		
		GRAL (eq. (2))	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,6$
Very homogenous concentration distribution ($k = 5$)	1,9	1,6	2,2	3,6
Exponential concentration distribution ($k = 1$)	3,4	2,6	3,0	4,0

Germany is based on $R_{90} = 4$. Having said this, for lower values of α the shape of the concentration pdf has a much stronger influence on c_{OH}/\bar{C} . In such situations it becomes much more important to use modelling techniques, which are able to account for different shapes of the concentration pdf.

The value of α can be determined by means of dynamic olfactometry. In the following, we used the measurements carried out at the chimneys for calculating α by means of two different estimators valid for log-normal distributions:

$$\alpha_1 = 0.5 \ln\left(\frac{c_{84}}{c_{16}}\right) \tag{8}$$

$$\alpha_2 = 2 \sqrt{\left| \ln\left(\frac{\bar{C}}{C_{50}}\right) \right|} \tag{9}$$

Due to the fact that discrete odour concentration samples will not perfectly fit the assumed log-normal distribution, α_1 and α_2 do not necessarily need to be equal. Estimated values are listed in Table 4 for each sampling day, and resulting median and average values are provided, too. Regardless the method, average and median values are clearly well below 1.0.

Apart from our own measurements, further 1351 samples stemming from an olfactometric data base provided by the municipality of Linz (Binder, 2017), Austria, have been used to compute α using eq. (8). The data base covers a wide range of different odorants (e.g. waste, agriculture, industry) and is therefore very useful for model developers. The calculated median was found to be 0.62, and the standard deviation is 0.25. As can be seen from Table 3, values for c_{OH}/\bar{C} for $\alpha \approx 0.6$ are significantly lower than 4.0. Therefore, using $R_{90} = 4$ will lead to conservative estimates when computing odour-hours frequencies in the majority of cases. In contrast, R_{90} computed with the GRAL model accidentally are in much better agreement with c_{OH}/\bar{C} in case $\alpha \approx 0.6$. Hence, one may expect, if the dispersion module does not introduce significant errors when computing \bar{C} , that using $R_{90} = 4$ will lead to an overestimation of odour-hour frequencies, while the way R_{90} and odour hours computed with the GRAL model should provide better agreements with odour hours obtained by field inspections according to EN 16841-1.

Table 4

Calculated shape parameters for the perception function $P_0(c)$ assuming a log-normal probability density function based on dynamic olfactometry carried out at the stacks of the pig-fattening shed.

Date	α_1	α_2
28.3.	0.68	0.26
2.5.	0.68	0.95
6.6.	0.70	0.97
3.7.	0.66	0.25
31.7.	1.01	0.25
Mean	0.75	0.53
Median	0.68	0.26

Table 5

Median values for the ratio of maximum concentration and 90th percentile as observed during different field campaigns in the U.S. (Finn et al., 2010, 2015).

	Joint Urban 03	Sagebrush-I
datapoints	162	38
C_{max}/C_{90}	1.8	5.3

3.2. Observed and modelled odour-hour frequencies

A final point that should briefly be touched concerns the threshold odour concentration set in a model for C_{90} . As already mentioned in the introduction, it is generally assumed that, depending on the type of odorant, the detection limit should be somewhere between 1 and 5 ou m^{-3} (van Harreveld and Jones, 2001). By definition, 10% of the odour concentrations are higher than C_{90} , thus, setting $C_{90} \geq 1 \text{ ou m}^{-3}$ in odour-hour modelling implicates that peak concentrations need to be somewhat higher. In order to get an idea about the ratio of C_{max}/C_{90} , measurements of concentration fluctuations during the comprehensive Joint Urban 2003 and Sagebrush-I field campaigns (Finn et al., 2010, 2015) have been analysed with this regard. Calculated values on an hourly basis for C_{max}/C_{90} were found roughly in the range between 2 and 5 (Table 5), which leads to the conclusion that even in cases, when an odour hour in modelling is triggered by $C_{90} = 1 \text{ ou m}^{-3}$ (the worst case with regard to odour detection), it can be expected that detectable odour concentrations between 2 and 5 ou m^{-3} will occur. Therefore, the assumption of an odour concentration larger than 1 ou m^{-3} necessary for qualified panel members to detect odour in field inspections does not contradict the German approach of setting $C_{90} = 1 \text{ ou m}^{-3}$ in odour-hour modelling. Therefore, this threshold is being applied in the simulations carried out within this study.

