

Kooperationsprojekt „RESAFE-Pig: Ressourcen-schonender Ansatz in der Fütterung von Mastschweinen zur tiergerechten Versorgung und Reduktion der Emissionen“

Aktenzeichen: 33449/01-36
Projektbeginn: 01.05.2018
Projektende: 31.10.2021
Projektlaufzeit: 42 Monate

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Abschlussbericht

Bewilligungsempfänger:

Werner & Richard Hölscher GbR
Dr. Richard Hölscher
Helschen 9
48488 Emsbüren



Kooperationspartner:

Prof. Dr. Christian Visscher
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
Institut für Tierernährung
Bischofsholer Damm 15
30559 Hannover



Prof. Dr. Karl-Heinz Waldmann†
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
Klinik für kleine Klauentiere und forensische Medizin
und Ambulatorische Klinik
Bischofsholer Damm 15
30173 Hannover

Prof. Dr. Wolfgang Büscher
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Institut für Landtechnik (ILT)
Verfahrenstechnik in der Tierischen Erzeugung
Nussallee 5
53115 Bonn



Verfasser: Wolfgang Büscher, Richard Hölscher,
Alexandra Lengling, Bernd Reckels, Cornelia Schwennen,
Christian Visscher

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	33449	Referat	Fördersumme 613.562,00 €		
Antragstitel		RESAFE-Pig: Ressourcen-schonender Ansatz in der Fütterung von Mastschweinen zur tiergerechten Versorgung und Reduktion von Emissionen			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
42 Monate	01.05.2018	31.10.2021	1		
Abschlussbericht					
Bewilligungsempfänger		Werner & Richard Hölscher GbR Herr Dr. Richard Hölscher Helschen 9 48488 Emsbüren		Tel	0590393960
				Fax	059037273
				Projektleitung Herr Dr. Richard Hölscher	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner		Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Institut für Tierernährung Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für kleine Klautiere Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Landtechnik			
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens					
<p>Das Projekt RESAFE-Pig hatte die Zielsetzung, die herkömmliche Schweinemast in den Bereichen Umwelt, Ressourceneffizienz und Tierhaltung auf einen neuen wissenschaftlichen Stand zu setzen und somit die Stickstoffbelastung der Umwelt durch den nach wie vor zu hohen Futterverbrauch zu senken. Bisherige Fütterungskonzepte berücksichtigen nur ungenügend den unterschiedlichen Bedarf der verschiedenen Tiere innerhalb einer Gruppe. In dem Projekt sollte daher, durch die Entwicklung eines kombinierten Ansatzes aus Körperkonditionsbestimmung und automatisierter Rationsanpassung, eine optimierte Proteinversorgung, bei gleichzeitigem Einsatz regional erzeugter Grundfuttermittel, erfolgen. Hierdurch sollte zum einen eine tiergerechtere Versorgung erreicht, und zum anderen der Eintrag von Ammoniak auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Durch Darstellung von Nährstoffbilanzen, Emissionssituation und Wirtschaftlichkeit soll die Bereitschaft der Landwirte erhöht werden, mit Hilfe dieses neuartigen Fütterungssystems eine umweltfreundliche und tiergerechtere Mastschweinehaltung zu etablieren.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Über einen Zeitraum von drei Jahren wurden sieben aufeinander folgende Mastdurchgänge auf einem Schweinemastbetrieb untersucht, in denen jeweils verschiedene Aspekte bzgl. Leistung, Fütterung und Umweltwirkung erfasst wurden. Nach einem <i>Basisdurchgang</i> wurden folgend immer zwei Durchgänge mit gleicher Variante durchgeführt. Die Tiere wurde in Großgruppen</p>					

gehalten mit bis zu 980 Tieren im Stall. Mit einem Durchschnittlichen Körpergewicht von 50 kg wurden alle Tiere in vier Leistungsgruppen eingeteilt abhängig von ihrem Körpergewicht und ihrem Rückenmuskel-Rückenspeck-Verhältnisses. Dieses wurde mit Ultraschallmessungen an jedem Tier bestimmt. Mithilfe von Sortierschleusen konnte jede Leistungsgruppe einem räumlich getrennten Fressbereich zugewiesen werden und eine auf das Leistungsniveau abgestimmte Futtermittelration erhalten. Mithilfe der Sortierschleuse wurden kontinuierlich über die gesamte Mast tierspezifische Leistungsdaten erfasst. In jeder Versuchsvariante wurden darüber hinaus 40 Tiere mittels Computertomographie untersucht, um die Ultraschallmessungen und die Daten der Sortierschleuse zu validieren. In jedem Versuchsdurchgang wurden mittels photoakustischer-infrarot Spektroskopie die Ammoniakkonzentrationen und -emissionen erfasst und bestimmt. Zusätzlich wurden Bonituren der Buchtensauberkeit durchgeführt.

In den Versuchsdurchgängen 2 und 3 wurden die Leistungsgruppen im Wechsel mit unterschiedlichen Fasergehalten in der Futtermittelration gefüttert. Hierdurch sollte untersucht werden, wie die unterschiedlichen Leistungsgruppen auf verschiedene Fasergehalte mit ihrer Futteraufnahme und Leistung reagieren. In den Durchgängen 4 und 5 wurden die zum Fettansatz neigenden, frohwüchsigen Tiere mit einem hohen Faseranteil in der Ration (bis zu 10 % der TS) gefüttert, während die mageren Tiere keinen bis nur einen geringen Faseranteil in der Ration erhielten. In den letzten beiden Mastdurchgängen wurden die Rationen auf Basis einheimischer Futtermittel erstellt, um den Anteil importierten Sojas zu reduzieren.

Ergebnisse und Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass eine Unterteilung von Mastschweinen in Leistungsgruppen aufgrund bereits zu Beginn der Mast existierender Entwicklungsunterschiede, möglich und sinnvoll ist. Durch unterschiedliche Faseranteile in den Futtermittelrationen konnte die Futteraufnahme gezielt gesteuert und „eingebremst“ werden. So konnte ein Luxuskonsum durch die Tiere verhindert und damit ein überschüssiger Eintrag von Stickstoff in die Umwelt vermindert werden. Die Ammoniakemissionen konnten durch den Einsatz des neuen Fütterungssystems signifikant (bis zu 40 %) reduziert werden, sodass ein positives Fazit hinsichtlich der Umweltwirkung gezogen werden kann. Die signifikant geringeren Ammoniakkonzentrationen im Tierbereich sind ebenfalls als positiv für das Tierwohl zu bewerten. Darüber hinaus konnte keine Verschlechterung der Buchtensauberkeit durch das untersuchte System festgestellt werden, was ebenfalls positiv in Bezug auf das Tierwohl und die Emissionssituation ist.

Durch die Vermeidung von Luxuskonsum konnten Futtermittel und damit wichtige Ressourcen eingespart werden. Der Einsatz regionaler Futtermittel reduziert den Anteil importierter Futtermittel (v.a. Soja) aus dem Ausland und trägt so ebenfalls zum Umweltschutz bei. Während der Versuche entwickelten sich zum Fettansatz neigende Tiere generell magerer und es konnte keine negative Auswirkung auf die Leistung der Tiere verzeichnet werden. So kann das System auch ökonomisch als Vorteilhaft bewertet werden. Während des Projekts wurde das optiSORT-System weiterentwickelt und die Kamertechnik der Sortierschleuse verbessert. Anhand der Ultraschall- und CT-Untersuchungen konnte die Datenerhebung durch die Schleuse validiert und optimiert werden. Nach wie vor ist eine vollautomatisierte Einteilung in die getesteten Leistungsgruppen jedoch nicht möglich. An alternativen Messmethoden, wie der infrarot Thermographie, zur Einteilung der Tiere wurde im Rahmen des Projekts geforscht und auch hier konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, an die in zukünftigen Untersuchungen angeknüpft werden kann.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Publikationen:

- Grap, Alexandra; Reckels, Bernd; Visscher, Christian; Hölscher, Richard; Büscher, Wolfgang (2019): Vergleich der Emissionssituation bei konventioneller und ressourcen-effizienter Fütterung anhand täglicher Körperkonditionsbewertung von Mastschweinen. In: 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Bonn, 24-26. September 2019. Tagungsband. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hg.).

- Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Schwennen, Cornelia; Hölscher, Richard; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian; Büscher, Wolfgang (2020a): Validation of a New Resource-Efficient Feeding System for Fattening Pigs Using Increased Crude Fiber Concentrations in Diets: Feed Intake and Ammonia Emissions. In: *Animals: an open access journal from MDPI* 10 (3), S. 497. <https://doi.org/10.3390/ani10030497>
- Reckels, Bernd; Hölscher, Richard; Schwennen, Cornelia; Lengling, Alexandra; Stegemann, Ute; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian (2020): Resource-Efficient Classification and Early Predictions of Carcass Composition in Fattening Pigs by Means of Ultrasound Examinations. In: *Agriculture* 10 (6), S. 222. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060222>
- Lengling, Alexandra; Alfert, Antonius; Reckels, Bernd; Steinhoff-Wagner, Julia; Büscher, Wolfgang (2020b): Feasibility Study on the Use of Infrared Thermography to Classify Fattening Pigs into Feeding Groups According Their Body Composition. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (18). <https://doi.org/10.3390/s20185221>
- Reckels, Bernd (2020): Steuerung der Futterzusammensetzung in Abhängigkeit von tatsächlicher Körpermassenzunahme, Höhe der Futteraufnahme und Ansatzverhalten bei Mastschweinen. Dissertation. Hannover: DVG. https://elib.tiho-hannover.de/receive/tiho_mods_00004571
- Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Büscher, Wolfgang (2021): Impact on ammonia emissions under a resource efficient feeding concept in fattening pigs based on performance groups and crude fibre supplemented diets. In: CSBE-SCGAB Technical Conferences. 5th CIGR and AGM Quebec City 2021. 4th international Symposium on Gas Emissions and Dust from Livestock (EMILI). Quebec City, Canada, 11th – 14th May 2021. <https://library.csbe-scgab.ca/all-publications/5434-impact-on-ammonia-emissions-under-a-resource-efficient-feeding-concept-in-fattening-pigs-based-on-performance-groups-and-crude-fibre-supplemented-diets>
- Lengling, Alexandra (2021): Resource-efficient feeding of fattening pigs based on body composition related performance groups – Studies on technical and environmental aspects. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Deutschland. <https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/9378>

Web-Links:

- <https://www.schweine.net/news/tiho-projekt-resafe-pig-stickstoff-minimieren.html>
- <https://www.susonline.de/management/tiho-stellt-resafe-pig-projekt-vor-12593941.html>
- <https://www.dgfm-bonn.de/presse/forschung-resafe-pig-untersucht-wie-schweine-bedarf.html>
- <https://www.agrarheute.com/tier/schwein/40-prozent-weniger-stickstoffausscheidungen-schweinemast-583703>
- <https://www.topagrar.com/schwein/news/tiho-startet-projekt-zur-bedarfsgerechten-und-umweltschonende-schweinefuetterung-12589274.html>
- <https://www.woche-der-umwelt.de/ausstellerKonkret/1445>
- <https://www.youtube.com/watch?v=tBxEWymdbdY>

Vorträge:

- Für die 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU-Tagung 2019), die vom 24. – 26.09.2019 in Bonn stattfand, wurde im November 2018 von Seiten des Instituts für Landtechnik das Thema „Vergleich der Emissionssituationen bei konventioneller und ressourceneffizienter Fütterung anhand täglicher Körperkonditionsbewertungen von Mastschweinen“ eingereicht. Der Vortrag wurde im September von Herrn Reckels, stellvertretend für Frau Lengling gehalten.
- Im Oktober 2019 hielt Frau Lengling auf dem 41. Förderkreis Stallklima in Raumberg-Gumpenstein einen Vortrag mit dem Thema „Qualitätssicherung bei Emissionsmessungen“ in welchem Ergebnisse der Labormessungen zu Messgenauigkeit von Messgeräten und der Möglichkeit der Messfehlerkorrektur vorgestellt wurden.

- Im Dezember 2020 wurde von Frau Lengling ein Abstract für die 5. CIGR International Conference 2020 in Quebec City, Canada, eingereicht. Die Tagung wurde zuvor vom Juni 2020 auf Mai 2021 verschoben und fand digital statt. In dem Abstract wurden die Daten der Ammoniakuntersuchungen der Durchgänge *Regelalgorithmus-II* und *Kontrolle-IV* vorgestellt. Der Beitrag wurde im Februar 2021 für einen Vortrag auf der Konferenz angenommen. Zusätzlich zu dem Vortrag wurde eine Langfassung des Beitrags eingereicht, welche im Tagungsband der Konferenz digital veröffentlicht wurde. Der Vortrag wurde am 12. Mai 2021 digital durch Frau Lengling gehalten.

Poster:

- Für das elfte „European Symposium of porcine health management (ESPHM)“, welches vom 22.05.2019 - 24.05.2019 in Utrecht stattfand, wurde ein Abstract für ein Poster mit dem Thema: „The influence of a respiratory disease in pigs of the same age but different weights on the development of backfat thickness and *M. longissimus dorsi* diameter“ eingereicht und angenommen. Das Poster wurde für den Kongress erstellt und von Herrn Bernd Reckels vor Ort vorgestellt.
- Im November 2019 wurde ein Abstract mit dem Titel „The use of crude fibre (Triticale-WPS) for control of daily feed intake of four different types of fattening pigs according to their body compositions“ für das 12. European Symposium of Porcine Health Management in Bern (CH) eingereicht und für eine Posterpräsentation angenommen. Aufgrund der SARS-CoV2-Pandemie wurde der ursprünglich für Frühjahr 2020 geplante Kongress auf das Frühjahr 2021 verschoben. Vom 14.-16. April 2021 wurde von Frau Dr. Schwennen und Herrn Dr. Reckels im Rahmen des digitalen 12. European Symposium of Porcine Health Management ein Poster mit dem Titel „The use of crude fibre (Triticale-WPS) for control of daily feed intake of four different types of fattening pigs according to their body compositions“ vorgestellt.

Fazit

Ziel des Projekts RESAFE-Pig war es ein neuartiges, ressourcenschonendes Fütterungssystem für Mastschweine unter Praxisbedingungen zu entwickeln, hinsichtlich Tierwohl, Umweltwirkung und Leistung zu untersuchen und abschließend zu bewerten.

Durch die umfassenden Untersuchungen im Projekt konnte gezeigt werden, dass eine Unterteilung von Mastschweinen in körperkonditionsbasierte Leistungsgruppen im Sinne des Tier- und Umweltschutzes erstrebenswert ist. Auch ökonomisch kann das getestete Fütterungssystem Vorteile für den Landwirt bieten. Auf Grundlage der erzielten Ergebnisse, können die untersuchten Ansätze, wie erhöhter Faseranteil und der Einsatz regionaler Futtermittel folglich für die Praxis empfohlen werden. Hinsichtlich der automatisierten Einteilung der Leistungsgruppen ist jedoch noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf notwendig, um das System vollumfänglich in der Praxis etablieren zu können.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Nachruf Herr Prof. Dr. Karl-Heinz Waldmann	10
Zusammenfassung.....	11
Bericht	13
1. Einführung und Motivation	13
2. Projektablauf, Vorgehensweise und Methoden	14
2.1 Projekttreffen und Anträge	14
2.2 Institut für Tierernährung.....	14
2.2.1 Einarbeitung, Versuchsplanung und allgemeines Vorgehen.....	14
2.2.2 <i>Basisdurchgang</i>	16
2.2.3 Durchgang <i>Rohfaser-extreme-I</i> und <i>II</i>	17
2.2.4 Durchgang <i>Regelalgorithmus-I</i> und <i>-II</i>	18
2.2.5 Durchgang <i>Einheimische Futtermittel-I</i> und <i>-II</i>	18
2.3 Klinik für kleine Klautiere und forensische Medizin und Ambulatorische Klinik.....	19
2.3.1 Einarbeitung, Versuchsplanung und allgemeines Vorgehen.....	19
2.3.2 <i>Basisdurchgang</i>	21
2.3.3 Durchgang <i>Rohfaser-extreme-I</i> und <i>-II</i>	22
2.3.4 Durchgang <i>Regelalgorithmus-I</i> und <i>-II</i>	22
2.3.5 Durchgang <i>Einheimische Futtermittel-I</i> und <i>-II</i>	23
2.4 Institut für Landtechnik	23
2.4.1 Einarbeitung, Versuchsplanung und allgemeine Vorgehensweise	23
2.4.2 <i>Basisdurchgang</i>	29
2.4.3 Durchgang <i>Rohfaser-extreme-I</i> und <i>Kontrolle-I</i>	29
2.4.4 Durchgang <i>Rohfaser-extreme-II</i> und <i>Kontrolle-II</i>	29
2.4.5 Durchgang <i>Regelalgorithmus-I</i> und <i>Kontrolle-III</i>	30
2.4.6 Durchgang <i>Regelalgorithmus-II</i> und <i>Kontrolle-IV</i>	31
2.4.7 Durchgang <i>Einheimische Futtermittel-I</i> und <i>Kontrolle-V</i>	31
3. Projektergebnisse.....	32
3.1 Institut für Tierernährung.....	32
3.2 Klinik für kleine Klautiere	32
3.3 Institut für Landtechnik	38
4. Öffentlichkeitsarbeit / Publikationen / Vorträge	47
5. Fazit und Ausblick.....	49
6. Literaturverzeichnis.....	49
7. Anhang.....	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhaftes Ultraschallbild mit allen erhobenen Parametern	15
Abbildung 2: Ultraschallbild mit dem anatomisch markanten Punkt.....	16
Abbildung 3: [a] Vermessung des M. longissimus dorsi einschließlich der RSD direkt am Kotelettstrang. [b] Schnittbild des Kotelettstranges (Bild Schwennen).....	20
Abbildung 4: Lagerung eines ca. 70 kg schweren Mastschweines für die CT-Untersuchung (Bild Schwennen).....	21
Abbildung 5: Beispielhaftes [a] Scanogramm und [b] Schnittbild eines 50 kg schweren Mastschweines (Bild Schwennen).....	21
Abbildung 6: Stall 3 (Hauptversuchsstall) oben. Stall 4 (Kontrollstall) unten (©Lengling).....	24
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Gaskonzentrationsmessungen (modifiziert nach Schmithausen, 2016).....	25
Abbildung 8. Links: Datenlogger der Firma Ahlborn mit Drehzahlmesssteckern (©Lengling). Mitte: Messventilator der Firma Reventa (©Reventa GmbH). Rechts: Schematische Darstellung eines Abluftkamins der Stallgebäude (modifiziert nach R. Brooks Stallklimaanlagen GmbH).....	26
Abbildung 9: Überprüfung der Messgenauigkeit der Gasanalysegeräte an der hauseigenen Gasmischstation des Instituts für Landtechnik (©Lengling).....	26
Abbildung 10: Serverschrank mit installierter Messtechnik im Stallvorraum des Kontrollstalls: LumaSense Gasmonitor, Messcomputer, USV-Batteriepuffer (©Lengling).....	27
Abbildung 11: Thermographieaufnahme eines Mastschweins innerhalb der Sortierschleuse im Versuchsstall zum Zeitpunkt der Gruppeneinteilung. Die Bilder A und B zeigen die selbe Aufnahme unter Anwendung zwei verschiedener Auswertungsmethoden (Lengling et al. 2020b).....	30
Abbildung 12: Durchschnittliche RSD und Muskeldicke alle Durchgänge und Gewichtgruppen im Vergleich.....	36
Abbildung 13: Vergleichende Darstellung der Rückenspeckdicke sowie des Diameters des M. longissimus dorsi zwischen den Durchgängen Rohfaser-extreme-II und Einheimische Futtermittel-I	37
Abbildung 14: Entwicklung der durchschnittlichen Rückenspeck- und Muskeldicke der verschiedenen Körperkonditionsklassen (LM, LF, SM, SF) aller Durchgänge	38
Abbildung 15: Mittlere Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) für verschiedene Gewichtsabschnitte in den Durchgängen Rohfaser-extreme-I und Kontrolle-I. * zeigt signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Kontrolle innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts an ($p < 0,05$) (modifiziert nach Lengling et al. 2020a).....	40
Abbildung 16: Mittlere Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) und Standardabweichung für verschiedene Gewichtsabschnitte in den Durchgängen Regelalgorithmus-II und Kontrolle-IV. * zeigt signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Kontrolle innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts ($p < 0,05$) (modifiziert nach Lengling et al. 2021).....	42
Abbildung 17: Mittlere Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) und Standardabweichung für verschiedene Gewichtsabschnitte im Durchgang Einheimische-Futtermittel-I für das Versuchsabteil und eine Durchschnittsgruppe. * zeigt signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Durchschnittsgruppe innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts ($p < 0,05$).....	43
Abbildung 18: Darstellung der mittleren Boniturergebnisse der Oberflächenverschmutzung des Versuchsstalls im Durchgang Rohfaser-extreme-II. Grün = sauber und trocken; blau = feucht; gelb = verschmutzt; orange = feucht und verschmutzt; rot = schlammig (Lengling et al. 2020a).....	44
Abbildung 19 Vergleichende Darstellung der Boniturergebnisse für die Durchgänge Regelalgorithmus-II Abteil 1 und 2 (RA-2.1 und RA-2.2) sowie Kontrolle-IV (K-IV). Abbildung A zeigt die mittlere Bewertung der Oberflächenverschmutzung. Abbildung B zeigt die mittlere Bewertung des Spaltenverschlusses.....	45

Abbildung 20: Signifikante Korrelationen ($p < 0,0001$) zwischen der Körperoberflächentemperatur (zwei Auswertungsmethoden, jeweils Temperaturminimum, -mittel und -maximum) und den Körperkonditionsparametern (Körpergewicht, Rückenspeckdicke, Rückenmuskeldicke). Durchgezogene Linien zeigen positive, gestrichelte Linien negative Korrelationen an. Je dicker die Linie, desto stärker die Korrelation mit $r \geq |0,3|$ als schwache, $r \geq |0,5|$ als mittlere und $r \geq |0,8|$ als starke Korrelation (modifiziert nach Lengling et al. 2020b)..... 46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhaltsstoffe der vorhandenen Futtermittel bei 88 % TS	17
Tabelle 2: Fütterungsschema im Basisdurchgang	17
Tabelle 3: Berechnete Futtermittelrationen im rohfaserextremen Durchgang	18
Tabelle 4: Übersicht der Mastdurchgänge mit Anteil auswertbarer Messperioden.	28
Tabelle 5: Vergleichende Ultraschalluntersuchung bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von etwa 50 kg Lebendmasse.	33
Tabelle 6 : Körpermassenzusammensetzung und Geschlecht der Individuen am ersten Untersuchungszeitpunkt beim Durchgang Rfa-extrem II	33
Tabelle 7: Durchschnittliche FA pro Tag in kg (TS 88%) bei kalkulierten Körpergewichten von 100 kg pro Mastschwein bei den vier unterschiedlichen Rationen	34
Tabelle 8: Vergleichende Schlachtdatenauswertung aller Durchgänge	34
Tabelle 9: Vergleichender Futteraufwand in kg TS pro Mastdurchgang	35
Tabelle 10: Durchschnittliche Entwicklung der RSD- und Muskeldicke bei den per Computertomographie untersuchten Mastschweinen aller Versuchsdurchgänge.	36
Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Daten im Versuchsdurchgang Regelalgorithmus-II und Kontrolle-IV für unterschiedliche Gewichtsabschnitte (kg). * zeigen signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Kontrolle innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts an ($p > 0,05$).	41

Nachruf Herr Prof. Dr. Karl-Heinz Waldmann

Am 27. Juni 2021 verstarb nach langer und schwerer Krankheit im Alter von 67 Jahren unser Projektpartner Prof. Dr. Karl-Heinz Waldmann. Herrn Prof. Waldmann lag die Projektarbeit und vor allem dieses Projekt sehr am Herzen. Er war bei jedem Projekttreffen, auch trotz seiner schweren Erkrankung, zugegen und brachte durch seine langjährige Erfahrung im Schweinesektor stets neue Ideen und Anregungen zu Diskussionen mit in die Projektarbeit ein. Durch seine ruhige, besonnene und zuverlässige Art begegnete er einem auch in hitzigen Diskussionen stets auf Augenhöhe. Besonders freute er sich über die Ehre unser Projekt im Rahmen der Woche der Umwelt in Berlin präsentieren zu dürfen. Hierfür hatte er, trotz seiner Erkrankung, bereits Pläne geschmiedet.

