

Innovative Stallbegrünungssysteme zur Verbesserung von Haltung und Umweltverträglichkeit

Zuwendungsempfänger:

Frankenförder Forschungsgesellschaft mbH
Potsdamer Straße 18a
14943 Luckenwalde
Ansprechpartner: Doreen Sparborth, Geschäftsführerin
Telefon: 03371-402277
E-Mail: info@frankenfoerder-fg.de

Projektkoordination:

Frankenförder Forschungsgesellschaft mbH
Jens Unrath und Doreen Sparborth

Mitglieder der operationellen Gruppe:

Agrargenossenschaft Ranzig eG
Böhmer GALA-Bau GmbH
Frankenförder Forschungsgesellschaft mbH
Gesellschaft für Lebensmittel- und Umweltconsulting mbH
Gut Jäglitz GmbH & Co. Agrar KG
Humboldt Universität zu Berlin
Kraftfahrzeug-Fertigung-Landtechnik GmbH Löwenberg
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.

Projektlaufzeit: 01.09.2017 - 31.03.2021

Budget: 820.496,91 Euro

Datum: 30.06.2021

Autoren: Hallmann, Böhm, Grüneberg, Helbig, Jakob, Müschner-Siemens, Sparborth

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung in deutscher Sprache.....	1
2.	Kurzfassung in englischer Sprache	1
3.	Situation zu Projektbeginn.....	1
3.1.	Ausgangssituation	1
3.1.1.	Schweinehaltung in Deutschland.....	1
3.1.2.	Putenhaltung in Deutschland.....	2
3.1.3.	Luftreinigende Wirkung von Pflanzen	2
3.2.	Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens	3
4.	Projektverlauf.....	4
4.1.	Versuchsdurchführung Schweinestall.....	7
4.2.	Versuchsdurchführung Putenstall.....	9
5.	Projektergebnisse und Diskussion.....	11
5.1.	Begrünungssysteme	11
5.1.1.	Begrünungssystem im Schweinestall	11
5.1.2.	Begrünungssystem im Putenstall	12
5.2.	Pflanzenauswahl	13
5.2.1.	Pflanzenauswahl Schweinestall.....	13
5.2.2.	Pflanzenauswahl Putenstall.....	13
5.3.	Vorversuche im Forschungsgewächshaus	14
5.3.1.	Testung von verschiedenem Blähton	14
5.3.2.	Desinfektionsversuche	15
5.4.	Begrünungsversuche in den Landwirtschaftsbetrieben	16
5.4.1.	Pflanzen im Schweinestall.....	16
5.4.1.1.	Aglaonema commutatum.....	18
5.4.1.2.	Sansevieria trifasciata.....	19
5.4.1.3.	Epipremnum aureum	21
5.4.1.4.	Balkonkastensystem.....	25
5.4.2.	Pflanzen im Putenstall	26
5.5.	Schadgas- und Stallklimamessungen.....	31
5.5.1.	Schadgas- und Stallklimamessungen im Schweinestall	31
5.5.2.	Vergleich der Stallinnentemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit im Schweinestall	35
5.5.3.	Schadgas- und Stallklimamessungen im Putenstall	37
5.6.	Ergebnisse der Laboranalysen	40
5.7.	Tiergewichte und Tierwohlparameter im Schweinestall.....	41
5.8.	Ökonomische Betrachtung Schweinestall	47
5.9.	Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen	49

5.10.	Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP Zielen.....	49
5.11.	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	49
5.12.	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	50
5.13.	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen	50
6.	Zusammenarbeit der operationellen Gruppe	50
7.	Kommunikations- und Disseminationskonzept.....	51
8.	Literaturverzeichnis	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsvorbereitung Pflanzen in Hydro-substrat, Sortierung nach Buchten zur Etikettierung, Beschriftung, Bonitur, HU Berlin	7
Abbildung 2: Akklimatisierung an Schwachlichtbedingungen der Pflanzen für das Wandrohrsystem, HU Berlin.....	7
Abbildung 3: Akklimatisierung der Pflanzen in Balkonkästen mit Schattierung, HU Berlin	8
Abbildung 4: Akklimatisierung der Pflanzen in Balkonkästen unter Schattierung, HU Berlin	8
Abbildung 5: Aufbau der Messtechnik an einem Lüfter (Quelle: ATB)	10
Abbildung 6: Schweinestall: zu erkennen ist das Wandrohrsystem (mittig hinten) und Abhängungen aus Edelstahl für Balkonkästen links und rechts	11
Abbildung 7: Übersicht technische Anlagen zur Begrünung mit Wandrohrsystem und Abhängungen für Balkonkästen ..	11
Abbildung 8: Balkonkasten (60 cm) Draufsicht, vor Einstellung in den Schweinestall.....	12
Abbildung 9: Balkonkasten (60 cm) Seitensicht, vor Einstellung in den Schweinestall	12
Abbildung 10: Einstellung der Versuchspflanzen in die Hängetische im Putenstall mit Hilfe einer Hebebühne	13
Abbildung 11: Abhängung mit Haltegittern und eingestellten Pflanzen	13
Abbildung 12: Gewählte Hydrosubstrate nach 6 h der Wassergabe	15
Abbildung 13: Wassersteighöhen der gewählten Hydrosubstrate im zeitlichen Verlauf (bis 24 h nach Wassergabe)	15
Abbildung 14: Versuchsaufbau mit Pflanzenummerierungen im Schweinestall der AG Ranzig (Aug-Okt 2019), waagrecht wandrohrsystem in der Abbildung oben enthält die Pflanzennummern I bis VIII je 22 Pflanzen und die Abhängungen mit Hydro-Balkonkästen über den Buchtengittern: Balkonkastennummern 1 bis 28.....	16
Abbildung 15: Standorte der einzelnen Versuchspflanzen im Hydro-Wandrohrsystem in einer Bucht im Schweinestall der AG Ranzig, Versuch 6: Aug bis Okt 2019.....	16
Abbildung 16: Versuchspflanzen nach Einstellung im Wandrohrsystem im Schweinestall der AG Ranzig (Bucht VI), 14.08.2019.....	17
Abbildung 17: Versuchspflanzen im Balkonkastensystem im Schweinestall der AG Ranzig, 20.08.2019	17
Abbildung 18: <i>Aglaonema commutatum</i> vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 24.10.2019) nach 9-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall.....	18
Abbildung 19: Pflanzenhöhe, Anzahl der Triebe und Blätter sowie der Gesamteindruck von <i>Aglaonema</i> vor Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zu den unter Gewächshausbedingungen kultivierten Pflanzen (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Prüffaktoren ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-Test)).....	18
Abbildung 20: <i>Sansevieria trifasciata</i> vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 24.10.2019) nach 9-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall	19
Abbildung 21: Pflanzenhöhe, Anzahl der Blätter sowie der Gesamteindruck von <i>Sansevieria</i> vor Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zu den unter Gewächshausbedingungen kultivierten Pflanzen (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Prüffaktoren ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-Test)).....	20
Abbildung 22: <i>Epipremnum aureum</i> vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 24.10.2019) nach 9-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall	21
Abbildung 23: <i>Epipremnum aureum</i> - Kontrollpflanzen aus dem Gewächshaus der HU Berlin – links vom 13.08.2019 und rechts - 24.10.2019.....	21
Abbildung 24: Pflanzenlänge, Anzahl der Triebe und Gesamteindruck von <i>Epipremnum</i> vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zur Kultivierung unter Gewächshausbedingungen (Kontrolle).....	22
Abbildung 25: Pflanzenlänge mit Streuung von <i>Epipremnum</i> vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem	

Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zur Kultivierung unter Gewächshausbedingungen (Kontrolle).....	22
Abbildung 26: Pflanzenlänge, Anzahl der Triebe und Gesamteindruck von <i>Epipremnum</i> vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchigen Aufenthalt im Stall) nach oberem und unterem Wandrohr im Stall unterteilt im Vergleich zur Kontrolle (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den Prüffaktoren ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-Test).....	23
Abbildung 27: Pflanzenlänge von <i>Epipremnum</i> vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9 wöchigen Aufenthalt im Stall) nach oberem und unterem Wandrohr im Stall unterteilt im Vergleich zur Kontrolle	24
Abbildung 28: Balkonkasten mit <i>Sansevieria trifasciata</i> und <i>Epipremnum aureum</i> vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 25.10.2019) nach 10-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall	25
Abbildung 29: <i>Epipremnum</i> und <i>Sansevieria</i> im Balkonkastensystem vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (10-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zur Kultivierung unter Gewächshausbedingungen	25
Abbildung 30: Bucht VI bei Einstellung der Pflanzen in den Schweinestall, 14.08.2019	26
Abbildung 31: Bucht VI bei Entnahme der Pflanzen aus dem Schweinestall, 17.10.2019	26
Abbildung 32: Übersicht über die Verteilung der Versuchspflanzen auf zwei ausgewählten Hängetischen im Putenstall (1. Versuch, Jan. bis Mai 2019)	27
Abbildung 33: Versuchspflanzen auf den sieben Hängetischen/Abhängungen im Putenstall (1. Versuch Jan. bis Mai 2019)	27
Abbildung 34: Blick von oben auf den Pflanzenbestand nach Einstellung der Pflanzen in das hängende System im Putenstall (1. Versuch, Jan. bis Mai 2019)	27
Abbildung 35: Durchschnittlicher Gesamteindruck nach Entnahme (21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall (alle Pflanzenarten wurden mit Boniturnote (BN) 9 eingestellt)	28
Abbildung 36: <i>Zamioculcas zamiifolia</i> vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall	29
Abbildung 37: <i>Aspidistra elatior</i> vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall	29
Abbildung 38: <i>Monstera deliciosa</i> vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach der Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall.....	29
Abbildung 39: <i>Philodendron xanadu</i> vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall	30
Abbildung 40: Pflanzen mit Staubanhaftung nach Entnahme aus dem Putenstall	31
Abbildung 41: Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit im Schweinestall	36
Abbildung 42 Vergleich der Startgewichte innerhalb eines Versuches zwischen Kontrolle und Stallgrün.....	43
Abbildung 43: Vergleich der mittleren Gewichtszunahme zwischen Stallgrün und Kontrolle der Versuche 1-10 und 3-10.....	45
Abbildung 44: Vergleich der durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahme von 263 Einzeltieren in den Versuchsvarianten Stallgrün und Kontrolle während der Versuchsdurchgänge 3,4 und 5	46
Abbildung 45: Vergleich der Gruppen Stallgrün und Kontrolle hinsichtlich tierwohlrelevanter Parameter	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchsüberblick zur Begrünung der Schweinestall- und Putenstallanlage im Projektverlauf	4
Tabelle 2: Zeitplan der durchgeführten Arbeiten entsprechend der Arbeitspakete Teil 1	5
Tabelle 3: Zeitplan der durchgeführten Arbeiten entsprechend der Arbeitspakete Teil 2	6
Tabelle 4: Pflanzenauswahl Schweinestall mit Ansprüchen an die Wachstumsfaktoren	13
Tabelle 5: Pflanzenauswahl Putenstall mit Ansprüchen an die Wachstumsfaktoren	14
Tabelle 6: Testung verschiedener Hydrosubstrate	14
Tabelle 7: Anzahl der Versuchspflanzen je Pflanzenart an den unterschiedlichen Standorten (in Stück)	17
Tabelle 8: ermittelte Blattflächen der eingestellten Pflanzen im Schweinestall (Versuch 10 in 2020).....	17
Tabelle 9: Pflanzenauswahl, Anzahl der Versuchspflanzen und Boniturkriterien für den 1. Versuch, Jan. bis Mai 2019 im Tier-Haltungssystem Pute.....	28
Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Begrünung des Tier-Haltungssystems Pute mit Empfehlungsangaben, Versuchszeitraum Jan. bis Mai 2019	30
Tabelle 11: Übersicht zu den durchschnittlichen Mittelwerten von Schadgasen und Klimadaten während ausgewählter Versuche im Schweinestall.....	32
Tabelle 12: Signifikanzunterschiede der Stallvarianten	37
Tabelle 13: Übersicht zu den durchschnittlichen Messwerten von Schadgasen und Klimadaten während ausgewählter Versuche im Putenstall	39
Tabelle 14: Staubanalyse Stallgrünabteil Schweinestall vom 13.05.2019	40
Tabelle 15: Wasseranalysen Stallgrünabteil Schweinestall Versuch 9	41
Tabelle 16 Dauer der Versuche und Anzahl der Tiere zu Beginn und am Ende.....	42
Tabelle 17: Startgewichte in den Versuchen bei Kontrolle und Stallgrün und die Signifikanz des Unterschieds.	42
Tabelle 18: Vergleich der Gewichtszunahme zwischen Kontrolle und Stallgrün.....	44
Tabelle 19: Kostenrechnung Stallbegrünung in der Ferkelaufzucht.....	48

1. Kurzfassung in deutscher Sprache

Ziel des Projektes war die Entwicklung innovativer Stallbegrünungssysteme zum Einsatz in der Nutztierhaltung und die Implementierung eines neuartigen Verfahrens zur Verbesserung des Stallklimas in Tierhaltungsanlagen durch Annäherung an einer an die Natur angepassten Umgebung im Sinne einer emissionsärmeren Tierhaltung. Für die untersuchten Stallsysteme (Schwein, Pute) wurden individuelle Begrünungssysteme konzipiert und in den vorgesehenen Tierställen installiert. In der Versuchsumgebung wurde Messtechnik zur Erfassung von Schadgasen und Umgebungsparametern integriert. Zusätzlich zu den automatisch erfassten Daten wurden regelmäßig Pflanzen bonitiert, Tierbeobachtungen und -wägungen durchgeführt sowie Staub- und Pflanzenproben der Versuchsumgebung im Labor analysiert. In mehrfachen Versuchsdurchgängen zeigte es sich, dass ausgewählte Grünpflanzen unter den Umgebungsbedingungen im Tierstall (mittlere bis hohe Temperaturen, hohe Gehalte an Staub und Schadgasen) gut gedeihen und eine signifikante Erhöhung der relativen Luftfeuchte bewirken. Die Auswertung einzelner Versuche ergab eine erhöhte Tageszunahme von Ferkeln unter Versuchsbedingungen. Einzelne Messreihen zeigten zudem eine Reduktion der gemessenen Ammoniakgehalte in der Abluft. Unter Einbeziehung aller Versuchs- und Messreihen konnten diese beiden letztgenannten Effekte allerdings nicht als signifikant bestätigt werden.

2. Kurzfassung in englischer Sprache

The aim of the project was to develop innovative barn greening systems for use in livestock farming and to implement a novel process for improving the barn climate in livestock facilities by approximating an environment adapted to nature in the sense of lower-emission livestock farming. Individual greening systems were designed for the studied animal housing systems (pig, turkey) and installed in the designated animal barns. Measurement technology was integrated into the test environment to record pollutant gases and environmental parameters. In addition to the automatically collected data, plants were regularly rated, animal observations and weightings were carried out, and dust and plant samples of the experimental environment were analyzed in the laboratory. In multiple experimental runs, it was found that selected green plants thrived under the environmental conditions in the animal barn (moderate to high temperatures, high levels of dust and pollutant gases) and caused a significant increase in relative humidity. The evaluation of individual tests showed an increased in daily weight gain of piglets under test conditions. Individual series of measurements also showed a reduction in the measured ammonia content in the exhaust air. However, when all test and measurement series were included, these effects could not be confirmed as significant.

3. Situation zu Projektbeginn

3.1. Ausgangssituation

Die überwiegende Zahl von Nutztieren in Europa wird in Ställen gehalten. Für die Bewertung eines Haltungssystems in Bezug auf Tiergerechtigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit der Tiere nutzt man oftmals auch das Stallklima, da es einen essenziellen Einfluss auf die genannten Parameter nimmt. Dieses kann jedoch durch zu hohe Staub-, Keim- und Schadgasbelastungen gekennzeichnet sein und somit zu einem sehr ungünstigen Effekt führen. Schadgase, wie beispielsweise Ammoniak oder Schwefelwasserstoff sowie erhöhte Staubkonzentrationen, können, verbunden mit einer geringen Luftfeuchte, auf Dauer die Atemwege der Tiere reizen und somit zu Entzündungen und Leistungsminderungen führen (Bartussek et al. 2001).

Auch das im Stall arbeitende Personal ist von all diesen Bedingungen ebenfalls nachteilig betroffen (Büscher 2012 u. Humann et. al. 2012). Eine Beeinträchtigung der Gesundheit von Mensch und Tier ist folglich die Konsequenz. Immer häufiger werden diese negativen Folgen in politischen und Verbraucherschutzrechtlichen Diskussionen als Grundlage für eine Argumentation gegen die intensive Nutztierhaltung verwendet. Es gibt bereits viele Ansätze zur Verbesserung des Stallklimas, aber das Potential wurde bisher noch nicht vollends ausgeschöpft.

3.1.1. Schweinehaltung in Deutschland

Deutschland agiert als der drittgrößte Schweinefleischproduzent weltweit. Es werden etwa 26,9 Millionen Tiere i. d. R. konventionell gehalten.

Die Ställe der konventionellen Schweinehaltung bestehen aus geschlossenen und künstlich klimatisierten Strukturen mit starker Ventilation sowie einer hohen Anzahl an Tieren pro Quadratmeter (Dong et al., 2009). Belastende Umweltbedingungen, wie beispielsweise Schadgase in der Stallluft, können in Tierhaltungssystemen verstärkt aufkommen, aber auch unzureichende Licht- sowie erhöhte Lärmverhältnisse stellen gravierende Probleme dar. Folglich kann ein ungünstiges Stallklima zu Erkrankungen bei den Tieren führen und für die im Stall arbeitenden Menschen eine gesundheitliche Beeinträchtigung provozieren (u.a. Berufskrankheit Farmerlunge). Als rechtliche Grundlage formuliert die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in Abschnitt 5 §26 die allgemeinen Anforderungen an das Halten von Schweinen in Deutschland. Dieser Paragraph regelt im Absatz 1 und 2 das Vorhandensein von Beschäftigungsmaterial, das Ausleben eines natürlichen Habitus und die Mindestbeleuchtungsstärke von 80 Lux in einem circadianen Rhythmus sowie die Maximalgrenzwerte an Schadgasen (resp. 20 ppm Ammoniak, 3.000 ppm Kohlenstoffdioxid und 5 ppm Schwefelwasserstoff) und einen Maximalgeräuschpegel von 85 db. Wissenschaftler haben jedoch herausgefunden, dass ein weites Spektrum an Gaskonzentrationen für Kohlenstoffdioxid (1.000 bis zu 5.000 ppm) und für Ammoniak (2 bis 87 ppm) in Nutztierhaltungen existiert (Van der Heyden et al., 2015). Solch hohe Konzentrationen an Schadgasemissionen sollen vermieden werden, da sie neben den Tieren auch die Umwelt belasten. Die European Environment Agency (2010) berichtete, dass die Schweinehaltung in Europa für fast 25 % der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft verantwortlich ist.

Tierwohl, Umweltschutz und Emissionsminderungen rücken jedoch fortwährend in den Fokus der Verbraucher. Praxisrelevante Innovationen und Lösungsansätze sind gefragter denn je. Insbesondere fordert der Tierschutzplan Brandenburg 2017 im Handlungsfeld Schweinehaltung in der Maßnahme 104 zu etwaigen Zielkonflikten zwischen Tier- und Umweltschutz die Einführung neuartiger, tiergerechter Haltungsformen, um die Eindämmung von Emissionen aus Schweinehaltungen voranzutreiben (Tierschutzplan Brandenburg, 2017).

Darüber hinaus muss man die menschliche Gesundheit vor Schädigungen durch Schadgase aus Nutztierhaltungen schützen. Daher legt die Europäische Richtlinie 2006/15/EC fest, dass Landwirte nicht länger als 8 Stunden einer Kohlenstoffdioxidkonzentration von 5.000 ppm ausgesetzt sein dürfen. Des Weiteren geht aus der Europäischen Rechtsvorschrift 2000/39/EC hervor, dass Landwirte auch eine Ammoniakkonzentration von 20 ppm nicht länger als 8 Stunden ertragen sollten.

3.1.2. Putenhaltung in Deutschland

Der Geflügelfleischverzehr in Deutschland liegt bei 20,9 kg pro Kopf und Jahr. Bei circa 29 % handelt es sich um Putenfleisch (Stand 2017). Bei Mastputen werden sowohl die männlichen als auch die weiblichen Tiere ausgemästet. Die Haltung erfolgt meist in offenen Systemen als Bodenhaltung auf Einstreu, aber es existieren auch geschlossene Varianten mit einer gesteuerten Ventilation. Die Mastzeiten männlicher und weiblicher Puten differieren allerdings stark voneinander. Putenhähne bleiben 22 Wochen in den Ställen, bis sie ein Gewicht von 20 kg erreichen, während die Putenhennen bereits nach 16 Wochen mit einem Endgewicht von 10 kg ausgemästet sind. Anders als bei anderen Masttierhaltungen gibt es bei den Puten keine konkreten rechtlichen Vorschriften. Daher hat das Bundeslandwirtschaftsministerium gemeinsam mit der deutschen Geflügelwirtschaft Basiswerte für die Putenhaltung entworfen. Durch die Maßnahmenvorschläge der Arbeitsgruppe Puten im Tierschutzplan Brandenburg 2017 ergibt sich eine Festigung dieser *Bundeseinheitlichen Eckwerte von 2013* für Putenhalter auch in Brandenburg. Darüber hinaus fordert die Arbeitsgruppe Puten, dass ein maximaler Ammoniakgehalt von 10 ppm sowie ein Höchstgehalt an Kohlenstoffdioxid von 3.000 ppm in der Stallluft nicht überschritten werden (Tierschutzplan Brandenburg, 2017).

3.1.3. Luftreinigende Wirkung von Pflanzen

Es ist bekannt, dass tropische und subtropische Grünpflanzenarten wie z.B. *Aglaonema*, *Nephrolepis*, *Dieffenbachia* und weitere Arten Schadgase, wie z.B. Formaldehyde, Xylen und Ammoniak aus der Innenraumluft herausfiltern können. In einer zweijährigen Studie konnte auch gezeigt werden, dass sich diese Fähigkeit der Luftreinigung nach kurzer Zeit der Anpassung sogar verbessern kann (Stennis 1989). Dabei konnte u.a. festgestellt werden, dass Schatten-Pflanzen, die allgemein ein geringes Lichtbedürfnis aufweisen, gut diese Stoffe aufnehmen können.

Mikroorganismen in den Pflanzensubstraten besitzen in diesem Zusammenhang zusätzlich eine anerkannte Wirksamkeit (Wolverton, B.C und Wolverton, J.D, 1993 u. Soranu et. al 2013). Luftreinigende Wirkungen der Pflanzen konnten sogar während der Dunkelphase nachgewiesen werden (Wood et. al 2001). Kritisch muss gesagt werden, dass die luftreinigenden Wirkungen in geschlossenen Küvetten nachgewiesen wurden und unter Praxisbedingungen schwer fassbar sind. Sicher ist dies zusätzlich abhängig von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Auch die Luftbewegung sowie Luftwechselrate spielen eine wichtige Rolle.