The simulated pattern of odour-hour frequencies is depicted in Fig. 5. Highest frequencies are found in the very vicinity of the shed and the manure storage, which reveals that building downwash is not negligible. In contrast, the trees and bushes along the river north of the shed, which were taken into account in the simulations as obstacles, have only little effect on odour dispersion.

Fig. 6 illustrates modelled and observed odour-hour frequencies, whereby modelled odour hours were obtained by using the concentration-variance model as described in section 2.2 and the German factor-4 model, respectively. The vertical bars indicate the 95% confidence interval of the field observations, which depend on the odour-hour frequency as can be seen in Fig. 7. The uncertainty range has been estimated by first seeding a full year randomly with a certain number of “odour hours”, and subsequently picking randomly 104 samples. This

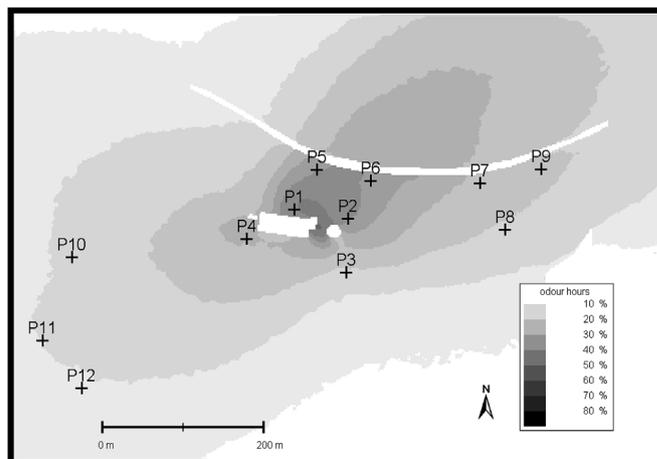


Fig. 5. Simulated odour-hour frequencies using the concentration-variance model in GRAL and setting a threshold of $C_{90} \geq 1 \text{ ou m}^{-3}$ for triggering an odour hour.

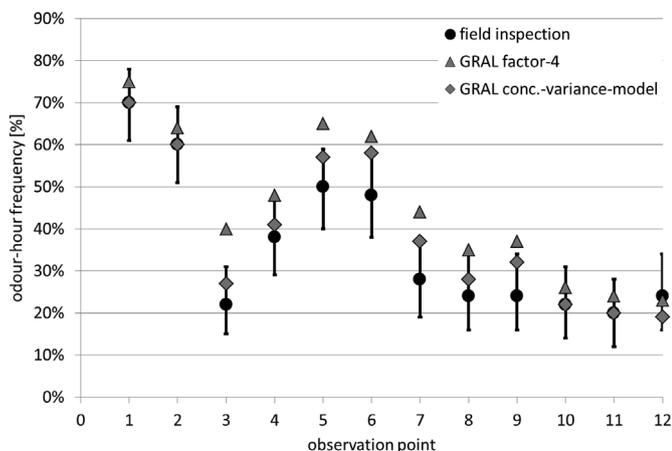


Fig. 6. Observed (circles) and simulated odour-hour frequencies using two different modelling approaches: (i) constant factor-4 (triangles), and (ii) concentration-variance model (diamonds). The uncertainty range of observed frequencies, based on the 95% confidence interval, is indicated by vertical bars.