Wir, das RESAFE-Konsortium, vermissen schmerzlich Herrn Prof. Dr. Waldmann und blicken voller Respekt und Wertschätzung auf seine Lebensleistung.

Unsere herzliche Anteilnahme gilt seiner Familie.

Zusammenfassung

Das Projekt RESAFE-Pig, mit den Projektpartnern Werner & Richard Hölscher GbR, dem Institut für Tierernährung sowie der Klinik für kleine Klauentiere und forensische Medizin und Ambulatorischen Klinik der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover und dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, hatte die Zielsetzung, die herkömmliche Schweinemast in den Bereichen Umwelt, Ressourceneffizienz und Tierhaltung auf einen neuen wissenschaftlichen Stand zu setzen und somit letztendlich die Stickstoffbelastung der Umwelt durch den nach wie vor zu hohen Futtermittelverbrauch zu senken. Bisherige Fütterungskonzepte berücksichtigen nur ungenügend den unterschiedlichen Bedarf der verschiedenen Tiere innerhalb einer Gruppe. Mittels Entwicklung einer vollautomatisierten Einteilung der Tiere nach ihrem Leistungspotential (Basis: optiSORT-Sortierschleusen-System, Hölscher & Leuschner GmbH & Co. KG) in Kombination mit einem vollautomatisierten Regelalgorithmus in der Fütterungssteuerung einer ansonsten üblichen Flüssigfütterungstechnik sollte daher eine an das tierspezifische Leistungspotential angepasste und damit maximal ressourcenschonende Fütterung für die Praxis entwickelt und getestet werden. Über einen Zeitraum von drei Jahren wurden dafür sieben aufeinander folgende Mastdurchgänge auf einem Schweinemastbetrieb untersucht, in denen jeweils verschiedene Aspekte bzgl. Leistung, Fütterung und Umweltwirkung erfasst wurden. Nach einem *Basisdurchgang* wurden folgend immer zwei Durchgänge mit gleicher Variante durchgeführt.

In den *Rohfaser-extreme* Durchgängen (Versuchsdurchgang 2 und 3) sollte untersucht werden, ob es eine Korrelation zwischen dem prozentualen Anteil der Rohfaser in der Futtermittelration und der Futteraufnahme bei konstantem Energie- und Proteingehalt gibt. Hierfür wurden vier verschiedene Rationen erstellt, welche alle bei vergleichbarem Energiegehalt, eine identische Nährstoffzusammensetzung (Protein- bzw. Aminosäuregehalte) aufwiesen, jedoch unterschiedliche Rohfasergehalte beinhalten. Die vier verschiedenen Rationen wurden nach Einteilung der Tiere mittels Ultraschalluntersuchung in vier Gewichts- und Ansatzverhaltensgruppen „leicht-mager“, „leicht-fett“, „schwer-mager“, „schwer-fett“ zirkulierend alle 6 Tage pro Fütterungsventil zeitgleich gefüttert. Gleichzeitig wurde in diesen Durchgängen die Auswirkung der getesteten Fütterung auf die Ammoniakemissionen und die Buchtensauberkeit untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Futteraufnahme der verschiedenen Leistungsgruppen negativ mit dem Rohfasergehalt der Ration korreliert. Ebenso konnte gezeigt werden, dass schon ab einem Gewicht von 50 kg mittels Ultraschalluntersuchung des Rückens eine Vorhersage bezüglich des Schlachtkörpers getroffen werden kann. Ebenso konnten außerdem keine negativen Auswirkungen auf die Ammoniakemissionen und die Buchtensauberkeit festgestellt werden.

In den Versuchsdurchgängen *Regelalgorithmus-I und -II* (Versuchsdurchgang 4 und 5) sollte geprüft werden, ob die zum schnellen Fettansatz neigenden Tiere durch einen konstant höheren Rohfaseranteil in ihrer Futteraufnahme „gebremst“ werden können. Bei den „mageren“ Tieren wurde hingegen auf die erhöhte Faser verzichtet und die Ration regelmäßig an die Bedarfsempfehlungen angepasst. So wurde nach den Erkenntnissen der *Rohfaser-extremen*-Durchgänge, den zum schnellen Fettansatz neigenden Tieren durchgehend eine Ration mit einem Anteil von Triticale-Ganzpflanzensilage (GPS) von 7,5-10 % der Trockensubstanz (TS) und den eher mageren Tieren eine faserärmere Ration (2,5-5 % Triticale-GPS in der Trockensubstanz) angeboten. Durch eine technische Modifikation für eine noch individuellere Datenerfassung, kam es im Durchgang *Regelalgorithmus-II* zu einem zeitlichen Verzug. Die Einteilung der Schweine anhand der Ultraschalldaten sowie die Emissionsmessungen wurden analog zu den vorherigen Durchgängen durchgeführt. Die Ammoniakemissionen konnten um bis zu 40 % reduziert werden und auch in dieser Variante konnte keine Verschlechterung der Buchtensauberkeit festgestellt werden.

In den letzten beiden Versuchsdurchgängen *Einheimische Futtermittel-I* und *-II* (Versuchsdurchgang 6 und 7) wurden die Rationen proteinoptimiert auf Basis einheimischer bzw. regional verfügbarer non-GMO Futtermittel und eines darauf angepassten Mineralfutters zur bestmöglichen Verwendung von einheimischen Proteinträgern und regional verfügbaren Rohfaserträgern gestaltet. Wie in den Durchgängen davor wurden auch in diesen Durchgängen sowohl die Leistungs- und Fütterungsdaten der Tiere, als auch Daten bzgl. der Umweltwirkung erfasst. Auch in diesen abschließenden Mastdurchgängen konnten die Ammoniakemissionen reduziert werden.

Zusätzlich zu den Ultraschalluntersuchungen in jedem Durchgang wurden in jeder Variante computertomographische Untersuchungen an je 40 Tieren pro Durchgang durchgeführt. Hierdurch konnte die Einteilung der Leistungsgruppen auf Ultraschallbasis validiert und bestätigt werden.

Der Zeitplan konnte insbesondere aufgrund der Covid-19 Pandemie und der notwendigen Umbaumaßnahmen an der Ausgangswaage nicht eingehalten werden, sodass durch die entstandenen zeitlichen Verzögerungen eine Projektlaufzeitverlängerung im September 2020 beantragt und genehmigt wurde (neue Projektlaufzeit 01.05.2018 – 31.10.2021).

Im Laufe der Projektlaufzeit konnte ein Großteil der Ergebnisse bereits in mehreren Journalbeiträgen publiziert und auf verschiedenen nationalen wie internationalen Fachtagungen und Konferenzen präsentiert werden.

Durch die umfassenden Untersuchungen im Projekt RESAFE-Pig konnte gezeigt werden, dass eine Unterteilung von Mastschweinen in körperkonditionsbasierte Leistungsgruppen im Hinblick auf Tierwohl, Umwelt und Ressourcenschutz sinnvoll und erstrebenswert ist. Auch ökonomisch kann das getestete Fütterungssystem Vorteile für den Landwirt bieten. Hinsichtlich der automatisierten Einteilung der Leistungsgruppen ist jedoch noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf notwendig, um das System vollumfänglich in der Praxis etablieren zu können.

Bericht

1. Einführung und Motivation

Die Mastschweinehaltung in Deutschland wurde in den letzten Jahren geprägt durch einen Anstieg der Tierbestände, eine räumliche Konzentrierung und damit zusammenhängend eine regionale Akkumulation von Nährstoffen (Statistisches Bundesamt, 2021). Die Anpassung der Tierhaltung und Fütterung an den heutigen Stand der Technik ist dringend notwendig, um die Freisetzung von Stickstoff aus dem Proteinstoffwechsel und die resultierenden Emissionen auf ein Minimum zu reduzieren. Ökonomisches Ziel bei der Produktion von Mastschweinen ist ein maximaler Muskel- und minimaler Fettansatz. Problematisch ist hierbei ein limitiertes Proteinansatzvermögen sowie unterschiedliche Futteraufnahmekapazitäten, bei gleichzeitig überproportional steigendem Fettansatz zum Ende der Mast. Da bisherige Konzepte der Phasenfütterung bei der Rationsgestaltung an jedem Tag nur auf das „Durchschnittstier“ ausgelegt sind, wird der individuelle Bedarf einzelner Tiere nur unzureichend berücksichtigt. Tiere mit unter- oder überdurchschnittlicher Futteraufnahme werden nicht optimal im Sinne der Ressourceneffizienz versorgt (Jeroch et al. 1999).

Eine vollautomatische Einteilung der Tiere entsprechend ihres Leistungspotentials mithilfe eines Körperkonditionsbewertungssystems (auf Basis des optiSORT-Sortierschleusen-Systems, Hölscher & Leuschner GmbH & Co. KG) in Kombination mit einem automatischen Regelkreis in der Fütterungssteuerung (Closed LOOP FEEDING, Hölscher & Leuschner GmbH & Co. KG) soll eine zu jeder Zeit mögliche Rationsanpassung entsprechend der Messdaten während der Mast ermöglichen. In dem Projekt RESAFE-Pig sollte daher, durch die Entwicklung dieses kombinierten Ansatzes in der Fütterungstechnik, eine optimierte Proteinversorgung, bei gleichzeitigem Einsatz regional erzeugter Grundfuttermittel, erfolgen. Hierdurch sollte zum einen eine tiergerechtere Versorgung erreicht, und zum anderen der Eintrag von Ammoniak auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Ziel des Projekts war es, das Fütterungsmodell RESAFE im Sinne der Ressourceneffizienz zu entwickeln und zu testen. Durch Darstellung von Nährstoffbilanzen, Emissionssituation und Wirtschaftlichkeit soll die Bereitschaft der Landwirte erhöht werden, mit Hilfe dieses neuartigen Fütterungssystems eine umweltfreundliche und tiergerechtere Mastschweinehaltung zu etablieren.

2. Projektablauf, Vorgehensweise und Methoden

2.1 Projekttreffen und Anträge

1. Projekttreffen: 01.08.2018 in Emsbüren zur Planung der Umsetzung der Versuche auf dem Betrieb
2. Projekttreffen: 10.05.2019 in Osnabrück bei der DBU zur Präsentation des Projektstands, Methodik und erster Ergebnisse.
3. Projekttreffen: 17.02.2020 in Emsbüren zur Planung der Teilnahme an der Woche der Umwelt. Besprechung einer ausgabenneutralen Projektverlängerung.
4. Projekttreffen: 11.12.2020 digital über Zoom zur Besprechung des weiteren Vorgehens im Projektablauf aufgrund von zeitlichem Verzug.
5. Projekttreffen: 14.01.2022 Abschlussbesprechung

Aufgrund der weltweiten Covid-19 Pandemie sowie notwendiger technischer Modifikationen an der Ausgangswaage im Versuchsstall kam es zu zeitlichen Verzögerungen im Projektablauf. So konnte der Versuchsdurchgang *Regelalgorithmus-II* erst drei Monate später als geplant starten. Aus diesem Grund wurde im September 2020 ein Antrag auf ausgabenneutrale Projektverlängerung gestellt, der von Seiten der DBU bewilligt wurde. Die neue Gesamtprojektlaufzeit betrug 42 Monate vom 01.05.2018 - 31.10.2021.

Aufgrund der entstandenen Verzögerungen im Projektablauf dauerte die Datenerfassung länger als ursprünglich geplant. Durch unvorhersehbaren Schäden an verschiedenen Komponenten der Emissionsmesstechnik im Laufe der Versuchslaufzeit, entstanden auf Seiten der Universität Bonn höhere Sachkosten als zu Beginn kalkuliert. Die Reparaturen waren zwingend notwendig, um eine solide Datenerfassung zu gewährleisten und um die Projektziele bzgl. Emissionsbewertung nicht zu gefährden. Da für eine Weiterbeschäftigung von Frau Lengling bis Projektlaufzeitende somit nicht genügend Mittel zur Verfügung standen, wurde im März 2021 ein Antrag auf Mittelnachbewilligung in Höhe von 10.000 € gestellt. Dieser wurde im Mai 2021 von Seiten der DBU genehmigt, sodass alle Projektpartner bis zum Projektende an der Datenerhebung und Auswertung beteiligt waren.

2.2 Institut für Tierernährung

2.2.1 Einarbeitung, Versuchsplanung und allgemeines Vorgehen

Die Datenerhebung des Institutes für Tierernährung umfasste die Körpermassenentwicklung, die tägliche Futteraufnahme, an ausgewählten Tieren die Analyse des intestinalen Mikrobioms, Schlachtdatenauswertung und die Erfassung der Rückenspeckdicke (RSD) sowie den Durchmesser des *Musculus longissimus dorsi* per Ultraschall.

Um die Daten tierindividuell erheben zu können, mussten alle Tiere am Anfang des Mastdurchganges mit einer FDX-Transponderohrmarke der Firma Allflex Group Germany GmbH ausgestattet werden.

Die Körpermasse jedes einzelnen Tieres wird beim Betreten der Sortierschleuse durch eine mechanische, von der Firma Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG (Emsbüren, Deutschland) entwickelte und regelmäßig geeichte Waage erfasst. Die Futteraufnahme kann durch die

vorhandene Fütterungstechnik berechnet werden. Die Tiere wurden alle am selben Schlachthof (Westfleisch, Oer-Erkenschwick) geschlachtet, dieser stellte dem Projekt die erhobenen Schlachtdaten zur Verfügung.

Die Ultraschallmessung wurde zu Beginn und am Ende des Mastdurchganges bei allen Tieren durchgeführt. Nach der ersten Messung wurden im Abstand von 24 Tagen bei ca. 300 Tieren weitere Messungen vorgenommen. Die Messung erfolgte über dem *Musculus longissimus dorsi* und erfasste die RSD, die aus der Haut, der ersten Speckschicht (Subcutis) und zweiten Speckschicht (interfasziale Speckschicht) sowie dem Bindegewebe besteht (Müller & Polten, 2004) und die Dicke des *Musculus longissimus dorsi* (Abbildung 1).

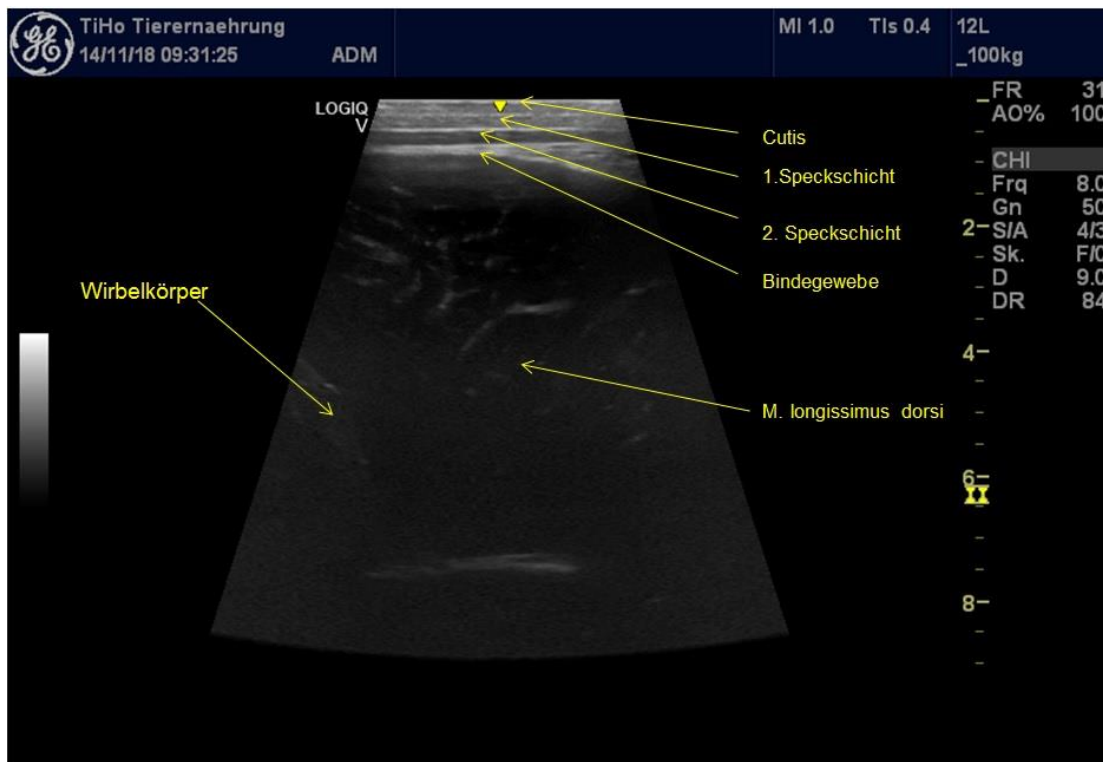


Abbildung 1: Beispielhaftes Ultraschallbild mit allen erhobenen Parametern

Die Messung wurde in der Ausgangsschleuse nach der Futteraufnahme vorgenommen. Als Messstelle wurde ein Punkt seitlich der Wirbelsäule auf Höhe der letzten Rippe auf der linken Körperseite gewählt. Dieser Messpunkt orientierte sich am P2-Messpunkt, welcher bei der Beurteilung der Rückenspeckdicke der Sauen verwendet wird (Hesse, 2003). Da bei jüngeren Tieren aber 6-8 cm seitlich der Rückenlinie nicht die größtmögliche Muskeldicke zu erfassen ist (Schön, 2011), wurde der Punkt dem wachsenden Tier angepasst. Um bei jeder Messung denselben Punkt beurteilen zu können, wurde ein anatomisch auf dem Ultraschallbild sichtbarer markanter Punkt (Querfortsatz des Wirbels) gewählt (Abbildung 2).

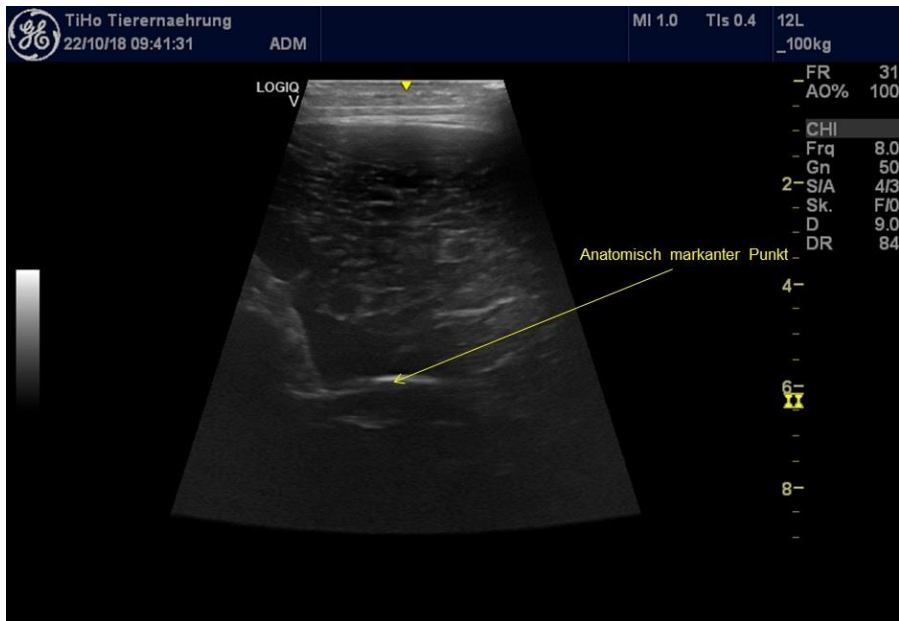


Abbildung 2: Ultraschallbild mit dem anatomisch markanten Punkt

Die Auswertung der Ultraschallbilder im Versuch wurde am Tag nach der Messung direkt auf dem verwendeten Ultraschallgerät LOGIQ® V2 (GE Healthcare, Little Chalfont, Großbritannien) durchgeführt.

2.2.2 Basisdurchgang

Fütterungsschema und –technik

Auf dem Studienbetrieb werden alle Schweine mittels Flüssigfütterungstechnik versorgt. Das Flüssigfutter für die Mastschweine setzte sich aus insgesamt vier verschiedenen Komponenten (zwei Alleinfuttermittel, Ergänzungsfuttermittel als auch Einzelfuttermittel) in verschiedenen prozentualen Anteilen zusammen. Die Alleinfuttermittel „VMF“ (Vormast) und „MMF“ (Mittelmast) sowie das Ergänzungsfuttermittel „EMEF“ wurden von einem regionalen Futtermittelhersteller zugekauft und sowohl als alleinige Komponente wie auch als einzelne Bestandteile einer Ration eingesetzt. Als hofeigene Komponente wurde Corn-Cob-Mix (CCM) eingesetzt (Tabelle 1). Die Komponenten wurden je nach durchschnittlichem Lebendgewicht und der Einteilung in zwei verschiedene Tiergruppen in verschiedenen Rationsanteilen eingesetzt (Tabelle 2).

Die Einteilung der Gruppen wurde durch die Sortierschleuse vor dem Futterbereich ermöglicht, die Tiere wurden auf Grundlage des optisch und mechanisch ermittelten Gewichts in die Futterbereiche für die leichte oder schwere Gruppe geschleust. Die Aufteilung in die beiden Gruppen fand in einem Verhältnis von 50:50 statt.