Zusätzlich können Pflanzen in Innenräumen den Schall mindern. So nimmt die schallhemmende Wirkung linear zur Pflanzenanzahl zu. Neben der Pflanzenanzahl ist die Verteilung der Pflanzen im Raum wichtig. Eine unregelmäßige Verteilung ist offenbar günstiger (Monreal u. Kerstjens 1995). Weiterhin sind Pflanzen in der Lage, Staub abzufangen (Bernatzky 1973).

3.2. Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens

Politik und Gesellschaft fordern stets Verbesserungen in der tierhaltenden Landwirtschaft. So sind insbesondere im Hinblick auf die Tiergesundheit, den Tier- und Umweltschutz, die tiergerechte und nachhaltige Nutztierhaltung sowie die Arbeitssituation in der Landwirtschaft praktikable und akzeptable Innovationen notwendig.

Die Entwicklung und Integration von neuartigen Stallbegrünungssystemen in Nutztierställen sollen einerseits die Staub- und Schadgaskonzentrationen verringern und andererseits die Luft insgesamt verbessern, was zu einer emissionsärmeren Stallhaltung führt. Der Lösungsansatz bestand darin, geeignete Pflanzen-Filter-Systeme für geschlossene Tierhaltungssysteme zu entwickeln und zu etablieren. Es bedarf einer zweckmäßigen Auswahl geeigneter Pflanzen sowie von Vegetationsträgern und der Entwicklung technischer Begrünungssysteme, die zahlreiche Anforderungen erfüllen müssen. Beispielsweise sind eine einfache Bestückung, eine automatische Bewässerung und eine aufwandarme Reinigung und Desinfektion zwingend erforderlich. Für die Vermarktung ist bedeutsam, dass die innovativen Begrünungssysteme das Stallklima wirksam beeinflussen. Messbare Verbesserungen in Bezug auf Tiergesundheit und Produktionsleistung bleiben ebenfalls unabdingbar. Ebenso dürfen sie in Anschaffung und Anbringung nicht zu kostenintensiv sein, damit die Befürwortung der Landwirte bezüglich solcher Investitionen gefördert wird. Insgesamt sollte das Projekt dazu beitragen, dass die öffentliche Akzeptanz gegenüber der Nutztierhaltung verbessert und das Image der Landwirtschaft in der Wahrnehmung der Bevölkerung nachhaltig positiv beeinflusst wird.

Die Tabellen 2 und 3 zeigen die einzelnen Arbeitspakete eines jeden OG-Mitglieds, entsprechend der tatsächlichen Durchführung im Projektverlauf. Abweichungen gegenüber dem ursprünglichen Arbeitsplan kamen durch den Wechsel von Projektmitarbeitern, die bewilligte Projektverlängerung und die weiteren Anforderungen zustande, die sich während der Durchführung von Praxisversuchen ergaben. Als wesentliche Abweichung kann die Durchführung von zehn Versuchen im Schweinestall genannt werden. Dies stellt eine wesentliche Erweiterung der geschaffenen Datengrundlage gegenüber den drei ursprünglich geplanten Versuchsdurchgängen dar.

Tabelle 2: Zeitplan der durchgeführten Arbeiten entsprechend der Arbeitspakete Teil 1

EIP- "Stallgrün"		Innovative Stallbegrünungssysteme in der Tierhaltung zur Verbesserung des Tier- und Umweltschutzes																																			
Jahr		2017				2018				2019				2020				2021																			
Monat		Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz					
Frankenförder Forschungsgesellschaft (LEAD-Partner)		Leitung der OG und wissenschaftliche Betreuung und Untersuchungen in den tierhaltenden Betrieben																																			
1 Leitung der OG in der Gesamtheit																																					
Projektmanagement, Controlling																																					
Organisation, Koordination, Projekttreffen																																					
2 Vorbereitung und Recherche zur Versuchsdurchführung																																					
Methodenentwicklung																																					
Versuchsplanung																																					
3 Praxisversuche																																					
Auswahl geeigneter Tierställe, Versuchsaufbau																																					
Praxisversuche (Untersuchungen in Tierställen)																																					
4 Auswertung der Ergebnisse und Berichtslegung																																					
Gesamtbewertung, Wirtschaftlichkeit																																					
Erstellung Anwenderverfahren, Pflichtenheft																																					
Humboldt-Universität zu Berlin		Entwicklung der Pflanzenformation																																			
1 Recherche																																					
Pflanzenarten, Vegetationsträger																																					
Auswahl und Beschaffung der Materialien																																					
2 Test- und Gewächshausversuche																																					
Anzuchttests verschiedener Pflanzen, verschiedene Vegetationsträger																																					
Akklimationstests																																					
3 Praxisversuche																																					
Auswahl, Planung Versuchsaufbau																																					
Bonitur der Pflanzen, Vegetationsträger																																					
4 Auswertung																																					
Evaluierung der Ergebnisse																																					
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)		Untersuchung und Bewertung des Stallklimas hinsichtlich Tier- und Arbeitsschutz																																			
1 Recherche																																					
Parameter Stallklima																																					
Bewertungskriterien Tierwohl, Arbeitssicherheit																																					
2 Konzept und Testung																																					
Konzept Versuchsaufbau zur Erfassung der Parameter																																					
Testdurchführung																																					
3 Praxisversuche																																					
Messung von Stallklima (Schadgasen, Staub, Luft, Temperatur,...)																																					
Erfassung und Bewertung des Stallklimas																																					
4 Auswertung																																					
Evaluierung der Ergebnisse hinsichtlich Schutz von Tier und Mensch																																					

4.1. Versuchsdurchführung Schweinestall

Die Projektpartner führten im Rahmen ihrer Arbeitspakete umfangreiche Literaturrecherchen durch und erstellten Versuchspläne entsprechend der im Projekt vorgesehenen Arbeiten.

Vor Versuchsbeginn im April 2018 mussten geeignete Tierställe ausgewählt werden. Die Agrargenossenschaft Ranzig stellte für die Versuchsdurchführung zwei baugleiche Ferkelaufzuchtteile zur Verfügung.

Als Vorversuch wurde seitens des ATB mit einem Impinger System die effektive Schadgasaufnahmekapazität von Pflanzen im Labor getestet. Hierfür setzte man exemplarisch eine Grünlilie verschiedenen Ammoniakkonzentrationen (resp. 5 ppm, 50 ppm, 5.000 ppm) aus. Die Aufnahmefähigkeit war bei 5 und 50 ppm gegeben. Bei einer Konzentration von 5.000 ppm starb die Pflanze ab. Daraus schlussfolgerte man, dass eine Ammoniakbindungsfähigkeit vorhanden ist.

Nach der Teilnahme an einem Workshop in der Schweiz zum Thema „Measurement methods to quantify ammonia and greenhouse gas emissions at different scales and with different aims“ wurden mögliche Messmethoden für den Versuch abgeleitet. Die Wahl zur Schadgas erfassung fiel letztlich auf den Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Gasmonitor sowie den Multigas Monitor. Des Weiteren erfolgten durch das ATB Messungen in Bezug auf Temperatur, Luftfeuchte und Lüftungsrate. Zusätzlich wurden von der FFG in den Ferkelaufzuchtteilen LOG 32 TH Feuchte-Temperaturlogger der Firma Dostmann installiert, um das Stallklima zu protokollieren.

Zeitgleich wurden von der HUB, Böhmer GALABAU und KFL die Grundlagen für ein Hydrokultursystem erarbeitet. Zwei Prototypen wurden gebaut und im Versuchsgewächshaus der HUB und auf dem Betriebsgelände von Böhmer GALABAU etabliert und erprobt. Nach Abstimmungen innerhalb der OG erfolgte die Installation des Versuchsaufbaus im Schweinestall.

Die für die jeweiligen Versuche ausgewählten Pflanzen wurden im Großhandel bestellt und im Forschungsgewächshaus der HUB weiterkultiviert. Die gelieferten Pflanzen mussten auf ein Hydrosubstrat (Blähton) umgesetzt werden. Diese Maßnahme wurde erforderlich, da aus tierhygienischen Gründen für den Schweinestall ein Erds substrat nicht in Frage kam. Die Pflanzen wurden anschließend an die Bedingungen des Schweinestalls akklimatisiert (Abbildungen 1 bis 4). Vor Einbringung in die Stallanlage mussten die Pflanzen desinfiziert werden, um die Keimbelastung möglichst gering zu halten. Nach der Desinfektion wurden die Pflanzen entsprechend des Versuchsplans in die Begrünungselemente eingestellt. Die Pflanzen verblieben, in Abhängigkeit der jeweiligen Versuchsperiode, sieben bis neun Wochen im Stall. Mehrmals täglich wurde im Begrünungssystem eine Nährlösung angestaut. Eine Zusatzbeleuchtung sorgte für ein Mindestmaß an pflanzenverfügbarem Licht. Während der Versuche wurden die Pflanzen gelegentlich gereinigt und die technischen Versuchsanlagen kontrolliert. Nach Beendigung jedes Versuchsdurchgangs wurden die Pflanzen entnommen. Die zuvor selektierten Pflanzen wurden bonitiert, fotografiert und mit Referenzpflanzen, die unter optimalen Bedingungen im Gewächshaus weiterkultiviert wurden, verglichen.



Abbildung 1: Versuchsvorbereitung Pflanzen in Hydrosubstrat, Sortierung nach Buchten zur Etikettierung, Beschriftung, Bonitur, HU Berlin



Abbildung 2: Akklimatisierung an Schwachlichtbedingungen der Pflanzen für das Wandrohrsystem, HU Berlin



Abbildung 3: Akklimatisierung der Pflanzen in Balkonkästen mit Schattierung, HU Berlin



Abbildung 4: Akklimatisierung der Pflanzen in Balkonkästen unter Schattierung, HU Berlin

Zu jedem durchgeführten Versuchsdurchgang wurden seitens der FFG Einzeltiergewichte zum Anfang und Ende eines jeden Versuchs erhoben. Zusätzlich wurden wöchentlich Tierbonituren durchgeführt, bei denen unter anderem Tierwohlparameter in Anlehnung an die Tierwohlkriterien des KTBL erfasst wurden. Bei drei Versuchsperioden konnte zusätzlich die Tierkennung von repräsentativen Versuchstieren erfasst werden, die eine tierspezifische Verfolgung und einen Vergleich der erreichten Tageszunahmen zulässt. Für vergleichende Verhaltensbeobachtungen in den Versuchsabteilungen wurde zeitweilig eine Kamera installiert. Eine Studentin der HUB wird die gewonnenen Daten in ihrer Graduierungsarbeit zum Erwerb des B.Sc. Agrarwissenschaften auswerten. Die Aufteilung der Versuchstiere wurde bei den ersten beiden Versuchsdurchgängen durch Mitarbeiter der AG Ranzig durchgeführt. Dabei wurden die schwächsten Ferkel nicht gleichmäßig auf die Versuchsvarianten aufgeteilt. Bei späteren Versuchen erfolgte die Einteilung der Versuchstiere durch die Wissenschaftler der FFG. Zusätzlich dienten die ersten Versuche der Selektion geeigneter Pflanzenarten und waren insgesamt von einer schwachen Begrünung mit kleinen Pflanzen und einer insgesamt geringen Blattfläche geprägt. Daher wurden diese Versuche bei der Auswertung der durchschnittlichen Tageszunahmen als nicht repräsentativ verworfen.

Die GLU begleitete die Versuche mit Laboranalysen von Staub, Brunnenwasser, Nährlösung und Pflanzenmaterial, entsprechend der von den Projektpartnern untersuchten Fragestellungen.

Während der ersten Messreihen des ATB im Sommer 2018 waren die Außentemperaturen immer sehr hoch, teilweise über 30°C. Dies beeinflusste die Gaskonzentration im Stall, da der Umsatz der Abluftventilation erhöht war, um die Temperaturen im Stall zu vermindern. Die gemessenen Gaskonzentrationen waren dementsprechend sehr gering. Folglich sollten die weiteren Schadgasmessungen in einer kühleren Jahreszeit erfolgen.

Die Gasmessungen der folgenden drei Messzeiträume (25.09.2018 – 17.10.2018; 22.11.2018 – 11.01.2019; 17.03.2020 – 31.03.2020) führte man nach dem gleichen Prinzip wie zuvor mit Hilfe des FTIR Messgerätes durch. Für die statistische Auswertung mussten die gemessenen Ergebnisse um die CO₂-Bilanz bereinigt werden, damit ein Vergleich der gemessenen Gaskonzentrationen möglich wurde. Bis dato waren Unterschiede in den Gaskonzentrationen noch mit den verschiedenen Luftwechselraten erklärbar.

Zu diesem Zeitpunkt wurde die CO₂-Bilanzierung als zu unsicher bewertet und der Einbau von Messventilatoren empfohlen. Weitere Probleme während der Durchgänge von November 2018 bis Januar 2019 ergaben sich aus einer Fehlfunktion der Stallventilatoren und des Heizungssystems, die die Ergebnisse negativ beeinflusst haben. Zudem war zu dieser Zeit keine Entleerung des Gülletanks möglich, was zu einer Akkumulation von Schadgasen in den jeweiligen Stallabteilungen führte.

Im Dezember 2019 erfolgte der Einbau von Messventilatoren der Firma Möller und somit konnten die Messungen im Schweinestall ab Anfang Februar 2020 bis Ende März 2020 erneut aufgenommen werden (resp. Versuchszeitraum vom 17.03.2020 – 31.03.2020). Allerdings hatte die Software der Messventilatoren nicht richtig funktioniert. Folglich wurden die Daten für die Luftwechselrate weder exakt gemessen, noch gespeichert. Somit wurde kein neuer Versuch gestartet. Erst im August 2020 wurde nach mehrmaligen, erfolglosen Kontaktversuchen die Software durch einen Techniker der Firma Möller exakt eingestellt. Infolgedessen errechnete man erneut die Luftwechselraten aus dem Versuch im März mit Hilfe der CO₂-Bilanz. Die Daten für die Messperioden im Oktober 2018 und im März 2020 ließen sich dennoch auswerten und statistisch analysieren.

Für die Versuchsdurchgänge von August bis Oktober 2020 und von Oktober bis Dezember 2020 mussten die Gaskonzentrationen mit einem anderen Gerät als dem FTIR ermittelt werden, da dieses nicht mehr ordnungsgemäß funktionierte und somit nicht mehr zur Verfügung stand. Hierfür nutzte man einen Multigas-Monitor. Mitte Oktober erfolgte der Austausch des Messrechners, da die Datenerfassung nicht korrekt arbeitete. In diesen Versuchsperioden gab es eine Häufung von Stromausfällen in den Stallabteilen, was zur Folge hatte, dass die Datenaufzeichnung unterbrochen wurde. Es waren mehrere manuelle Neustarts der Messtechnik von Oktober bis November notwendig. Es liegen dennoch Daten vom 16.09.2020 – 18.09.2020 und vom 15.10.2020 – 22.10.2020 sowie vom 29.10.2020 – 04.12.2020 vor. Anfang Dezember 2020 zeigten sich Störungen bei der Gasmessung. Der Multigas-Monitor musste auf Grund eines Defekts abgebaut und repariert werden. Das Problem trat bereits kurz nach der Reparatur wieder auf. Daraufhin wurde die Gasmessung abgebrochen und der Versuchsstand abgebaut.

4.2. Versuchsdurchführung Putenstall

Bei den zunächst von Gut Jäglitz zur Verfügung gestellten Versuchsställen handelte es sich um offen gelüftete Putenställe. Gasmessungen in frei gelüfteten Ställen sind messtechnisch sehr aufwändig und für die Fragestellung der Wirksamkeit von Pflanzen zur Schadgasminimierung eher ungeeignet. Im Juni 2018 wurde daher ein anderer, besser geeigneter Putenstall gefunden. Dieser erhielt seine Ventilation durch eine technische Einrichtung, was eine Bestimmung der Luftwechselrate zuließ. Mit dem Wechsel des Stallsystems gingen auch Änderungen in der Versuchsplanung einher. Die Projektpartner konnten am 28.08.2018 erstmalig den leeren, ausgemisteten Stall begehen, um die Abmessungen für die geplante Stallbegrünung zu erheben. Bei einer voraussichtlichen Mastperiode von 21 Wochen war davon auszugehen, dass ein Einbau des Systems Anfang 2019 stattfinden wird. Eine zeitliche Verzögerung trat jedoch durch die Auswahl eines baugleichen Versuchsstalles für die Kontrollgruppe auf.

Die ursprünglich geplante Nutzung zweier gegenüberliegender und von der Geometrie identischer Ställe zur Erfassung der Schadgase wurde verworfen, da der technische Aufwand für das Verlegen einer Gasmessleitung in den Kontrollstall zu aufwändig war. Eine Gasmessung im gegenüberliegenden Stall hätte bedeutet, eine überirdische Trasse zu verlegen. Da die Messungen in den Wintermonaten erfolgten, hätte die Messleitung isoliert und möglicherweise beheizt werden müssen, um eine Kondensation in der Messleitung zu verhindern. Kondensiertes Wasser in der Leitung, das in das Messgerät gelangt, hätte zu Schäden oder zu einem Totalausfall führen können. Alternativ wurde der begrünte Stallteil im Putenstall mit einer Messstelle ausgestattet und der nicht begrünte Teil des gleichen Stalles diente als Kontrolle. Als plausibel erschien dieses Vorgehen aus dem Grunde, dass die Lüftung im Putenstall quer erfolgt und somit von keiner Vermischung der Luft im nicht begrünten und im begrünten Teil auszugehen war.

Mit dem Multigasmonitor wurden in zwei Mastdurchgängen vom 24.10.2019 bis 21.01.2020 sowie vom 13.03.2020 bis 12.06.2020 die Konzentrationen von den folgenden Gasen aufgezeichnet: Kohlendioxid, Ammoniak, Methan, Stickstoffdioxid. Zusätzlich wurden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit an zwei Ventilatoren mit Hilfe von Flügelradanemometern gemessen. Die Flügelradanemometer vor den Ventilatoren dienten dazu, den Abluftstrom zu erfassen und die Gaskonzentrationen an den beiden Messstellen miteinander zu vergleichen. Diese wurden anfangs regelmäßig gereinigt, da sie durch das wöchentlich erfolgende Einstreuen von frischem Stroh sehr stark verschmutzten (siehe Abbildung 5).

Die Aufzeichnungen wiesen immer wieder Lücken auf, da gelegentliche Stromausfälle an dem Standort auftraten, so dass die Messtechnik ausfiel. Mitarbeiter des ATB mussten mehrmals in den Putenstall fahren (ungefähr 10-12 Mal pro Durchgang), um die Messtechnik am Laufen zu halten. Zwischen Stromausfall und Neustart wurden keine Gaskonzentrationen gemessen.

Aufgrund der Gefahr durch die Geflügelpest war es ab Anfang 2020 nicht mehr möglich, den Stall zu betreten, so dass die Flügelradanemometer immer stärker durch Strohpartikel belastet wurden und davon auszugehen war, dass die Messergebnisse fehlerhaft sind. Anfang Juli 2020 wurde die Messtechnik abgebaut.

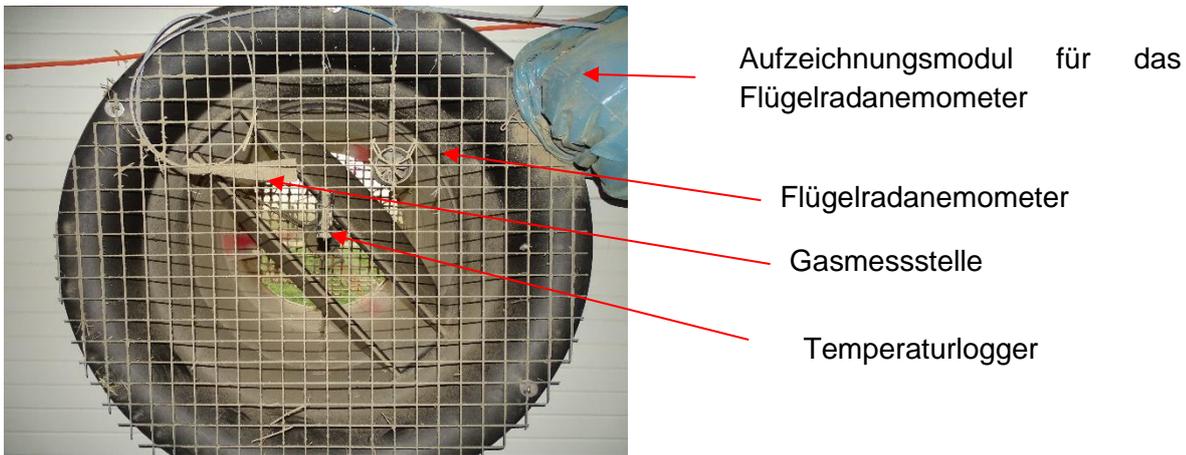


Abbildung 5: Aufbau der Messtechnik an einem Lüfter (Quelle: ATB)

Die Verteilung der Tiere im Stall hat einen wesentlichen Einfluss auf die gemessenen Gaskonzentrationen, denn mehr Tiere verursachen höhere Konzentrationen. Daher wurden an beiden Messstellen Wildkameras aufgehängt, die automatisch Fotos machten, um auf die Besatzdichte in den beiden Bereichen der Messtechnik zu schließen. Eine stichprobenartige Auswertung der Fotos zeigte, dass sich die Tiere in der Anfangsphase willkürlich verteilt im Stall aufhielten. Als die Tiere größer wurden, war davon auszugehen, dass die Verteilung aufgrund des geringen Platzangebotes gleichmäßiger ist.

Das ATB stellte für die Messungen im Putenstall acht Monate das FTIR-Gasmessgerät bereit. Daher konnten zeitgleich keine Gasmessungen im Schweinestall durchgeführt werden. Leider stellte sich nach den Versuchen heraus, dass das Gasmessgerät defekt und irreparabel beschädigt war.

Aufgrund der hohen Tieranzahl in den zur Verfügung gestellten Tierställen konnte seitens der FFG keine Erfassung von Einzeltiergewichten durchgeführt werden. Der Zugang zu den Versuchsställen war restriktiv und über weite Perioden der Versuchsdurchführung in Folge der Geflügelgrippe komplett untersagt. Eine regelmäßige Erfassung von Tierwohlparametern war daher unmöglich. Für die Auswertung von Gewichts- und Gesundheitsdaten stehen lediglich die Erhebungen des Schlachthofs zur Verfügung. Da während der Ausstellung aufgrund eng getakteter Betriebsabläufe eine Vermischung von Versuchstieren und Tieren aus benachbarten Ställen nicht ausgeschlossen werden konnte, besitzen diese Daten nur eine geringe Aussagekraft und werden in der Berichtslegung nicht berücksichtigt.

Bei der Entwicklung des Begrünungssystems haben sich die Partner für modular erweiterbare Begrünungselemente entschieden, die von der Decke abgehängt wurden. Diese bestehen aus Gewächshaustischen, die vor dem Aufbau der Versuchseinrichtung von KFL konstruiert und im Putenstall zusammengesetzt wurden. Dabei durfte eine kombinierte Last von 100 kg pro Quadratmeter nicht überschritten werden. Das Abhängen der Begrünungselemente wurde nötig, da seitens des landwirtschaftlichen Partners die Vorgabe gemacht wurde, dass keine Stallfläche für die Puten verloren gehen dürfte. Abgesehen von den bereits genannten Restriktionen hinsichtlich des Betretens des Versuchsstalls, konnten somit die Begrünungselemente während der Versuche nicht gewartet und der Zustand der Pflanzen nicht kontrolliert werden. Die Bewässerung erfolgte mittels Anstaubewässerung, anhand einer Zeitsteuerung, die gleichfalls die Substratfeuchte berücksichtigen sollte. Das Bewässerungssystem wurde von Böhmer GALABAU in Rücksprache mit den anderen Partnern konstruiert.