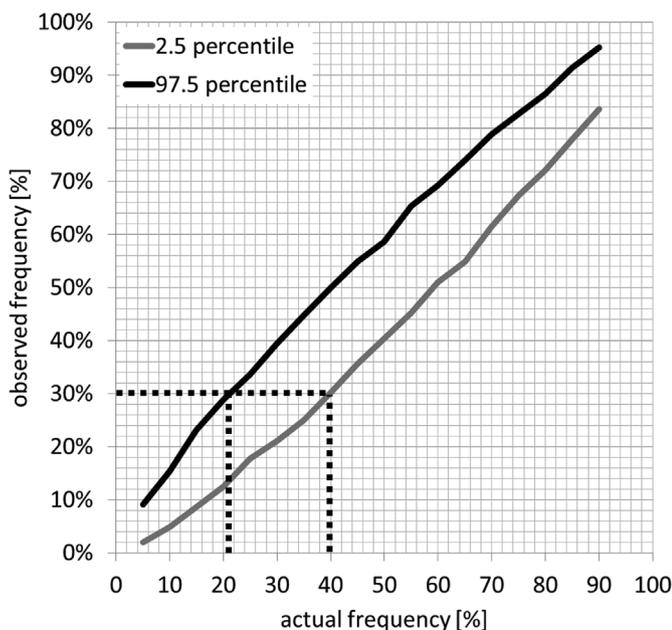


Fig. 7. Sampling error for observed odour-hour frequencies resulting from the limited number of field inspections (i.e. 52 inspections at each observational point in this case). For example, if the observed odour-hour frequency at an observational point is 30%, the actual frequency is in the range between 21 and 39% (95% confidence interval).

procedure was repeated 500 times for each pre-defined odour-hour frequency (5% intervals have been utilized) from which the 95% confidence interval was deduced as depicted in Fig. 7. It turned out that the confidence intervals obtained in this way are basically equal to those when assuming a binomial error distribution as suggested in VDI 3940-1 (2006). Equivalence of modelled and observed odour-hour frequencies is assumed when modelled values fall within the 95% confidence interval of the field inspections.

As expected, the factor-4 model has a tendency to overestimate odour-hour frequencies. At six observation points modelling results are outside of the 95% confidence interval of the observations, while the concentration-variance model suggests odour-hour frequencies that are within this uncertainty range at all points.

The EN 16841-1 (2017) does not provide an error estimation similar to VDI 3940-1 (2006) to account for the obvious sampling error. Instead, it is stated that the error estimation based on binomial functions (VDI 3940-1) is not correct, as it does not account for the specific

definition of an odour hour nor does it reflect the (much lower) uncertainties found in a field study. It should be mentioned that these uncertainties were derived by evaluating results obtained by two independent panels on the same experimental site. In our opinion this explanation for dropping the error estimation is not correct, as this study's approach to assess the sampling error is in very good agreement with the one suggested in VDI 3940-1. Furthermore, it is rather clear that the sampling error cannot be assessed by only two independent panels as outlined in Note 2 in EN16841-1 in section 9.2. In fact, it would require many more independent groups, which is prohibitive for practical reasons though.

Instead, a different source of uncertainty related to the individual odour sensitivity of qualified panel members is discussed in EN16841-1 (see the corresponding Note 1 in section 9.2), which reads “The uncertainty estimate for different numbers of positive observations is based on investigations where it was shown that the difference of the number of positive observations recorded by two panel members at the same place and time is with more than 80% certainty not higher than three observations.” Therefore, the EN 16841-1 suggests evaluating the uncertainty by applying two different lower thresholds (> 2, and > 9 odour perceptions during the 10 min observation period), which leads to a lower and upper bound of odour hours. At this point it should be recalled that one of the main advantages of the odour-hour concept is, that odour hours can be assessed either by field inspections or modelling. Both methods can be considered equivalent, because the differences in odour perception of qualified panel members are already taken into account in the modelling by applying eq. (7). Consequently, the fact of varying individual odour sensitivities is not introducing any uncertainty in field inspections at all and, therefore, need not to be taken into account.

4. Conclusions

In contrast to regulations limiting certain (high) percentiles of hourly-average odour concentration thresholds, which are set up by many national authorities (e.g. Brancher et al., 2017), the concept of odour-hours has basically the advantage of being assessable either via field inspections or dispersion modelling. In this study equivalence of both methods could be demonstrated when strictly following the new European standard for field inspections EN 16841-1 and applying the recently developed odour-hour model of Oettl and Ferrero (2017). It was shown that this model is suitable in case that the log-normal distribution function describing the individual odour sensitivities of qualified panel members is rather narrow (i.e. scale parameter $\alpha \sim 0.6$). According to the large number of olfactometric data analysed so far, this seems to be the case for a wide range of different odorants. On the one hand the method in the German GOAA (2008) of setting $C_{90} \geq 1$ or m^{-3} to trigger an odour hour in dispersion modelling leads to reasonable agreement between the field inspection and modelling in this study. On the other hand, there is some evidence brought forward herein indicating that applying $R_{90} = 4$ will lead in most cases to quite an overestimation of odour hours in models.