Tabelle 1: Inhaltsstoffe der vorhandenen Futtermittel bei 88 % TS

Inhaltsstoffe		VMF	MMF	EMEF	CCM
Rohprotein	g/kg	170	160	215	91,2
Rohfett	g/kg	35,0	35,0	30,0	41,1
Rohfaser	g/kg	40,0	45,0	70,0	12,8
Rohasche	g/kg	50,0	45,0	75,0	13,5
Lysin	g/kg	11,5	11,0	14,0	2,5
Methionin	g/kg	3,30	3,2	4,0	2,0
Calcium	g/kg	6,5	6,5	10,0	0,6
Phospor	g/kg	4,8	4,5	6,5	3,1
Energie	MJ ME/kg	13,4	13,4	11,6	16,0

Tabelle 2: Fütterungsschema im Basisdurchgang

Futtermittel	Gruppe	Lebendgewicht (kg)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Vinco VM (% TS)	leicht	100	80,0								
	schwer	100	70,0								
Turbo 70 (% TS)	leicht		10,0	65,0	57,0	25,0					
	schwer		20,0	65,0	55,0	47,0					
Fisopan (% TS)	leicht			15,0	20,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
	schwer			20,0	25,0	30,0	55,0	55,0	50,0	50,0	
CCM (% TS)	leicht		10,0	20,0	23,0	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
	schwer		10,0	15,0	20,0	23,0	45,0	45,0	50,0	50,0	

2.2.3 Durchgang *Rohfaser-extreme-I* und *-II*

In den Durchgängen „*Rohfaser-extreme*“ sollte untersucht werden, ob es eine Korrelation zwischen der Futterraufnahme und dem prozentualen Anteil der Rohfaser in der Futtermittelration bei konstantem Energie- und Proteingehalt gibt. Hierfür wurden vier verschiedene Futtermittelrationen errechnet, welche alle nahezu das gleiche Protein- und Energielevel vorwiesen, jedoch unterschiedliche Rohfasergehalte beinhalteten (Tabelle 3). Der Anteil der Einmischung eines Faserträgers (in diesem Fall eine hofeigene Triticale-Ganzpflanzensilage) variierte von 2,5-10 % der Trockensubstanz.

Die vier verschiedenen Rationen wurden nach Einteilung der Tiere zirkulierend alle 6 Tage pro Fütterungsventil zeitgleich gefüttert. Dies hatte den Vorteil, dass zu jedem Zeitpunkt der Körpermassenentwicklung jede mögliche Ration im Einsatz war, und über die Aufnahmekapazitäten und das Fressverhalten der Tiere Erkenntnisse gewonnen werden konnten.

Die Tiere wurden kurz nach der Einstellung mit den nötigen FDX-Transponder Ohrmarken versehen, um eine individuelle Datenerfassung zu gewährleisten. Am 02.05.2019 und 03.05.2019 wurden alle Tiere mittels Ultraschalluntersuchung bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von 50 kg vermessen. Die Aufteilung wurde im hinteren Abteil wie üblich in die 4 Gruppen (schwer mager, schwer fett, leicht mager und leicht fett) durchgeführt. Im vorderen Abteil des Stalles wurde eine weitere Gruppe Tiere mit einem erhöhten Einstellungsgewicht (durchschnittlich 10 kg schwerer als die Tiere im hinteren Abteil) eingestallt (ca. 220 Mastschweine). Die nachfolgenden Ultraschalluntersuchungen an den ausgewählten 220 Masttieren im vorderen Abteil fanden am 13.05.2019, 05.06.2019 und 01.07.2019 statt.

Tabelle 3: Berechnete Futtermittelrationen im rohfaserextremen Durchgang

		Ration 1	Ration 2	Ration 3	Ration 4
ME	MJ kg TS	12,98	12,97	12,98	12,99
Rohasche	g/kg TS	42,90	45,04	47,67	50,42
Rohprotein	g/kg TS	161,34	160,54	160,48	160,72
Rohfett	g/kg TS	34,78	45,61	59,45	72,63
Stärke	g/kg TS	457,13	460,10	459,72	459,37
Zucker	g/kg TS	43,85	40,46	37,20	34,01
Rohfaser	g/kg TS	49,39	54,43	59,69	65,04

2.2.4 Durchgang *Regelalgorithmus-I* und *-II*

In den Durchgängen „*Regelalgorithmus*“ wurde das Fütterungsregime angepasst und es sollte überprüft werden, ob die zum schnellen Fettansatz neigenden Tiere durch einen konstant höheren Rohfasergehalt in ihrer Futterraufnahme eingebremst werden können. Bei den „magereren“ Tieren wurde hingegen auf die erhöhte Faser verzichtet und die Ration regelmäßig an die Bedarfsempfehlungen (DLG 2019) angepasst. Die Einteilung und Ultraschalluntersuchungen wurden wie bereits oben beschrieben auch in diesem Mastdurchgang durchgeführt.

2.2.3 Durchgang *Einheimische Futtermittel-I* und *-II*

In den Durchgängen „*Einheimische Futtermittel*“ basierten die eingesetzten Rationen ausschließlich auf einheimisch produzierten Komponenten. Das Futter konnte so konzipiert werden, dass vollständig auf den Einsatz von Soja verzichtet werden konnte. Als Proteinträger wurden überwiegend Raps- und Sonnenblumenextraktionsschrot eingesetzt. Die Einteilung und Ultraschalluntersuchungen wurden wie bereits oben beschrieben auch in diesem Mastdurchgang durchgeführt. Das Fütterungsregime aus den Durchgängen „*Regelalgorithmus*“ wurde adaptiert und die vorherigen Ergänzungsfuttermittel inkl. Soja wurden durch Ergänzungsfuttermittel auf Basis einheimisch produzierter Einzelfuttermittel ersetzt.

2.3 Klinik für kleine Klautiere und forensische Medizin und Ambulatorische Klinik

2.3.1 Einarbeitung, Versuchsplanung und allgemeines Vorgehen

Für die Projektbearbeitung wurde als wissenschaftliche Mitarbeiterin Frau Dr. Cornelia Schwennen zum 01.01.2019 eingestellt.

Mit Hilfe der Computertomographie (CT) können in detaillierten Querschnittsdarstellungen die Anatomie und die Körperzusammensetzung lebender Tiere untersucht werden. Die CT findet in der Tiermedizin unter anderem Verwendung in der Untersuchung von Lungenerkrankungen, so nutzte die Klinik für kleine Klautiere diese Technologie in Untersuchungen zum Lungengesundheitsstatus des Schweines (Brauer et al. 2011) sowie im Rahmen experimenteller *Actinobacillus pleuropneumoniae* (APP-) Infektionen (Brauer et al. 2012, Menzel 2014). Auch konnte in der Klinik mit Hilfe der Computertomographie das Wachstum ausgewählter Röhrenknochen von Miniaturschweinen phänotypisch näher charakterisiert werden (Gundlach 2012). Für die Validierung des optiSORT®-Sortierschleusen-Systems ist eine exakte Beschreibung von Körperproportionen und der Körperzusammensetzung von wachsenden Schweinen notwendig. Dieses können CT-Untersuchungen leisten. So finden sich in der Literatur eine Vielzahl entsprechender Studien zur Beurteilung der Körperzusammensetzung wachsender Schweine mit Hilfe von CT-Untersuchungen (Szabo et al. 1999, Kolstad 2001, Giles et al. 2014, Carabus et al. 2014 und 2015, Font-i-Furnols et al. 2015, Carabus et al. 2017).

Um eine aussagekräftige CT-Untersuchung an einem Mastschwein durchführen zu können, muss dieses narkotisiert werden. Daher war eine Anzeige des Versuchsvorhabens nach §8a Abs.1 Nr.2 des Tierschutzgesetzes erforderlich. Diese wurde am 24.07.2018 durch das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit ohne Einwände zur Kenntnis genommen (Az: 33.8-42502-05-18A332).

Für die Kalibrierung und Ausrichtung des Computertomographen wurden vor Beginn des ersten Versuchsdurchganges Schnittbilder des Rumpfs im Bereich der letzten Rippe von klinikeigenen, im Rahmen einer studentischen Übung narkotisierten Läuferschweinen angefertigt. Analog zur Ultraschallmessung wurde die Dicke des *Musculus longissimus dorsi* sowie die RSD mit Hilfe der Bildmanagementsoftware easyImage® (Vetz GmbH, Isernhagen) vermessen. Zur weiteren Validierung der CT-Bilder wurde vom Schlachthof ein Kotelettstrang mit anhaftender Schwarte erworben. Dieser wurde, nachdem er zunächst direkt per Hand vermessen wurde, einer computertomographischen Untersuchung unterzogen. Bei den so gewonnenen Schnittbildern wurde mit Hilfe des easyImage® die Dicke des *M. longissimus dorsi* einschließlich der RSD erfasst und mit den tatsächlichen Werten abgeglichen (Abbildung 3 a+b).

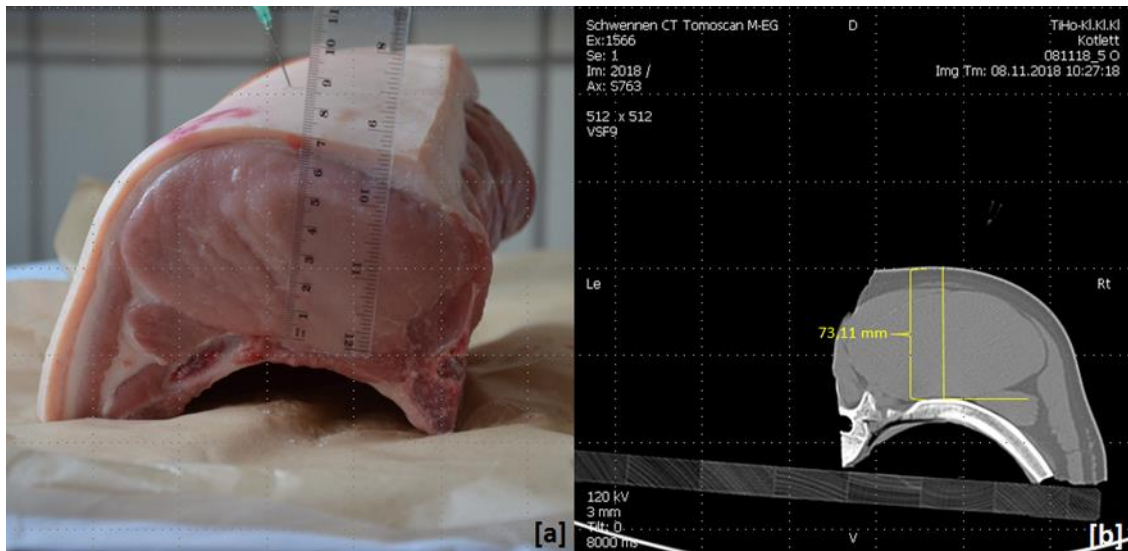


Abbildung 3: [a] Vermessung des M. longissimus dorsi einschließlich der RSD direkt am Kotelettstrang. [b] Schnittbild des Kotelettstranges (Bild Schwennen)

Aus den vier Mastdurchläufen (1. *Basisdurchgang*, 2. *Rohfaser-extreme-II*, 3. *Regelalgorithmus-I*, 4. *Einheimische Futtermittel-I*) wurden jeweils zehn Tiere der Gewichtsklassen 50, 70, 90 und 110 kg für die CT-Untersuchungen randomisiert selektiert. Die zehn für die CT-Untersuchung bestimmten Schweine wurden spätestens am Vortag der geplanten Untersuchung vom Klinikpersonal in Emsbüren abgeholt und nach Hannover transportiert. Bei Ankunft der Tiere erfolgte eine klinische Allgemeinuntersuchung sowie eine Erfassung des Gewichtes mit einer digitalen Einzeltierwaage (Meier-Brakenberg GmbH & Co. KG, Extertal). Am Untersuchungstag erfolgte zunächst die Vermessung des Rückens per Ultraschall sowie die Einleitung der Anästhesie mittels einer Kombination der Wirkstoffe Ketamin (20 mg/KGW, i.m., Ketamidol[®] 100 mg/ml, WDT, Garbsen oder Ursotamin[®] 100 mg/ml, Serumwerk Bernburg AG, Bernburg) und Azaperon (2 mg/KGW, i.m., Stresnil[®] 40 mg/ml, Elanco, Bad Homburg). Unter Vollnarkose wurde das zu untersuchende Tier in den Computertomographen (Tomoscan M[®], Philips Medical Systems, Hamburg) verbracht und in Brust-Bauchlage gelagert (Abbildung 4). Die CT-Untersuchung startete zunächst mit einer Übersichtsaufnahme, dem sog. Scanogramm vom Rücken des Tieres (Abbildung 5). Im Zuge des Basisdurchganges wurden zunächst nur 15-30 Schnittbilder mit einer Schichtdicke von 3 mm im Bereich der letzten Rippe am Übergang Brust- zur Lendenwirbelsäule erstellt. Dieses Protokoll wurde für die weiteren Durchgänge und um eine genauere Beschreibung des gesamten Schweinerumpfes zu erlangen erweitert, sodass nun an insgesamt sieben Messpunkten (Schulter, 3-4 Rippe, 6-7 Rippe, 11-12 Rippe, 14-15 Rippe, 3-4 LW, Schinken) Schnittbilder mit einer Schichtdicke vom 10 mm angefertigt wurden.



Abbildung 4: Lagerung eines ca. 70 kg schweren Mastschweines für die CT-Untersuchung (Bild Schwennen)

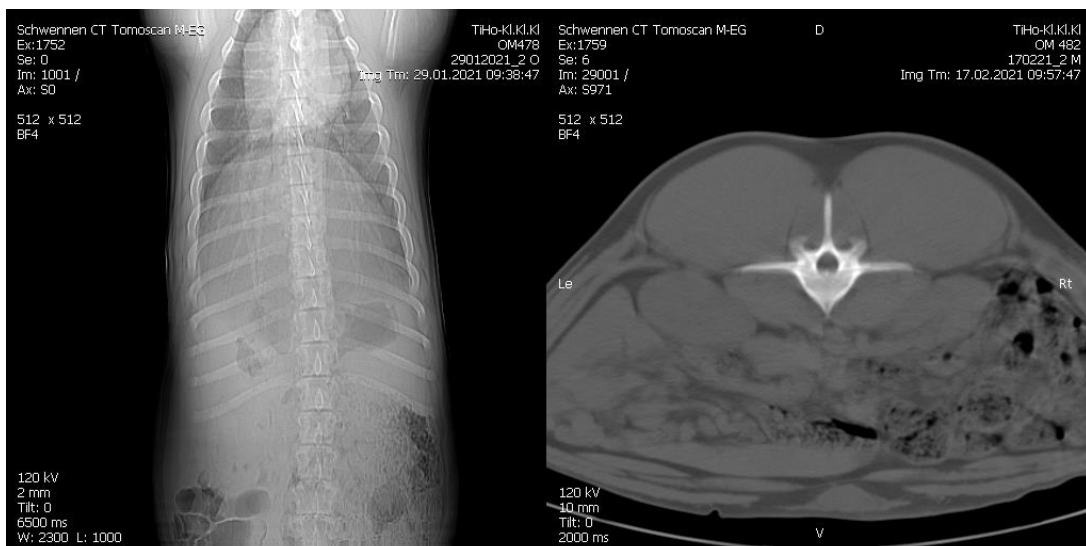


Abbildung 5: Beispielhaftes [a] Scanogramm und [b] Schnittbild eines 50 kg schweren Mastschweines (Bild Schwennen)

Nachdem die CT-Untersuchung abgeschlossen war, wurden die Tiere zum schonenden Aufwachen aus der Narkose in eine separate Bucht verbracht. Nach Ablauf der durch die Medikation (Ketamin und Azaperon) bedingten Wartezeit wurden die Schweine einem Schlachthof zugeführt.

Die CT-Bilder wurden der Firma Hölscher + Leuschner zum weiteren Abgleich mit den 3D-Bildern zur Verfügung gestellt.

2.3.2 Basisdurchgang

Im Rahmen des *Basisdurchganges* wurde bei insgesamt 30 Tieren eine CT-Untersuchung durchgeführt. Die ersten zehn Schweine trafen mit einem Durchschnittsgewicht von 66,2 kg

am 27.09.2018 in der Klinik für kleine Klauentiere ein. Die CT-Untersuchungen wurden entsprechend einen Tag später am 28.09.2018 durchgeführt. Die Schweine der 90 kg Gewichtsklasse wurden 26 Tage später am 23.10.2018 mit einem Durchschnittsgewicht von 93,6 kg in Hannover eingestallt und am Folgetag computertomographisch untersucht. Die letzten 10 Schweine des Basisdurchganges wurden am 14.11.2018 mit einem durchschnittlichen Gewicht von 108,37 kg abgeholt und die CT-Untersuchung erfolgte am 15.11.2018. Leider konnten zu Beginn des Basisdurchganges, aufgrund von Problemen mit der Sortierschleuse/Waage in dem Versuchsbetrieb, keine Schweine in der Gewichtsklasse 50 kg aussortiert und entsprechend computertomographisch untersucht werden.

2.3.3 Durchgang *Rohfaser-extreme-I* und *-II*

Für den Durchgang *Rohfaser-extreme-I* waren laut Versuchsplan keine computertomographischen Untersuchungen geplant.

Im Zuge des Durchgangs *Rohfaser-extreme-II* wurden insgesamt 40 Mastschweine in Hannover computertomographisch untersucht. Die ersten 10 Schweine trafen mit einem Durchschnittsgewicht von 49,13 kg am 03.05.2019 in der Klinik ein und die CT-Untersuchungen erfolgten am 07. und 08.05.2019. Die Schweine der 70 kg Gruppe wurden mit einem durchschnittlichen Gewicht von 69,88 kg am 13.05.2019 in Emsbüren abgeholt und am 14. und 15.05.2019 untersucht. Am 05.06.2019 wurden wieder 10 Mastschweine mit einem durchschnittlichen Gewicht von nun 91,32 kg in die Klinik eingestallt und an den beiden darauffolgenden Tagen computertomographische untersucht. Die letzten 10 Schweine dieses Durchganges kamen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 101,3 kg am 01.07.2019 in Hannover an und wurden entsprechend am 02. und 03.07.2019 bildgebend untersucht.

2.3.4 Durchgang *Regelalgorithmus-I* und *-II*

Auch für den Durchgang *Regelalgorithmus-I* konnten von jeweils 40 Tieren computertomographische Schnittbilder vom Schweinerumpf erstellt werden. Die Durchführung der Narkose und die CT-Untersuchungen verliefen planmäßig. Am 01.10. kamen die ersten 10 Schweine mit einem durchschnittlichen Gewicht von 50,3 kg in Hannover an und wurden am 02. und 04.10. computertomographisch untersucht. Die 10 Schweine der 70 kg Gruppe wurden am 29.10.2019 in Emsbüren mit einem durchschnittlichen Gewicht von 69,42 kg abgeholt, die CT-Untersuchungen fanden dann am 30.10. und am 01.11. statt. Am 19.11. kamen erneut 10 Schweine mit einem durchschnittlichen Gewicht von 92,33 kg in der Klauentierklinik an und wurden am entsprechend am 20. und 21.11.19 narkotisiert und per CT untersucht. Die letzten 10 Tiere dieses Durchganges wurden am 17.12.2019 mit einem durchschnittlichen Gewicht von 112,58 kg nach Hannover transportiert, am 18. und 19.12.2019 wurden die CT-Aufnahmen angefertigt.

Nach Versuchsplan gilt der Durchgang *Regelalgorithmus-II* als Kontrolldurchgang für *Regelalgorithmus-I*. Daher waren für diesen Durchgang keine computertomographischen Untersuchungen vorgesehen.

2.3.5 Durchgang *Einheimische Futtermittel-I* und *-II*

Im Zuge des Durchganges *Einheimische Futtermittel-I* wurden insgesamt 40 Mastschweine in Hannover computertomographisch untersucht. Die ersten 10 Schweine trafen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 57,68 kg am 27.01.2021 in Hannover ein und wurden am 28. und 29.01.2021 computertomographisch untersucht. Die nächsten 10 Schweine wurden am 16.02.2021 in Emsbüren mit einem Durchschnittsgewicht von 81,2 kg abgeholt, die CT-Untersuchungen fanden an den beiden folgenden Tagen (17. und 18.02.2021) in der Klinik für kleine Klautiere statt. Am 02.03.2021 kamen die Schweine der 90 kg Gruppe mit einem etwas zu leichten durchschnittlichen Gewicht von 83,77 kg in Hannover an und wurden entsprechend am 03. und 04.03.2021 untersucht. Die letzten 10 Schweine erreichten Hannover am 22.03.2021 mit einem Durchschnittsgewicht von 106,5 kg, die CT-Aufnahmen wurden am 24. und 25.03.2021 angefertigt.

Der Durchgang *Einheimische Futtermittel-II* galt wieder als Kontrolldurchgang. Daher waren auch für diesen Durchgang keine computertomographischen Untersuchungen vorgesehen.

2.4 Institut für Landtechnik

2.4.1 Einarbeitung, Versuchsplanung und allgemeine Vorgehensweise

Für die Projektbearbeitung von Seiten der Universität Bonn wurde Frau Alexandra Lengling zum 01.07.2018 eingestellt. Im ersten Monat fanden zunächst Einarbeitung und Literaturrecherche zur Thematik der Emissionsmessungen statt. Für die Planung des genauen Aufbaus der Messtechnik im Versuchsstall und die zielführende Umsetzung der Emissionsmessungen wurde auf die methodische Vorgehensweise von Austermann (2016) und Schmithausen et al. (2016) zurückgegriffen und sich intensiv in die Methodik eingearbeitet. Zusätzlich wurde zur Thematik der Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) bzgl. der Anwendung am lebenden Schwein zur Bestimmung der Körperzusammensetzung Literaturrecherche durchgeführt. Verschiedene Autoren berichten, dass die Anwendung von NIRS für diese Indikation nicht die Methode der Wahl ist, da andere Techniken wie z.B. die Sonographie hier bessere Ergebnisse liefern. Als Hauptschwierigkeit bei der Anwendung von NIRS am Schwein wird die mangelnde Eindringtiefe der Strahlung aufgrund der Hautdicke beschrieben. Es wird jedoch auch berichtet, dass die NIRS als ergänzende Methode Anwendung finden könnte, und dass weitere Forschung auf diesem Gebiet notwendig ist (Mitchell et al. 2005; Pérez-Marín et al. 2009). Auf Basis der Literaturrecherche wurde der Fokus im weiteren Projektverlauf auf die Durchführung der Emissionsmessungen gelegt.