Die ausgewählten Pflanzen wurden im Großhandel bestellt und für ihren späteren Einsatz im Putenstall in den Gewächshäusern der HUB vorbereitet. Entsprechend des Versuchsplans wurden die Pflanzen sortiert, etikettiert, bonitiert und zur späteren Referenzierung fotografiert. Der Transport der Pflanzen konnte durch ein beauftragtes Unternehmen realisiert werden, das über einen LKW mit beheizter Ladefläche verfügte. Dies wurde erforderlich, um Pflanzenschäden durch kühle Temperaturen bzw. Frost zu vermeiden. Im Putenstall wurden die Pflanzen mit Hilfe einer Hebebühne in die hängenden Kulturtische eingestellt (Abb.10+11, S.13). An einer Pflanze wurde ein Feuchtesensor angebracht, der als Teil der Bewässerungssteuerung diente. Es folgte die Einstellung der Puten und die Pflanzen verblieben für rund 21 Wochen im Putenstall. Nach dem Ausstallen der Tiere und dem Abräumen der Mistplatte konnten die Pflanzen entnommen und die

Bonitürpflanzen zurück in die Forschungsgewächshäuser der HUB transportiert werden. Dort erfolgte die Nachbereitung der Versuche. Die Pflanzen wurden bonitiert, fotografiert und z.T. zur Analyse von Inhaltsstoffen durch die GLU vorbereitet. Teilweise wurde auch der sich zeigende Neuaustrieb der Stallpflanzen bewertet, nachdem diese einige Zeit im Gewächshaus gehältert wurden. Diese Pflanzen könnten eventuell ein weiteres Mal im Stall genutzt werden. Während der Versuche wurden zeitgleich Kontrollpflanzen in den Gewächshäusern der HUB kultiviert.

5. Projektergebnisse und Diskussion

5.1. Begrünungssysteme

5.1.1. Begrünungssystem im Schweinestall

Im Projekt wurde ein Hydrokultursystem aus zwei übereinanderliegenden Rohren mit eckigen Aussparungen für die einzustellenden Töpfe (Abbildung 6) konzeptioniert, entwickelt und installiert. Diese Kulturgefäße wurden an der gesamten Längsseite des Stallabteils (21 m) verbaut und darüber mit Leuchtstoffröhren versehen. Das Bewässerungssystem basierte auf dem Prinzip der Anstaubewässerung. Mehrmals täglich wurde Nährlösung aus einem Depot in die Wandrohre gepumpt und dort angestaut. Nach einem festgelegten Zeitintervall wurden die Ventile des Systems angesteuert und sorgten in der Folge für einen Rückfluss der Nährlösung in den Vorratstank. Diese Ventile erwiesen sich in der Projektlaufzeit als potentielle Fehlerquelle, da insbesondere einzelne Fraktionen des Kultursubstrats zu Fehlfunktionen führten. Diesem Umstand wurde mit der Überarbeitung der Technik und der Installation von zusätzlichen Sieben begegnet, welche die Ventile vor dem Eintrag von groben Partikeln schützen sollten.



Abbildung 6: Schweinestall: zu erkennen ist das Wandrohrsystem (mittig hinten) und Abhängungen aus Edelstahl für Balkonkästen links und rechts



Abbildung 7: Übersicht technische Anlagen zur Begrünung mit Wandrohrsystem und Abhängungen für Balkonkästen

Zwischen den einzelnen Buchten des Stallabteils wurden ab 2019 (5. Versuch) zusätzlich Abhängungen von der Decke des Schweinestalls montiert (Abbildung 7). In diese wurden Balkonkästen mit Pflanzen in Hydrosustrat eingesetzt (Abbildungen 8 und 9), um die Pflanzenanzahl im Stall und die verfügbare Blattoberfläche zu erhöhen. Das Balkonkastensystem verfügte über einen Wasserspeicher mit Füllstandsanzeige und musste manuell mit Wasser befüllt werden. Die Balkonkästen stellten eine kostengünstige Begrünungsalternative zu dem im Projekt erprobten Wandrohrsystem dar. Da die Lichtausbeute für die Pflanzen in den Balkonkästen nicht ausreichte, wurden im weiteren Projektverlauf zusätzliche Leuchtstoffröhren über den Balkonkästen installiert.



Abbildung 8: Balkonkasten (60 cm) Draufsicht, vor
Einstellung in den Schweinestall



Abbildung 9: Balkonkasten (60 cm) Seitensicht, vor
Einstellung in den Schweinestall

5.1.2. Begrünungssystem im Putenstall

Für den Putenstall wurde ein modulares Kultursystem aus von der Decke abgehängten Kulturtischen entwickelt und realisiert. Auf diesen Hängetischen wurden Haltegitter für ein sicheres Aufstellen der Pflanzen entsprechend des Versuchsplans der HUB installiert. Eine Zusatzbeleuchtung über den Pflanzen sorgte für das erforderliche Licht. Bei der Auswahl der Leuchtmittel wurden neben den Anforderungen der Pflanzen auch die Haltungserfordernisse der Puten berücksichtigt. Die Verwendung von LED-Technik sorgte dabei für eine ausreichend hohe Frequenz des Lichts und vermied damit das Auftreten von Lichtflackern in der Wahrnehmung der Puten. Hinsichtlich des Bewässerungssystems entschied man sich für eine zeit- und feuchtegesteuerte Anstaubewässerung. Ein IBC-Container diente dabei als Vorratsbehälter für die Nährlösung. Anders als im Schweinestall konnte ein reguläres torfbasiertes Kultursubstrat verwendet werden. Eine Umstellung der Pflanzen auf Hydrokultur war also nicht erforderlich. Zwischen dem zweiten und dritten Versuchsdurchgang wurde das Begrünungssystem in der Länge von 20 auf 40 Meter erweitert (Stalllänge 80m) und die Pflanzenmenge verdoppelt.

Bei der Konzeptionierung des Systems wurde schwerpunktmäßig die Wartungsarmut berücksichtigt. Nach Einstellung der Tiere war keine Inspektion der Pflanzen möglich und Arbeiten am System konnten schon aus Gründen der Arbeitssicherheit nicht erfolgen, da der Großteil des Systems unter der Stalldecke angebracht war und ein Befahren des Stalls mit einer Hebebühne nur nach erfolgter Ausmistung geschehen konnte. Trotz dieser Bemühungen kam es zu Ausfällen in Teilen des Begrünungssystems. Die regelmäßige Einstreu mit Stroh sorgte in den Begrünungselementen für erhebliche Ablagerungen von Staub, als auch von größeren Teilen der Einstreu und führte teilweise zu Verstopfungen des Systems. Die Ausstattung nur einer Pflanze mit einem Feuchtesensor erwies sich als unzureichend. Vielmehr müssten Feuchtesensoren in jedem Modul installiert werden und diese hinsichtlich der Bewässerung jeweils separat angesteuert werden. Während des dritten Versuchs kam es vermutlich im Rahmen der regulären Stallarbeiten zu einer unbemerkten Beschädigung einer Wasserleitung und in Folge zu einem Trockenstehen des Systems. Leider konnte dieser Ausfall erst nach Beendigung des Versuchs festgestellt werden. Restriktive Vorgaben hinsichtlich der Betretung der Stallanlage (auch in Folge von Vogelgrippeereignissen) und die Vorgabe einer platzsparenden Konstruktion an der Decke des Stalls machten eine regelmäßige Systemprüfung während eines Mastdurchgangs unmöglich.



Abbildung 10: Einstellung der Versuchspflanzen in die Haltegitter im Putenstall mit Hilfe einer Hebebühne



Abbildung 11: Abhängung mit Haltegittern und eingestellten Pflanzen

5.2. Pflanzenauswahl

5.2.1. Pflanzenauswahl Schweinestall

In Tabelle 4 werden die ausgewählten Pflanzenarten für das Tierhaltungssystem Schwein aufgelistet. Dabei werden die wesentlichen Ansprüche an die Hauptwachstumsfaktoren benannt. Grundsätzliche Vorgaben zu den klimatischen Gegebenheiten im Stall waren dabei, dass die Temperaturen zwischen 20 und 30 °C betragen und nur ein Minimum an Licht (min. 500 lx) vorhanden sein würde. Die gewählten Pflanzenarten sollten zudem anspruchslos sein und ein Pflanzenwachstum sollte erzielt werden, um die Blattfläche im zeitlichen Verlauf zu steigern.

Tabelle 4: Pflanzenauswahl Schweinestall mit Ansprüchen an die Wachstumsfaktoren

gewählte Pflanzenarten	Licht	Temperatur	Wasser	Luftfeuchtigkeit (%)	Hydro möglich	Heimat	Verwendung
<i>Aglaonema commutatum</i>	L1	T2	W2	min 45	ja	Philippinen, Sulawesi	Grünpflanze
<i>Callisia fragrans</i>	L1	T2	W2	45-60	ja	Süd Mexiko	Grünpflanze
<i>Chlorophytum comosum</i>	L2	T1-T2	W2-W3	min 45	ja	Süd Afrika, Natal	Grünpflanze
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	L2	T1	W2	min 45	ja	Madagaskar	Grünpflanze
<i>Dieffenbachia seguine</i>	L1	T1-T2	W2	45-60	ja	West Indien	Grünpflanze
<i>Epipremnum aureum</i>	L1	T1-T2	W3	45-60	ja	Salomon. Inseln	Grünpflanze
<i>Muehlenbeckia complexa</i>	L2	T2-T4	W1-W2	min 35	ja	Neuseeland	Grünpflanze u. Beet- und Balkonpflanze
<i>Peperomia spec.</i>	L1	T1-T2	W2	min 45	ja	trop. Südamerika	Grünpflanze
<i>Sansevieria trifasciata</i>	L1	T1-T2	W3-W4	30-45	ja	West Afrika	Grünpflanze
<i>Spathiphyllum floribundum</i>	L1	T1-T2	W1-W2	min 45	ja	Kolumbien	Grünpflanze
<i>Syngonium podophyllum</i>	L1	T1-T2	W2-W3	min 45	ja	Mex. Guat. El Salv	Grünpflanze
<i>Tradescantia</i>	L2	T2	W2-W3	min 45-60	ja	M. u. S.Amerika	Grünpflanze
Temperaturbedarf							
T1 = tropisch	20 bis 25°C keine ausgeprägten Jahreszeiten/Ruhezeiten						
T2 = subtropisch	min. 10°C, vertragen auch höhere Temp., vertr. Tag-Nachtunterschiede und jahreszeitl. Unterschiede						
T3 = mediterran	min.immer >0° (5°C), vertr. hohe Tag und nieder. Nachttemp., Tages- und Jahreszeitl. Unterschiede positiv						
T4 = gemäßigt	vertragen hohe Tagestemp., vertr. Werte auch unter 0°C, Jahreszeitklima unbed. erforderlich						
Mindestlichtbedarf							
Wasserbedarf							
L1= gering 500 bis 1000 lux	W1 = hoch						
L2= mittel > 1000 bis 2700 lux	W2 = mittel						
L3= hoch > 2700 bis 4300 lux	W3 = gering						
L4= sehr hoch > 4300 lux	W4 = Austrocknung möglich						

(Quelle: FLL-Innenraumbegrünung 2008 und 2011, verändert)

5.2.2. Pflanzenauswahl Putenstall

In Tabelle 5 werden die verwendeten Pflanzenarten für das Tierhaltungssystem Pute mit den Ansprüchen an die Hauptwachstumsfaktoren aufgelistet. Wesentliche Vorgaben zu den klimatischen Gegebenheiten im Putenstall waren dabei, dass die Temperaturen zwischen 10 und 20 °C betragen und ein Minimum an Licht (500 lx) vorhanden sein würde. Die gewählten Pflanzenarten sollten

zudem relativ anspruchslos sein und ein Pflanzenwachstum erzielt werden, um die Blattfläche weiter zu erhöhen.

Es musste festgestellt werden, dass die Angaben des Agrarbetriebes zu den anzustrebenden Klimafaktoren Licht und Temperatur nicht immer den tatsächlich gemessenen Angaben entsprachen. So waren die Temperaturen zu Versuchsbeginn (vor Einstellung der Puten) um bis zu 10 K deutlich niedriger als erwartet, was einen zusätzlichen Stress für die Pflanzen bedeutete.

Tabelle 5: Pflanzenauswahl Putenstall mit Ansprüchen an die Wachstumsfaktoren

gewählte Pflanzenarten	Licht	Temperatur	Wasser	Luftfeuchtigkeit (%)	Heimat	Verwendung
<i>Aglaomorpha coronans</i>	L1-L2	T2	W2	45-60	Südhimalaja, Indochina	Grünpflanze
<i>Aspidistra elatior</i>	L1	T2	W2-W3	min 35	China, Japan	Grünpflanze
<i>Chlorophytum compacta variegata</i>	L2	T1-T2	W2-W3	min 45	Süd Afrika, Natal	Grünpflanze
<i>Fatsia japonica</i>	L1	T2-T4	W2	45-60	Japan, S-Korea	Grünpflanze
<i>Hedera helix</i>	L1	T2-T4	W1-W3	45-60	Europa	Grünpflanze
<i>Monstera deliciosa</i>	L2	T1-T2	W2	min 35	Mexiko	Grünpflanze
<i>Muehlenbeckia complexa</i>	L2	T2-T4	W1-W2	min 35	Neuseeland	Grünpflanze, Beet- und Balkonpflanze
<i>Philodendron xanadu</i>	L1-L2	T1-T2	W2-W3	45	Brasilien	Grünpflanze
<i>Plectranthus</i>	L3	T2-T3	W2	min 45	Südafrika	Grünpflanze
<i>Schefflera arboricola</i>	L1	T1-T2	W2-W3	min 45	Taiwan	Grünpflanze
<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	L1	T1	W 3	min 45-60	Ost- Afrika	Grünpflanze
Temperaturbedarf						
T1 = tropisch	20 bis 25°C keine ausgeprägten Jahreszeiten/Ruhezeiten					
T2 = subtropisch	min. 10°C, vertragen auch höhere Temp., vertr. Tag-Nachtunterschiede und jahreszeitl. Unterschiede					
T3 = mediterran	min.immer >0° (5°C), vertr. hohe Tag und nieder. Nachttemp., Tages- und Jahreszeitl. Unterschiede positiv					
T4 = gemäßigt	vertragen hohe Tagestemp., vertr. Werte auch unter 0°C, Jahreszeitklima unbed. erforderlich					
Mindestlichtbedarf						
L1= gering 500 bis 1000 lux	Wasserbedarf					
L2= mittel > 1000 bis 2700 lux	W1 = hoch					
L3= hoch > 2700 bis 4300 lux	W2 = mittel					
L4= sehr hoch > 4300 lux	W3 = gering					
	W4 = Austrocknung möglich					

(Quelle: FLL-Innenraumbegrünung 2008 und 2011, verändert)

5.3. Vorversuche im Forschungsgewächshaus

5.3.1. Testung von verschiedenem Blähton

Eine Voraussetzung für die Einstellung der Pflanzen in den Schweinestall war die Tatsache, dass keine oder nur eine geringe Anzahl von schädlichen Keimen in den Stall eingetragen werden dürfen (Vorgabe Praxisbetrieb Agrargenossenschaft Ranzig e.G.). Der Eintrag von Keimen durch eine Begrünung geht offenbar nicht nur von den eingestellten Pflanzen, sondern ebenso vom verwendeten Substrat aus. Somit wurden Erdssubstrate ausgeschlossen und es fiel die Wahl auf Hydrosubstrate. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die untersuchten Materialien. Dabei wurden u.a. die Kapillarität und die Wuchsergebnisse von ausgewählten Pflanzenarten untersucht.

Tabelle 6: Testung verschiedener Hydrosubstrate

Substrat	Korngröße
CN Hydro	4 - 8 mm
	8 - 16 mm
CN Green Line	4 - 8 mm
	8 - 16 mm
Blähton	2 - 4 mm
Lamstedt Lecaton	4 - 8 mm
Protect Plus	10 - 20 mm

Ein wichtiger Versuch beschäftigte sich mit der Untersuchung zur Wassersteighöhe von verschiedenem Blähton (mit unterschiedlichen Größen sowie gebrochen und ungebrochener Ton,

Abbildungen 12 und 13). Während der ersten Pflanzentests stellte sich heraus, dass sich gebrochenes Blähtongranulat für die Anzucht von Hydrokulturen nur bedingt eignet. Aufgrund der großen Oberfläche dieses Blähtongranulates steigt nach Wasserzugabe die Feuchtigkeit zu stark an und ist daher ungeeignet. Es kommt leicht zu Versalzungen der Oberflächen.



Abbildung 12: Gewählte Hydrosubstrate nach 6 h der Wassergabe

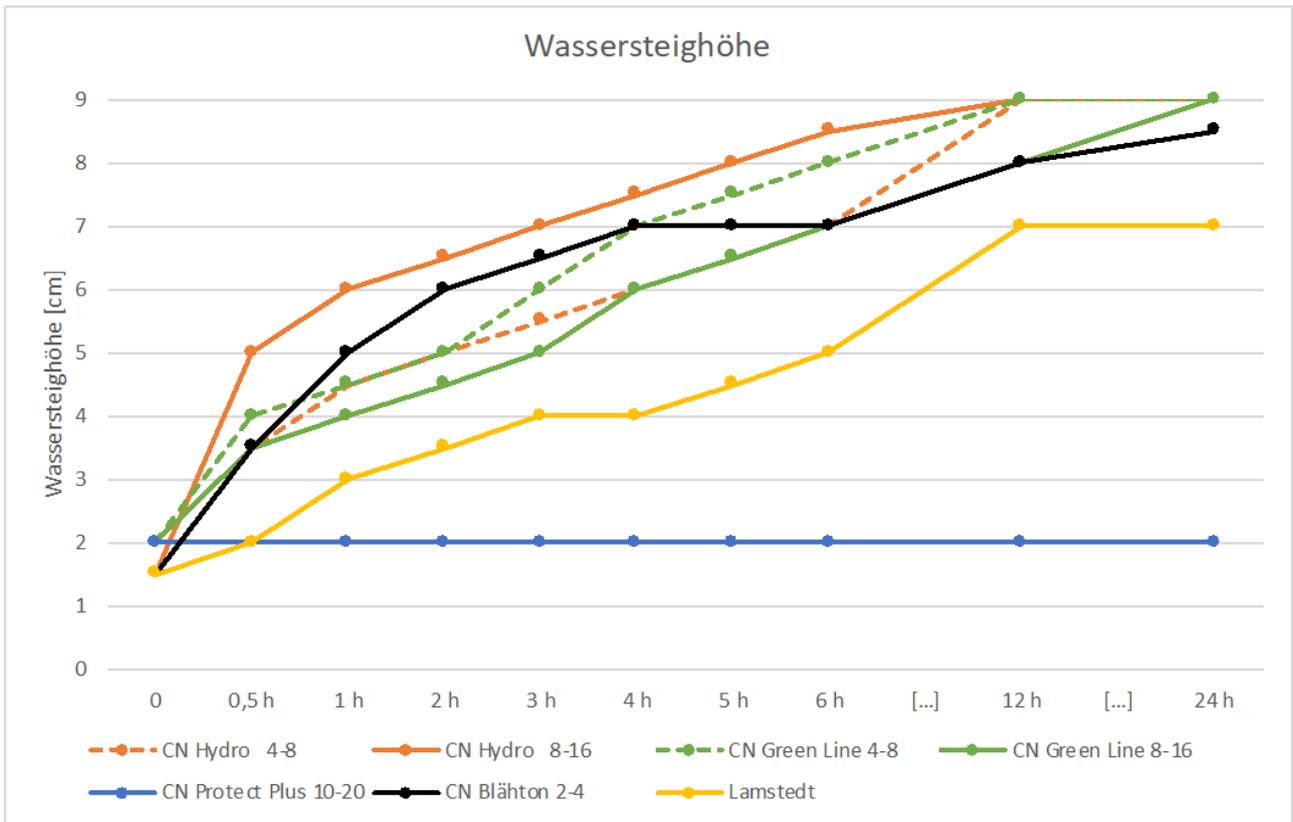


Abbildung 13: Wassersteighöhen der gewählten Hydrosubstrate im zeitlichen Verlauf (bis 24 h nach Wassergabe)

CN Protect Plus 10-20 ist ungeeignet, da dieses Substrat überhaupt kein Wasser aufnimmt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass zur Stallbegrüung u.a. CN Hydro (4-8 mm und 8-16 mm) und CN Green Line (4-8 mm und 8-16 mm) für eine Anstaumethode am besten geeignet sind. Zusätzlich waren die Verarbeitbarkeit, Standfestigkeit der Pflanzen sowie der Halt des Blähtons in den Töpfen (Verstopfungsgefahr der Ventile) weitere Kriterien, die zur Auswahl des genutzten Blähtons geführt haben.

5.3.2. Desinfektionsversuche

Um die Vorgaben der AG Ranzig zur Keimfreiheit bzw. Reduktion der Keimbelastung auf ein Minimum zu erreichen, wurden Testungen verschiedener Desinfektionen durchgeführt. Die Möglichkeiten einer Desinfektion sind hierbei vielfältig, u.a. eine Strahlungs-, Heißwasser- oder eine chemische Behandlung mit verschiedenen Desinfektionsmitteln. Beispielsweise wurden in ersten Versuchen die Pflanzen in die vorhandene UV-Desinfektionsanlage in der AG Ranzig eingestellt, um eine Möglichkeit der Desinfektion von Pflanzen (dortige Vorgehensweise, um alle eingebrachten Dinge zu desinfizieren) zu prüfen. Diese Art der Desinfektion wurde nach Auswertung der Ergebnisse als nicht empfehlenswert (Pflanzen waren sehr stark verbrannt) und nicht praktikabel

(zu kleiner UV-Schrank und sehr hohe Pflanzenmenge die hier desinfiziert werden müsste) eingestuft.

Nach Rücksprache mit dem Pflanzenschutzamt Berlin wurden verschiedene chemische Desinfektionsmittel zur Abtötung der Keime auf den Pflanzen getestet. Hier stand nicht der Schutz der Pflanzen im Vordergrund (kein Pflanzenschutz), sondern der Schutz der Tiere vor Krankheiten (Tierschutz).

Getestete Mittel waren u.a. Zitronensäure, Kernseife, EnnoRapid, Sterillium, Blattganzspray, Ethanol 70 % und abgekochtes Leitungswasser. In den letzten Versuchen wurde Ethanol 70% ig auf die Pflanzen gesprüht, dies verursachte keine Schäden.

5.4. Begrünungsversuche in den Landwirtschaftsbetrieben

5.4.1. Pflanzen im Schweinestall

Es konnten im Projektverlauf zwölf verschiedene Pflanzenarten in Praxisversuchen zur Begrünung im Schweinestall eingesetzt und getestet werden. Zehn verschiedene Versuche mit insgesamt über 1.900 Pflanzen wurden realisiert, beginnend mit 168 Pflanzen und im weiteren Projektverlauf mit bis zu 266 Pflanzen pro Versuchsdurchgang im Stall.