The prescribed method in the EN 16841-1 for assessing the uncertainty of field inspections, grounded in the different capabilities of qualified panel members for recognizing odour, is quite certain based upon a wrong assumption, having in mind that results of field inspections are to be equivalent with results obtained by dispersion models. This can be reasoned by the fact that dispersion models are able and should indeed account for the individual odour sensitivities of qualified panel members carrying out field inspections. For instance, the German standard model AUSTAL2000G was essentially derived upon this condition. It is not clear, why the authors of the EN 16841-1 have dropped the well-established error estimation for field inspections as outlined in VDI 3940-1, which is based on the apparent sampling error, i.e. 104 ten-minute samples should represent 8760 h of a year.

It would be beneficial, if weekend field inspections were not obligatory in cases, where odour emissions from a source are either the

same on weekends as on weekdays (dispersion conditions are independent on weekdays), or if there are no odour emissions on weekends at all. It should be stressed that performing field inspections according to EN 16841-1 is extremely costly with regard to personnel and time. It goes without saying that weekend inspections are usually not as motivating for panel members. Whenever possible unnecessary field inspections at weekends, thus, should be avoided. Instead, those inspections that would have to be performed on weekends should be shifted to weekdays, which would then even decrease the sampling error.

Acknowledgements

We would like to thank Gerald Binder, municipality of Linz (Austria), for providing a very comprehensive olfactometric data set used in this work. We are very grateful to Prof. Dennis Finn, Air Resources Laboratory, Maryland, U.S., for providing the Sagebrush and Joint Urban 2003 data and for his useful directions.