Im Rahmen des ersten Projekttreffens bei der Firma Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG in Emsbüren am 01.08.2018 wurde zunächst die Umsetzung der Versuche auf dem Praxisbetrieb in Emsbüren besprochen. Für die Emissionsmessungen standen zwei Stallgebäude (Stall 3 und Stall 4) des Betriebs zur Verfügung (Abbildung 6). Die Haltung der Tiere erfolgte in Großgruppen von bis zu 980 Mastschweinen pro Stall. Die Ställe waren zu ca. 60 % mit einem Betonspaltenboden und zu ca. 40 % mit einem Kunststoffspaltenboden (Comfifloor, Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG) ausgestattet. Jeder Stall ließ sich räumlich in unterschiedliche Buchten unterteilen, in denen 300-350 Tiere gehalten werden konnten. Jede dieser Buchten

verfügte über zwei räumlich voneinander getrennte Fressbereiche und war mit einer optiSORT Sortierschleuse (Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG) ausgestattet. Die Frischluftzufuhr wurde über Lüftungskappen entlang der Traufen zugeführt, während die Abluftführung durch eine dezentrale Oberflurabsaugung erfolgte. Stall 4 verfügte über zwei spiegelbildlich identisch aufgebaute und vollständig voneinander getrennte Abteile (1 und 2). Die ursprüngliche Planung sah vor, in diesem Stall nach dem „Case/Control“ Prinzip die Emissionsmessungen durchzuführen. Hierfür sollten im Abteil 1 Referenzmessungen durchgeführt werden, bei denen die Tiere während des Mastdurchgangs eine standardmäßige Phasenfütterung erhalten, während im Abteil 2 die Emissionsmessungen unter den zu testenden ressourceneffizienten Fütterungsstrategien durchgeführt werden sollten. Parallel dazu sollten in Stall 3 ausschließlich Versuchsmessungen unter ressourceneffizienter Fütterung durchgeführt werden. Aufgrund technischer Gegebenheiten bzgl. Fütterungssteuerung und einer erschwerten Durchführung der Ultraschallmessungen von Seiten der Tierärztlichen Hochschule Hannover in Stall 4 Abteil 2, wurde von diesem Plan jedoch nach dem ersten Versuchsdurchgang (*Rohfaser-extreme-I*) abgewichen. Alle weiteren Versuchsdurchgänge fanden ausschließlich in Stall 3 statt. Stall 4 wurde als Kontrollstall für die Emissionsmessungen weiterverwendet.

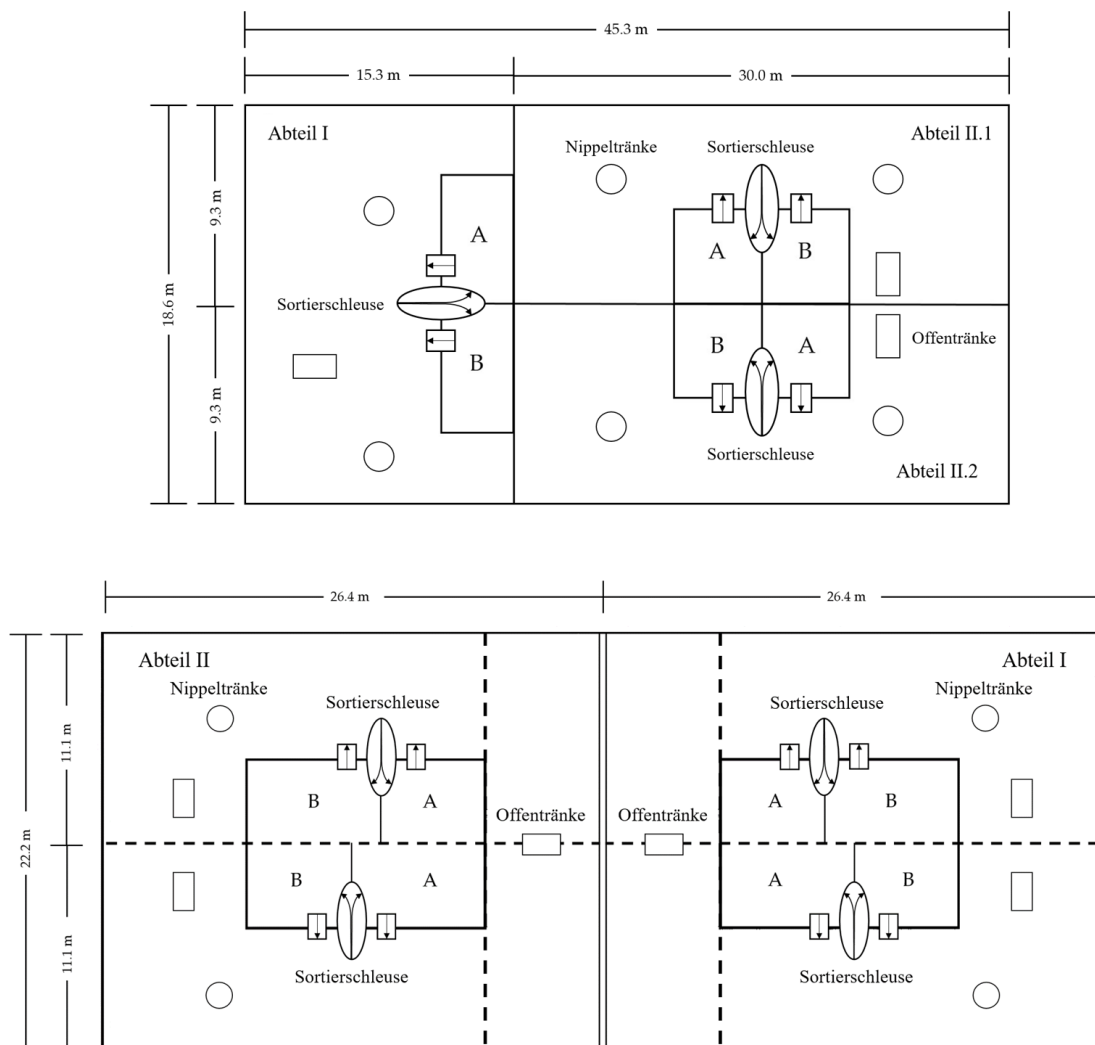


Abbildung 6: Stall 3 (Hauptversuchsstall) oben. Stall 4 (Kontrollstall) unten (©Lengling).

Für die Emissionsbestimmungen wurden mehrere Messtechnikkomponenten in beiden Ställen installiert. Für die Bestimmung der Gaskonzentrationen wurden Messgeräte der Firma LumaSense Technologies verwendet (Gasmonitor 1412A und 1412i; Messstellenumschalter 1309 und 1409), die eine kontinuierliche Messung der Gase Ammoniak (NH_3), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Methan (CH_4) ermöglichten. Die Messung der Gaskonzentrationen erfolgte sowohl in der Frischluft, als auch in der Abluft der einzelnen Abteile. Hierfür wurde die Luft mittels Vakuumpumpen (Vacuubrand GmbH & Co. KG) über PTFE-Schläuche von verschiedenen Messstellen angesaugt und in Probenflaschen (eine je Messstelle) gepumpt. Aus diesen Probenflaschen wurde durch das Gasanalysegerät wiederum Probenluft zur Analyse angesaugt. Die Restluft wurde aus dem Stall hinausgeleitet. Die Daten jedes Messgeräts wurden auf einem in jedem Stall installierten Messcomputer gespeichert. Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung der Gaskonzentrationsmessungen.

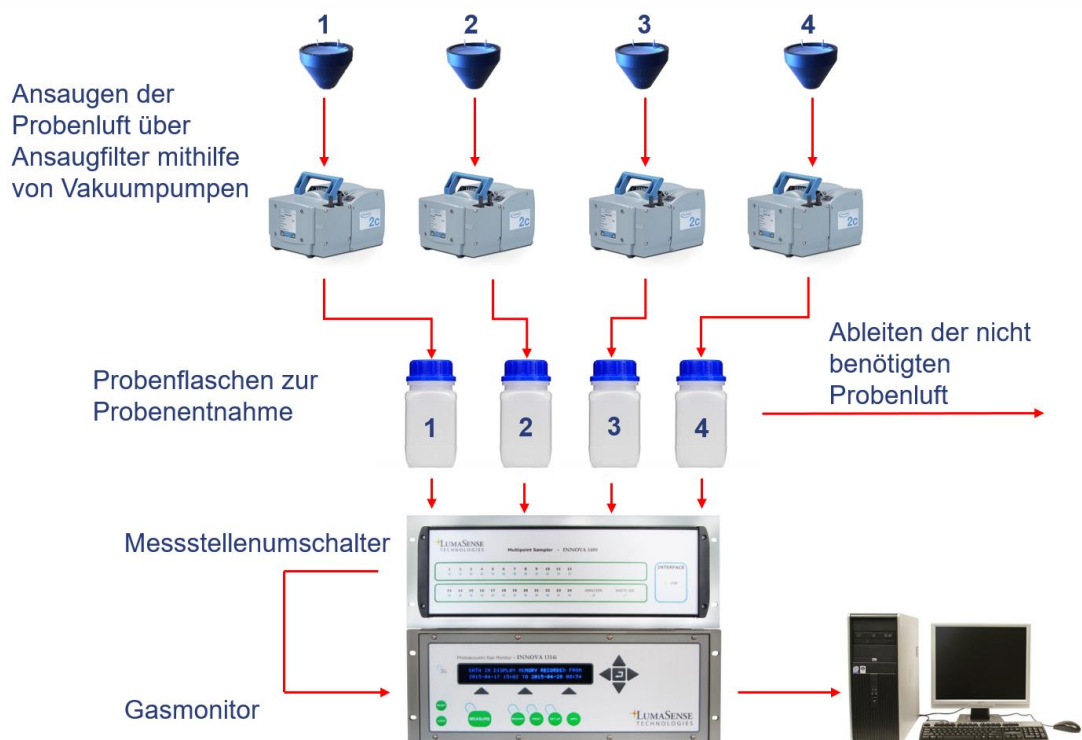


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Gaskonzentrationsmessungen (modifiziert nach Schmithausen, 2016).

Für eine Kalkulation der Emissionen ist neben den Gaskonzentrationen auch eine Bestimmung der Luftvolumenströme im Stall erforderlich. Hierfür wurde in jedem Abluftkamin ein kalibrierter Messventilator (Reventa GmbH) installiert. Mithilfe dieser Messventilatoren, spezieller Drehzahlmesstecker und Datenlogger der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH konnten so die Volumenströme erfasst und aufgezeichnet werden (Abbildung 8).



Abbildung 8. Links: Datenlogger der Firma Ahlborn mit Drehzahlmesssteckern (©Lengling). Mitte: Messventilator der Firma Reventa (©Reventa GmbH). Rechts: Schematische Darstellung eines Abluftkamins der Stallgebäude (modifiziert nach R. Brooks Stallklimaanlagen GmbH).

Da die Entstehung von Emissionen auch abhängig von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist, wurden darüber hinaus Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmesser (Testo SE & Co. KGaA) im Innen- und Außenbereich installiert.

Bevor die Gasanalysegeräte im Stall installiert wurden, wurden diese zunächst im Prüflabor des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn auf Messgenauigkeit überprüft (September 2018). Hierfür diente eine Gasprüfstation, an die die Geräte angeschlossen wurden (Abbildung 9).



Abbildung 9: Überprüfung der Messgenauigkeit der Gasanalysegeräte an der hauseigenen Gasmischstation des Instituts für Landtechnik (©Lengling).

Mithilfe eines Steuerungsprogramms kann hier ein Gasgemisch mit den gewünschten Konzentrationen an Ammoniak, Kohlenstoffdioxid und Methan hergestellt werden. Gleichzeitig kann die Luftfeuchtigkeit im Gasgemisch eingestellt und variiert werden. Das Gasmessgerät analysiert dann nach einem vorgegebenen Messprotokoll das Probengasgemisch, wobei in regelmäßigen Zeitabständen die Konzentrationen geändert werden. Da die genauen Konzentrationen im Gasgemisch bekannt sind, kann anhand der vom Messgerät gemessenen Konzentrationen die Messabweichung bestimmt werden. Hierdurch war eine Korrektur der später im Stall erhobenen Konzentrationsdaten möglich, sodass die Messgenauigkeit möglichst hochgehalten werden konnte.

Die Überprüfung der Messgenauigkeit erfolgte darüber hinaus während der Projektlaufzeit in regelmäßigen Abständen zwischen den einzelnen Versuchsdurchgängen.

Nach Abschluss der ersten Laborphase im September 2018, konnte im Oktober 2018 mit dem Einbau der Messtechnik begonnen werden. Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinflüssen auf dem Betrieb (v.a. Staub, Feuchtigkeit, Schadgase), wurde die Technik in Serverschränken in den Stallvorräumen installiert. Zum Schutz vor Stromausfällen und Datenverlusten wurden die Messcomputer und Gasanalysegeräte über einen USV-Batteriepuffer abgesichert (Abbildung 10).

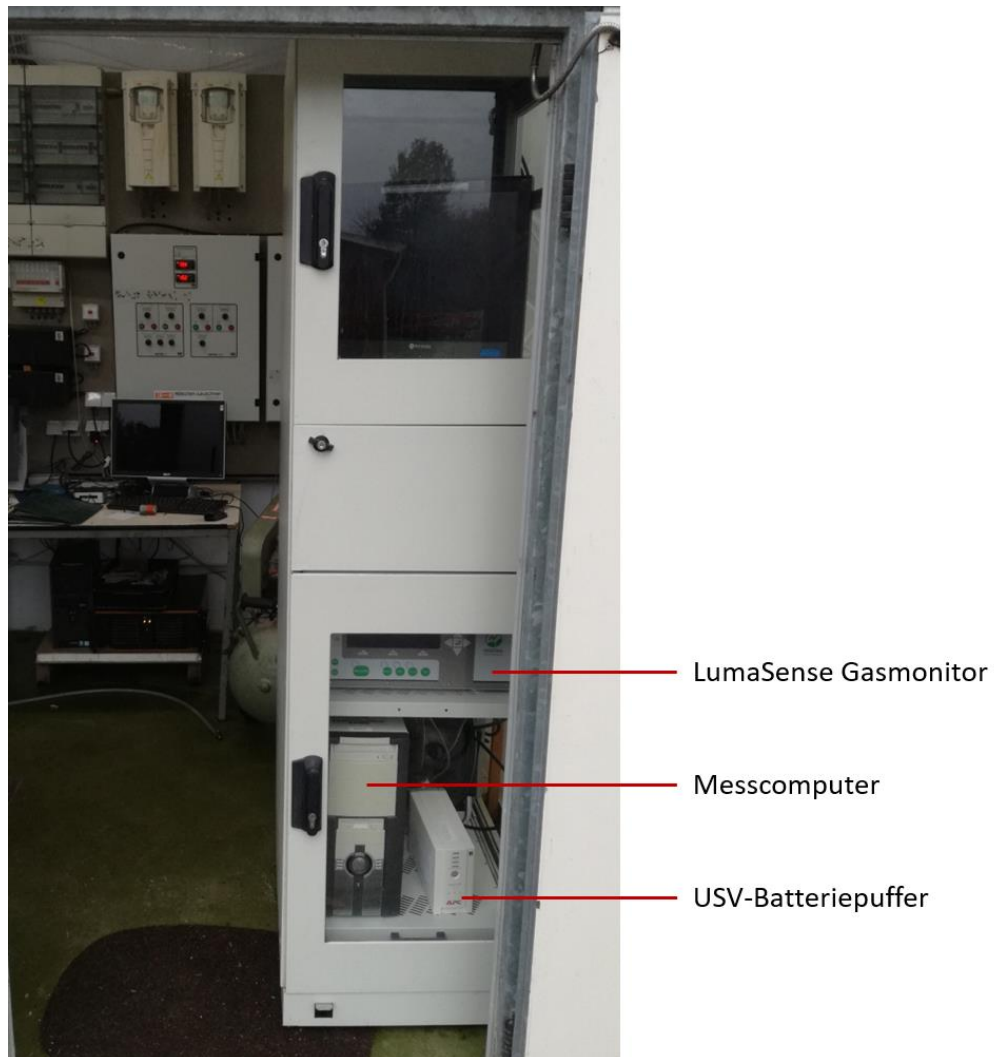


Abbildung 10: Serverschrank mit installierter Messtechnik im Stallvorraum des Kontrollstalls: LumaSense Gasmonitor, Messcomputer, USV-Batteriepuffer (©Lengling).

Durch Lieferverzögerungen und da ein Teil der Messkomponenten (Messventilatoren, Drehzahlstecker, Kabel) auf die Gegebenheiten im Stall angepasst werden mussten, konnte die vollständige Datenerhebung in allen Ställen im Dezember 2018 beginnen.

Trotz der regelmäßigen Kontrolle und Wartung der Messtechnik, sowie der von Beginn an getroffenen Schutzmaßnahmen, kam es im Laufe des Projekts zu technischen Problemen und Defekten der Messtechnik, die behoben werden mussten, um eine solide Datenerfassung gewährleisten zu können. So mussten beide Gasanalysegeräte im Laufe der Projektlaufzeit vom Hersteller neu kalibriert und repariert werden. Aufgrund notwendiger Öffnungen in den Schränken für die Schläuche, über die die Probenluft aus dem Stall den Messgeräten zugeführt wird, konnten die oben beschriebenen äußere Umwelteinflüsse nicht gänzlich von den Messgeräten ferngehalten werden. Hinzu kam ein kontinuierlicher Einsatz in beschriebener Umgebung, sodass die empfindliche Messtechnik über sehr lange Zeit den beschriebenen Einflüssen ausgesetzt war und hierdurch Schaden nahm. Aufgetretene Schäden mussten vom Hersteller individuell festgestellt und behoben werden.

Darüber hinaus mussten mehrfach einzelne Komponenten zur Erfassung der Luftvolumenströme repariert und ausgetauscht werden. Da die Versuche unter Praxisbedingungen durchgeführt wurden, musste auf Grundlage der gegebenen Bedingungen gearbeitet werden. Standardisierte Bedingungen waren nicht gegeben. Die notwendige Technik wurde bestmöglich auf dem Betrieb, entsprechend der Gegebenheiten, verbaut und installiert. Dennoch waren auch hier auftretende Probleme und Schäden im Laufe der Versuchszeit vorab nicht abzuschätzen, sodass auch hierfür Mittel zur Reparatur und Wartung aufgewendet werden mussten.

Tabelle 4 zeigt die Zeiträume der durchgeführten Mastdurchgänge und die jeweiligen Anteile auswertbarer Messtage.

Tabelle 4: Übersicht der Mastdurchgänge mit Anteil auswertbarer Messperioden.

Mastdurchgang	Zeitraum	Messtage (d)*
Basisdurchgang	Aug. 2018 – Dez. 2018	0
Rohfaser-extreme-I	Nov. 2018 – Mär. 2019	46
Rohfaser-extreme-II ^a	Mär. 2019 – Jul. 2019	33
Regelalgorithmus-I ^b	Aug. 2019 – Jan. 2020	0
Regelalgorithmus-II	Mai 2020 – Aug. 2020	42
Einheimische Futtermittel-I	Dez. 2020 – Apr. 2021	83
Einheimische Futtermittel-II	Mai. 2021 – Sep. 2021	38

*Messtage an denen sowohl Gaskonzentrationen (Frisch- und Abluft), Volumenströme, Tieranzahl und Tiergewicht erfasst werden konnten.

^aKein Kontrolldurchgang als Vergleich.

^bNach Abschluss des Durchgangs festgestellte Kontaminierung der Probenluft innerhalb des Messgeräts durch Falschlufzuführen, weshalb die Daten nicht aussagekräftig sind.

Messtage wurden als „auswertbar“ gezählt, wenn sowohl Werte der Gaskonzentrationen in der Frisch- und Abluft, als auch die vollständigen Volumenströme, sowie Tieranzahl und -gewicht erfasst werden konnten. Für die Gaskonzentrationen ergaben sich pro Messpunkt 360 Einzelwerte pro Tag und für die Volumenströme 144 Einzelwerte pro Tag, aus denen Stunden- bzw. Tagesmittelwerte bestimmt wurden. Für die Bewertung einer Tierhaltungsanlage bzgl. der Ammoniakemissionen werden für die Messungen sechs unabhängige Messperioden von 24h über ein Jahr verteilt vorgegeben (Vera-Prüfprotokoll). Der Umfang der durchgeführten Messungen liegt somit deutlich über den

Mindestanforderungen und liefert trotz der technischen Störungen eine ausreichend große und solide Datenbasis für die gezogenen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen bzgl. des Fütterungssystems.

2.4.2 *Basisdurchgang*

Zur Erhebung von Grunddaten wurde in Stall 3 ein Basisdurchgang durchgeführt. Die Tiere für diesen Durchgang wurden am 10.08.2018 eingestallt. Da die Messtechnik für die Emissionsmessungen bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig beschafft und in den Ställen eingebaut werden konnte, liegen von dem Basisdurchgang keine Emissionsdaten vor.

2.4.3 *Durchgang Rohfaser-extreme-I und Kontrolle-I*

Nach dem Basisdurchgang fand der erste Versuchsdurchgang mit angepasster Fütterung (*Rohfaser-extreme-I*) ab November 2018 in Stall 4, Abteil 2 statt. Parallel wurden Kontrollmessungen der Emissionen in Abteil 1 durchgeführt. Da die letzten Messkomponenten erst im Dezember 2018 eingebaut werden konnten, konnten erst ab diesem Zeitpunkt vollständige Daten zur Bestimmung der Emissionsmassenströme erfasst werden. In Abteil 2 erhielten die Tiere vier Rationen unterschiedlichen Rohfasergehaltes, die im rotierenden Wechsel in den vier Fütterungsbereichen angeboten wurden. Hierdurch wurden erste Erkenntnisse zum Einfluss verschiedener Rohfasergehalte in der Futtermischung auf die Emissionen gewonnen.

2.4.4 *Durchgang Rohfaser-extreme-II und Kontrolle-II*

In Stall 3 wurden Ende März 2019 984 Tiere eingestallt für den zweiten Durchgang *Rohfaser-extreme*. Für die Untersuchung der Emissionen wurden die Konzentrationen von Kohlendioxid, Ammoniak und Methan wie beschrieben im vorderen und hinteren Stallabteil gemessen. Da 44 % der im Stall entstehenden Ammoniakemissionen von verschmutzten Oberflächen ausgehen (Janssen und Krause 1987) und ein erhöhter Rohfasergehalt zu einer Veränderung der Kotkonsistenz führen kann, die in einer stärkeren Buchtenverschmutzung resultieren kann (Massé D.I. et al. 2003) wurde in Abteil 2 eine Bonitur der Oberflächenverschmutzung durchgeführt. Hierzu wurde die Stallfläche beider Buchten in Boniturfelder unterteilt. Da im Stall unterschiedliche Spaltenböden verlegt waren, wurden die Felder entsprechend der Bodenelemente festgelegt und unterschieden sich daher in der Größe. Von jedem Feld wurde der prozentuale Anteil der Gesamtfläche berechnet, sodass nach Bewertung aller Felder der Gesamtanteil verschmutzter Fläche berechnet werden konnte. Bewertet wurden zum einen die Oberflächenverschmutzung und zum anderen der Spaltenverschlussgrad. Die Bonitur wurde durchgeführt in Anlehnung an Ebertz et al. (2019) und Austermann (2016). Hierbei wurde die Oberflächenverschmutzung mit den Bewertungsnoten 0-4 (0 = sauber und trocken; 1 = nass; 2 = verkotet; 3 = nass und verkotet; 4 = stark verdreckt/schlammig) und der Spaltenverschluss mit den Bewertungsnoten 0-3 (0 = 0-25 % verschlossen; 1 = 26-50 % verschlossen; 2 = 51-75 % verschlossen; 3 = 76-100 % verschlossen) bewertet. Insgesamt wurden 6 Bonituren in einem 3-wöchigen Rhythmus durchgeführt.