Aufgrund der Fülle der Projektergebnisse wird der Versuch 6 (Abbildung 14) ausgewählt und beispielhaft näher erläutert. Dieser Versuch wurde vom August bis Oktober 2019 durchgeführt.

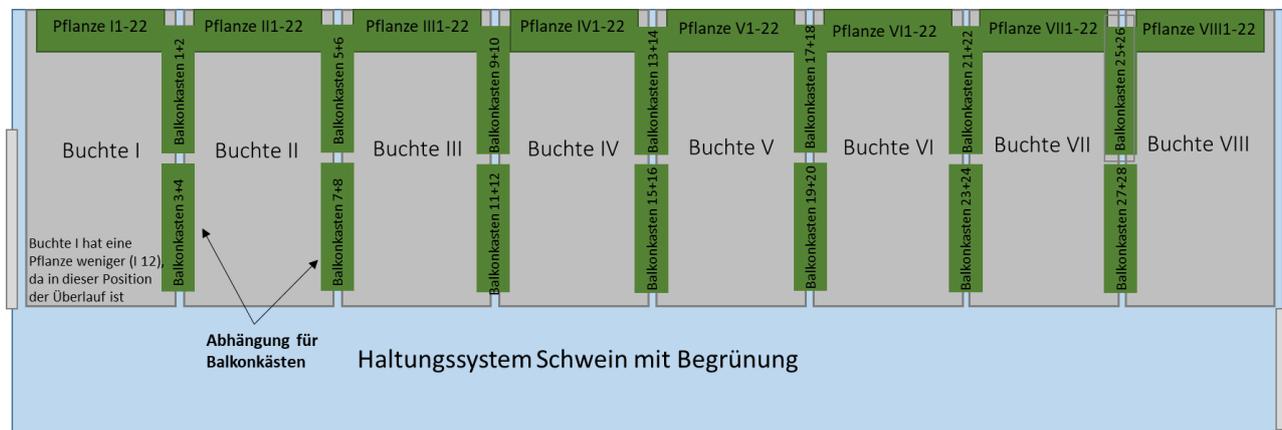


Abbildung 14: Versuchsaufbau mit Pflanzennummerierungen im Schweinestall der AG Ranzig (Aug-Okt 2019), waagrecht angeordnetes Wandrohrsystem in der Abbildung oben enthält die Pflanzennummern I bis VIII je 22 Pflanzen und die Abhängungen mit Hydro-Balkonkästen über den Buchtengittern: Balkonkastennummern 1 bis 28

Folgend wird ein Überblick über die verwendeten Pflanzenarten in einer Bucht im Wandrohr- (Abbildungen 15 und 16) und im Balkonkastensystem (Abbildung 17) gegeben.

oberes Rohr	<i>Sansevieria</i>	<i>Epipremnum</i>	<i>Sansevieria</i>								
Pflanzennr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
unteres Rohr	<i>Epipremnum</i>	<i>Aglaonema</i>	<i>Epipremnum</i>								
Pflanzennr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Abbildung 15: Standorte der einzelnen Versuchspflanzen im Hydro-Wandrohrsystem in einer Bucht im Schweinestall der AG Ranzig, Versuch 6: Aug bis Okt 2019



Abbildung 16: Versuchspflanzen nach Einstellung im Wandrohrsystem im Schweinestall der AG Ranzig (Buch VI), 14.08.2019



Abbildung 17: Versuchspflanzen im Balkonkastensystem im Schweinestall der AG Ranzig, 20.08.2019

Die Gesamtanzahl der Versuchspflanzen im Versuchszeitraum Aug – Okt 2019 wird in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Anzahl der Versuchspflanzen je Pflanzenart an den unterschiedlichen Standorten (in Stück)

	Einzelpflanzen im Wandrohr [St]	Einzelpflanzen im Gewächshaus Kontrolle [St]	Pflanzen in Balkonkästen im Schweinestall [St]	Pflanzen in Balkonkästen im Gewächshaus Kontrolle [St]	Anzahl Versuchspflanzen Stall [St]	Anzahl Versuchspflanzen gesamt [St]
<i>Epipremnum aureum</i>	87	10	56	14	143	167
<i>Sansevieria trifasciata</i>	48	10	28	7	76	93
<i>Aglaonema commutatum</i>	40	10			40	50

Tabelle 8 zeigt die gemessenen Blattflächen der untersuchten Pflanzenarten für einen ausgewählten Versuch.

Tabelle 8: ermittelte Blattflächen der eingestellten Pflanzen im Schweinestall (Versuch 10 in 2020)

Versuch 10 (ab Okt 2020)	<i>Sansevieria trifasciata</i>			<i>Epipremnum aureum</i>			<i>Aglaonema commutatum</i>		
	Pflanzenanzahl [Stück]	Blattfläche je Pflanze [m ²]	gesamte Blattfläche [m ²]	Pflanzenanzahl [Stück]	Blattfläche je Pflanze [m ²]	gesamte Blattfläche [m ²]	Pflanzenanzahl [Stück]	Blattfläche je Pflanze [m ²]	gesamte Blattfläche [m ²]
Pflanzenanzahl Wandrohrsystem	45	0,2034	9,15	86	0,459	39,47	37	0,1934	7,16
Pflanzenanzahl Balkonkästen (28 Stück)	28	0,2034	5,70	56	0,459	25,70			
gesamt	73		14,85	142		65,18	37		7,16
gesamte Blattfläche im Stall [m ²]			87,18						
Stallgröße [m ²]			71,4						
Blattfläche pro m ² Stall [m ²]			1,22						

Somit waren im Versuchszeitraum ab Oktober 2020 über 80 m² Blattfläche im Schweinestall vorhanden.

5.4.1.1. *Aglaonema commutatum*

Die Pflanzenbilder der Abbildung 18 zeigen, dass nach dem 9-wöchigen Aufenthalt im Schweinestall die Pflanzen noch sehr vital waren.



Abbildung 18: *Aglaonema commutatum* vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 24.10.2019) nach 9-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall

Die Pflanzen konnten unter den Versuchsbedingungen im Schweinestall sowie im Gewächshaus gut weiterwachsen. Im Stall nahm die durchschnittliche Pflanzenhöhe um 7 cm und im Gewächshaus um ca. 2 cm zu. Es fand ein signifikant stärkeres Höhenwachstum im Stall im Vergleich zur Kontrolle im Gewächshaus statt (Abbildung 19). Die Pflanzen standen im unteren Wandrohr und mussten mit recht wenig Licht auskommen. *Aglaonema* sind jedoch sehr anpassungsfähig bezüglich wenig Licht. Dagegen standen die Kontrollpflanzen im Gewächshaus unter einem Schattiergewebe (45 %). Somit ergab sich eine durchschnittliche Minderung der Licht-Transmissionswerte von ca. 75 %.

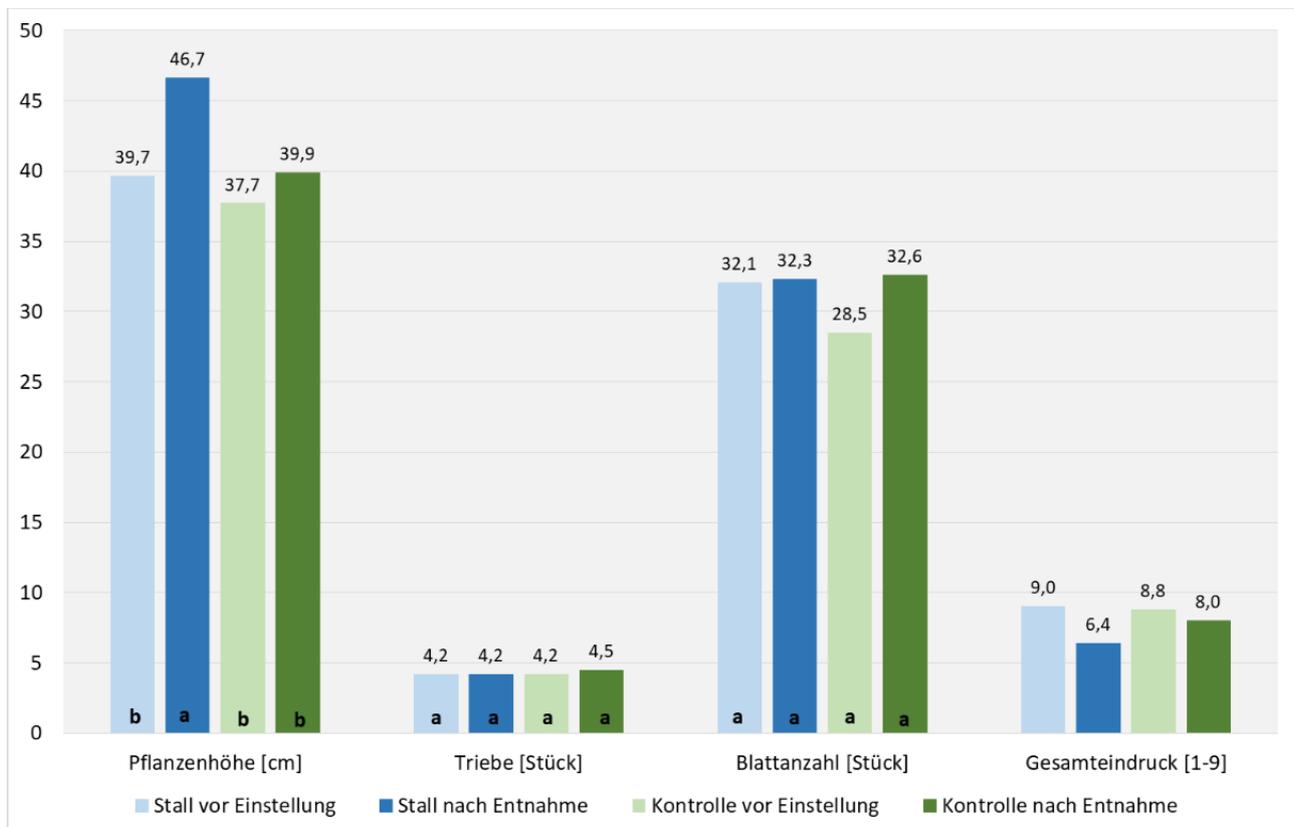


Abbildung 19: Pflanzenhöhe, Anzahl der Triebe und Blätter sowie der Gesamteindruck von *Aglaonema* vor Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zu den unter Gewächshausbedingungen kultivierten Pflanzen (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Prüffaktoren ($\alpha < 0,05$, Tukey-Test))

Die durchschnittliche Anzahl der Triebe von *Aglaonema* zeigt im Vergleich der Varianten keine

signifikanten Unterschiede.

Die durchschnittliche Blattanzahl der Stallvariante ist nicht angestiegen bzw. die Anzahl abgestorbener Blätter im Vergleich zu neu gebildeten halten sich im Gleichgewicht. Die durchschnittliche Blattanzahl der Kontrollpflanzen (Gewächshausvariante) stieg im gleichen Zeitraum an, jedoch nicht signifikant.

Zum Versuchsende wurden die Pflanzen der Stallvariante im Boniturkriterium Gesamteindruck als durchschnittlich gut bis befriedigend eingestuft. Die Pflanzen der Kontrollvariante aus dem Gewächshaus hingegen konnten zum Versuchsende durchschnittlich einen sehr guten bis guten Gesamteindruck erzielen.

Die Pflanzen der Stallvariante wurden im unteren Rohr des Wandsystems integriert. Hier stand den *Aglaonema* jedoch systembedingt weniger Licht (zwischen 230 - 730 lx) als im oberen Rohr zur Verfügung. Weiterhin gab es im unteren Rohr Anzeichen einer ungenügenden Bewässerung (systembedingter Fehler, Wassermangel). Trotz dieser Gegebenheiten wurde sogar ein positives Wachstum während des Aufenthaltes im Stall bonitiert. Somit konnten sich die Pflanzen nach der schwierigen Phase der Desinfektion (Keimreduktion) sowie nach dem Einstellen der Pflanzen in den Stall (Akklimation) gut anpassen. *Aglaonema* der Kontrollvariante wurden nicht desinfiziert und mussten sich nicht erst an die Bedingungen der Umgebung akklimatisieren (Staub- und Schadgase). Somit kann geschlussfolgert werden, dass diese Pflanzenart sich für eine Begrünung des Schweinestalls unter den Projektbedingungen gut eignet und daher empfohlen werden kann. Es sollte auf ausreichende und gleichmäßige Belichtung geachtet werden. Die Pflanzen benötigen eine regelmäßige Bewässerung und Düngung, das Substrat sollte nicht austrocknen.

5.4.1.2. *Sansevieria trifasciata*

Die Pflanzenbilder der Abbildung 20 zeigen, dass nach dem 9-wöchigen Aufenthalt im Schweinestall die Pflanzen noch sehr vital waren.



Abbildung 20: *Sansevieria trifasciata* vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 24.10.2019) nach 9-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall

Sansevieria konnte in beiden Varianten ein Pflanzenhöhenzuwachs zeigen (Abbildung 21). Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (Stall und Kontrolle) vor der Einstellung und nach Entnahme der Pflanzen. In der Stallvariante gewannen die Pflanzen durchschnittlich um fast 4 cm an Höhe und in der Kontrollvarianten um durchschnittlich mehr als 10 cm. Ein signifikantes Höhenwachstum kann nur in der Kontrolle (vor Einstellung und nach Entnahme) dokumentiert werden.

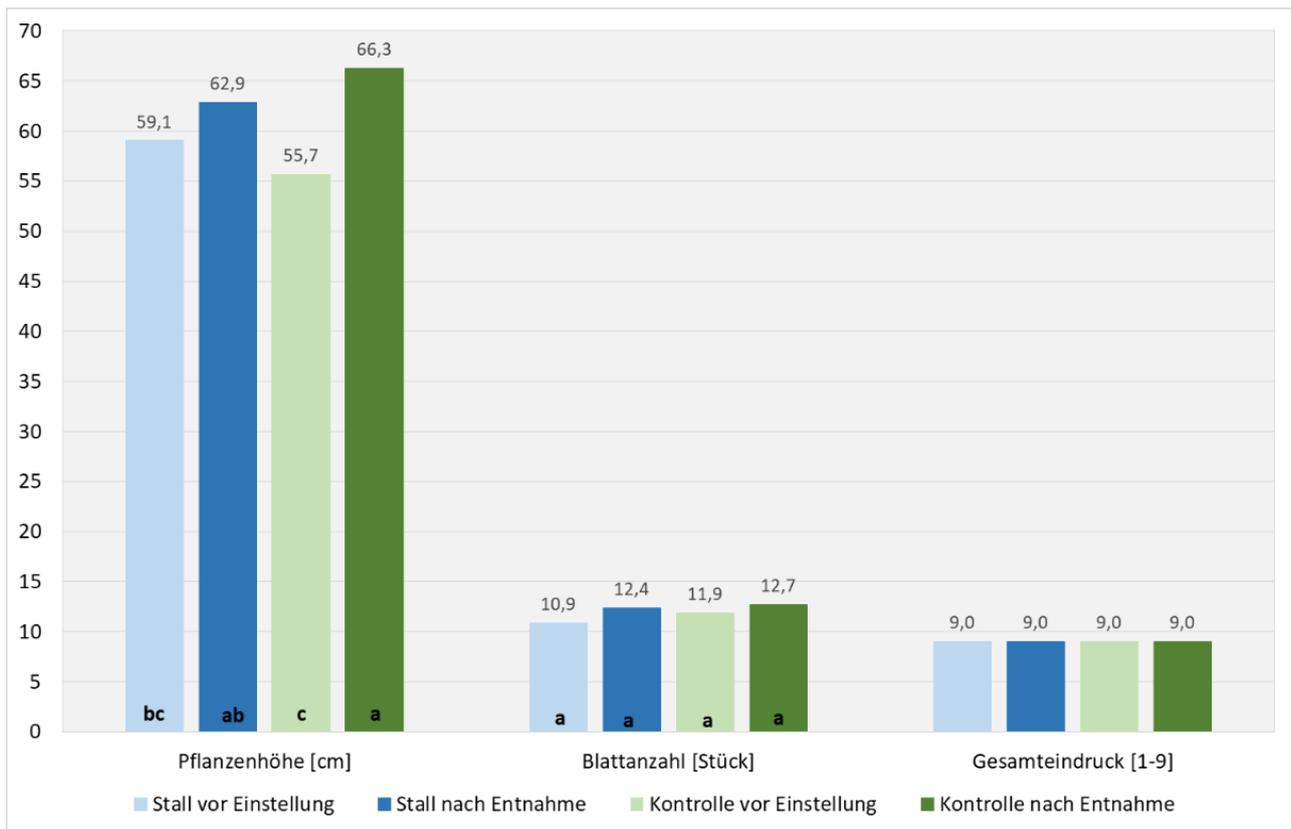


Abbildung 21: Pflanzenhöhe, Anzahl der Blätter sowie der Gesamteindruck von *Sansevieria* vor Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zu den unter Gewächshausbedingungen kultivierten Pflanzen (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Prüffaktoren ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-Test))

Die Pflanzen konnten in der Stall- und ebenso in der Kontrollvariante neue Blätter bilden. Anhand der Daten waren diese Unterschiede jedoch nicht signifikant.

Im Boniturkriterium Gesamteindruck zeigten alle Pflanzen zu jeder Bonitur einen durchschnittlich sehr guten Gesamteindruck.

Sansevieria wurde im oberen Rohr abwechselnd mit *Epipremnum* platziert. Im oberen Rohr konnten Lichteinstrahlungen etwa zwischen 500 und 1.500 Lux gemessen werden. Somit konnte den Pflanzen die vorgegebenen Mindest-Lichtmengen (500 lx) angeboten werden. Die Bewässerung mit Nährlösung war im oberen Rohr ausreichend vorhanden. *Sansevieria* zeigte keine Schäden und keine Beeinträchtigungen (Kriterium Gesamteindruck) durch die Desinfektion, die Einstellung und den Aufenthalt im Stall. *Sansevierien* sind sehr robust und können mit wenig Licht auskommen und tolerieren auch einen zeitweisen Wassermangel sehr gut. Sie kommen im tropischen Afrika vor, wo sie auch an schattigen Stellen gut gedeihen. Die Wurzelbildung sowie die Neutriebbildung ist sehr kräftig, was die Entnahme der Pflanzen aus dem Wandrohrsystem erschwerte. Hier haben sich die eckigen Töpfe als ungeeignet erwiesen.

Folglich kann festgestellt werden, dass diese Pflanzenart als sehr gut geeignet für einen Stallaufenthalt einzustufen und daher besonders empfehlenswert ist. Aufgrund des starken Wurzel- und Triebwachstums sollten bei Neuinstallationen unbedingt runde Töpfe mit runden Löchern im Rohrsystem verwendet werden.

5.4.1.3. *Epipremnum aureum*

Die Pflanzenbilder der Abbildung 22 zeigen, dass nach dem 9-wöchigen Aufenthalt im Schweinestall die Pflanzen noch gut vital waren. Vergleichende Pflanzen im Gewächshaus (Kontrolle) konnten sich auch gut entwickeln Abbildung 23.



Abbildung 22: *Epipremnum aureum* vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 24.10.2019) nach 9-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall



Abbildung 23: *Epipremnum aureum* - Kontrollpflanzen aus dem Gewächshaus der HU Berlin – links vom 13.08.2019 und rechts - 24.10.2019

Epipremnum wies einen Zuwachs der Pflanzenlänge in beiden Varianten auf. Hierbei wuchsen die Pflanzen während des Stallaufenthaltes um durchschnittlich 37 cm. Dieser Zuwachs konnte jedoch nicht signifikant gesichert werden, da die Streuung sehr stark war, begründet durch die Unterschiede oberes und unteres Rohr (Abbildungen 24 und 25). Die Pflanzen im Gewächshaus (Kontrolle) wuchsen um durchschnittlich 51 cm (Abbildung 24) in die Länge.