References

- Brancher, M., Griffiths, K.D., Franco, D., Melo Lisboa, H., 2017. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere* 168, 1531–1570.
- Berchet, A., Zink, K., Müller, C., Oettl, D., Brunner, J., Emmenegger, L., Brunner, D., 2017a. A cost-effective method for simulation city-wide air flow and pollutant dispersion at building resolving scale. *Atmos. Environ.* 158, 181–196.
- Berchet, A., Zink, K., Oettl, D., Brunner, J., Emmenegger, L., Brunner, D., 2017b. Evaluation of high-resolution GRAMM–GRAL (v15.12/v14.8) NOx simulations over the city of Zürich, Switzerland. *Geosci. Model Dev. (GMD)* 10, 3441–3459.
- Binder, G., 2017. Provision of Olfactometric Measurements. Personal Communication. Municipality of Linz, Austria.
- EN 16841-1, 2017. Ambient Air – Determination of Odour in Ambient Air by Using Field Inspection – Part 1: Grid Method. Draft version. pp. 60.
- EN 13725, 2003. Air Quality – Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. pp. 71.
- Finn, D., Clawson, K.L., Carter, R.G., Rich, J.D., Biltoft, Ch., Leach, M., 2010. Analysis of urban atmosphere plume concentration fluctuations. *Boundary-Layer Meteorol.* 3, 431–456.
- Finn, D., Clawson, K.L., Eckman, R.M., Carter, R.G., Rich, J.D., Strong, T.W., Beard, S.A., Reese, B.R., Davis, D., Liu, H., Russel, E., Gao, Z., Brooks, S., 2015. Project Sagebrush Phase 1. NOAA Technical Memorandum OAR ARL-268. pp. 362.
- GOAA, 2008. Guideline on Odour in Ambient Air GOAA. Detection and Assessment of Odour in Ambient Air. Second Version, Berlin, Germany. pp. 37.
- Grotz, W., Zimmermann, B., 2015. Vergleich Rasterbegehung – Immissionsprognose. Beispiele aus der Papierindustrie. (engl. Comparison field inspection – air quality modelling. Examples taken from paper industry.). In: VDI conference Gerüche in der Umwelt (engl. Odours in the environment), 18 – 19 November 2015, Karlsruhe, pp. 81–94.
- Hartmann, U., Borchherding, N., 2015. Emissionsmessungen, Ausbreitungsrechnungen und Rasterbegehungen (engl. Emission measurements, dispersion modelling, and field inspections). In: VDI conference Gerüche in der Umwelt (engl. Odours in the environment), 18 – 19 November 2015, Karlsruhe, pp. 95–104.
- Janicke, L., Janicke, U., 2004. Development of the Dispersion Model AUSTAL2000G. *Berichte zur Umweltphysik*, 5, Ingenieurbüro Janicke, Dunum, pp. 122. <http://www.janicke.de/data/bzu/bzu-005-02.pdf>, Accessed date: 11 August 2017.
- Manansala, F., 2017. Performance of the GRAMM-GRAL model system in the vicinity of an urban arterial road. In: 23rd Biennial International Clean Air and Environment Conference on the 15–18 October at Pullman Brisbane.
- Oettl, D., Oitzl, St., 2015. Vergleich modellierter und durch Begehungen erfasster Geruchshäufigkeiten in der Umgebung von Tierhaltungsbetrieben anhand von zwei Praxisfällen (engl. Comparison of modelled odour-hour frequencies with field inspections in the vicinity of two animal farms). In: VDI conference Gerüche in der Umwelt (engl. Odours in the environment), 18 – 19 November 2015, Karlsruhe, pp. 21–32.
- Oettl, D., 2015a. Evaluation of the revised Lagrangian particle model GRAL against wind-tunnel and field experiments in the presence of obstacles. *Boundary-Layer Meteorol.* 155, 271–287.
- Oettl, D., 2015b. Quality assurance of the prognostic, microscale wind-field model GRAL 14.8 using wind-tunnel data provided by the German VDI guideline 3783-9. *J. Wind Eng. Ind. Aerod.* 142, 104–110.
- Oettl, D., 2015c. A multiscale modelling methodology applicable for regulatory purposes taking into account effects of complex terrain and buildings on the pollutant dispersion: a case study for an inner Alpine basin. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 22 (22), 17860–17875.
- Oettl, D., Ferrero, E., 2017. A simple model to assess odour hours for regulatory purposes. *Atmos. Environ.* 155, 162–173.
- Oettl, D., 2017a. Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL Vs. 17.9. Gov. of Styria, Austria, Dep. 15-Air Quality Control, Rep. pp. 189 Lu-01–17.
- Oettl, D., 2017b. Recommendations when Using the GRAL/GRAMM Modelling System. Gov. of Styria, Austria, Dep. 15-Air Quality Control, pp. 24. <http://lampx.tugraz.at/~gral/>, Accessed date: 11 August 2017.
- Piringer, M., Knauder, W., Petz, E., Schaubberger, G., 2016. Factors influencing separation distances against odour annoyance calculated by Gaussian and Lagrangian dispersion models. *Atmos. Environ.* 140, 69–83.
- Rollings, D., 2017. Comparison of GRAL wind field with CFD wind fields in a complex urban canyon environment. In: 23rd Biennial International Clean Air and Environment Conference on the 15–18 October at Pullman Brisbane.
- van Harreveld, Jones, N. (Eds.), 2001. Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture. Environmental Protection Agency Ireland, pp. 145 R&D Report Series No. 14.
- VDI 3788-1, 2015. Environmental Meteorology – Dispersion of Odorants in the Atmosphere - Fundamentals. German Engineering Association VDI, Düsseldorf, pp. 25.
- VDI 3940-1, 2006. Measurement of Odour Impact by Field Inspection – Measurement of the Impact Frequency of Recognizable Odours – Grid Measurement. German Engineering Association VDI, Düsseldorf, pp. 29.
- VDI 3894-1, 2011. Emissions and Immissions from Animal Husbandries. Housing Systems and Emissions – Pigs, Cattle, Poultry, Horses. German Engineering Association VDI, Düsseldorf, pp. 83.