In Stall 4 Abteil 1 wurden am 09. April 2019 478 Tiere eingestallt, die eine standardmäßige Phasenfütterung als Kontrolle zu den Versuchsmessungen in Stall 3 erhielten. Im Verlauf des Mastdurchgangs kam es sowohl zu defekten Kabeln mehrerer Messventilatoren, als auch zu einem Defekt am Gasmessgerät. Aus diesen Gründen konnten in diesem Durchgang keine verlässlichen Emissionsdaten erhoben werden. Zum Vergleich der Buchtenverschmutzung unter Rohfaser ergänzter Fütterung in Stall 3 wurde in Stall 4 Abteil 1 ebenfalls eine Bonitur der Verschmutzung als Kontrolle durchgeführt. Die Bonituren in Stall 4 wurden nach dem gleichen Schema und im gleichen Rhythmus wie in Stall 3 durchgeführt.

2.4.5 Durchgang *Regelalgorithmus-I und Kontrolle-III*

Am 30. August 2019 wurden in Stall 3 980 Tiere für den Mastdurchgang *Regelalgorithmus-I* eingestallt. Der Durchgang endete im Januar 2020. Die Emissionsmessungen wurden wie bereits oben beschrieben auch in diesem Mastdurchgang durchgeführt.

Im Rahmen einer am Institut für Landtechnik durchgeführten Masterarbeit, die von Frau Lengling betreut wurde, wurden während dieses Versuchsdurchgangs Thermographieaufnahmen an den Tieren durchgeführt (siehe Abbildung 11). Ziel war es herauszufinden, ob eine Korrelation zwischen Körperkondition und Körperoberflächentemperatur besteht, und ob eine Unterscheidung der Leistungsgruppen mittels Thermographie denkbar wäre. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden im Anschluss in einem Journalbeitrag (s. Anhang) veröffentlicht.

Zeitgleich mit Stall 3 wurden in Stall 4 Abteil 2 Ende August 2019 680 Tiere eingestallt. Anfang Oktober wurden 669 Tiere in Stall 4 Abteil 1 eingestallt. Aufgrund der Reparatur und Kalibration des Gasmessgerätes konnten die Messungen der Emissionsdaten erst ab Ende Oktober für beide Stallabteile gestartet werden, sodass die Phase der Anfangsmast nicht mit erhoben werden konnte.

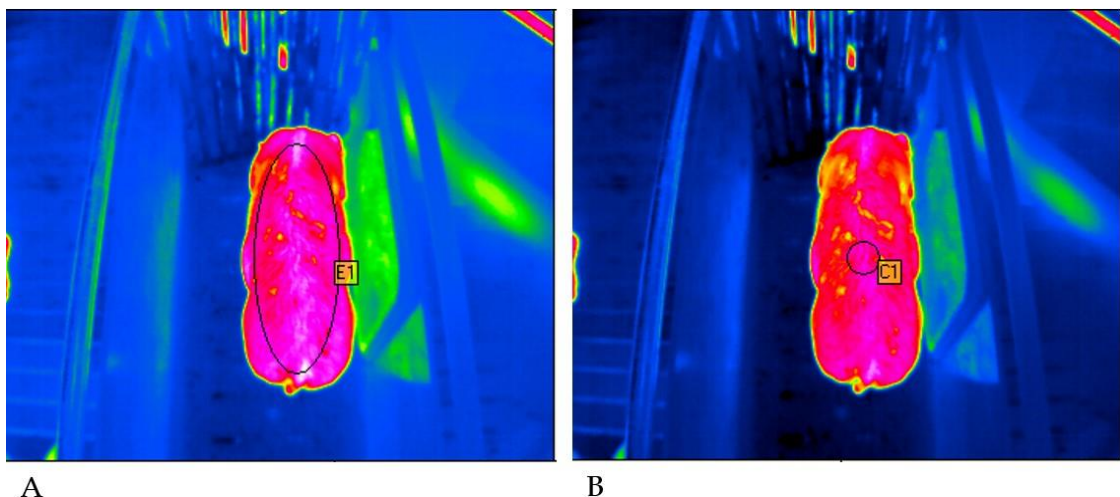


Abbildung 11: Thermographieaufnahme eines Mastschweins innerhalb der Sortierschleuse im Versuchsstall zum Zeitpunkt der Gruppeneinteilung. Die Bilder A und B zeigen die selbe Aufnahme unter Anwendung zweier verschiedener Auswertungsmethoden (Lengling et al. 2020b).

2.4.6 Durchgang *Regelalgorithmus-II und Kontrolle-IV*

In Stall 3 wurden Mitte Mai 2020 940 Tiere eingestallt für den Durchgang *Regelalgorithmus-II*. Der Versuchsdurchgang endete Anfang September 2020.

Auch bei diesem Durchgang wurden zusätzlich zu den Emissionsmessungen Bonituren der Buchtenverschmutzung in Abteil 2 des Stalls durchgeführt. Insgesamt wurden 5 Bonituren in einem 3-wöchigen Rhythmus durchgeführt.

In Stall 4 Abteil 2 wurden Ende April 2020 680 Tiere eingestallt, die eine standardmäßige Phasenfütterung als Kontrolle zu den Versuchsmessungen in Stall 3 erhielten. Durch die schädlichen Einwirkungen der Umgebungsluft (v.a. Ammoniak und Staub) des Stalls auf die Messstecker der Messventilatoren, mussten zu Beginn des Versuchsdurchgangs mehrere Kabel und Stecker getauscht werden. Die Kabel wurden zudem verlängert, um die Datenlogger zur Aufzeichnung der Volumenströme besser geschützt im Stallvorraum unterzubringen. Zum Vergleich der Buchtenverschmutzung zu Stall 3 wurde in Stall 4 ebenfalls eine Bonitur der Verschmutzung als Kontrolle durchgeführt. Der Kontrolldurchgang endete Ende August 2020.

2.4.7 Durchgang *Einheimische Futtermittel-I und Kontrolle-V*

Nachdem der Versuchsdurchgang zunächst aus Tierschutzgründen aufgrund von Schwanzbeißen abgebrochen werden musste, konnten Ende Dezember 2020 980 neue Tiere aufgestellt werden. Aufgrund eines Defekts am Messgerät aus dem Versuchsstall, musste dies im Dezember zur Reparatur und neu Kalibrierung zum Hersteller eingeschickt werden. Durch Verzögerungen im Ablauf aufgrund der Covid-19 Pandemie wurde das Gerät erst Ende Februar 2021 vom Hersteller zurückgesendet. Um die Datenerfassung im laufenden Versuchsdurchgang nicht zu unterbrechen, wurde das Messgerät aus dem Kontrollstall in den Versuchsstall eingebaut. Aus den vorherigen Versuchs- und Kontrolldurchgängen lagen ausreichend Daten vor, um die neuen Versuchsdaten vergleichen zu können. So konnte auch ohne parallel laufende Kontrollmessungen eine Aussage bezüglich der Emissionen getroffen werden. Die Daten der Versuchsgruppe wurden darüber hinaus mit den Daten einer Durchschnittsgruppe aus Stall 3 Abteil 1 verglichen. Diese Durchschnittsgruppe erhielt die Rationen der Tiergruppen „leicht mager“ und „schwer mager“ der Versuchsgruppe. Tiere mit hoher Futteraufnahmekapazität („schwer fett“ und leicht fett“) wurden demnach in der Durchschnittsgruppe weniger in ihrer Futteraufnahme kontrolliert als in der Versuchsgruppe. Durch den Vergleich der Daten der beiden Gruppen konnte demnach auch eine Bewertung des Fütterungssystems erfolgen. Das eingeschickte Messgerät wurde nach der Reparatur im Materialprüflabor des Instituts für Landtechnik erneut auf Messgenauigkeit überprüft, um den Erfolg und die Genauigkeit der Reparatur und Rekalibrierung zu kontrollieren. Nach Abschluss der Laborphase Mitte März war der Versuchsdurchgang *Einheimische Futtermittel-I* bereits im Abschnitt der Endmast, ebenso wie der parallel dazu laufende Kontrolldurchgang in Stall 4. Es wurde aus diesem Grund davon abgesehen, im letzten Abschnitt des Kontrolldurchgangs noch Daten mit dem reparierten Messgerät zu erfassen, da diese nicht für einen repräsentativen Vergleich mit dem Versuchsdurchgang hätten genutzt werden können.

Da das Messgerät aus dem Kontrollstall ab Januar für die Versuchsmessungen genutzt werden musste, wurden im Kontrollstall aus den oben bereits genannten Gründen keine Daten erhoben.

2.4.8 Durchgang *Einheimische Futtermittel-II*

Der letzte Versuchsdurchgang *Einheimische Futtermittel-II* begann im Mai 2021 und endete im September 2021. Es wurden 980 Tiere in Stall 3 aufgestellt. Die Erfassung der Emissionsdaten erfolgte wie bereits beschrieben. Auf Messungen im Kontrollstall wurde aufgrund des bereits vorliegenden, zeitlichen Verzugs und der betrieblichen Abläufe verzichtet. Die Daten des letzten Versuchsdurchgangs wurden mit bereits zuvor erhobenen Kontrolldaten verglichen.

3. Projektergebnisse

3.1 Institut für Tierernährung

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf den Ultraschalluntersuchungen. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen und deren Zusammenhang zum Schlachtkörper präsentiert.

Bezüglich der Ultraschalluntersuchung kann allgemein gesagt werden, dass diese aussagekräftig bezüglich der am Untersuchungszeitpunkt vorliegenden Körpermassenzusammensetzung ist (Jörling 2017). Eine über den tatsächlichen Bedarf gehende Energieaufnahme führt zu einer gesteigerten Bildung von Fettzellen. Eine über den Bedarf gehende Proteinaufnahme kann nicht effizient metabolisiert werden und der über den Bedarf konsumierte Anteil wird wieder ausgeschieden.

In den Forschungsstudien von Lovatto et al. ist beschrieben, dass im Verlauf des Lebendmassezuwachses der Proteingehalt im Zuwachs im Bereich von 30-120 kg leicht abnimmt (von 165 g/kg auf 145 g/kg Zuwachs). Zeitgleich steigt der Fettgehalt im Zuwachs kontinuierlich an (von 190 g/kg auf 420 g/kg Zuwachs). Durch diese Vorkenntnisse wurde der erste Untersuchungszeitpunkt auf bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von etwa 50 kg festgelegt.

Bei allen sieben Versuchsdurchgängen wurden Ultraschalluntersuchungen bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von ca. 50 kg und 110 kg Lebendmasse durchgeführt. Zusätzlich wurden bei jedem neuen Fütterungsschema weitere Messzeitpunkte bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von 70 kg und 90 kg etabliert. Somit konnte auf tierindividueller Ebene der Verlauf der Körpermassenzusammensetzung im Bezug zur Fütterung kontrolliert werden.

Betrachtet man die Ultraschalluntersuchungstabelle bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von etwa 50 kg (bis zu diesem Zeitpunkt wurden alle Gruppen identisch gefüttert) wird deutlich, dass sich das Verhältnis zwischen der RSD und dem Diameter des *M. longissimus dorsi* in allen Durchgängen signifikant unterschied (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Vergleichende Ultraschalluntersuchung bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von etwa 50 kg Lebendmasse.

Durchgang	Gewicht (kg)	Muskel (cm)	RSD (cm)	RSD/Muskel
Basis (n= 537)	53,45 ^C ± 8,10	3,78 ^C ± 0,49	0,58 ^C ± 0,11	0,15 ^D ± 0,03
Rfa-Extrem I (n=621)	56,20 ^B ± 7,83	2,67 ^G ± 0,56	0,44 ^E ± 0,07	0,17 ^C ± 0,02
Rfa-Extrem II (n=996)	49,82 ^E ± 6,42	3,50 ^F ± 0,40	0,69 ^A ± 0,13	0,20 ^A ± 0,03
Regelalgo I (n=980)	51,12 ^D ± 7,29	3,58 ^D ± 0,43	0,67 ^A ± 0,13	0,19 ^B ± 0,03
Regelalgo II (n=972)	51,80 ^D ± 7,42	3,23 ^F ± 0,38	0,53 ^D ± 0,10	0,16 ^C ± 0,03
Einheim. FuMi I (n=940)	60,73 ^A ± 6,05	4,18 ^A ± 0,38	0,64 ^B ± 0,12	0,15 ^D ± 0,03
Einheim. Fumi II (n=968)	53,24 ^C ± 7,04	3,87 ^B ± 0,42	0,56 ^C ± 0,11	0,15 ^E ± 0,03

A, B, C, D, E, F, G Mittelwerte unterscheiden sich signifikant in einer Spalte ($p < 0.05$).

Anhand dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass alle Tiere bis zu diesem Messzeitpunkt identisch gefüttert worden sind, lässt sich ableiten, dass die Genetik und weitere Faktoren einen großen Einfluss auf die Körpermassenzusammensetzung eines Individuums haben.

Auf der Basis der Ultraschalluntersuchungsergebnisse wurden die Tiere in jedem Durchgang in vier verschiedene Fütterungsgruppen eingeteilt (siehe Kapitel 2). Die massiven Unterschiede der Körpermassenzusammensetzung in den vier verschiedenen Fütterungsgruppen ist beispielhaft in der Tabelle 6 (Daten aus dem Rfa-extrem II Durchgang) dargestellt.

Tabelle 6 : Körpermassenzusammensetzung und Geschlecht der Individuen am ersten Untersuchungszeitpunkt beim Durchgang Rfa-extrem II

Gruppe	∅	SF (n = 163)	SM (n = 165)	LF (n = 163)	LM (n = 164)
Körpergewicht (kg)	49.82 ± 6.42	54.32 ^a ± 4.97	52.5 ^b ± 5.38	46.09 ^c ± 5.20	45.21 ^c ± 4.58
Börge (%)	49.01	59.51	41.21	56.44	39.02
Sau (%)	50.99	40.49	58.79	43.56	60.98
RSD (cm)	0.69 ± 0.13	0.80 ^a ± 0.11	0.63 ^c ± 0.09	0.72 ^b ± 0.11	0.57 ^d ± 0.09
Muskel (cm)	3.50 ± 0.40	3.60 ^a ± 0.37	3.66 ^a ± 0.37	3.31 ^c ± 0.37	3.41 ^b ± 0.40
RSD/Muskel	0.20 ± 0.03	0.22 ^a ± 0.02	0.17 ^b ± 0.02	0.28 ^a ± 0.02	0.17 ^b ± 0.02

^{a,b,c,d} Mittelwerte unterscheiden sich signifikant in einer Zeile ($p < 0.05$).

Signifikante Unterschiede wurden beim Körpergewicht zwischen den "Leichten (LM/LF)" und den "Schweren (SF/SM)" Gruppen festgestellt (Tabelle 7). Außerdem gab es signifikante Unterschiede innerhalb der schweren Gruppe (SM zu SF). Beim Parameter der Rückenspeckdicke gab es signifikante Unterschiede zwischen allen vier Gruppen. Der Muskeldurchmesser war innerhalb der schweren Gruppen nahezu identisch, allerdings gab es signifikante Unterschiede zwischen den Tieren der „leicht fetten“ Gruppe und der „leicht mageren“ Gruppe. Betrachtet man das Verhältnis zwischen Rücken Fett und Muskel, so gab es signifikante Unterschiede zwischen den eher zur Verfettung neigenden Tieren (SF+LF) und den "mageren" Gruppen (LF+LM).

Nach der Einteilung der Tiere in die neugebildeten Untergruppen, wurden den zu erhöhtem Fettansatz neigenden Tieren ab dem *Durchgang Rfa-extrem I* durchgehend Rationen, welche einen Anteil von Triticale-Ganzpflanzensilage von 5,0-12,5 % der Trockensubstanz enthielten, angeboten. Die eher mageren Tiere wurden mit faserärmeren Rationen (2,5-5 % Triticale-GPS in der TS) versorgt.

Durch die Erkenntnisse aus den Durchgängen der Rohfaser-Extreme konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Futterraufnahme mit steigendem Faseranteil gesenkt werden konnte (Tabelle 7). Bei den leichteren und mageren Tieren stieg die Futterraufnahme jedoch bei einem leicht erhöhten Faseranteil (Ration 2; 5% Triticale-GPS).

Tabelle 7: Durchschnittliche FA pro Tag in kg (TS 88%) bei kalkulierten Körpergewichten von 100 kg pro Mastschwein bei den vier unterschiedlichen Rationen

	Ø	SF (n=163)	SM (n = 165)	LF (n = 163)	LM (n = 164)
Ration 1*	3.61 ± 0.65	3.65 ^A ± 0.67	3.88 ^A ± 0.93	3.74 ^{AB} ± 0.77	3.18 ^{AB} ± 0.79
Ration 2*	3.51 ± 0.50	3.15 ^A ± 0.70	3.14 ^B ± 0.62	4.29 ^A ± 0.61	3.44 ^A ± 0.99
Ration 3*	3.31 ± 0.44	3.60 ^A ± 0.32	2.75 ^B ± 0.70	3.89 ^{AB} ± 0.80	3.00 ^{AB} ± 0.52
Ration 4*	3.20 ± 0.42	3.25 ^A ± 0.71	3.20 ^B ± 0.69	3.62 ^B ± 0.71	2.71 ^B ± 0.44

* Ration 1 = 2,5% Triticale-GPS; Ration 2 = 5% Triticale-GPS; Ration 3 = 7,5% Triticale-GPS; Ration 4 = 10% Triticale-GPS

Ein weiterer wichtiger Aspekt in den Ergebnissen ist der Bezug zwischen den Ultraschalluntersuchungen und den Schlachtdaten. Während des Durchgangs *Rohfaser-extreme-II* konnte dargestellt werden, dass eine Vorhersage des Schlachtkörpers durch eine Ultraschalluntersuchung bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von ~50kg gemacht werden kann (Reckels et al. 2020). Der Magerfleischanteil spiegelt das Verhältnis von Muskelfleisch zu Fett eines Schlachtkörpers wider, sodass durch die Ultraschalluntersuchung eine frühzeitige Vorhersage getroffen werden kann, welches Mastschwein effizient und nachhaltig gemästet wurde.

Signifikante Unterschiede zwischen den Typen von Mastschweinen in den Parametern „Magerfleischanteil“ und „Schierer Schinken“ können vorhergesagt werden.

(Tabelle 8).

Tabelle 8: Vergleichende Schlachtdatenauswertung aller Durchgänge

Durchgang	Schlachtgewicht	Magerfleischanteil %
Basis (n = 517)	93,53 ^C ± 6,53	59,2 ^B ± 2,16
Rfa-Extrem I		
Rfa-Extrem II (n= 532)	96,35 ^B ± 5,72	57,04 ^D ± 4,75
Regelalgo I (n= 844)	94,13 ^C ± 5,58	53,33 ^E ± 4,07
Regelalgo II (n= 866)	98,11 ^A ± 5,76	57,72 ^C ± 3,02
Einheim. FuMi (n= 925)	98,06 ^A ± 5,65	61,22 ^A ± 3,23

A, B, C, D, E: Mittelwerte unterscheiden sich signifikant in einer Spalte ($p < 0.05$).

Im Verlauf des Projektes konnte mit Hilfe der angepassten Fütterungskonzepte der Magerfleischanteil (MFA) von Mastdurchgang zu Mastdurchgang signifikant erhöht werden. Einziger Durchgang *Regelalgorithmus-I* mit einem MFA (%) von 53,33 musste als Rückschritt

bezeichnet werden. Dieser Rückschritt konnte allerdings mit der Tatsache einer neuen Genetik erklärt werden. Nach diesem Durchgang wurde wieder auf die zuvor untersuchte Genetik gewechselt. Die Tatsache, dass der MFA (%) stets zunahm und die Ammoniakemissionen reduziert werden konnten (Kapitel 3.3.1) spricht dafür, dass die neu konzipierten Fütterungskonzepte sowie das neue Einteilungsmodell der Mastschweine zu einer näher am tatsächlichen Bedarf orientierten Fütterung geführt haben.

Als abschließende Futterbewertung wurde der Futteraufwand in kg TS je Mastplatz ausgewertet und untersucht (Tabelle 9). Bei sechs von sieben Durchgängen lag das durchschnittliche Einstellungsgewicht bei ca. 28 kg Körpergewicht. Einzig beim Durchgang *Rohfaser-Extreme-II* wurden die Tiere bereits mit einem durchschnittlichen Körpergewicht von etwa 40 kg eingestallt, sodass der Futteraufwand separat betrachtet werden muss.

Tabelle 9: Vergleichender Futteraufwand in kg TS pro Mastdurchgang

Durchgang	kg Futter (TS) / Mastplatz
Basis	257,90
Rfa- Extrem I	
Rfa- Extrem II *	229,68
Regelalgo I	268,49
Regelalgo II	263,12
Einheim. FuMi I	250,66
Einheim. Fumi II	247,01

* *Einstellungsgewicht im Durchgang Rfa-Extrem II war durchschnittlich 12kg höher als in den vergleichenden Durchgängen*

Bei der Auswertung des Futteraufwandes wird deutlich, dass durch die Weiterentwicklung und stetige Anpassung der Futterrationen und der Fütterungsgruppen noch Potenzial besteht den Futteraufwand zu reduzieren und damit ressourceneffizient zu mästen. Die erfreuliche Tendenz eines immer geringeren Futteraufwandes lässt darauf schließen, dass näher am tatsächlichen Bedarf gefüttert worden ist und zeitgleich die steigenden Anteile faserhaltiger Futterkomponenten in der Futterration einen Sättigungseffekt ausgelöst haben (Lengling et al. 2020).

3.1.1 Weiterführende Untersuchungen

In weiterführenden Untersuchungen wird aktuell das Mikrobiom und Metabolom von ausgewählten Tieren analysiert. Es soll überprüft werden, ob anhand der Daten des Mikrobioms sowie des Metaboloms Rückschlüsse auf die Körpermassenzusammensetzung des Individuums getroffen werden können. Weiterführend wird der Einfluss der Futterrationen auf das Metabolom und Mikrobiom überprüft. Sobald alle Daten analysiert und ausgewertet wurden, soll über dieses Material eine Publikation ausgearbeitet werden.

3.2 Klinik für kleine Klautiere

Mit Hilfe der computertomographischen Bilder konnte in den Durchgängen die per Ultraschalluntersuchung getroffene Eingruppierung der Tiere bestätigt und noch genauer dargestellt werden.

Bei den Schweinen der 50 kg Gruppe konnte im Bereich der Lendenwirbelsäule insgesamt eine durchschnittliche Rückenspeckdicke (RSD) von 0,72 cm bei einer durchschnittlichen

Muskeldicke von 4,73 cm gemessen werden. Im Verlauf der nächsten drei Messzeitpunkte (70, 90 und 120 kg) ist die durchschnittliche RSD auf 1,34 cm bei einer Muskeldicke von 7,21 cm angewachsen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Durchschnittliche Entwicklung der RSD- und Muskeldicke bei den per Computertomographie untersuchten Mastschweinen aller Versuchsdurchgänge.