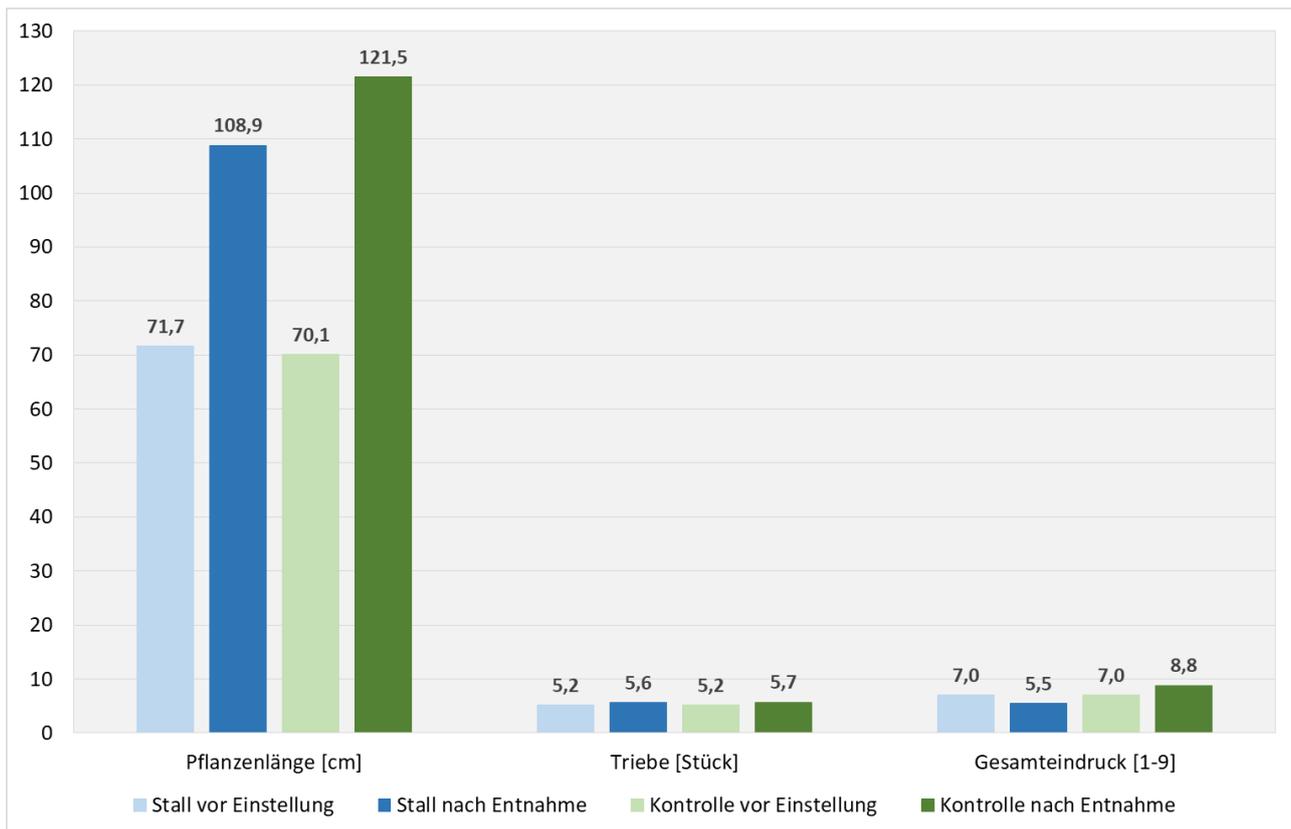


Abbildung 24: Pflanzenlänge, Anzahl der Triebe und Gesamteindruck von *Epipremnum* vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zur Kultivierung unter Gewächshausbedingungen (Kontrolle)

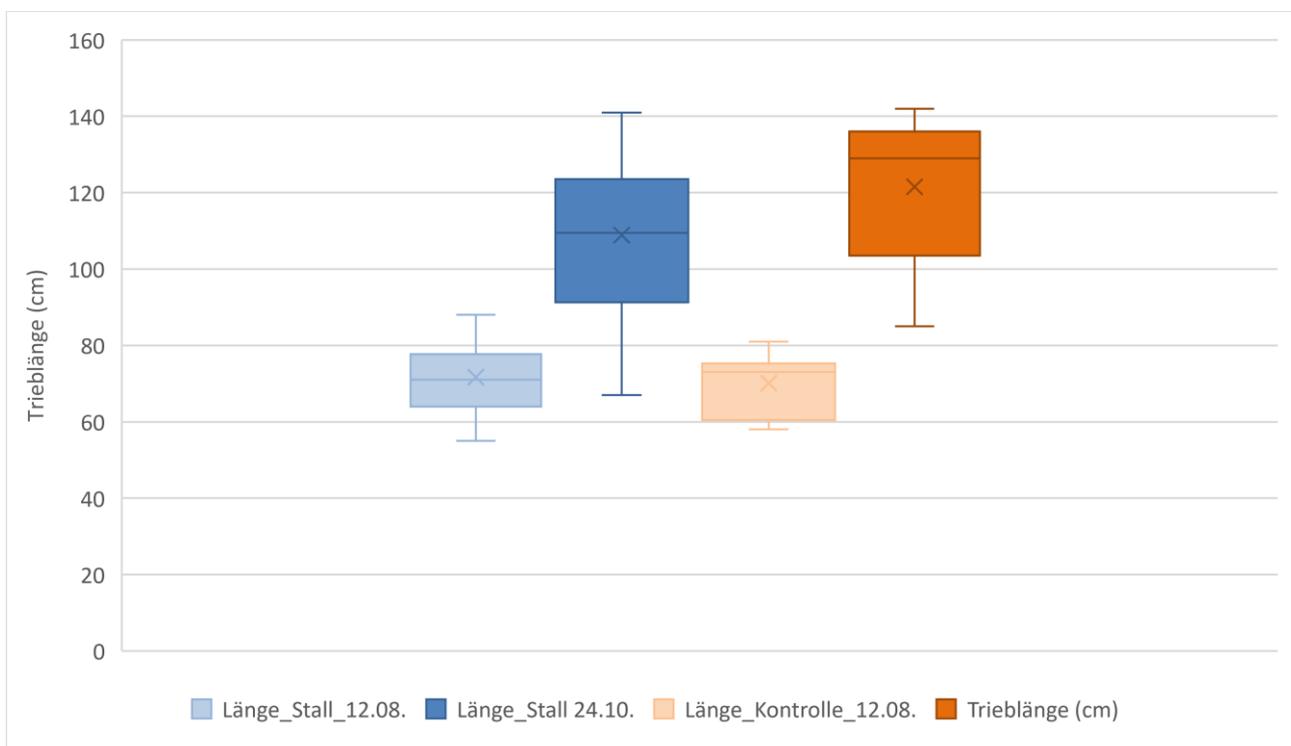


Abbildung 25: Pflanzenlänge mit Streuung von *Epipremnum* vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zur Kultivierung unter Gewächshausbedingungen (Kontrolle)

Im Boniturkriterium Gesamteindruck zeigte *Epipremnum* eine Verschlechterung (Abbildung 24). Die Pflanzen wiesen nach dem Aufenthalt im Schweinestall nur noch einen durchschnittlich befriedigenden Gesamteindruck auf. Hingegen konnte im Gewächshaus (Kontrolle) ein durchschnittlich sehr guter Gesamteindruck bonitiert werden. Aufgrund der unzureichenden Bewässerung im unteren Wandrohr (systembedingter Fehler, häufiges Austrocknen) wurde nachfolgend nach oberem und unterem Wandrohr unterschieden und ausgewertet. Dies wird in den nachstehenden Abbildungen 26 und 27 veranschaulicht. Zusätzlich war die Lichtausbeute im unteren Rohr schwächer.

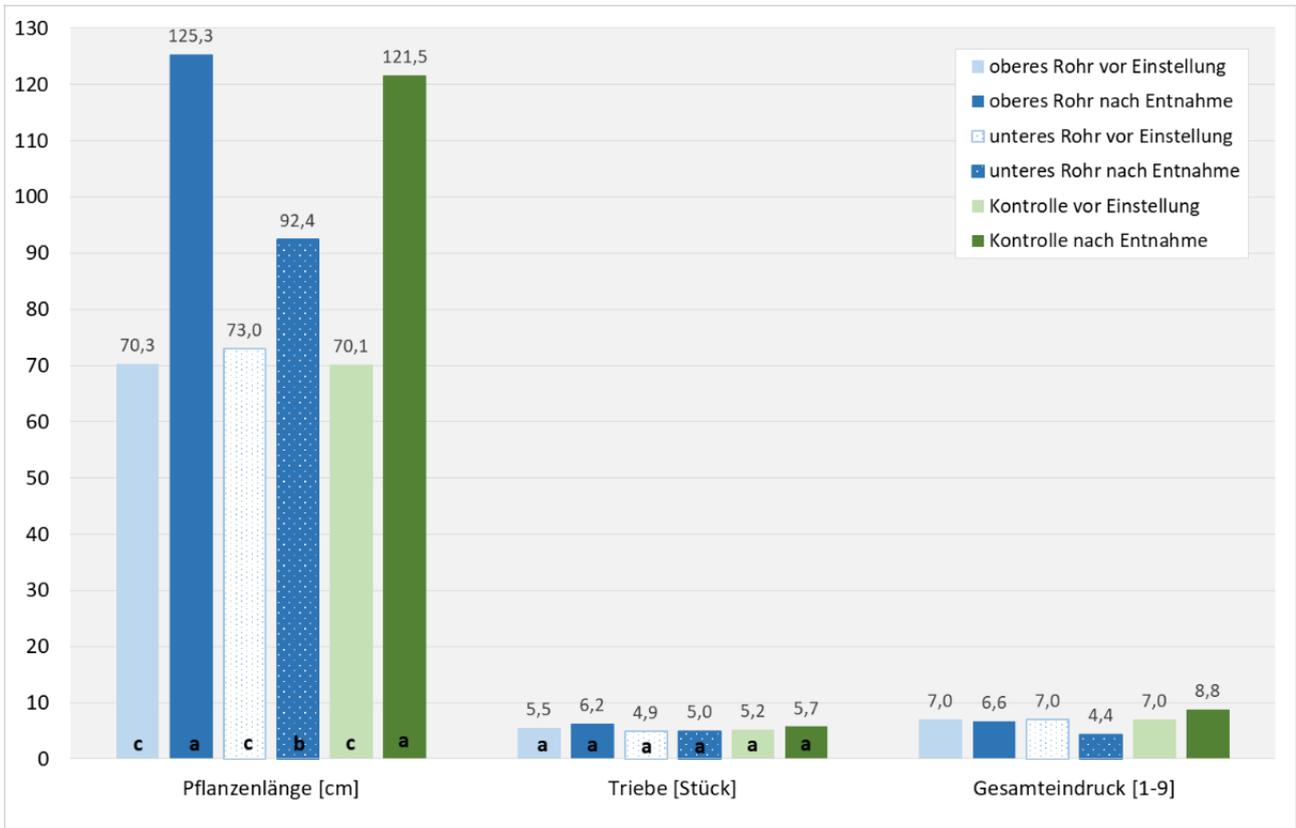


Abbildung 26: Pflanzenlänge, Anzahl der Triebe und Gesamteindruck von *Epipremnum* vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9-wöchigen Aufenthalt im Stall), nach oberem und unterem Wandrohr im Stall unterteilt, im Vergleich zur Kontrolle (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den Prüffaktoren ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-Test))

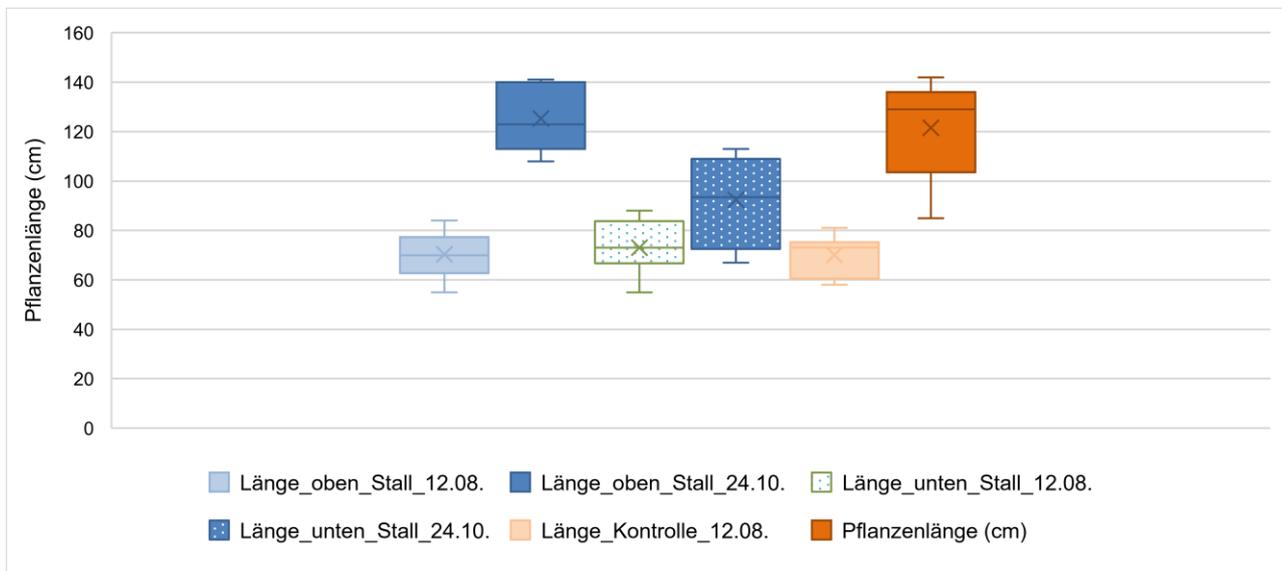


Abbildung 27: Pflanzenlänge von *Epipremnum* vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (9 wöchigen Aufenthalt im Stall), nach oberem und unterem Wandrohr im Stall unterteilt, im Vergleich zur Kontrolle

Die Abbildung 26 visualisiert u.a. die Pflanzenlänge von *Epipremnum*. Die Pflanzen in den Varianten Stall oberes Wandrohr, Stall unteres Wandrohr und Kontrolle konnten jeweils einen durchschnittlichen Längenzuwachs erzielen.

Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten in der Pflanzenlänge jeweils vor der Einstellung der Pflanzen zu erkennen. Nach Entnahme der Pflanzen (Versuchsende) konnte allerdings ein signifikanter Unterschied zwischen dem oberen und unteren Wandrohr festgestellt werden. Im oberen Rohr konnte ein signifikant höheres Pflanzenwachstum aufgenommen werden. Der Zuwachs von *Epipremnum* des unteren Rohres liegt bei durchschnittlich 19 cm, der Zuwachs des oberen Rohres liegt unterdessen bei durchschnittlich 55 cm. Dieser Wert ist vergleichbar mit der Kontrolle zu Versuchsende (kein signifikanter Unterschied), Zuwachs von durchschnittlich 52 cm.

Es gibt keinen signifikanten Unterschied im Kriterium Anzahl der Triebe bei *Epipremnum*.

Es wird deutlich, dass im Boniturkriterium Gesamteindruck im oberen Wandrohr nach Entnahme durchschnittlich ein guter Gesamteindruck erzielt werden konnte und im unteren Rohr die Ergebnisse deutlich schlechter ausfielen.

Epipremnum aureum wurde im oberen und unteren Rohr eingesetzt, um zwischen den aufrechtstehenden Pflanzen auch hängende Pflanzen zu etablieren. Ausgehend von der unterschiedlichen Pflanzenentwicklung zwischen oberem und unterem Wandrohr kann für *Epipremnum* im oberen Wandrohr eine gute Pflanzenentwicklung festgestellt werden. Der durchschnittliche Gesamteindruck im Stall im oberen Rohr (BN 6,6) liegt im guten Bereich.

Große Probleme wurden mit dem Bewässerungssystem festgestellt. Im unteren Wandrohr war es häufig trocken. Die Pflanzen sind regelrecht vertrocknet. Das Licht war im unteren Rohr nicht der entscheidende Faktor, denn *Epipremnum* kann gut bei Minimaleinstrahlungen von 500 lx wachsen. Geht man von der Pflanzenentwicklung im oberen Rohr aus, dann ist *Epipremnum* zur Begrünung im Schweinestall unter diesen Projektbedingungen als ebenfalls empfehlenswert einzustufen.

5.4.1.4. Balkonkastensystem

Folgend werden die Ergebnisse des Balkonkastensystems fotografisch (Abbildung 28) und in Grafik (Abbildung 29) dargestellt.



Abbildung 28: Balkonkasten mit *Sansevieria trifasciata* und *Epipremnum aureum* vor der Einstellung (links, 13.08.2019) und nach Entnahme (rechts, 25.10.2019) nach 10-wöchigem Aufenthalt im Schweinestall

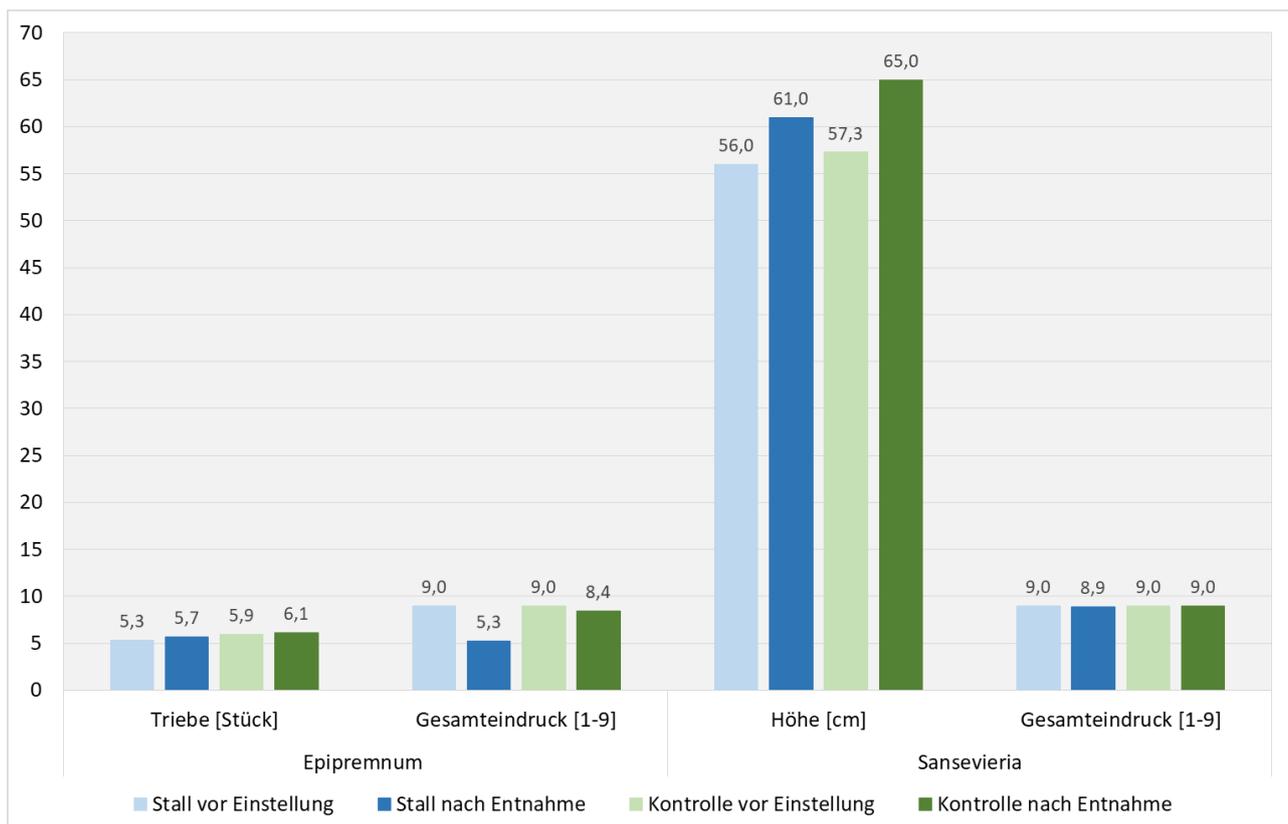


Abbildung 29: *Epipremnum* und *Sansevieria* im Balkonkastensystem vor der Einbringung und nach Entnahme aus dem Schweinestall (10-wöchiger Aufenthalt im Stall) im Vergleich zur Kultivierung unter Gewächshausbedingungen

Die Pflanzen der Art *Sansevieria* hatten nach 10-wöchigen Aufenthalt im Schweinestall einen Zuwachs von durchschnittlich 5 cm und im Gewächshaus (Kontrolle) von durchschnittlich 7 cm. Der durchschnittliche Gesamteindruck wurde in beiden Varianten und Zeitpunkten mit sehr gut bewertet. Im Boniturkriterium durchschnittlicher Gesamteindruck konnte *Epipremnum* nach Stallaufenthalt nur befriedigende Ergebnisse erzielen, während die Kontrollpflanzen im Gewächshaus der HU Berlin einen guten bis sehr guten durchschnittlichen Gesamteindruck erreichten.

Beide Pflanzenarten sind im Stall zu empfehlen. Der schlechtere Gesamteindruck von *Epipremnum* im Balkonkastensystem könnte auf die unregelmäßige Bewässerung hindeuten (manuelle Bewässerung). Die Kästen müssten zwei bis dreimal pro Woche befüllt werden. Um Fehler bei der Bewässerung zu reduzieren, könnte eine automatische Bewässerung installiert werden. Ebenso war die Lichtmenge zunächst nicht ausreichend. Nach Installation von zusätzlichen Lampen zeigten sich auch hier deutlich bessere Ergebnisse.

Das Wandrohrsystem kann mit technischen Änderungen empfohlen werden (Abbildungen 30 und 31). Das Balkonkastensystem ist in dieser Art ebenso zu empfehlen, aber es sollte, um Arbeitszeit einzusparen, eine automatische Befüllung der Tanks möglich sein. Es muss somit in beiden Systemen auf ausreichende und regelmäßige Versorgung mit Wasser und Nährstoffen geachtet werden. Zusätzlich muss die Belichtung (in Pflanzennähe) ein Minimum von 500 lx betragen. Die Pflanzen sollen nicht nur diese schwierige Phase im Stall überdauern können, sondern auch einen Pflanzenzuwachs haben. Eine wöchentliche Kontrolle der Pflanzen, u.a. zur Reinigung der Pflanzen sollte ermöglicht werden.



Abbildung 30: Bucht VI bei Einstellung der Pflanzen in den Schweinestall, 14.08.2019



Abbildung 31: Bucht VI bei Entnahme der Pflanzen aus dem Schweinestall, 17.10.2019

Zur Optimierung und langen Haltbarkeit der Pflanzen in den entsprechenden Systemen ist es von Nöten, eine sichere Wasser- und Nährstoffversorgung, eine gleichmäßige und ausreichende Belichtung (min. 500 lx), eine regelmäßige Staubentfernung und ein regelmäßiges Ausputzen der Pflanzen zu gewährleisten. Weitere Faktoren, wie die Schadgaskonzentrationen, sollten nicht über die Grenzwerte steigen (Tier und Mensch), beispielsweise durch eine reduzierte Luftwechselrate, bei niedrigen Temperaturen im Stall. Weitere Pflanzenarten könnten ebenso zur Begrünung im Schweinestall eingesetzt werden, wenn die technischen Anlagen sicher funktionieren. Dies war im Projekt nicht immer der Fall.

5.4.2. Pflanzen im Putenstall

Es wurden im Verlauf des Forschungsprojektes elf verschiedene Pflanzenarten zur Begrünung des Putenstalls getestet. In drei Versuchsdurchläufen konnten im 1. und 2. Durchgang je 266 Pflanzen und im 3. Versuch sogar 494 Pflanzen eingestellt werden.

Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse wird nur ein Versuch beispielhaft näher erläutert. Dieser Versuchsdurchgang wurde von Januar bis Mai 2019 (Versuch 1) ausgeführt. Folgend wird der Versuchsaufbau in den Abbildungen 32, 33 und 34 dargestellt.

		Abhängung 1											Abhängung 7														
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K															
Tischbreite 1 m	1	1	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tischbreite 1 m	19	25	27	25	19	25	19	25	19	25	19			
	2	2	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2		20	26	28	26	20	26	20	26	20	26				
		3		3										3	3		3		3		3		3	3	3	3	3
	3	4	11	4	3	4	3	4	3	4	3	4		3	21	28	29	28	21	28	21	28	21	28	21		
	Tischlänge 3 m													Tischlänge 3 m													
			A	Zamioculcas	G	Schefflera	Nummern entsprechen Pflanzennummern zur Bonitur																				
		B	Plectranthus	H	Hedera																						
		C	Aspidistra	I	Monstera																						
		D	Chlorophytum	J	Agaomorpha																						
		E	Fatsia	K	Philodendron																						
		F	Mühlenbeckia																								

Abbildung 32: Übersicht über die Verteilung der Versuchspflanzen auf zwei ausgewählten Hängetischen im Putenstall (1. Versuch, Jan. bis Mai 2019)

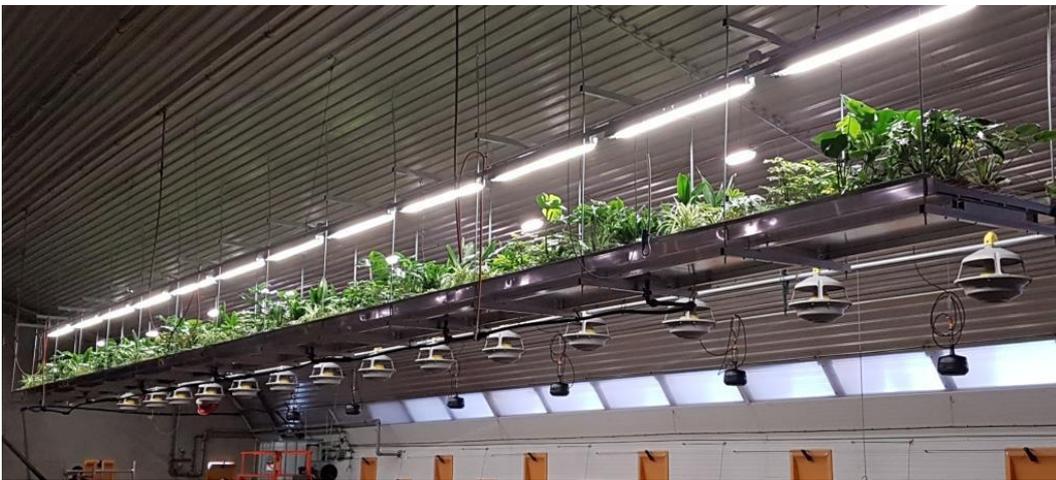


Abbildung 33: Versuchspflanzen auf den sieben Hängetischen/Abhängungen im Putenstall (1. Versuch Jan. bis Mai 2019)



Abbildung 34: Blick von oben auf den Pflanzenbestand nach Einstellung der Pflanzen in das hängende System im Putenstall (1. Versuch, Jan. bis Mai 2019)

Die Pflanzenauswahl einschließlich Pflanzenanzahl und Boniturstufen für den ersten Versuch im Putenstall ist aus Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9: Pflanzenauswahl, Anzahl der Versuchspflanzen und Boniturstufen für den 1. Versuch, Jan. bis Mai 2019 im Tier-Haltungssystem Pute

Pflanzenart im Wannensystem	Anzahl Pflanzen Referenz (Beginn)	Anzahl Pflanzen Stall (Beginn)	Boniturstufen Pflanzen									
			Pflanze- höhe/-länge	Pflanzen- durchmesser	Anzahl der Blätter	Anzahl Triebe / Wedel	Anzahl der Ausläufer	Gesamt- eindruck	Wurzel- eindruck	Frisch- masse	Trocken- masse	
<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	10	21	X			X			X	X	X	X
<i>Plectranthus</i>	10	28	X	X					X	X	X	X
<i>Aspidistra elatior</i>	10	21	X			X			X	X	X	X
<i>Chlorophytum compacta variegata</i>	10	28	X	X				X	X	X	X	X
<i>Fatsia japonica</i>	9	21	X		X				X	X	X	X
<i>Muehlenbeckia complexa</i>	10	28	X	X					X	X	X	X
<i>Schefflera arboricola</i>	10	21	X		X				X	X	X	X
<i>Hedera helix</i>	10	28	X	X					X	X	X	X
<i>Monstera deliciosa</i>	10	21	X		X	X			X	X	X	X
<i>Aglaomorpha coronans</i>	10	28	X	X					X	X	X	X
<i>Philodendron xanadu</i>	8	21	X		X				X	X	X	X
Gesamtpflanzenanzahl	107	266										

Abbildung 35 visualisiert die Ergebnisse des ersten Versuchsdurchganges zum Kriterium durchschnittlichen Gesamteindruck (BN = Boniturnoten, 1 sehr schlecht bis 9 sehr gut) der untersuchten Pflanzen im Putenstall. Zu Versuchsbeginn wurden alle eingestellten Pflanzenarten mit 9 bewertet. Weitere Ergebnisse liegen bei den Autoren vor.