Gewichtsgruppe (in kg)	RSD (in mm)	Muskel (in mm)
50 (n=30)	7,17	47,30
70 (n=40)	9,44	58,56
90 (n=39)	10,46	67,61
120 (n=39)	13,35	72,10

Stellt man alle Durchgänge nebeneinander (Abbildung 12), so fällt auf, dass die Tiere im *Regelalgorithmus-I* schon zu Mastbeginn die stärkste durchschnittliche RSD aufwiesen. Im weiteren Verlauf der Mast wächst diese, auch im Vergleich zu den anderen drei Versuchsdurchgängen, deutlich stärker auf knapp über 2 cm an. Zu beachten ist hierbei, dass die Tiere in diesem Durchgang einen eher zum Fettansatz neigenden genetischen Hintergrund hatten, als die Tiere der anderen untersuchten Versuchsdurchgänge.

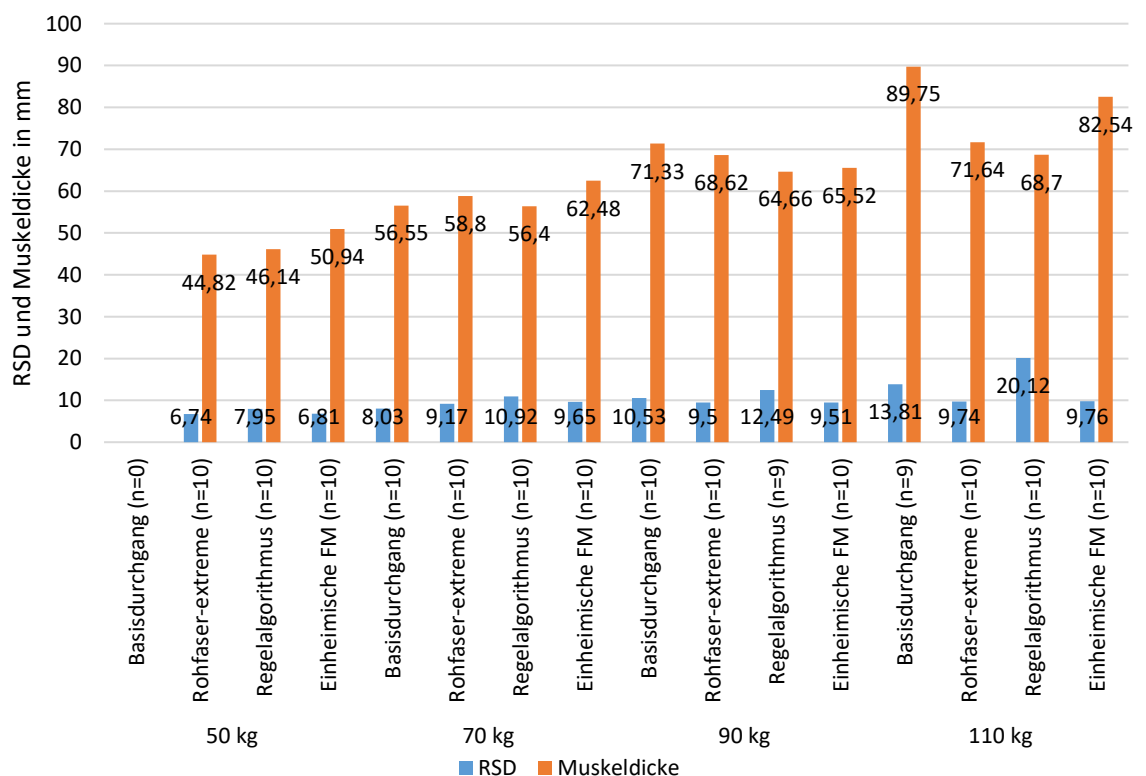


Abbildung 12: Durchschnittliche RSD und Muskeldicke alle Durchgänge und Gewichtgruppen im Vergleich

Einen vergleichbaren genetischen Hintergrund besaßen die Schweine des Durchganges *Rohfaser-extreme-II* und *Einheimische-Futtermittel-I*. Zwischen diesen beiden

Fütterungsgruppen zeigten sich im Wachstumsverlauf lediglich minimale Unterschiede in der RSD und in der Muskeldicke sowohl auf Herdenbasis (Ultraschalluntersuchung) als auch in der computertomographischen Auswertung (Abbildung 13).

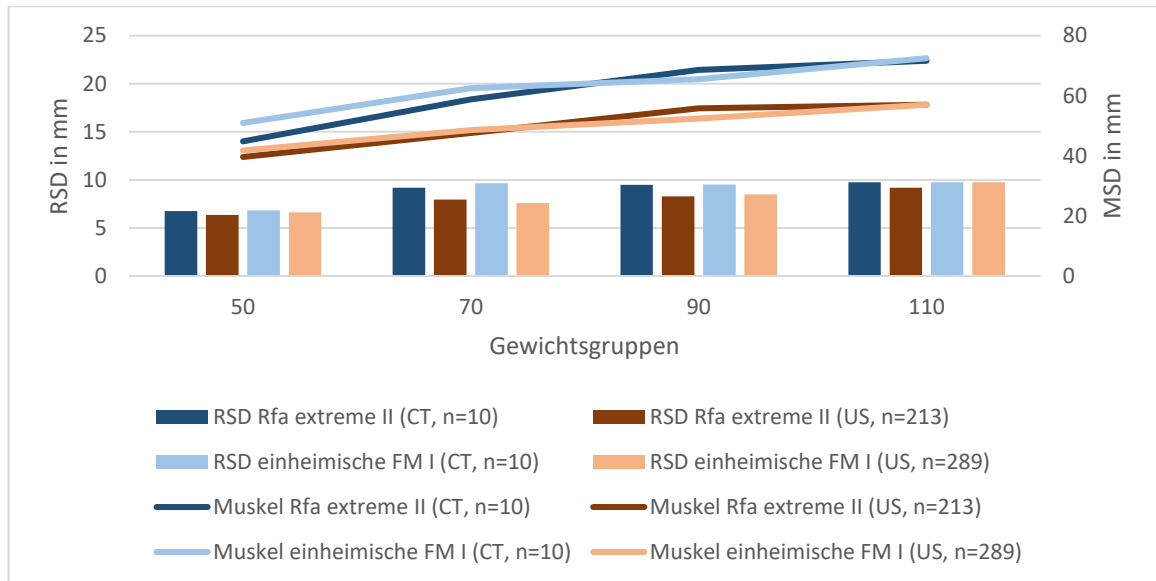


Abbildung 13: Vergleichende Darstellung der Rückenspeckdicke sowie des Diameters des M. longissimus dorsi zwischen den Durchgängen **Rohfaser-extreme-II** und *Einheimische Futtermittel-I*

Betrachtet man die Entwicklung der RSD in den einzelnen Gruppen (LM, LF, SM, SF) über alle Versuchsdurchgänge hinweg so zeigt sich deutlich, dass die „fetteren“ Tiere (LF und SF) im Vergleich zu den „mageren“ (LM und SM) über alle Messzeitpunkte hinweg eine stärkere Fettauflage aufwiesen. Im Gegenzug konnte aber bei den mageren Tieren nicht ein (eventuell zu erwartender) deutlich stärkerer Muskeldurchmesser nachvollzogen werden. Bei den „mageren“ Tieren zeigten, vor allem die leichten, nur sehr wenig Zuwachs in der RSD bis zum Mastende. Bei den Tieren der „fetten“ Gruppe hingegen, kam es sowohl bei den „leicht-fetten“, als auch bei den „schwer-fetten“ nahezu zu einer Verdopplung der zum Mastbeginn ohnehin schon dickeren RSD (Abbildung 14).

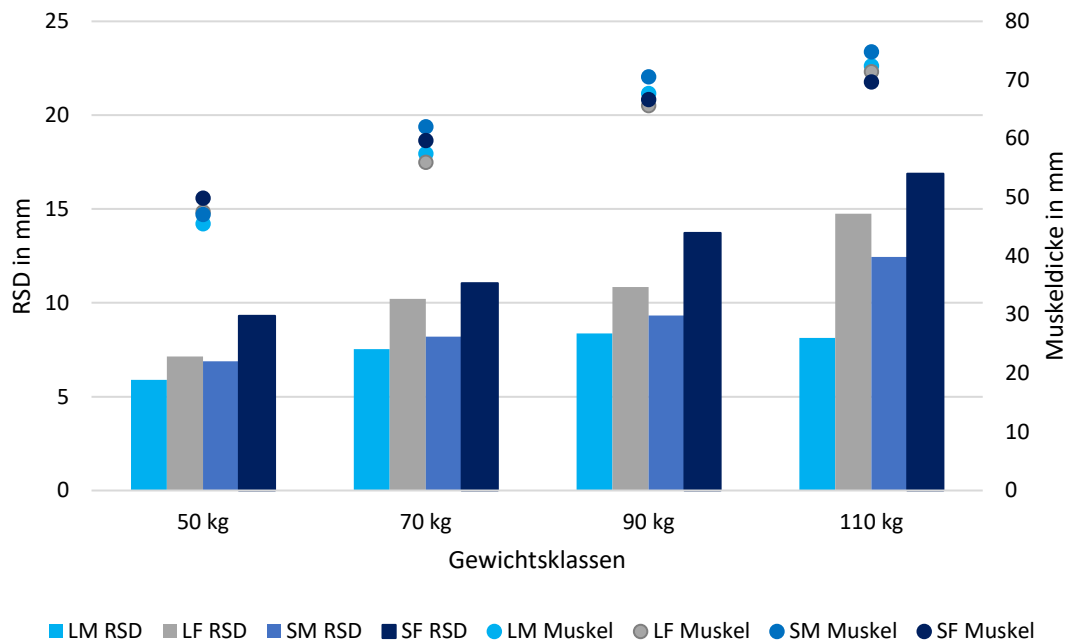


Abbildung 14: Entwicklung der durchschnittlichen Rückenspeck- und Muskeldicke der verschiedenen Körperkonditionsklassen (LM, LF, SM, SF) aller Durchgänge

3.3 Institut für Landtechnik

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf den Ammoniakemissionen. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Ergebnisse der Ammoniakemissionsmessungen und Bonitur der Buchtenverschmutzung präsentiert.

Bezüglich der CO₂-Messungen kann allgemein gesagt werden, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Durchgängen festgestellt werden konnte. Vereinzelt konnte im Versuchsstall ein Trend zu geringeren CO₂-Emissionen im Vergleich zum Kontrollstall festgestellt werden. Eine mögliche Erklärung könnte ein ruhigeres Verhalten der Versuchstiere durch den erhöhten Faseranteil in der Fütterung, und eine damit verbundene geringere CO₂-Produktion sein. Dies konnte in anderen Studien bereits gezeigt werden (Schrama et al. 1998; Bergeron et al. 2000; Leeuw et al. 2008). Da keine Verhaltensanalysen der Tiere durchgeführt wurden, kann hierüber jedoch keine konkrete Aussage getroffen werden.

Für die Methanemissionen konnten in allen Versuchsdurchgängen niedrigere Emissions- und Konzentrationswerte im Vergleich zur jeweiligen Kontrolle festgestellt werden. Generell lagen die Methanemissionen mit Werten zwischen 400 und 600 g GV⁻¹ d⁻¹ jedoch signifikant höher als Werte, die in der Literatur beschrieben sind (Haeussermann et al. 2006; Philippe et al. 2007). Da Methan beim mikrobiellen anaeroben Abbau organischen Materials entsteht (Dämmgen 2009; Umweltbundesamt 2021.000Z), wäre bei einem erhöhten Fasereinsatz in der Fütterung von einer Erhöhung der Methanemissionen auszugehen, wie dies auch schon in anderen Studien gezeigt werden konnte (Philippe et al. 2015; Seradj et al. 2018). Die ermittelten Daten stehen folglich im Widerspruch hierzu.

Bei der regelmäßigen Überprüfung der Messgenauigkeit konnte bei beiden eingesetzten Messgeräten die stärkste Messabweichung für Methan festgestellt werden. Diese unterschied sich in ihrer Ausprägung zwischen den Geräten und wurde stark durch die relative Luftfeuchtigkeit beeinflusst. Auch nach Kalibration durch den Hersteller, konnte die

Messgenauigkeit für Methan nur als unbefriedigend eingestuft werden. Diese Tatsache und die mit der Literatur widersprüchlichen erhobenen Messdaten, bedingten, dass keine definitive Aussage bzgl. der im Versuch erzielten Methanemissionen getroffen werden kann. Eine erneute Untersuchung, evtl. mit einer alternativen Messtechnik, wäre notwendig, um die Methanemissionen im Zusammenhang mit dem untersuchten Fütterungssystem bewerten zu können. Es ist jedoch trotz der Messungenauigkeit davon auszugehen, dass sich keine Erhöhung der Methanemissionen aus der Variation der Fütterung im Vergleich zur Kontrolle ergeben hat.

3.3.1 Ammoniakemissionen

Auf Grundlage der vorhandenen Daten wurden bei der Auswertung der Ergebnisse die Durchgänge *Rohfaser-extreme-I* und *Kontrolle-I*, *Regelalgorithmus-II* und *Kontrolle-IV*, *Einheimische-Futtermittel-I* und *Durchschnittsgruppe* (als Kontrolle), sowie *Einheimische-Futtermittel-II* und *Kontrolle-IV* jeweils miteinander verglichen. Die Durchgänge *Rohfaser-extreme-II* und *Regelalgorithmus-I* konnten aufgrund fehlender Kontrolldaten und fehlerhafter Datenaufzeichnung während der Versuchszeit teilweise nicht ausgewertet werden und fließen daher nicht in die Ergebnisse mit ein.

Für die Auswertung der Daten wurde die Mastphase jeweils in Gewichtsabschnitte eingeteilt, wobei ein Abschnitt von 10 kg im Mittel 10 Messtagen entspricht.

In den Durchgängen *Rohfaser-extreme* wurden die Tiere im rotierenden Wechsel mit vier Rationen unterschiedlichen Rohfasergehalts gefüttert. Abbildung 15 zeigt die mittleren Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) für die Durchgänge *Rohfaser-extreme-I* und *Kontrolle-I* für unterschiedliche Gewichtsabschnitte.

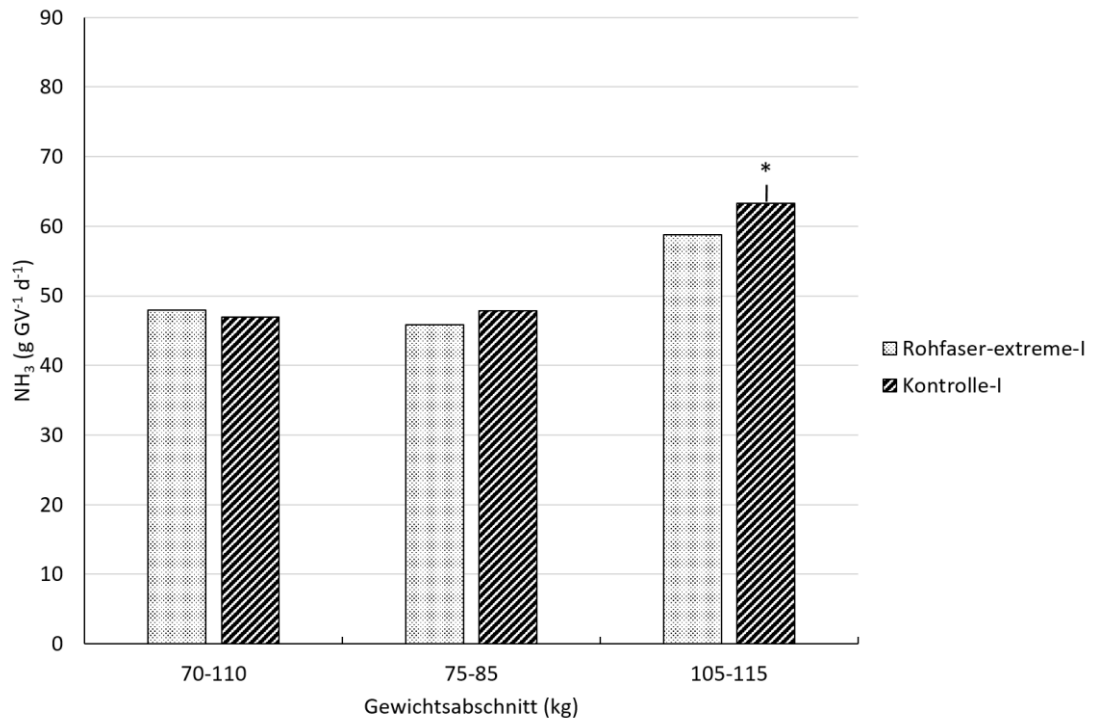


Abbildung 15: Mittlere Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) für verschiedene Gewichtsabschnitte in den Durchgängen *Rohfaser-extreme-I* und *Kontrolle-I*. * zeigt signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Kontrolle innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts an ($p < 0,05$) (modifiziert nach Lengling et al. 2020a).

Wie Abbildung 15 zu entnehmen ist, konnte lediglich in der letzten Phase der Mast ein signifikanter Unterschied zwischen Versuch und Kontrolle festgestellt werden. Da die Leistungsgruppen der Versuchsgruppe im rotierenden Wechsel mit unterschiedlichen Faseranteilen gefüttert wurden, erhielten auch die frohwüchsigen Tiere zeitweise nur geringe Faseranteile. Es wurde daher keine deutliche Reduktion der Ammoniakemissionen in diesem Durchgang erwartet. Es konnte gezeigt werden, dass es durch den erhöhten Faseranteil nicht zu einer Steigerung der Ammoniakemissionen kommt.

Der Unterschied zwischen Futterraufnahmekapazität und Proteinbedarf der Tiere ist am Ende der Mast am größten (hohe Aufnahme, niedriger Bedarf) (Jeroch et al. 1999). Aus diesem Grund war davon auszugehen, dass eine Kontrolle der Futterraufnahme über den Rohfasergehalt der Futtermischung in der Endmastphase am effektivsten ist. Die gezeigten Ergebnisse konnten diese Hypothese bestätigen.

Die Ergebnisse dieser Durchgänge wurde detailliert im März 2020 im Journal *Animals* (MDPI) veröffentlicht (s. Anhang).

In den Durchgängen *Regelalgorithmus-I* und *-II* wurden die unterschiedlichen Leistungsgruppen über die gesamte Mastphase mit einem konstanten Rohfasergehalt in den einzelnen Rationen gefüttert. Hierbei erhielten die frohwüchsigen, zum Fettansatz neigenden Tiere den höchsten Faseranteil, während die langsam wachsenden, mageren Tiere den geringsten Faseranteil erhielten. Tabelle 5 fasst die ermittelten Daten zu Ammoniak, Volumenströmen und den klimatischen Bedingungen im Mittel während des Mastdurchgangs *Regelalgorithmus-II* in Stall 3 Abteil 2 zusammen. Auch bei diesem Durchgang wurde eine Unterteilung in einzelne Gewichtsabschnitte vorgenommen (Anfang-, Mittel-, Endmast). Zusätzlich wurde ein Gesamtdurchschnitt über die gesamte Gewichtsspanne von 50-110 kg ermittelt ($n = 42$ Tage).

Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Daten im Versuchsdurchgang *Regelalgorithmus-II* und *Kontrolle-IV* für unterschiedliche Gewichtsabschnitte (kg). * zeigen signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Kontrolle innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts an ($p > 0,05$).

		Gewichtsabschnitt (kg)			
		50-110	50-60	60-90	90-110
NH₃-Emissionen (g h⁻¹)	Versuch	206,0 (± 74,4)*	131,8 (± 25,4)*	223,9 (± 62,0)*	215,5 (± 55,5)*
	Kontrolle	348,4 (± 118,8)	171,6 (± 50,0)	328,9 (± 55,6)	467,8 (± 51,5)
NH₃-Konzentration im Stall (ppm)	Versuch	9,5 (± 3,1)*	7,9 (± 2,2)*	10,6 (± 3,2)*	8,5 (± 2,3)*
	Kontrolle	11,9 (± 3,5)	10,9 (± 3,7)	11,3 (± 3,1)	13,3 (± 2,7)
Volumenstrom (m³ h⁻¹ GV⁻¹)	Versuch	554,3 (± 208,8)*	766,9 (± 275,7)*	571,6 (± 153,5)	418,9 (± 94,8)*
	Kontrolle	500,0 (± 175,1)	418,3 (± 244,0)	553,1 (± 155,3)	460,5 (± 96,5)
Temperatur im Stall (°C)	Versuch	24,5 (± 3,0)*	24,5 (± 1,7)*	22,9 (± 1,3)*	26,9 (± 3,6)*
	Kontrolle	22,5 (± 2,7)	22,0 (± 1,6)	23,2 (± 2,4)	22,0 (± 2,1)
Temperatur außen (°C)	Versuch	20,2 (± 5,9)*	20,3 (± 4,7)*	17,2 (± 4,0)*	24,7 (± 5,8)*
	Kontrolle	18,3 (± 5,1)	16,1 (± 4,9)	19,6 (± 4,4)	17,4 (± 4,3)
Relative Luftfeuchtigkeit im Stall (%)	Versuch	85,0 (± 11,8)*	86,7 (± 10,2)*	88,0 (± 8,6)*	79,6 (± 11,9)*
	Kontrolle	65,5 (± 15,8)	50,6 (± 11,3)	63,3 (± 13,9)	71,7 (± 13,1)
Relative Luftfeuchtigkeit außen (%)	Versuch	68,8 (± 20,3)*	68,1 (± 20,2)*	74,3 (± 16,9)*	61,0 (± 19,5)*
	Kontrolle	64,3 (± 20,5)	59,5 (± 20,4)	60,9 (± 18,3)	71,9 (± 18,4)

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich ist, waren in der Versuchsgruppe sowohl die Ammoniakemissionen als auch die Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft geringer als in der Kontrolle. Aufgrund der zwei getrennt gesteuerten Stallgebäude und des zeitlichen Versatzes bei der Aufstallung der Tiere, unterschieden sich Versuch und Kontrolle bzgl. Volumenstrom und klimatischen Parametern. Es wurde jedoch darauf geachtet diese zeitlichen Effekte so gering wie möglich zu halten. Abbildung 16 zeigt die mittleren Ammoniakemissionen (g GV⁻¹ d⁻¹) vergleichend für die Durchgänge *Regelalgorithmus-II* und *Kontrolle-IV*.