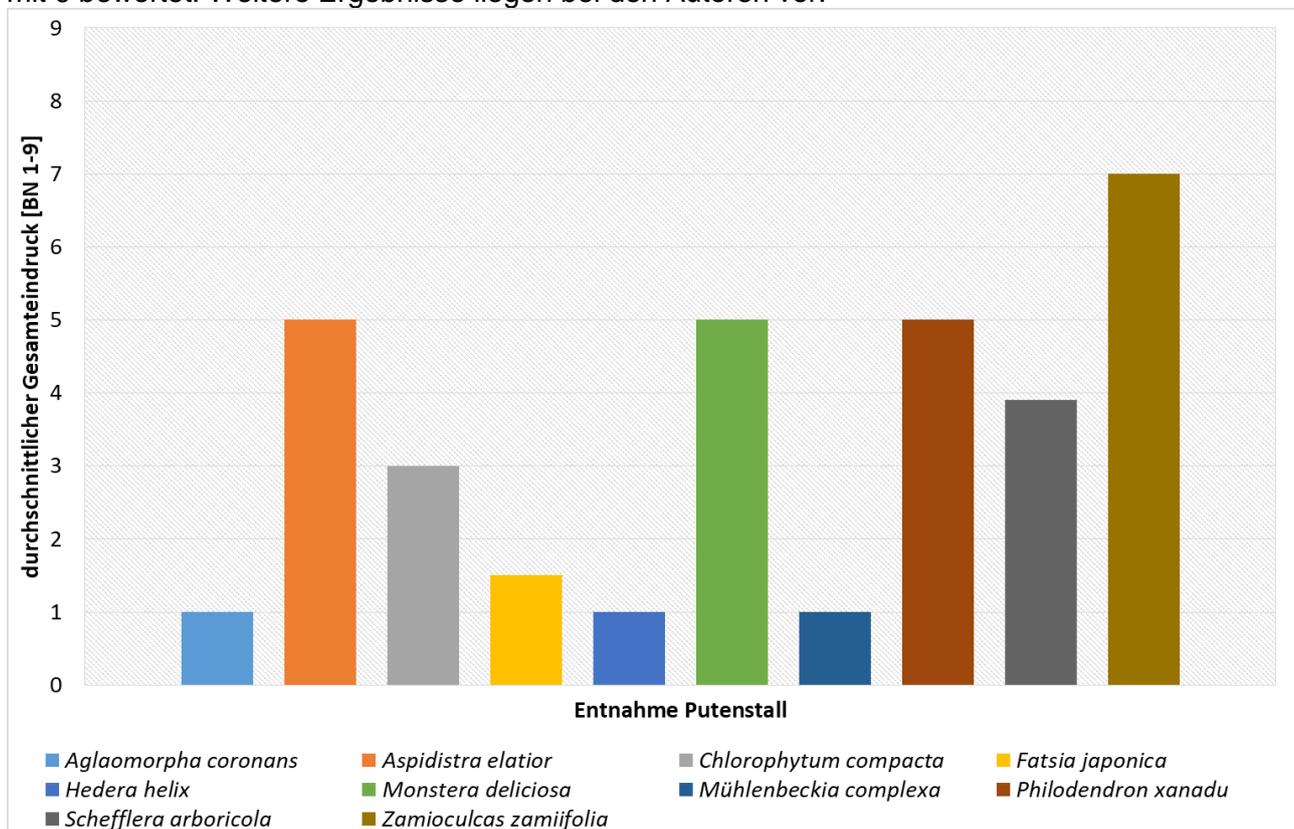


Abbildung 35: Durchschnittlicher Gesamteindruck nach Entnahme (21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall (alle Pflanzenarten wurden mit Boniturnote (BN) 9 eingestellt)

Einen durchschnittlich guten Gesamteindruck nach 17,5 Wochen im Putenstall konnte *Zamioculcas zamiifolia* (BN 7, Abbildung 36) erzielen. *Aspidistra elatior* (Abbildung 37), *Monstera deliciosa* (Abbildung 38) und *Philodendron xanadu* (Abbildung 39) haben befriedigende Ergebnisse (BN 5) im Putenstall erreichen können. Sehr schlechte Ergebnisse wiesen *Muehlenbeckia complexa*, *Hedera helix*, *Aglaomorpha coronans* (BN 1) sowie *Fatsia japonica* (BN 1,5) auf.



Abbildung 36: *Zamioculcas zamiifolia* vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall



Abbildung 37: *Aspidistra elatior* vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall



Abbildung 38: *Monstera deliciosa* vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach der Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall



Abbildung 39: *Philodendron xanadu* vor der Einstellung (links, 3. KW 2019) und nach Entnahme (rechts, 21. KW 2019) der Pflanzen nach 17,5-wöchigem Aufenthalt im Putenstall

In Tabelle 10 ist eine Empfehlung zur Eignung, auf Grundlage der Ergebnisse des ersten Versuchs im Putenstall, zu finden.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Begrünung des Tier-Haltungssystems Pute mit Empfehlungsangaben, Versuchszeitraum Jan. bis Mai 2019

Pflanzenart Putenstall	Empfehlung
<i>Aglaomorpha coronans</i>	nicht geeignet
<i>Aspidistra elatior</i>	geeignet
<i>Chlorophytum compacta</i>	nicht geeignet
<i>Fatsia japonica</i>	nicht geeignet
<i>Hedera helix</i>	nicht geeignet
<i>Monstera deliciosa</i>	geeignet
<i>Muehlenbeckia complexa</i>	nicht geeignet
<i>Plectranthus</i>	nicht geeignet
<i>Philodendron xanadu</i>	bedingt geeignet
<i>Schefflera arboricola</i>	bedingt geeignet
<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	geeignet

Diese Empfehlung der Pflanzenarten unter den gegebenen Versuchsbedingungen bildete die Grundlage für die Versuchsplanung der kommenden zwei Versuchsdurchgänge. Somit wurden im zweiten Versuchsdurchgang die als geeignet bewerteten Pflanzen (Tabelle 12, sieben Abhängungen) zur Begrünung genutzt.

Die Staubbelastung war in diesem Haltungssystem extrem hoch (Abbildung 40). Die Entfernung des Staubes war während des Versuches nicht möglich. Um ein besseres Pflanzenwachstum zu erzielen, bedarf es einer regelmäßigen Entfernung des Staubs. Um während der Untersuchungen auf auftretende Probleme im Pflanzenbestand oder mit der technischen Anlage (Staunässe, Trockenheit) reagieren zu können, bedarf es einer regelmäßigen Sichtung des Bestands der Pflanzen bzw. der gesamten Anlage. Diese Möglichkeit bestand leider aufgrund bereits beschriebener Gründe nicht.



Abbildung 40: Pflanzen mit Staubanhaftung nach Entnahme aus dem Putenstall

5.5. Schadgas- und Stalklimamessungen

5.5.1. Schadgas- und Stalklimamessungen im Schweinestall

In der dreijährigen Projektlaufzeit konnte umfangreiches Datenmaterial generiert werden. Für die Auswertung wurden die Rohdaten für die Gaskonzentrationen von NH_3 , CO_2 , CH_4 und N_2O sowie für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftwechselrate vorab als Mittelwerte je Stunde in Bezug auf die jeweiligen Untersuchungszeiträume (resp. 30.05.2018 – 20.06.2018, 25.09.2018 – 17.10.2018, 22.11.2018 – 11.01.2019, 17.03.2020 – 31.03.2020, 16.09.2020 – 22.10.2020 und 29.10.2020 – 04.12.2020) zusammengefasst. In der Tabelle 11 sind die durchschnittlichen Mittelwerte eines jeden Versuchsdurchgangs zu den zu untersuchenden Größen aufgezeigt.

Tabelle 11: Übersicht zu den durchschnittlichen Mittelwerten von Schadgasen und Klimadaten während ausgewählter Versuche im Schweinestall

Zeitraum	Versuchsabteil	CO2 ppm	NH3 ppm	CH4 ppm	N2O ppm	RH %	T °C	CO2 Prod m3/h	NH3 Prod mg/h pig	CH4 Prod mg/h pig	N2O Prod mg/h pig	CO2 Prod g/h pig	Luftwechselrate m3/h	
30.05.2018 - 20.06.2018	Stallgrün	Mittelwert	765,1	1,1	11,4	0,2	59,5	24,8	3,5	43,4	415,2	-3,4	51,5	10089,3
		STABW	143,2	0,7	3,5	0,0	8,8	2,5	0,5	27,8	102,4	6,0	6,3	3575,0
		Minimum	515,5	0,3	3,1	0,0	40,7	20,0	2,6	8,5	24,1	-36,3	39,1	3626,3
		Maximum	1439,5	3,7	24,9	0,3	79,7	32,0	4,2	153,7	729,9	14,8	62,6	21958,6
	Kontrolle	Mittelwert	729,3	1,3	9,5	0,2	58,3	24,6	2,8	53,4	305,3	-2,5	44,2	9341,0
		STABW	169,0	0,8	3,4	0,0	11,1	2,6	0,2	28,4	62,6	5,7	4,0	2654,9
		Minimum	458,7	0,3	4,2	0,1	33,7	19,8	2,2	13,6	113,9	-27,3	33,4	3730,8
		Maximum	1395,5	4,9	26,9	0,3	83,6	32,0	3,1	180,8	552,4	26,7	53,2	12500,0
25.09.2018 - 17.10.2018	Stallgrün	Mittelwert	1053,8	2,2	24,6	0,3	62,3	21,1	2,8	35,4	451,9	-0,9	38,9	5592,1
		STABW	304,9	1,1	10,3	0,0	6,2	1,2	0,2	11,5	63,8	4,1	3,0	2937,0
		Minimum	571,6	0,5	7,3	0,0	45,2	19,1	2,4	14,1	286,9	-47,8	32,6	1563,8
		Maximum	2088,9	5,9	58,4	0,4	77,7	25,9	3,3	93,8	654,3	17,3	45,6	12500,0
	Kontrolle	Mittelwert	1008,5	2,6	22,0	0,3	56,5	22,5	2,7	46,1	406,0	-1,7	36,9	6168,0
		STABW	258,2	1,2	7,7	0,0	5,5	0,8	0,2	11,8	45,5	1,7	2,9	2969,5
		Minimum	510,1	0,5	5,9	0,2	40,8	20,0	2,3	21,3	217,3	-9,8	31,4	2437,8
		Maximum	1752,1	6,0	42,0	0,4	71,9	26,1	3,1	102,2	549,4	3,9	43,6	12500,0
22.11.2018 - 11.01.2019	Stallgrün	Mittelwert	2216,7	7,2	93,4	0,2	77,7	22,9	1,8	44,5	503,6	-2,5	31,4	1189,8
		STABW	604,8	2,0	38,4	0,1	4,1	1,2	0,7	22,4	157,9	2,1	10,9	589,4
		Minimum	1095,6	4,5	34,0	0,0	68,2	18,2	0,8	10,0	98,9	-10,6	13,9	256,3
		Maximum	3981,8	31,3	280,5	0,4	90,7	26,5	2,9	224,5	2370,5	1,5	50,2	2680,5
	Kontrolle	Mittelwert	1619,2	4,9	39,5	0,3	61,5	24,0	1,7	38,6	280,7	-1,8	30,5	1654,1
		STABW	342,0	1,4	14,4	0,1	4,3	0,9	0,6	21,2	80,8	1,4	10,7	831,1
		Minimum	877,6	1,7	15,7	0,0	53,2	19,3	0,7	-19,3	84,2	-7,3	13,3	475,1
		Maximum	2608,8	22,5	73,2	0,4	73,8	26,6	2,8	172,7	627,7	2,4	48,3	3740,0
17.03.2020 - 31.03.2020	Stallgrün	Mittelwert	1163,1	3,2	30,3	0,2	56,5	20,7	1,9	58,4	578,6	-2,5	42,7	3237,8
		STABW	202,3	0,4	8,0	0,1	4,9	0,7	0,1	23,2	123,2	4,6	2,5	1601,7
		Minimum	656,5	1,9	10,8	0,0	40,7	19,3	1,7	22,1	403,4	-36,2	38,1	1684,5
		Maximum	1628,4	5,3	62,5	0,4	66,1	22,3	2,0	176,4	1826,3	22,4	47,2	12071,7
	Kontrolle	Mittelwert	1176,7	4,0	44,6	0,2	53,0	20,7	1,7	68,9	800,0	-1,9	39,9	2764,4
		STABW	182,3	0,5	11,2	0,1	5,0	0,6	0,1	15,0	83,0	3,2	2,6	1168,0
		Minimum	637,7	2,1	15,2	0,0	40,9	19,2	1,6	23,9	569,4	-8,6	35,2	1556,2
		Maximum	1600,4	5,2	74,0	0,4	69,4	22,1	1,8	128,7	1215,8	13,9	44,4	9309,4
16.09.2020 - 22.10.2020	Stallgrün	Mittelwert	3153,4	4,6	115,4	0,0	70,9	23,8	2,4	6,4	131,9	0,0	49,1	905,1
		STABW	1347,6	2,1	45,8	0,0	12,5	1,7	0,4	14,5	287,0	2,2	8,1	17625,2
		Minimum	-204,1	-0,3	2,6	0,0	39,2	19,5	1,2	0,0	-2139,6	-61,6	25,0	-72202,9
		Maximum	5979,4	13,3	205,7	0,2	100,0	30,5	3,0	278,2	4472,3	8,6	61,8	253490,9
	Kontrolle	Mittelwert	1428,6	1,8	37,6	0,0	62,4	21,5	2,4	12,0	99,5	-0,1	49,3	1699,2
		STABW	514,9	1,0	12,1	0,0	7,0	1,9	0,4	29,1	178,8	0,4	7,9	1552,8
		Minimum	-362,1	-3,1	2,4	-0,1	40,9	19,9	1,2	-61,0	-532,5	-4,2	24,8	-3681,9
		Maximum	2371,9	4,5	74,6	0,1	73,3	30,5	3,0	312,4	1754,4	3,3	61,5	18900,5
29.10.2020 - 04.12.2020	Stallgrün	Mittelwert	2423,2	7,0	117,4	0,2	78,7	21,5	1,1	28,6	423,2	1,9	27,8	467,8
		STABW	739,4	2,3	32,1	0,1	5,1	1,7	0,3	16,1	162,7	1,0	7,3	150,8
		Minimum	410,9	2,1	48,6	0,0	60,9	16,5	0,6	-31,0	0,0	-11,4	15,7	197,3
		Maximum	6761,9	22,9	252,4	0,9	99,9	25,4	1,6	329,4	1952,1	9,1	42,2	1564,7
	Kontrolle	Mittelwert	1561,2	4,7	65,9	0,0	61,9	22,4	1,0	39,4	363,8	0,7	27,6	701,3
		STABW	703,7	2,8	30,4	0,0	3,9	1,8	0,3	23,6	263,0	0,8	7,2	471,3
		Minimum	-279,9	0,0	18,0	-0,1	52,2	18,7	0,5	-328,1	-4674,8	-16,9	15,1	-9710,8
		Maximum	5544,6	18,9	302,2	0,2	81,8	26,7	1,4	311,4	2564,6	4,2	40,0	2591,1

Die Datenanalyse erfolgte mit der Statistik-Software JMP 14.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass die Daten nicht normal verteilt waren ($p < 0,05$). Daher transformierte man die Daten als Log, um parametrische statistische Verfahren anwenden zu können. Mit Hilfe einer One-Way-Varianzanalyse (ANOVA $p < 0,01$) bewertete man die Wirkung der Pflanzen auf die Gaskonzentration in den Schweineställen. Der „Levene-Test“ wurde zuvor durchgeführt, um die Homogenität der Varianzen zu bestätigen.

Die **Temperaturen** in beiden Stallabteilen waren tagsüber höher als nachts. Im Stallgrünabteil traten in den Versuchsdurchgängen Temperatur-Mittelwerte zwischen $20,7 \pm 0,7$ °C und $24,8 \pm 2,5$ °C auf. Gerade der Sommer 2018 war geprägt durch extreme Außentemperaturen. In diesem Zeitraum erfasste man auch die höchste Stallinnentemperatur der gesamten Projektlaufzeit von 32 °C. Im Kontrollabteil rangierten die durchschnittlichen Temperaturen in einem ähnlichen Bereich wie im begrüneten Stallabteil. Da beide Stallabteile mit einem automatischen Heizsystem betrieben wurden, war dies zu erwarten. Es konnten in den Versuchsdurchgängen Temperaturen zwischen $20,7 \pm 0,6$ °C und $24,6 \pm 2,6$ °C dokumentiert werden. Die niedrigste Stallinnentemperatur von 18,7 °C wurde im Herbst-Winter 2020 im Kontrollabteil gemessen.

Die **Luftfeuchtigkeit** zeigte einen inversen Verlauf im Vergleich zur Temperatur. Sie war i. d. R. nachts in beiden Stallabteilen höher als während des Tages. Hier konnten leicht höhere Werte im Stallgrünabteil als im Referenzabteil ermittelt werden. Im Durchschnitt betrug sie im begrüneten Stallabteil zwischen $56,5 \pm 4,9$ % (März 2020) und $78,7 \pm 5,1$ % (Okt.-Dez. 2020). Während sie im Kontrollabteil Werte zwischen $53,0 \pm 5,0$ % (März 2020) und $62,4 \pm 7,0$ % (Sept.-Okt. 2020) erreichte. Für die Aufzucht junger Ferkel waren dies Werte im Normbereich und eine durchschnittliche Luftfeuchtigkeit von 60 % war gleichfalls als geeignet einzustufen (Wang et al., 2019). Die leicht höhere Luftfeuchtigkeit im Stallgrünabteil ließe sich durch die Transpiration der Pflanzen und zum Teil auch eine leichte Verdunstung des im Begrünungssystem verbleibenden Wassers erklären (Xu et al., 2020).

Das Hauptaugenmerk der Untersuchung lag jedoch auf einer messbaren Verbesserung der Stallluft durch die Minderung von **Schadgasen**. Die durchschnittlichen **Kohlenstoffdioxidwerte** betragen im Stallgrünabteil zwischen $765,1 \pm 143,2$ ppm (Mai – Juni 2018) und $2.423,2 \pm 739,4$ ppm (Okt. - Dez. 2020). Im Gegensatz dazu erreichte der durchschnittliche Kohlenstoffdioxidgehalt im unbegrüneten Abteil Werte zwischen $729,3 \pm 169,0$ ppm (Mai – Juni 2018) und $1.619,2 \pm 342,0$ ppm (Nov. - Jan. 2019). Die durchschnittlich gemessenen Kohlenstoffdioxidgehalte überschritten nur selten und meist nur geringfügig den empfohlenen Wert von 3.000 ppm CO₂. Unerwarteter Weise waren sie im Stallgrünabteil i. d. R. höher als im unbegrüneten Abteil, aber dennoch rangierten sie im Normalbereich. Es gab keine Veränderungen der Kohlenstoffdioxidkonzentration über den Tag bzw. während der Nacht. Allerdings konnte man meist höhere Konzentrationen während des Tages als in der Nacht erfassen, was vermutlich an der Aktivität der Schweine lag. Dennoch können die Tageskohlenstoffdioxidkonzentrationen als stabil bezeichnet werden, was wahrscheinlich durch die stärkere Ventilation während des Tages bewerkstelligt wurde. In den Winterversuchen erfasste man höhere Kohlenstoffdioxidwerte als in den Sommerversuchen, was womöglich mit der geringeren Lüftungsrate in den Ställen im Winter zusammenhing. Durch die heißen Sommertage liefen die Ventilatoren meist auf Vollast, um eine Reduzierung der Innentemperatur zu erzielen. In den Versuchen ab Herbst 2020 wurden erhöhte Kohlenstoffdioxidkonzentrationen in den Dachräumen beider Ställe erfasst, was wahrscheinlich in der vergleichsweise niedrigen Lüftungsrate begründet liegt.

In den Versuchen 2018 betragen die durchschnittlichen **Ammoniakgehalte** im Stallgrünabteil zwischen $1,1 \pm 0,7$ ppm (Mai – Juni 2018) und $2,2 \pm 1,1$ ppm (Sept. - Okt. 2018). Im unbegrüneten Stallabteil erreichten sie hingegen Werte von $1,3 \pm 0,8$ ppm (Mai - Juni 2018) und $2,6 \pm 1,2$ ppm (Sept.-Okt. 2018). Während der Folgeversuche erfasste man Ammoniakgehalte zwischen $3,2 \pm 0,4$ ppm (März 2020) und $7,2 \pm 2,0$ ppm (Nov. - Jan. 2019) im begrüneten Stallabteil sowie zwischen $4,0$ ppm \pm 0,5 (März 2020) und $4,9 \pm 1,4$ ppm (Nov. - Jan. 2019) im Kontrollabteil. Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass in wärmeren Monaten eine Ammoniakbindungsfähigkeit der Pflanzen gegeben ist. In den kälteren Monaten, mit deutlich höheren Ammoniakgehalten der Stallluft, konnte keine Ammoniakbindungsfähigkeit der Pflanzen aufgezeigt werden. Alle durchschnittlichen Ammoniakwerte lagen innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen und überschritten einen Gehalt von 20 ppm nicht. Eine Erhöhung der Pflanzenanzahl ergab keinen messbaren Effekt.