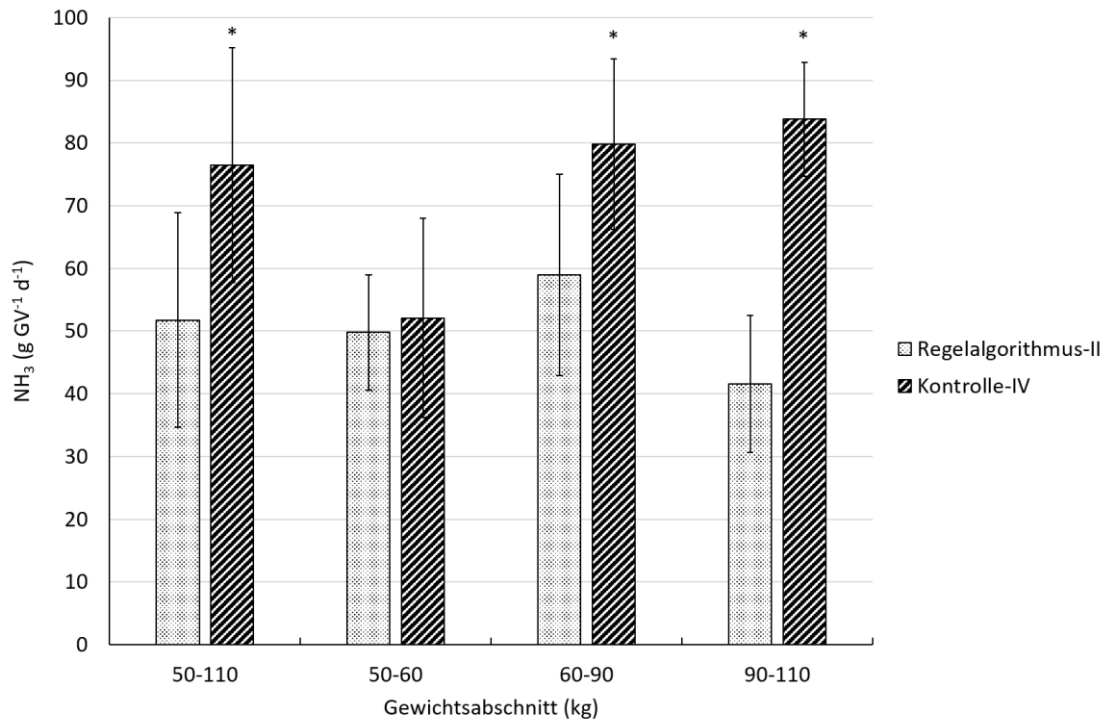


Abbildung 16: Mittlere Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) und Standardabweichung für verschiedene Gewichtsabschnitte in den Durchgängen *Regelalgorithmus-II* und *Kontrolle-IV*. * zeigt signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Kontrolle innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts ($p < 0,05$) (modifiziert nach Lengling et al. 2021).

Im Mittel konnten die Ammoniakemissionen im Versuchsstall um ca. 40 % im Vergleich zum Kontrollstall reduziert werden. Während der Anfangsmast (50-60 kg) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Versuch und Kontrolle festgestellt werden. Die Einteilung der Leistungsgruppen erfolgte bei einem durchschnittlichen Gewicht der Tiere von 50 kg. Es kann vermutet werden, dass sich ein sichtbarer Effekt durch die Fütterung erst nach einer gewissen Zeit einstellt, weshalb in der Anfangsmast lediglich ein Trend zu verzeichnen war.

Wie auch schon für den Durchgang *Rohfaser-extreme-I*, konnte auch hier der größte Unterschied zwischen Versuch und Kontrolle in der letzten Phase der Mast (90-110 kg) festgestellt werden. Dies bestätigt die zuvor beschriebene Theorie, dass sich eine Kontrolle der Futtermittelaufnahme durch erhöhte Faseranteile in der Ration besonders am Ende der Mast positiv auswirkt.

Die Ergebnisse des Durchgangs *Regelalgorithmus-II* wurden im Mai 2021 auf der 5. Internationalen CIGR Tagung online präsentiert und digital im Tagungsband veröffentlicht (s. Anhang).

Aus den bereits dargelegten Gründen wurden im Durchgang *Einheimische-Futtermittel-I* die Emissionsdaten aus Abteil 2 mit einer Durchschnittsgruppe aus Abteil 1 verglichen (Abbildung 17).

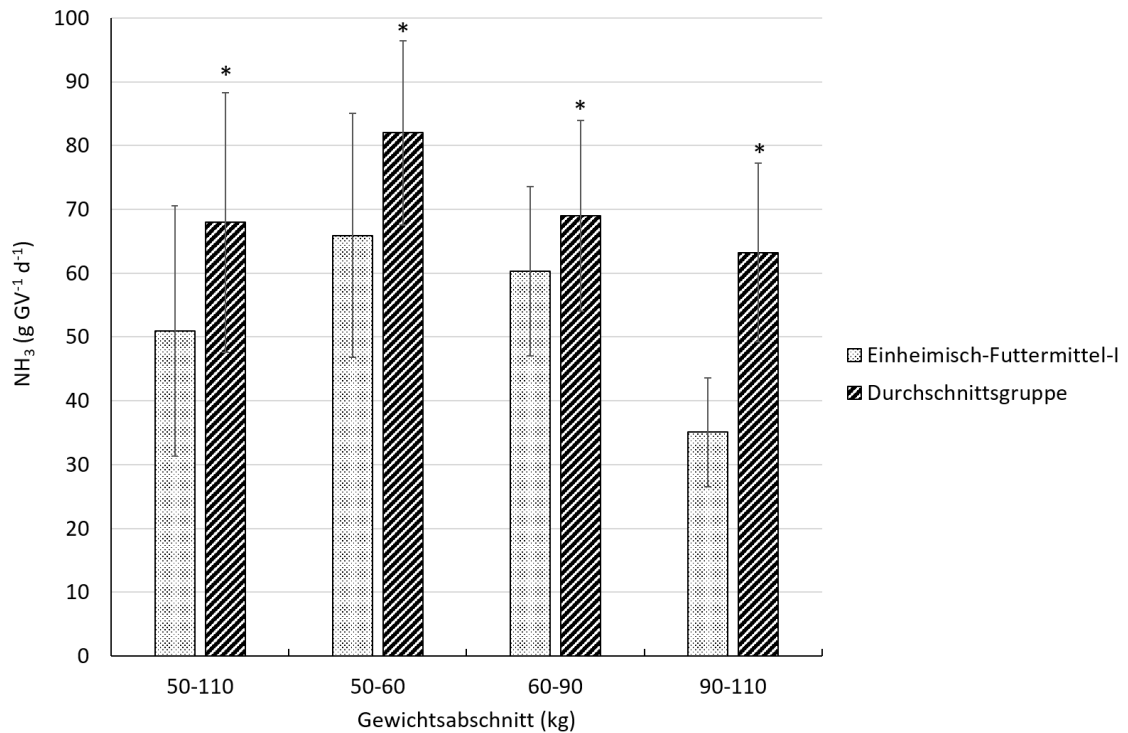


Abbildung 17: Mittlere Ammoniakemissionen ($\text{g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) und Standardabweichung für verschiedene Gewichtsabschnitte im Durchgang *Einheimische-Futtermittel-I* für das Versuchsabteil und eine *Durchschnittsgruppe*. * zeigt signifikante Unterschiede zwischen Versuch und Durchschnittsgruppe innerhalb des gleichen Gewichtsabschnitts ($p < 0,05$).

Wie aus Abbildung 17 ersichtlich wird waren die Ammoniakemissionen in der Versuchsgruppe im Mittel signifikant geringer als in der Durchschnittsgruppe ($50,9 \text{ g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$ bzw. $67,9 \text{ g GV}^{-1} \text{d}^{-1}$) und konnten hier um ca. 25 % reduziert werden. Auch hier konnte der größte Unterschied zwischen Versuch und Kontrolle am Ende der Mast nachgewiesen werden. Im Mittel lagen die Ammoniakkonzentrationen in der Abluft im Versuchsabteil bei 15,8 ppm, während für die Durchschnittsgruppe ein Wert von im Mittel 19,6 ppm festgestellt werden konnte. Wie auch schon für die vorherigen Durchgänge beschrieben, konnte folglich eine Reduktion der Ammoniakkonzentrationen im Versuch erzielt werden. Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass im Versuchsabteil eine bessere Stallluftqualität vorherrschte und somit nicht nur ein positiver Einfluss auf die Umwelt, sondern auch auf das Tierwohl geleistet werden konnte.

Im abschließenden Versuchsdurchgang *Einheimische-Futtermittel-II* konnten ebenfalls geringere Ammoniakemissionen festgestellt werden, als in den zuvor durchgeführten Kontrolldurchgängen. Die Werte waren vergleichbar mit den im Durchgang *Regelalgorithmus-II* und *Einheimische-Futtermittel-I* erzielten Werten und lagen im Mittel bei ca. $45 \text{ g GV}^{-1} \text{d}^{-1} \text{NH}_3$ bzw. 8,5 ppm NH_3 -Konzentration in der Abluft. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der vorherigen Versuchsdurchgänge konnten somit abschließend bestätigt werden.

3.3.2 Buchtenverschmutzung

Wie bereits beschrieben, gehen 44 % des im Stall entstehenden Ammoniaks von verschmutzten Oberflächen hervor (Janssen und Krause 1987). Verschiedene Autoren

beschreiben eine erhöhte Kotmenge sowie eine Veränderung der Kotkonsistenz und eine damit verbundene stärkere Verschmutzung der Buchten, wenn vermehrt Rohfaser in der Fütterung eingesetzt wird (Ebertz et al. 2020; Massé D.I. et al. 2003). Aus diesem Grund wurde während der Durchgänge *Rohfaser-extreme-II* und *Regelalgorithmus-II* eine Bonitur der Buchtensauberkeit durchgeführt. Vergleichend wurde jeweils eine Bonitur in einem Kontrollstall durchgeführt.

Allgemein konnte anhand der Bonituren die Strukturierung der Abteile in Aktivitäts-, Fress- und Kotbereiche gut nachvollzogen werden. Abbildung 18 zeigt beispielhaft die mittleren Boniturergebnisse des Versuchsstalls für den Durchgang *Rohfaser-extreme-II*. Während die Fressbereiche und die angrenzenden Flächen überwiegend als „trocken und sauber“ beschrieben werden konnten, waren die Bereiche entlang der Außenwände überwiegend „verschmutzt“. Die Abbildung verdeutlicht welche gute Möglichkeit zur Strukturierung die Großgruppenhaltung bietet, und somit dem natürlichen Verhalten der Schweine nachkommt.

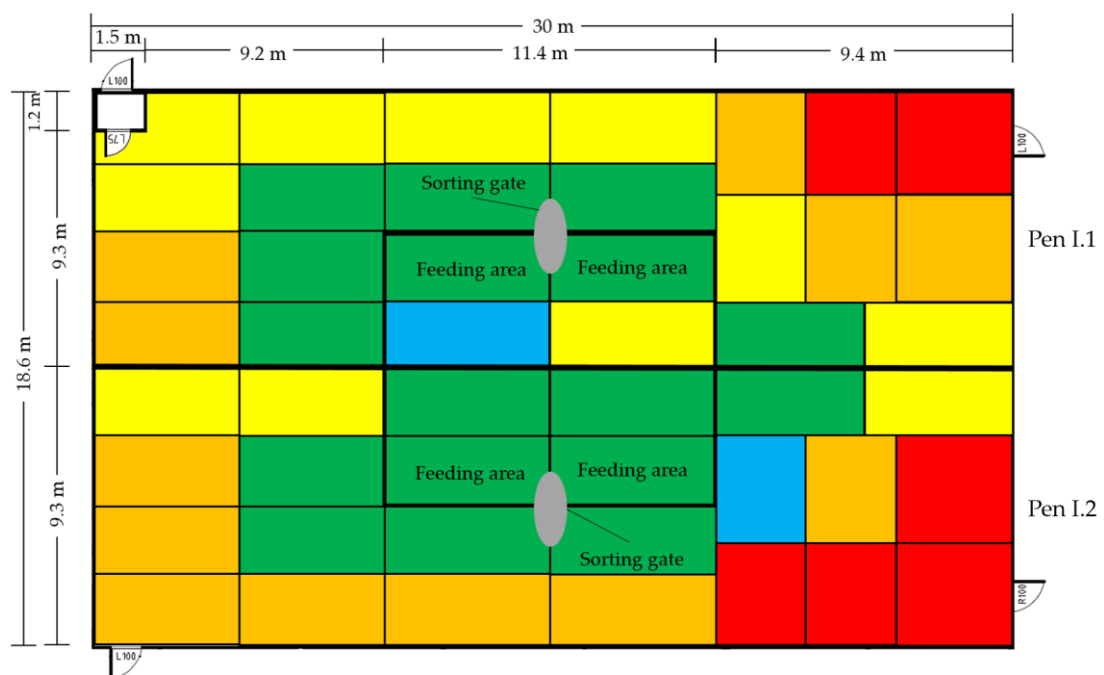


Abbildung 18: Darstellung der mittleren Boniturergebnisse der Oberflächenverschmutzung des Versuchsstalls im Durchgang *Rohfaser-extreme-II*. Grün = sauber und trocken; blau = feucht; gelb = verschmutzt; orange = feucht und verschmutzt; rot = schlammig (Lengling et al. 2020a).

Abbildung 19 zeigt vergleichend die Boniturergebnisse für die Durchgänge *Regelalgorithmus-II* (Abteil 1 und 2) und *Kontrolle-IV*. Im Mittel konnten in allen Ställen über die gesamte Mastperiode ca. 50 % der Gesamtfläche als „sauber und trocken“ bewertet werden. Bis zu 65 % der Spalten konnten im Mittel als „nicht“ bis „nur gering“ verschlossen bewertet werden. Sowohl für die Oberflächenverschmutzung als auch für den Spaltenverschluss konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Folglich ist davon auszugehen, dass der erhöhte Rohfasergehalt der Rationen in den Versuchsgruppen nicht zu einer Verschlechterung der Buchtensauberkeit geführt hat. Diese Ergebnisse sind in Hinblick auf das Tierwohl als positiv zu bewerten. Auch für den Durchgang *Rohfaser-extreme-II* konnte im Vergleich zur Kontrolle keine Verschlechterung bzgl. der Sauberkeit im Stall festgestellt werden. Hier betrug die Fläche, die als „sauber und trocken“

bewertet wurde im Mittel 43 % im Versuchsstall und 47 % im Kontrollstall. Im Durchschnitt konnte eine verschmutzte Fläche von 0,4 m² pro Tier bestimmt werden.

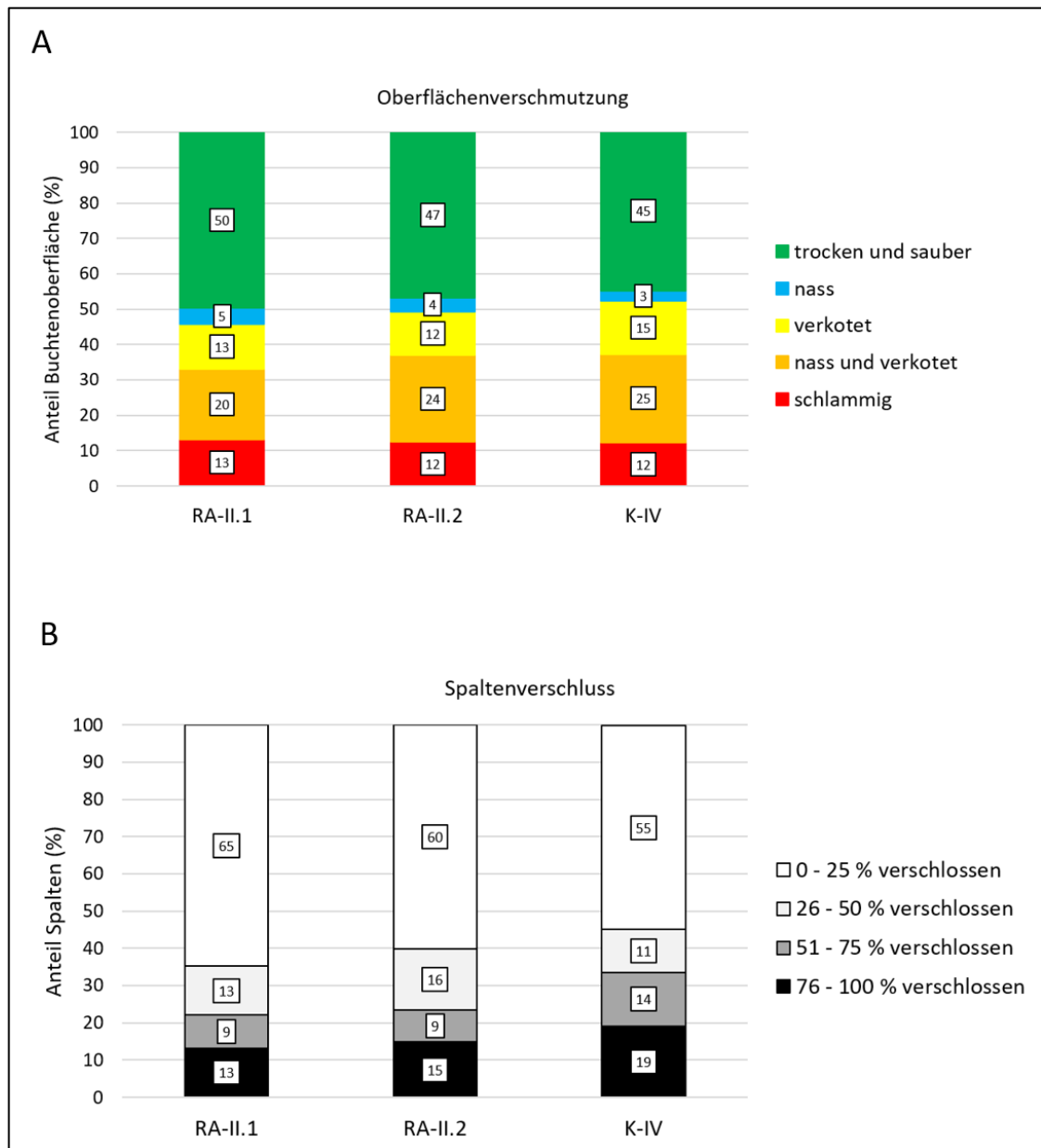


Abbildung 19 Vergleichende Darstellung der Boniturergebnisse für die Durchgänge *Regelalgorithmus-II Abteil 1 und 2 (RA-2.1 und RA-2.2)* sowie *Kontrolle-IV (K-IV)*. Abbildung A zeigt die mittlere Bewertung der Oberflächenverschmutzung. Abbildung B zeigt die mittlere Bewertung des Spaltenverschlusses.

3.3.3 Weitere Ergebnisse

Im Rahmen einer am Institut für Landtechnik durchgeführten Masterarbeit wurden im Durchgang *Regelalgorithmus-I* Thermographiemessungen an den Versuchstieren parallel zu den Ultraschalluntersuchungen durchgeführt. Ziel war es zu untersuchen, ob aufgrund der ermittelten Unterschiede in der Rückenspeck- bzw. Rückenmuskeldicke Unterschiede in der Körperoberflächentemperatur feststellbar sind, und ob diese genutzt werden können, um eine

kontaktlose und automatisierte Einteilung der Leistungsgruppen zukünftig möglich zu machen. Die Ergebnisse wurden im September 2020 im Journal Sensors (MDPI) veröffentlicht. Es konnten signifikante Korrelationen zwischen den Körperkonditionsparametern (Körpergewicht, Rückenspeckdicke, Rückenmuskeldicke, Rückenspeck-Rückenmuskel-Verhältnis) und der Körperoberflächentemperatur der Tiere festgestellt werden (Abbildung 20).

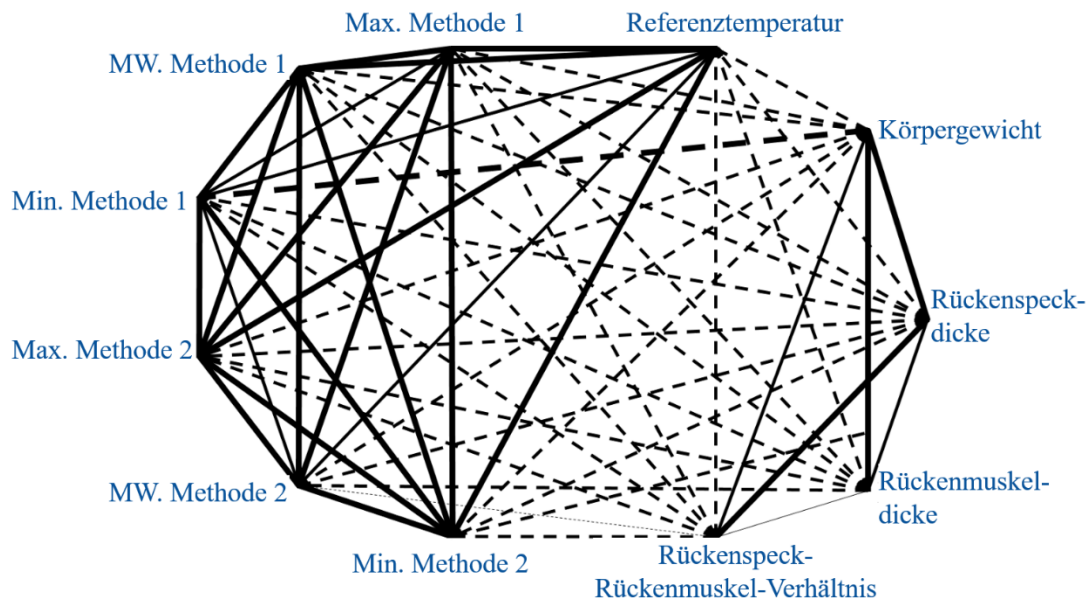


Abbildung 20: Signifikante Korrelationen ($p < 0,0001$) zwischen der Körperoberflächentemperatur (zwei Auswertungsmethoden, jeweils Temperaturminimum, -mittel und -maximum) und den Körperkonditionsparametern (Körpergewicht, Rückenspeckdicke, Rückenmuskeldicke). Durchgezogene Linien zeigen positive, gestrichelte Linien negative Korrelationen an. Je dicker die Linie, desto stärker die Korrelation mit $r \geq |0,3|$ als schwache, $r \geq |0,5|$ als mittlere und $r \geq |0,8|$ als starke Korrelation (modifiziert nach Lengling et al. 2020b).

Mit steigender Rückenspeckdicke sank die Körperoberflächentemperatur der Tiere ($r \geq -0,6$). In Bezug auf die Anwendung der Thermographie im Stall konnte der Verschmutzungsgrad der Tiere als wichtiger einflussnehmender Faktor herausgestellt werden, welcher zwingend berücksichtigt werden muss. Trotz der signifikanten Korrelationen konnten keine signifikanten Unterschiede in der Körperoberflächentemperatur zwischen den einzelnen Leistungsgruppen festgestellt werden ($p > 0,05$). Die Unterschiede bzgl. Rückenspeckdicke zwischen den „fetten“ und den „mageren“ Tieren scheinen nicht auszureichen, um diese mithilfe der Thermographie sichtbar zu machen.