Die durchschnittlichen **Methankonzentrationen** des Stallgrünabteils waren zumeist höher als im

Kontrollabteil. Zu Beginn traten im begrüntem Stallabteil Konzentrationen um $11,4 \pm 3,5$ ppm (Mai-Juni 2018) auf. Zuletzt konnten jedoch Werte um $117,4 \pm 32,1$ ppm (Okt.- Dez. 2020) registriert werden. Im unbegrüntem Stallabteil rangierten die Methankonzentrationen zwischen $9,5 \pm 3,4$ ppm (Mai - Juni 2018) und $65,9 \pm 30,4$ ppm (Okt. – Dez. 2020). Vor allem in den Herbst-Winter-Versuchen waren sie sehr hoch. Andere Autoren berichteten ebenfalls, dass es in kühleren Monaten zu höheren Methangaswerten kam als in wärmeren (Zong et al., 2015). Das Phänomen, dass im Stallgrünabteil überwiegend höhere Methanwerte gemessen wurden als im Kontrollabteil, soll noch in einer wissenschaftlichen Publikation näher beleuchtet werden. Besonders im Zusammenhang mit dem Umweltschutz und der Treibhausgasemissionsminderung ist das ein relevantes Thema.

Die durchschnittlichen Schadgaswerte für **Lachgas** lagen zwischen $0,2 \pm 0,1$ ppm und $0,3 \pm 0,1$ ppm in beiden Stallabteilen. Die Daten differierten in den Sommer- oder Wintermonaten nicht voneinander. Ein Unterschied in den Konzentrationen, der durch eine Begrünung hervorgerufen sein könnte, ließ sich nicht nachweisen. Die Untersuchung der Lachgaskonzentrationen war dahingehend interessant, da dieses sich ungünstig auf das Wachstum von Pflanzen durch Reduzierung der Blattgröße auswirken kann (Bornman et al., 1986). Da Lachgas jedoch nur in sehr geringen Konzentrationen auftrat, war dieser Effekt vernachlässigbar.

Während der Sommersversuche 2018 lag die Luftwechselrate bei $10.089,3 \pm 3.575,0$ m³h⁻¹ im Stallgrünabteil und bei $9.587,8 \pm 3.840,6$ m³h⁻¹ im Kontrollabteil. Diese extremen Luftwechselraten standen im Zusammenhang mit den überdurchschnittlich hohen Außentemperaturen, da die Innentemperatur im Stall über die Lüftung geregelt wird. Bei hohen Außentemperaturen liefen die Ventilatoren stets unter Vollast, so dass die Luftwechselrate im Sommer in beiden Abteilen höher war als im Winter. Es muss allerdings erwähnt werden, dass es in den ersten Versuchsdurchgängen noch kein geeignetes Messsystem im Stall gab, um die Luftwechselrate zu erfassen. Daher musste diese über die CO₂-Bilanz berechnet werden. Erst ab den Versuchen im Herbst-Winter 2020 lieferten die Messventilatoren der Firma Möller eigene Werte zu den Luftwechselraten. Diese verglich man mit den Luftwechselraten, die man für diesen Zeitraum mit Hilfe der CO₂-Bilanzierung berechnete. Es zeigte sich, dass die tatsächlich gemessenen Luftwechselraten viel niedriger waren als die berechneten. Im Stallgrünabteil erreichten die gemessenen, durchschnittlichen Luftwechselraten nur Werte zwischen $467,8 \pm 150,8$ m³h⁻¹ und $905,1 \pm 17.625,2$ m³h⁻¹, was für eine ausreichende Ventilation viel zu wenig ist. Im Kontrollabteil konnten zwar höhere Werte zwischen $701,3 \pm 471,3$ m³h⁻¹ und $1.699,2 \pm 1.552,8$ m³h⁻¹ registriert werden, aber dennoch lagen diese weit unter den berechneten Luftwechselraten. Im Nachhinein stellte sich heraus, dass während dieser Untersuchungsphase ein Problem mit der Heizung in den Aufzuchtteilen bestand, was zu einer unzureichenden Ventilation in den Ställen führte. Diese unzureichende Belüftung kann auch erklären, warum im Dachraum der Stallabteile überhöhte Kohlenstoffdioxidkonzentrationen gemessen wurden. Es ist davon auszugehen, dass die warme Stallluft in den Dachraum zurück diffundiert ist, anstatt über die Entlüftung abgesaugt zu werden.

Um die Effektivität dieser Stallbegrünungssysteme zu erproben, etablierte man geeignete Messtechnik für Temperatur-, Luftfeuchte-; und Gaskonzentrationsmessungen. In den Laborvorversuchen und den Versuchen 2018 waren erste positive Effekte in Bezug auf die Ammoniakbindungsfähigkeit von Pflanzen nachweisbar. In den Folgeversuchen lag der Fokus auf der Untersuchung und Beurteilung der Begrünungssysteme im Hinblick auf die Kontroll- und Steuerungsfähigkeit der Anlagen sowie auf der Steigerung der Gesundheit von Mensch und Tier und auf dem Umweltschutz durch Verbesserung des Stallklimas. Die praxistauglichen Prototypen brachten nicht den erhofften Erfolg. Die Schadgasmessungen mussten häufig wegen des Ausfalls der Messtechnik unterbrochen und neugestartet werden. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass die anfänglich positiven Erfolge nicht reproduziert wurden.

5.5.2. Vergleich der Stallinnentemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit im Schweinestall

Im Folgenden werden die Temperatur- und Luftfeuchtigkeits-Messwerte der Datalogger ausgewertet, welche über lange Zeitspannen in den Schweineställen installiert waren. Die Ergebnisse der Messungen machen deutlich, dass die Begrünung des Schweinestalls einen positiven Effekt auf das Stallklima ausübt.

Aus Abbildung 41 wird ersichtlich, dass das Stallabteil mit Begrünung eine signifikant höhere relative Luftfeuchtigkeit aufweist mit durchschnittlich 60,6 %, im Vergleich zum Referenzabteil mit durchschnittlich 48,8 % relativer Luftfeuchte. Eine Übersicht der Versuchsreihen mit den entsprechenden Vergleichswerten ist in Tabelle 12 dargestellt. Es kann ein überwiegend paralleler Verlauf der Messwerte beider Stallabteile beobachtet werden. Sehr hohe relative Luftfeuchtigkeits-Messwerte um ca. 100 % sind durch Reinigungsarbeiten im Stall und damit verbundenem Spritzwasser zu erklären. Daher sind diese zu vernachlässigen.

Betrachtet man die Stallinnentemperaturen der Stallabteile mit und ohne Begrünung, so fällt auf, dass nur sehr geringe Temperaturdifferenzen der beiden Stallabteile zueinander zu erkennen sind. Diese liegen im Abweichungsbereich der Messinstrumente. Beide Stallbereiche wurden anhand einer vorab eingestellten Temperaturkurve beheizt, wodurch ein Unterschied der Stallinnentemperaturen nicht zu erwarten war.

Ein Effekt hat sich jedoch im Zuge der Versuchsdurchführung gezeigt. So ist zu erkennen, dass mit abnehmender Stalltemperatur nach Versuchsende am 22. Dezember 2020 die relative Luftfeuchtigkeit des begrüneten Stallabteils ebenfalls absinkt. Dies könnte auf eine reduzierte Photosyntheseleistung der Versuchspflanzen im zu diesem Zeitpunkt ungeheizten Stallabteil zurückzuführen sein.



Abbildung 41: Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit im Schweinestall

Da die optimale relative Luftfeuchtigkeit für landwirtschaftliche Nutztiere im Bereich von 50 bis 80 % liegen sollte, ist der Einfluss der Begrünung auf die Luftfeuchte im Stall als äußerst positiv zu betrachten. Eine zu geringe Luftfeuchtigkeit im Stall kann die Schleimhäute und Atemwege austrocknen, so dass die Anfälligkeit für Infektionen der Tiere gesteigert wird. Zudem begünstigt trockene Stallluft die Staubbildung im Stall. Die höhere Luftfeuchtigkeit im Stallabteil mit Begrünung ist vermutlich auf die Transpiration der Pflanzen und eine Verdunstung aus dem Bewässerungssystem zurückzuführen. Auch bei geringerem Pflanzenbesatz (Versuchsreihe Nov. - Dez. 2019) im begrüneten Stallabteil ist dieser Effekt zu erkennen.

Tabelle 12: Signifikanzunterschiede der Stallvarianten

Datum	relative Luftfeuchtigkeit in %					
	Stallgrün		Kontrolle		Diff. der MW	p-Werte (Signifikanz)
	MW*	SD**	MW	SD		
22.11.2018 -08.01.2019	71,28	3,52	54,93	4,16	16,36	< 0,001 (t-test)
21.03.2019 -14.05.2019	55,79	12,06	40,67	7,31	15,12	< 0,001 (t-test)
23.08.2019 - 17.10.2019	55,23	10,00	46,24	7,67	8,99	< 0,001 (t-test)
14.11.2019 - 19.12.2019***	52,70	3,26	47,76	2,38	4,95	< 0,001 (t-test)
28.08.2020 - 04.01.2021	61,40	7,92	50,84	5,60	10,56	< 0,001 (t-test)

* Mittelwert

** Standardabweichung

5.5.3. Schadgas- und Stallklimamessungen im Putenstall

Für die Auswertung der Daten wurden die Rohdaten für die Gaskonzentrationen von NH₃, CO₂, CH₄ und N₂O sowie für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftwechselrate vorab als Mittelwerte je Stunde in Bezug auf die jeweiligen Untersuchungszeiträume (resp. 24.10.2019 - 21.01.2020, 13.03.2020 – 12.06.2020) zusammengefasst. In der Tabelle 13 sind die durchschnittlichen Mittelwerte eines jeden Versuchsdurchgangs zu den zu untersuchenden Größen aufgezeigt. Im Winterversuch 2019/2020 ließen sich durchschnittliche Temperaturen von 13,8 ± 1,6 °C im begrünten Bereich und von 11,8 ± 2,7 °C im unbegrünten Teil des Stalles messen. Während des Frühjahr-Sommer-Versuches stiegen die Temperaturen auf durchschnittlich 17,9 ± 3,5 °C im Stallgrünbereich und auf 16,8 ± 4,6 °C im Kontrollbereich an. Für Jungputen zwischen 9 und mehr als 20 Lebenswochen werden Temperaturen zwischen 10 bis 18 °C als optimal angesehen. Die gemessenen Werte entsprachen demnach der gewünschten Norm. Für die Luftfeuchte wurden im Winterversuch Werte zwischen 81,3 ± 4,0 % im Stallgrünbereich und 83,3 ± 5,2 % im Kontrollbereich erfasst. Im Sommerversuch hingegen lagen diese bei 66,8 ± 12,3 % für die Kontrollgruppe und bei 67,0 ± 11,9 % für die Versuchsgruppe. Sowohl für den Winter-, als auch für den Sommerversuch waren dies bestmögliche Werte.

Die Tabelle 13 zeigt, dass die Schadgaskonzentrationen im begrünten Teil des Stalles während der Versuchsdurchgänge stets höher war als im unbegrünten Bereich. Man registrierte Ammoniakgehalte zwischen 4,0 ± 1,8 ppm im Frühjahr-Sommer-Versuch 2020 und 9,3 ± 4,0 ppm im Herbst-Winter-Versuch 2019/2020 für den Stallgrünenteil. Für den unbegrünten Teil ließen sich durchschnittliche Ammoniakkonzentrationen von 2,3 ± 1,6 ppm während des Herbst-Winter-Versuches 2019/2020 und von 2,5 ± 1,4 ppm für den Frühjahr-Sommer-Versuch 2020 erfassen. Die erhobenen Werte lagen jederzeit unterhalb des Grenzwertes von 10 ppm Ammoniak, der aus den Bundeseinheitlichen Eckwerten von 2013 hervorgeht und im Tierschutzplan Brandenburg verankert ist. Die durchschnittlichen Kohlenstoffdioxidkonzentrationen lagen im begrünten Stallbereich zwischen 799,1 ± 198,3 ppm und 1.318,9 ± 252,0 ppm sowie zwischen 688,7 ± 214,9 ppm und 716,8 ± 146,1 ppm im unbegrünten Stallbereich. Auch hier wurden die Bundeseinheitlichen Eckwerte von 2013, die einen maximalen Kohlenstoffdioxidgehalt von 3.000 ppm vorschreiben, nicht überschritten. Ungewöhnlich erschien, dass im Winter höhere Schadgaskonzentrationen von Ammoniak und Kohlenstoffdioxid im Stallgrünenteil im Vergleich zum Kontrollteil als im Sommer auftraten. Man ging von einer stärkeren Schadgasakkumulation in Folge einer geringeren Luftwechselrate aus, da diese im Herbst-Winter-Versuch 2019/2020 bei 5.826,1 ± 1.850,6 m³h⁻¹ im begrünten Stallteil und bei 7.095,5 ± 2.155,9 m³h⁻¹ im unbegrünten Referenzteil lag. Im Frühjahr-Sommer-Versuch 2020 waren die Luftwechselraten deutlich höher (resp. Stallgrün: 8.527,2 ± 2010,7 m³h⁻¹; Kontrolle: 10.587,8 ± 2.618,9 m³h⁻¹). Jedoch zeigten beide Versuchsdurchgänge, dass höhere Luftwechselraten immer im unbegrünten Stallbereich auftraten. Die durchschnittlichen Lachgaskonzentrationen konnten in allen Versuchsdurchgängen als gering erachtet werden. Sie überstiegen im Herbst-Winter-Versuch 2019/2020 im Stallgrün Werte von 0,6 ± 0,1 ppm sowie im Kontrollteil Werte von 0,4 ± 0,1 ppm nicht. Im Frühjahr-Sommer-Versuch verzeichnete man durchschnittliche Lachgaskonzentrationen von 0,4 ppm im begrünten Stallbereich und von 0,5 ppm im unbegrünten Stallbereich. Diese Konzentrationen erschienen so niedrig und die Unterschiede so marginal, dass sie vernachlässigbar waren. Bei den durchschnittlichen Methankonzentrationen ließ sich ein anderer Trend beobachten. Sie lagen im Frühjahr-Sommer-Versuch 2020 bei 5,5 ± 3,1 ppm im Stallgrünenteil und bei 3,7 ± 1,7 ppm im Kontrollbereich. Im Vergleich dazu zeichnete man im

Herbst-Winter-Versuch 2019/2020 geringere, durchschnittliche Methangehalte auf (resp. Stallgrün: $3,8 \pm 3,7$ ppm; Referenz: $1,8 \pm 1,4$ ppm). Doch auch hier überstiegen die Werte im begrünten Stallbereich deutlich jene Daten aus dem unbegrünten Stallbereich.

Tabelle 13: Übersicht zu den durchschnittlichen Messwerten von Schadgasen und Klimadaten während ausgewählter Versuche im Putenstall

Zeitraum	Versuchsabteil	Luftgeschwi	NH3 in	CO2 in	N2O in	CH4 in	NH3 out	CO2 out	N2O out	CH4 out	Temp	RH	Luftwechselrate
24.10.2019 - 21.01.2020		m/s	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	°C	%	m3/h
Stallgrün	Mittelwert	2,5	6,8	2606,2	1,1	2,5	0,7	845,4	0,6	0,8	13,8	81,3	5826,1
	STABW	0,8	2,9	498,0	0,2	2,5	0,2	68,7	0,0	0,6	1,6	4,0	1850,6
	Minimum	1,0	1,1	823,9	0,4	0,0	0,0	792,1	0,5	-0,4	9,4	67,8	2312,0
	Maximum	4,6	27,2	4677,6	1,8	38,3	2,2	1914,8	0,7	5,2	20,6	94,3	10575,5
Kontrolle	Mittelwert	3,1	1,7	1360,9	0,8	1,2	0,7	845,4	0,6	0,8	11,8	83,3	7095,5
	STABW	0,9	1,1	424,6	0,1	0,9	0,2	68,7	0,0	0,6	2,7	5,2	2155,9
	Minimum	1,0	-0,1	951,3	0,4	-0,2	0,0	792,1	0,5	-0,4	-2,2	59,1	2312,0
	Maximum	5,0	15,6	4830,5	1,5	14,1	2,2	1914,8	0,7	5,2	19,5	100,0	11399,5
		NH3 in	CO2 in	N2O in	CH4 in	NH3 out	CO2 out	N2O out	CH4 out	NH3 ER	CO2 ER	N2O ER	CH4 ER
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	mg/h	g/h	mg/h	mg/h
Stallgrün	Mittelwert	9,3	1318,9	0,6	3,8	1,0	427,8	0,3	1,2	37319,0	10672,2	3106,8	10186,2
	STABW	4,0	252,0	0,1	3,7	0,3	34,8	0,0	0,8	23908,1	5255,8	1924,6	15364,6
	Minimum	1,5	417,0	0,2	0,0	0,0	400,9	0,2	-0,6	2499,1	-740,3	-861,4	-3023,7
	Maximum	37,3	2367,2	0,9	58,2	3,0	969,0	0,4	7,9	198352,3	32750,4	10425,5	285455,0
Kontrolle	Mittelwert	2,3	688,7	0,4	1,8	1,0	427,8	0,3	1,2	6844,4	3670,0	1172,5	2978,7
	STABW	1,6	214,9	0,1	1,4	0,3	34,8	0,0	0,8	6753,0	2790,0	788,1	4522,0
	Minimum	-0,1	481,4	0,2	-0,2	0,0	400,9	0,2	-0,6	-2172,3	-2198,2	-755,0	-6617,0
	Maximum	21,3	2444,6	0,7	21,5	3,0	969,0	0,4	7,9	117067,8	35436,6	7114,2	124220,7
Zeitraum	Versuchsabteil	Luftgeschwi	NH3 in	CO2 in	N2O in	CH4 in	NH3 out	CO2 out	N2O out	CH4 out	Temp	RH	Luftwechselrate
13.03.2020 - 12.06.2020		m/s	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	°C	%	m3/h
Stallgrün	Mittelwert	3,7	2,9	1579,0	0,8	3,6	0,5	839,7	0,6	1,7	17,9	67,0	8527,2
	STABW	0,9	1,3	391,9	0,1	2,0	0,2	74,4	0,0	1,0	3,5	11,9	2010,7
	Minimum	1,0	0,7	881,1	0,5	0,3	0,0	772,7	0,6	-0,7	10,1	37,1	2312,0
	Maximum	6,5	33,8	4614,7	1,1	87,6	3,4	2391,7	0,7	5,4	28,8	90,7	14947,6
Kontrolle	Mittelwert	4,6	1,8	1416,4	0,9	2,4	0,5	839,7	0,6	1,7	16,8	66,8	10587,8
	STABW	1,1	1,0	288,7	0,2	1,1	0,2	74,4	0,0	1,0	4,6	12,3	2618,9
	Minimum	1,0	0,1	895,0	0,5	-0,5	0,0	772,7	0,6	-0,7	-4,8	35,8	2312,0
	Maximum	6,3	8,0	4002,1	1,7	10,0	3,4	2391,7	0,7	5,4	27,6	98,6	14466,9
		NH3 in	CO2 in	N2O in	CH4 in	NH3 out	CO2 out	N2O out	CH4 out	NH3 ER	CO2 ER	N2O ER	CH4 ER
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	mg/h	g/h	mg/h	mg/h
Stallgrün	Mittelwert	4,0	799,1	0,4	5,5	0,7	425,0	0,3	2,6	21162,8	6422,4	925,2	15702,9
	STABW	1,8	198,3	0,0	3,1	0,2	37,7	0,0	1,4	13349,6	4083,7	487,4	17821,7
	Minimum	1,0	445,9	0,3	0,5	0,0	391,0	0,3	-1,1	1890,6	-508,2	-746,4	201,3
	Maximum	46,3	2335,4	0,6	133,4	4,6	1210,4	0,4	8,3	302005,6	43696,9	3349,5	797168,2
Kontrolle	Mittelwert	2,5	716,8	0,5	3,7	0,7	425,0	0,3	2,6	14817,8	6184,9	2833,0	7378,3
	STABW	1,4	146,1	0,1	1,7	0,2	37,7	0,0	1,4	11627,6	3242,2	2019,7	5357,7
	Minimum	0,1	452,9	0,3	-0,7	0,0	391,0	0,3	-1,1	-876,1	-3135,4	-1042,4	-13446,3
	Maximum	11,0	2025,4	0,8	15,2	4,6	1210,4	0,4	8,3	94477,6	29238,2	12002,3	111193,0

5.6. Ergebnisse der Laboranalysen

Die Laboranalysen der GLU erfolgten entsprechend der Fragestellungen der anderen Projektpartner. Analysiert wurden unter anderem Wasserproben von Brunnen- und Leitungswasser und von Nährlösung aus den Vorratsbehältern der Bewässerungssysteme. Wasserproben wurden auf Nitrat, Nitrit, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Gesamthärte, Hydrogencarbonat, BTEX, E.Coli, Enterokokken, coliforme Keime und aerobe Keimzahlen untersucht.

Darüber hinaus wurden auch Staub- und Pflanzenproben analysiert. Staubproben wurden dabei auf die Parameter BTEX, Trockenmasse, Kohlenstoff, aerobe mesophile Keimzahl, E.Coli, Salmonellen, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink, Eisen untersucht. Die vergleichende Untersuchung von Pflanzenproben aus den Versuchsställen und Pflanzenproben aus dem Forschungsgewächshaus der HUB schlossen die Parameter Trockenmasse, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink, Eisen, Chlor und Chlorophyll-a von sämtlichen verwendeten Pflanzenarten ein und erbrachten keinen Unterschied zwischen den untersuchten Varianten.

Staubanalysen aus dem Schweinestall zeigen, dass eine nicht unerhebliche Menge Pflanzennährstoffe im Staub vorhanden ist (Tabelle 14). Trotz der Einleitung von Stallluft in den Nährlösungstank kam es zu keiner Anreicherung von Nährstoffen im Tank. Eine regelmäßige Gabe von Volldünger blieb somit trotz des potentiellen Nährstoffeintrags über den Staub notwendig.

Tabelle 14: Staubanalyse Stallgrünabteil Schweinestall vom 13.05.2019

Nährstoff	mg/kg
Stickstoff gesamt mg/kg	61100
Phosphor mg/kg	12400
Kalium mg/kg	33500
Calcium mg/kg	30900
Arsen mg/kg	3,27
Blei mg/kg	1,62
Cadmium mg/kg	0,27
Chrom mg/kg	139
Kupfer mg/kg	770
Nickel mg/kg	7,68
Quecksilber mg/kg	0,02
Zink mg/kg	697
Eisen mg/kg	1670

Im neunten Versuch wurde die Nährstoffaufnahme der Pflanzen untersucht (Tabelle 15). Zur Eingangsuntersuchung am 04.09.2020 befand sich eine abgestimmte Nährlösung im Tank. In den darauffolgenden Wochen sank die Konzentration von Hauptnährstoffen ab, pH-Wert und Hydrogencarbonat glichen sich den Werten des Brunnenwassers an, da über einen Schwimmer der Wasserpegel im Nährstofftank konstant gehalten und mit Brunnenwasser aufgefüllt wird. Erst zum 15.10.2020 zeigte sich nach erfolgter Nachdüngung ein höheres Niveau an Hauptnährstoffen.