Allerdings könnten durch eine dauerhafte Kombination einer Wärmebildkamera mit einer Sortierschleuse Tagestemperaturprofile der Tiere erstellt werden, die möglicherweise genauere Rückschlüsse bzgl. der Entwicklung oder der Gesundheit der Tiere ermöglichen könnten. Dies konnte im Rahmen des Projektes jedoch nicht weiter untersucht werden.

4. Öffentlichkeitsarbeit / Publikationen / Vorträge

Publikationen (Peer-Review):

Grap, Alexandra; Reckels, Bernd; Visscher, Christian; Hölscher, Richard; Büscher, Wolfgang (2019): Vergleich der Emissionssituation bei konventioneller und ressourcen-effizienter Fütterung anhand täglicher Körperkonditionsbewertung von Mastschweinen. In: 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Bonn, 24-26. September 2019. Tagungsband. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hg.).

Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Schwennen, Cornelia; Hölscher, Richard; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian; Büscher, Wolfgang (2020a): Validation of a New Resource-Efficient Feeding System for Fattening Pigs Using Increased Crude Fiber Concentrations in Diets: Feed Intake and Ammonia Emissions. In: *Animals: an open access journal from MDPI* 10 (3), S. 497. DOI: 10.3390/ani10030497.

Reckels, Bernd; Hölscher, Richard; Schwennen, Cornelia; Lengling, Alexandra; Stegemann, Ute; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian (2020): Resource-Efficient Classification and Early Predictions of Carcass Composition in Fattening Pigs by Means of Ultrasound Examinations. In: *Agriculture* 10 (6), S. 222. DOI: 10.3390/agriculture10060222.

Lengling, Alexandra; Alfert, Antonius; Reckels, Bernd; Steinhoff-Wagner, Julia; Büscher, Wolfgang (2020b): Feasibility Study on the Use of Infrared Thermography to Classify Fattening Pigs into Feeding Groups According Their Body Composition. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (18). DOI: 10.3390/s20185221.

Reckels, Bernd (2020): Steuerung der Futterzusammensetzung in Abhängigkeit von tatsächlicher Körpermassenzunahme, Höhe der Futteraufnahme und Ansatzverhalten bei Mastschweinen. Dissertation. Hannover: DVG.

Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Büscher, Wolfgang (2021): Impact on ammonia emissions under a resource efficient feeding concept in fattening pigs based on performance groups and crude fibre supplemented diets. In: CSBE-SCGAB Technical Conferences. 5th CIGR and AGM Quebec City 2021. 4th international Symposium on Gas Emissions and Dust from Livestock (EMILI). Quebec City, Canada, 11th – 14th May 2021.

Lengling, Alexandra (2021): Resource-efficient feeding of fattening pigs based on body composition related performance groups – Studies on technical and environmental aspects. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Deutschland.

Publikationen (Web-Links):

<https://www.woche-der-umwelt.de/ausstellerKonkret/1445>

<https://www.schweine.net/news/tiho-projekt-resafe-pig-stickstoff-minimieren.html>

<https://www.susonline.de/management/tiho-stellt-resafe-pig-projekt-vor-12593941.html>

<https://www.dgfbonn.de/presse/forschung-resafe-pig-untersucht-wie-schweine-bedar.html>

<https://www.agrarheute.com/tier/schwein/40-prozent-weniger-stickstoffausscheidungen-schweinemast-583703>

<https://www.topagrar.com/schwein/news/tiho-startet-projekt-zur-bedarfsgerechten-und-umweltschonende-schweinefuetterung-12589274.html>

Vorträge:

Für die 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU-Tagung 2019), die vom 24. – 26.09.2019 in Bonn stattfand, wurde im November 2018 von Seiten des Instituts für Landtechnik das Thema „Vergleich der Emissionssituationen bei konventioneller und ressourceneffizienter Fütterung anhand täglicher Körperkonditionsbewertungen von Mastschweinen“ eingereicht. Der Vortrag wurde im September von Herrn Reckels, stellvertretend für Frau Lengling gehalten.

Im Oktober 2019 hielt Frau Lengling auf dem 41. Förderkreis Stallklima in Raumberg-Gumpenstein einen Vortrag mit dem Thema „Qualitätssicherung bei Emissionsmessungen“ in welchem Ergebnisse der Labormessungen zu Messgenauigkeit von Messgeräten und der Möglichkeit der Messfehlerkorrektur vorgestellt wurden.

Im Dezember 2020 wurde von Frau Lengling ein Abstract für die 5. CIGR International Conference 2020 in Quebec City, Canada, eingereicht. Die Tagung wurde zuvor vom Juni 2020 auf Mai 2021 verschoben und fand digital statt. In dem Abstract wurden die Daten der Ammoniakuntersuchungen der Durchgänge *Regelalgorithmus-II* und *Kontrolle-IV* vorgestellt. Der Beitrag wurde im Februar 2021 für einen Vortrag auf der Konferenz angenommen. Zusätzlich zu dem Vortrag wurde eine Langfassung des Beitrags eingereicht, welche im Tagungsband der Konferenz digital veröffentlicht wurde. Der Vortrag wurde am 12. Mai 2021 digital durch Frau Lengling gehalten.

Poster:

Für das elfte „European Symposium of porcine health management (ESPHM)“, welches vom 22.05.2019 - 24.05.2019 in Utrecht stattfand, wurde ein Abstract für ein Poster mit dem Thema: „The influence of a respiratory disease in pigs of the same age but different weights on the development of backfat thickness and *M. longissimus dorsi* diameter“ eingereicht und angenommen. Das Poster wurde für den Kongress erstellt und von Herrn Bernd Reckels vor Ort vorgestellt.

Im November 2019 wurde ein Abstract mit dem Titel „The use of crude fibre (Triticale-WPS) for control of daily feed intake of four different types of fattening pigs according to their body compositions“ für das 12. European Symposium of Porcine Health Management in Bern (CH) eingereicht und für eine Posterpräsentation angenommen. Aufgrund der SARS-CoV2-Pandemie wurde der ursprünglich für Frühjahr 2020 geplante Kongress auf das Frühjahr 2021 verschoben.

Vom 14.-16. April 2021 wurde von Frau Dr. Schwennen und Herrn Dr. Reckels im Rahmen des digitalen 12. European Symposium of Porcine Health Management ein Poster mit dem Titel „The use of crude fibre (Triticale-WPS) for control of daily feed intake of four different types of fattening pigs according to their body compositions“ vorgestellt.

Digitale Vorstellungen:

Im Februar 2021 präsentierte sich das Institut für Landtechnik der Universität Bonn mit seinen Projekten und Forschungsarbeiten auf der digitalen Eurotier 2021. In diesem Rahmen wurde das Projekt RESAFE-Pig in Form eines Kurzvideos vorgestellt.

Im Juni 2021 wurde das Projekt RESAFE-Pig auf der digitalen Woche der Umwelt (<https://www.woche-der-umwelt.de/ausstellerKonkret/1445>) vorgestellt. In diesem Rahmen wurde auch ein kurzes, allgemeinverständliches Video produziert (<https://www.youtube.com/watch?v=tBxEWymdbdY>).

5. Fazit und Ausblick

In dem Projekt RESAFE PIG sollten gezielt Ansätze zur ressourcenschonenden, umwelt- und tiergerechten Fütterung und Haltung von Mastschweinen Schritt für Schritt in die Praxis umgesetzt werden. Dies beinhaltete die Anpassungen folgender drei Teilziele:

1. eine vollautomatisierte Einteilung der Tiere einer Großgruppe (ca. 1000 Tiere) nach Gewicht und Leistungspotential in bis zu sechs verschiedene Untergruppen durch Entwicklung, Kalibrierung und Validierung einer vollautomatischen Körperkonditionsbewertung von wachsenden Schweinen (Verhältnis von Fett- und Proteinansatz). Durch die Verwendung eines sich in der Entwicklung befindenden automatischen Regelkreises in der Fütterungssteuerung kann die Ration zu jeder Zeit an die Messdaten der Konditionsbeurteilung und Futteraufnahme-Charakteristika angepasst werden;
2. eine auf Basis dieser Einteilung beruhende optimierte Proteinversorgung mit dem Ziel, in der Fütterung und Rationsgestaltung das Potential der einzelnen Tiergruppen optimal zu berücksichtigen und dadurch den absoluten Proteineinsatz pro kg Ansatz zu reduzieren;
3. eine um regional erzeugte Grundfuttermittel ergänzte Ration für Mastschweine zur Förderung der Rohfaserversorgung mit dem Ziel eine vermehrte mikrobielle Fixierung von N-Verbindungen im Kot zu erreichen.

Im Rahmend er Projektlaufzeit konnten diese Ziele nahezu vollumfänglich erreicht und umgesetzt werden.

So konnte gezeigt werden, dass eine Unterteilung von Mastschweinen in Leistungsgruppen aufgrund bereits zu Beginn der Mast existierender Entwicklungsunterschiede möglich und sinnvoll ist. Durch eine automatisierte Einteilung, welche auf den Grundlagen der Ultraschall- und CT-Messungen beruht, kann das Leistungspotential in neu gebildeten Gruppen besser ausgeschöpft und näher am tatsächlichen Bedarf gefüttert werden. Leider gelang es im Rahmen der Projektlaufzeit nicht diesen Schritt voll zu automatisieren. Hierfür wurde jedoch mit der Beantragung des Patentes (EP 3 298 887 B1) für den automatisierten Regelkreis in der Fütterungstechnik ein wichtiger Grundstein gelegt. Auch helfen die erhobenen Ultraschall- und CT-Daten nun in einem weiterführenden Projekt (EVOLECTION, FKZ: 28DK104B20, BLE) die vollautomatische Körperkonditionsbewertung mittels 3D Messtechnik weiter voran zu bringen, so dass voraussichtlich am Ende dieses Folgeprojektes ein Prototyp präsentiert werden kann. Auch wurde an alternativen Messmethoden, wie der Infrarot-Thermographie, zur Einteilung der Tiere im Rahmen des Projekts geforscht, sodass auch hier wichtige Erkenntnisse gewonnen wurden, an die in zukünftigen Untersuchungen angeknüpft werden kann.

Durch unterschiedliche Faseranteile in den Futterrationen konnte die Futteraufnahme gezielt gesteuert und „eingebremst“ werden. So konnte ein Luxuskonsum durch die Tiere verhindert und

damit ein überschüssiger Eintrag von Stickstoff in die Umwelt vermindert werden. Die Ammoniakemissionen konnten durch den Einsatz des neuen Fütterungssystems signifikant reduziert werden, sodass ein positives Fazit hinsichtlich der Umweltwirkung gezogen werden kann. Die signifikant geringeren Ammoniakkonzentrationen im Tierbereich sind darüber hinaus als positiv für das Tierwohl zu bewerten. Darüber hinaus konnte keine Verschlechterung der Buchtensauberkeit durch das untersuchte System festgestellt werden, was ebenfalls positiv in Bezug auf das Tierwohl und die Emissionsituation ist. Durch die Vermeidung von Luxuskonsum konnten Futtermittel und damit wichtige Ressourcen eingespart werden. Der Einsatz regionaler Futtermittel reduziert den Anteil importierter Futtermittel (v.a. Soja) aus dem Ausland und trägt so ebenfalls zum Umweltschutz bei. Während der Versuche entwickelten sich zum Fettansatz neigende Tiere generell magerer und es konnte keine negative Auswirkung auf die Leistung der Tiere verzeichnet werden. So kann das System auch ökonomisch als Vorteilhaft bewertet werden.

6. Literaturverzeichnis

- Austermann, Felix (2016): Untersuchung zur Verbesserung der Tiergerechtigkeit und Reduzierung der Ammoniak-Emissionen bei funktionsoptimierten Spaltenböden mit reduziertem Schlitzanteil. Dissertation. Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Deutschland.
- Brauer, C.; Höltig, D.; Hennig-Pauka, I.; Beyerbach, M.; Gasse, H.; Hewicker-Trautwein, M.; Gerlach, G.-F.; Waldmann, K.-H. (2011): Computertomographie der Lunge des Schweines. Ein innovativer Ansatz zur Definition des Lungengesundheitsstatus. In: Tierärztl. Prax. G. N. 39 (G), 205-214
- Brauer, C.; Hennig-Pauka, I.; Höltig, D.; Buettner, F.-F.; Beyerbach M.; Gasse, H.; Gerlach, G.-F.; Waldmann, K.-H. (2012): Experimental *Actinobacillus pleuropneumoniae* challenge in swine: Comparison of computed tomographic and radiographic findings during disease. In: BMC Vet. Res. 8: online publication: doi: 10.1186/1746-6148-8-47.
- Bergeron, R.; Bolduc, J.; Ramonet, Y.; Meunier-Salaün, M. C.; Robert, S. (Hg.) (2000): Proceedings of the International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities.
- Carabus, A.; Gispert, M.; Brun, A.; Rodriguez, P.; Font-i-Furnols, M. (2014): In vivo computed tomography evaluation of the composition of the carcass and main cuts of growing pigs of three commercial crossbreds. In: Livestock Science 170, S. 181-192
- Carabus, A.; Sainz, R.D.; Oltjen, J.W.; Gispert, M.; Font-i-Furnols, M. (2015): Predicting fat, lean and the weights of primal cuts for growing pigs of different genotypes and sexes using computed tomography. In: Journal of Animal Science 93, S. 1388-1397
- Carabus, A.; Sainz, R.D.; Oltjen, J.W.; Gispert, M.; Font-i-Furnols (2017): Growth of total fat and lean and of primal cuts is affected by the sex type. In: Animal 11:8, S. 1321-1329
- Dämmgen, Ulrich (2009): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft. Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007. Braunschweig: vTI (Landbauforschung Völkenrode Sonderheft, 324A).
- Ebertz, P.; Krommweh, M.S.; Büscher, W. Feasibility Study: Improving Floor Cleanliness by Using a Robot Scraper in Group-Housed Pregnant Sows and Their Reactions on the New Device. *Animals* 2019, 9, 185.
- Ebertz, Peter; Schmithausen, Alexander J.; Büscher, Wolfgang (2020): Ad libitum feeding of sows with whole crop maize silage—Effects on slurry parameters, technology and floor pollution. In: *Animal Feed Science and Technology*, S. 114368.
- Font-i-Furnols, M.; Carabus, A.; Pomar, C.; Gispert, M. (2015): Estimation of carcass composition and cut composition from computed tomography images of live growing pigs of different genotypes. In: Animal 9:1, S. 166-178
- Giles, L.R.; Eamens G.J.; Arthur P.F.; Barchia, K.J.; James, K.J.; Taylor, R.D. (2014): Differential growth and development of pigs as assessed by X-ray computed tomography. In: Journal of Animal Science 87, S. 1648-1658

Gundlach, M. (2012): Phänotypische Charakterisierung des Wachstums ausgewählter Röhrenknochen an Vorder- und Hinterextremität bei Miniaturschweinen der Rasse „Mini-LEWE“ mittels quantitativer Computertomographie. Dissertation, Hannover, Tierärztl. Hochsch.

Haeussermann, Angelika; Hartung, Eberhard; Gallmann, Eva; Jungbluth, Thomas (2006): Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112 (2-3), S. 115–121. DOI: 10.1016/j.agee.2005.08.011.

Hesse, A. (2003). Entwicklung einer automatisierten Konditionsfütterung für Sauen unter besonderer Berücksichtigung der Tierleistung: Braunschweig.

Janssen, J.; Krause, K. H. (1987): Stallinterne Beeinflussung der Gesamtemission aus Tierhaltungen. *Grund. Landtech*, 37, 213-220.

Jeroch, Heinz; Drochner, Winfried; Ortwin, Simon (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung. Stuttgart: UTB (UTB, 8180).

Jörling, U. (2017). Untersuchungen zum Ansatzverhalten und zur Mikroflora im Kot von Mastschweinen unter den Bedingungen einer konditionsbasierten Energie- und Nährstoffversorgung unter Ad-libitum-Fütterungsbedingungen: DVG, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft.

Kolstad, K. (2001): Fat deposition and distribution measured by computer tomography in three genetic groups of pigs. In: *Livestock Production Science* 67, S.281-292

Leeuw, J. A. de; Bolhuis, J. E.; Bosch, G.; Gerrits, W. J. J. (2008): Effects of dietary fibre on behaviour and satiety in pigs. In: *The Proceedings of the Nutrition Society* 67 (4), S. 334–342. DOI: 10.1017/S002966510800863X.

Lengling, A.; Reckels, B.; Büscher, W. (2021): Impact on ammonia emissions under a resource efficient feeding concept in fattening pigs based on performance groups and crude fibre supplemented diets. In: *CSBE-SCGAB Technical Conferences. 5th CIGR and AGM Quebec City 2021. 4th international Symposium on Gas Emissions and Dust from Livestock (EMILI). 11th-14th May 2021, Quebec City, Canada.*

Lengling, Alexandra; Alfert, Antonius; Reckels, Bernd; Steinhoff-Wagner, Julia; Büscher, Wolfgang (2020b): Feasibility Study on the Use of Infrared Thermography to Classify Fattening Pigs into Feeding Groups According Their Body Composition. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (18). DOI: 10.3390/s20185221.

Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Schwennen, Cornelia; Hölscher, Richard; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian; Büscher, Wolfgang (2020a): Validation of a New Resource-Efficient Feeding System for Fattening Pigs Using Increased Crude Fiber Concentrations in Diets: Feed Intake and Ammonia Emissions. In: *Animals: an open access journal from MDPI* 10 (3), S. 497. DOI: 10.3390/ani10030497.

Lovatto, P. A., & Sauvant, D. (2003). Modeling homeorhetic and homeostatic controls of pig growth. *Journal of animal science*, 81(3), 683-696.

Massé D.I.; Croteau, F.; Masse, L.; Bergeron, R.; Bolduc, J.; Ramonet, Y. et al. (2003): Effect of dietary fiber incorporation on the characteristics of pregnant sows slurry. In: *Canadian Biosystems Engineering* (45), S. 6–7.

Menzel, A. (2014): Die Eignung von Infrarotthermographie zur Diagnostik von Lungenerkrankungen bei Schweinen. Dissertation, Hannover, Tierärztl. Hochsch.

Mitchell, A. D.; Scholz, A. M.; Solomon, M. B. (2005): Estimation of body composition of pigs by a near-infrared interactance probe technique. In: *Archives Animal Breeding* 48 (6), S. 580–591. DOI: 10.5194/aab-48-580-2005.

Müller, S., Polten, S. (2004). Vergleichsuntersuchungen zur Ultraschall-Speckdickenmessung beim Schwein im Rahmen der Eigenleistungsprüfung. *Archives Animal Breeding*, 47(3), 249-263.

Pérez-Marín, D.; Pedro Sanz, E. de; Guerrero-Ginel, J. E.; Garrido-Varo, A. (2009): A feasibility study on the use of near-infrared spectroscopy for prediction of the fatty acid profile in live Iberian pigs and carcasses. In: *Meat Science* 83 (4), S. 627–633. DOI: 10.1016/j.meatsci.2009.07.012.

Philippe, F.-X.; Laitat, M.; Canart, B.; Vandenheede, M.; Nicks, B. (2007): Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. In: *Livestock Science* 111 (1-2), S. 144–152. DOI: 10.1016/j.livsci.2006.12.012.

Philippe, François-Xavier; Laitat, Martine; Wavreille, José; Nicks, Baudouin; Cabaraux, Jean-François (2015): Effects of a high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. In: *Atmospheric Environment* 109, S. 197–204. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.03.025.

Szabo, Cs; Babinszky, L.; Verstegen M.W.A.; Vangen, O.; Jansman, A.J.M., Kanis, E. (1999): The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: a review. In: *Livestock Production Science* 60, S. 1-11

Schmithausen, A. J.; Trimborn, M.; Buscher, W. (2016): Methodological Comparison between a Novel Automatic Sampling System for Gas Chromatography versus Photoacoustic Spectroscopy for Measuring Greenhouse Gas Emissions under Field Conditions. In: *Sensors (Basel)* 16 (10). DOI: 10.3390/s16101638.

Schön, A. U. A. (2011). Untersuchung zum Muskel- und Fettgewebeansatz wachsender Schweine., verfügbar unter <http://www.lwk Niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/1093/article/17105.html>

Seradj, Ahmad Reza; Balcells, Joaquim; Morazan, Henris; Alvarez-Rodriguez, Javier; Babot, Daniel; La Fuente, Gabriel de (2018): The impact of reducing dietary crude protein and increasing total dietary fiber on hindgut fermentation, the methanogen community and gas emission in growing pigs. In: *Animal Feed Science and Technology* 245, S. 54–66. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.09.005.

Schrama, J. W.; Bosch, M. W.; Verstegen, M. W.; Vorselaars, A. H.; Haaksma, J.; Heetkamp, M. J. (1998): The energetic value of nonstarch polysaccharides in relation to physical activity in group-housed, growing pigs. In: *Journal of Animal Science* 76 (12), S. 3016.

Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/TiereundtierischeErzeugung/AktuellSchweine.html>, zuletzt geprüft am 01.10.2021.

Umweltbundesamt (2021): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/land_forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft, zuletzt geprüft am 21.09.2021.

7. Anhang

1. Grap, Alexandra; Reckels, Bernd; Visscher, Christian; Hölscher, Richard; Büscher, Wolfgang (2019): Vergleich der Emissionssituation bei konventioneller und ressourcen-effizienter Fütterung anhand täglicher Körperkonditionsbewertung von Mastschweinen. In: 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Bonn, 24-26. September 2019. Tagungsband. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hg.).
2. Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Schwennen, Cornelia; Hölscher, Richard; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian; Büscher, Wolfgang (2020a): Validation of a New Resource-Efficient Feeding System for Fattening Pigs Using Increased Crude Fiber Concentrations in Diets: Feed Intake and Ammonia Emissions. In: *Animals: an open access journal from MDPI* 10 (3), S. 497. DOI: 10.3390/ani10030497.
3. Reckels, Bernd; Hölscher, Richard; Schwennen, Cornelia; Lengling, Alexandra; Stegemann, Ute; Waldmann, Karl-Heinz; Visscher, Christian (2020): Resource-Efficient Classification and Early Predictions of Carcass Composition in Fattening Pigs by Means of Ultrasound Examinations. In: *Agriculture* 10 (6), S. 222. DOI: 10.3390/agriculture10060222.
4. Lengling, Alexandra; Alfert, Antonius; Reckels, Bernd; Steinhoff-Wagner, Julia; Büscher, Wolfgang (2020b): Feasibility Study on the Use of Infrared Thermography to Classify Fattening Pigs into Feeding Groups According Their Body Composition. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (18). DOI: 10.3390/s20185221.
5. Lengling, Alexandra; Reckels, Bernd; Büscher, Wolfgang (2021): Impact on ammonia emissions under a resource efficient feeding concept in fattening pigs based on performance groups and crude fibre supplemented diets. In: CSBE-SCGAB Technical Conferences. 5th CIGR and AGM Quebec City 2021. 4th international Symposium on Gas Emissions and Dust from Livestock (EMILI). Quebec City, Canada, 11th – 14th May 2021.