Tabelle 15: Wasseranalysen Stallgrünabteil Schweinestall Versuch 9

Untersuchungsparameter	04.09.2020		17.09.2020	01.10.2020	15.10.2020
	Brunnen	NL-Tank	NL-Tank	NL-Tank	NL-Tank
Nitrat mg/l	< 5	267	46,6	102	547
Nitrit mg/l	< 0,03	102	< 0,03	< 0,03	1,19
pH-Wert	7,37	6,02	7,34	7,31	5,96
Leitfähigkeit µS/cm	1163	1834	1126	1246	1619
Gesamthärte mmol/l	5,31	6,16	5,7	6	9,34
Hydrogencarbonat mg/l	235	19,5	206	182	9,76
E.Coli KBE/100ml	--	0	--	--	--
Enterokokken KBE/100ml	--	1,2*10 ⁴	--	--	--
Coliforme Keime KBE/100ml	--	6,0*10 ⁴	--	--	--
aerobe Keimzahl 22°C KBE/ml	--	3,6*10 ⁵	--	--	--
aerobe Keimzahl 36°C KBE/ml	--	9,2*10 ⁵	--	--	--
Gesamtstickstoff mg/l	--	88,7	12,3	21	88,8
Phosphor mg/l	--	22,9	1,37	0,25	6,42
Kalium mg/l	--	49,8	6	3,29	2,54

5.7. Tiergewichte und Tierwohlparameter im Schweinestall

Zu den Versuchen im Schweinestall wurde eine umfangreiche Datenbasis von Tierwohlparametern und Tiergewichten erarbeitet. Die Tiere in den Versuchsställen wurden zum Anfang und Ende eines jeden Versuchsdurchgangs gewogen. Daraus leiteten sich die durchschnittlichen Tageszunahmen ab. Zusätzlich wurden wöchentlich Tierwohlparameter, Behandlungen und Abgänge dokumentiert. Aus den Gesundheitsdaten wurde ein Indexwert für beide Versuchsvarianten gebildet und verglichen.

In Tabelle 16 ist eine Übersicht über die durchgeführten Versuche hinsichtlich Tierzahlen und Tierabgänge dargestellt. Es zeigt sich, dass die Tieranzahl je Versuch im Projektverlauf zurückging. Dies lässt sich auf betriebsbedingte Einschränkungen zurückführen und entzog sich dem Einfluss der Projektbeteiligten. Bei der Aufteilung der Tiere zu Beginn der Versuchszeiträume wurde auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung in die Versuchsvarianten geachtet. Die Abgänge umfassten neben den Tierverlusten auch Tiere (z.B. mit Nabelbruch), die als Spanferkel Verwendung fanden. In der Summe wurden mehr Abgänge im Kontrollabteil dokumentiert. Dieser Unterschied ist statistisch allerdings nicht signifikant (Wilcoxon-Rank-Sum: $p > 0,1$). Prozentual bewegten sich die Abgänge zwischen 0 und 9,4 % und es wurden mit Ausnahme des fünften Versuchsdurchgangs weniger Abgänge in der Variante Stallgrün dokumentiert.

Tabelle 16: Dauer der Versuche und Anzahl der Tiere zu Beginn und am Ende.

Versuchsdurchgang	Dauer (d)	Tieranzahl Anfang/Ende und Abgänge							
		Kontrolle				Stallgrün			
		Anfang	Ende	Abgänge	Abgänge in %	Anfang	Ende	Abgänge	Abgänge in %
1	55	128	116	12	9,4	136	124	12	8,8
2	48	149	147	2	1,3	152	151	1	0,7
3	48	146	146	0	0	135	135	0	0
4	47	112	108	4	3,6	108	107	1	0,9
5	53	125	117	8	6,4	118	108	10	8,4
6	54	102	99	3	2,9	96	96	0	0
7	36	97	94	3	3,1	100	98	2	2
8	54	88	80	8	9,1	88	85	3	3,4
9	55	97	94	3	3,1	97	97	0	0
10	54	73	68	5	6,9	78	76	2	2,6

Zusätzlich zu der Bemühung, möglichst gleiche Tieranzahlen in die Abteile der Versuchsvarianten einzustallen, sollten nach Möglichkeit auch die durchschnittlichen Ausgangsgewichte der Tiere gleichmäßig über die Versuchsvarianten verteilt sein. Tabelle 17 und Abbildung 42 vergleichen die Startgewichte der Tiere innerhalb der jeweiligen Experimente zwischen Kontrolle und Stallgrün.

Nicht bei allen Versuchsdurchgängen war ein vergleichbares durchschnittliches Startgewicht der Tiere gegeben. Bei den Versuchen 1, 2, 5 und 7 bestand zu Beginn ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Mittelwerten der Gewichte der Tiere im Kontroll- und im Stallgrün-Abteil (Tabelle 17). Auch diese Unregelmäßigkeit ging zurück auf betriebsbedingte Gründe, die sich in einem Praxisversuch kaum vermeiden lassen. Bei den ersten zwei Versuchsdurchgängen erfolgte die Aufteilung der schwächsten Tiere nicht gleichmäßig auf die Versuchsvarianten. Im Versuch 7 wurden in eine Bucht des Kontrollabteils ältere Tiere eines früheren Wurfs gesperrt, die längere Zeit an einer Amme verbracht haben und vier Wochen älter waren, als die restlichen Tiere dieses Versuchs. Der Unterschied der Ausgangsgewichte in Versuch 5 war hingegen nicht durch Unregelmäßigkeiten bei der Aufteilung zu erklären und zufällig entstanden.

Tabelle 17: Startgewichte in den Versuchen bei Kontrolle und Stallgrün und die Signifikanz des Unterschieds.

Versuch	Mittelwert Startgewicht (kg)		p-Werte (Signifikanz)
	Kontrolle	Stallgrün	p-Wert
1	7,14	6,66	0,021 (t-Test)
2	5,89	6,33	0,008 (t-Test)
3	6,46	6,29	0,30 (t-Test)
4	6,59	6,58	0,70 (wilcoxon-Test)
5	7,70	9,18	< 0,001 (Wilcoxon-Test)
6	6,68	6,23	0,16 (Wilcoxon-Test)
7	9,89	7,89	< 0,001 (Wilcoxon-Test)
8	6,93	6,87	0,51 (t-Test)
9	6,25	6,54	0,17 (Wilcoxon-Test)
10	6,52	6,28	0,43 (t-Test)

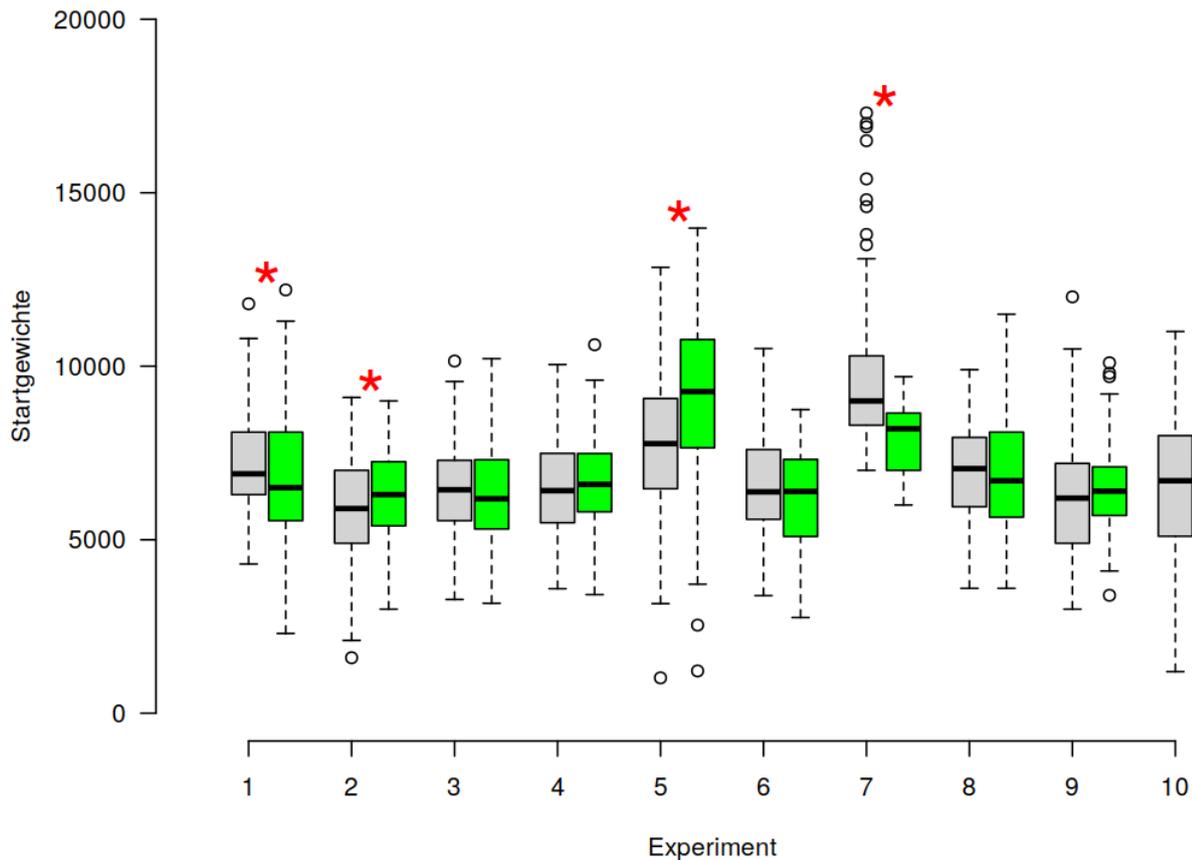


Abbildung 42: Vergleich der Startgewichte innerhalb eines Versuches zwischen Kontrolle und Stallgrün

Eine Forschungsfrage, die durch das Projekt beantwortet werden sollte, bezieht sich auf den Einfluss der veränderten Haltungsumgebung auf die Gewichtsentwicklung der Tiere. Die durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme je Tier ist ein geeignetes Kriterium zum Vergleich der beiden Versuchsvarianten hinsichtlich dieser Fragestellung. Für den Vergleich der Gewichtszunahme wurden für jeden Versuch die Differenz aus dem Mittelwert der Endgewichte und dem Mittelwert der Startgewichte für Kontrolle und Stallgrün berechnet. Die zehn Differenzen wurden anschließend verglichen ($n=10$). Eine Übersicht über die verglichenen Werte findet sich in Tabelle 18. Die mittlere Gewichtszunahme pro Tag betrug in der Kontrollgruppe 517,6 g/d, in der Stallgrün-Gruppe 522,7 g/d; der Unterschied ist statistisch nicht signifikant (t-Test, $p=0,876$).

Tabelle 18: Vergleich der Gewichtszunahme zwischen Kontrolle und Stallgrün

Versuch	Dauer (d)	Abteil	Ø Tiergewicht in kg		Gewichtszunahme		
			Anfang	Ende	in kg	in %	in g/(d)
1	55	Stallgrün	6,7	36,5	29,8	448	542
		Kontrolle	7,1	40,4	33,2	465	603
2	48	Stallgrün	6,3	27,8	21,5	340	448
		Kontrolle	5,9	28,9	23,0	390	478
3	48	Stallgrün	6,3	27,8	21,5	343	448
		Kontrolle	6,5	26,4	19,9	308	414
4	47	Stallgrün	6,6	30,0	23,4	356	498
		Kontrolle	6,6	28,3	21,8	330	462
5	53	Stallgrün	9,2	46,0	36,8	401	694
		Kontrolle	8,4	41,2	32,8	390	631
6	54	Stallgrün	6,2	35,1	28,8	463	534
		Kontrolle	6,7	36,8	30,1	451	557
7	36	Stallgrün	7,9	25,5	17,6	223	489
		Kontrolle	9,9	30,1	20,2	204	560
8	54	Stallgrün	6,9	33,1	26,2	382	485
		Kontrolle	6,9	31,2	24,3	350	449
9	55	Stallgrün	6,5	38,6	32,1	490	582
		Kontrolle	6,3	35,0	28,8	461	523
10	54	Stallgrün	6,3	33,4	27,1	432	502
		Kontrolle	6,5	32,9	26,3	404	492

Aufgrund der ungleichen Verteilung der schwächsten Tiere auf die Versuchsvarianten in den ersten beiden Versuchen, wurde ein zusätzlicher Vergleich für die Versuche 3 bis 10 angestellt. Die Abbildung 43 zeigt diesen Vergleich der mittleren Gewichtszunahmen. Werden die ersten beiden Versuche bei der Analyse weggelassen, verändern sich die Werte geringfügig (Kontrollgruppe 511,7 g/d, Stallgrün-Gruppe 529,5 g/d). Der Unterschied in der durchschnittlichen, täglichen Gewichtszunahme zwischen den Gruppen bleibt aber statistisch nicht signifikant (t-Test, $p=0,639$).

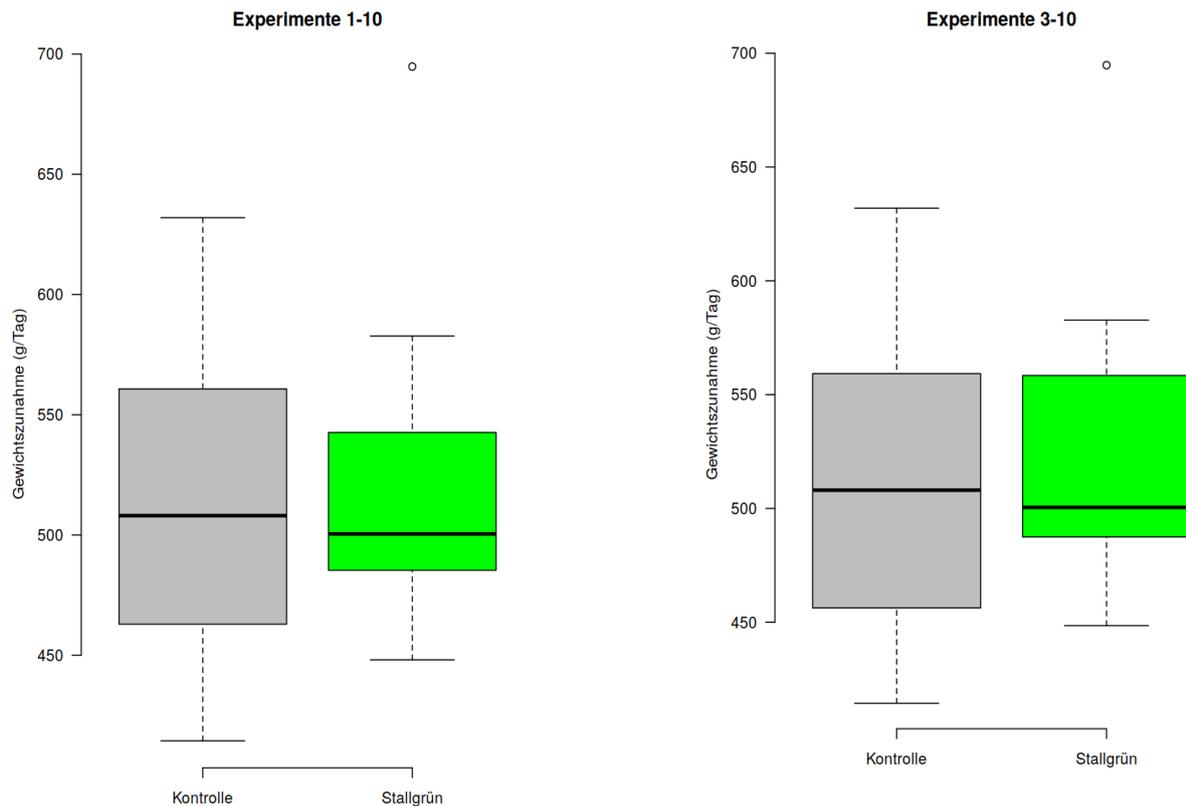


Abbildung 43: Vergleich der mittleren Gewichtszunahme zwischen Stallgrün und Kontrolle der Versuche 1-10 und 3-10

In den Versuchen 3, 4 und 5 wurden jeweils 100 Tiere zufällig für eine Einzeltierverfolgung ausgewählt und markiert. Von diesen hundert Tieren entfiel jeweils die Hälfte auf das Abteil mit Stallbegrünung und die andere Hälfte auf das Kontrollabteil. Die Markierung dieser Tiere ermöglichte in der Auswertung eine individuelle Zuordnung der Start- und Endgewichte (Abbildung 44). Von den 300 zu Anfang markierten Tieren waren zum Versuchsende 263 Tiere noch in der Auswertung. Die reduzierte Anzahl erklärt sich durch Abgänge oder den Verlust bzw. Unlesbarkeit der Markierung. Werden nur die Daten dieser Tiere ausgewertet (Experimente 3-5, 263 Tiere), besteht ein signifikanter Unterschied ($p < 0,01$, Wilcoxon-Test) zwischen der Kontroll-Gruppe (Gewichtszunahme 486,6 g/d) und der Stallgrün-Gruppe (Gewichtszunahme 529,0 g/d).

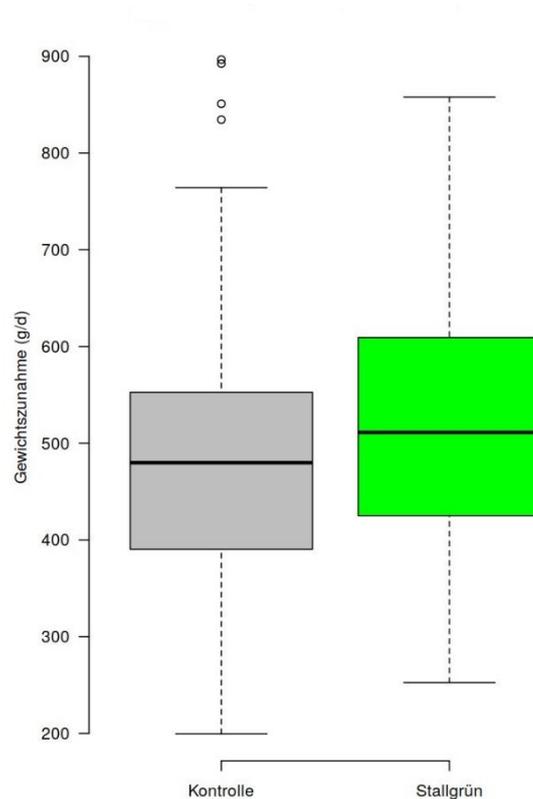


Abbildung 44: Vergleich der durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahme von 263 Einzeltieren in den Versuchsvarianten Stallgrün und Kontrolle während der Versuchsdurchgänge 3, 4 und 5

Für die Auswertung der Gesundheitsdaten wurde ein Index berechnet, indem die Anzahl der verschiedenen tierwohlrelevanten Beobachtungen für jeden Messzeitpunkt summiert wurden. Zu den bonitierten Kriterien gehörten: Hautverletzungen, Schwanzverletzungen, Ohrverletzungen, Kümmerer, apathische Tiere, Lahmheit, Verschmutzungsgrad und sonstige Erkrankungen. Da von den Versuchen 4 bis 10 jeweils eine unterschiedliche Anzahl von vier bis sieben Bonituren (jeweils 1x je Woche) vorlagen, wurden die Daten unabhängig vom Experiment ausgewertet und die Aufzeichnungen nur zwischen Kontrolle und Stallgrün verglichen (Abbildung 45). In der Summe wurden im Kontrollabteil mehr Tiere mit tierwohlrelevanten Indikationen dokumentiert. Allerdings handelt es sich dabei um keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p=0,07$, einseitiger Wilcoxon-Test).

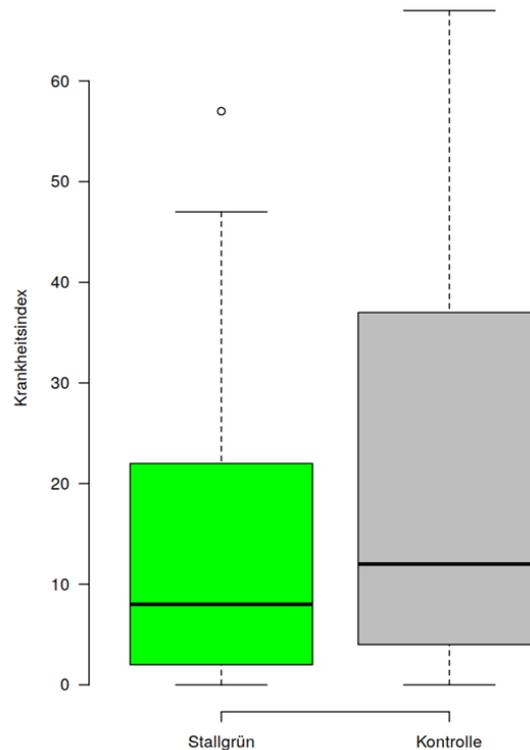


Abbildung 45: Vergleich der Gruppen Stallgrün und Kontrolle hinsichtlich tierwohlrelevanter Parameter

5.8. Ökonomische Betrachtung Schweinestall

Für die Kostenrechnung der Begrünungsanlage im Schweinestall sind neben den einmaligen Investitionskosten auch die laufenden Kosten einzubeziehen. Weiterhin können produktionsseitig unterschiedliche Auslastungen der Anlage betrachtet werden. Daraus folgt für die Gesamtrechnung, dass nachfolgend drei unterschiedliche Varianten beschrieben und beleuchtet werden. In Kombination mit der Auslastung der Stallanlage ergibt sich dann ein Preis in Bezug auf die produzierte Ferkelanzahl.

Variante 1 beschreibt dabei die Begrünungsanlage mit einem Hydrokultursystem von zwei Wandrohren und einem Nährstofftank. Über jeder Stallbucht ist oberhalb der Wandrohre eine Zusatzbeleuchtung installiert, die die für Pflanzen notwendige Lichtstärke sicherstellt. Zu den Kostenpositionen gehören die Bewässerungsanlage der Gartenbaufirma, die Elektroinstallation für Bewässerung und Belichtung und die Arbeiten der Stallbaufirma. Für die einmaligen Kosten wird eine Abschreibung über zehn Jahre angenommen. Zusätzlich zu diesen einmaligen Investitionskosten kommen jährliche Betriebskosten. Neben dem Strom zum Betrieb der Anlage, entstehen Kosten für die Bepflanzung. In dieser Variante wird von einem Wartungsvertrag mit einer Gartenbaufirma ausgegangen. Beim Punkt Pflanzen ist eine einmalige Bestückung der Anlage mit 160 Pflanzen pro Jahr geplant. Dazu kommt der Austausch von bis zu zehn Prozent der Pflanzen je Mastdurchgang. Die Personalkosten umfassen hierbei die Erstbepflanzung und die Pflege der Pflanzen und die Wartung der Anlage zwischen den Mastdurchgängen. Die Kosten pro Tier ergeben sich aus der Annahme von vier oder fünf Mastdurchgängen von jeweils acht Wochen mit jeweils 14, 15 oder 16 Tieren pro Bucht, bei acht Buchten im begrüneten Stallabteil.

Variante 2 stellt eine Erweiterung der in Variante 1 beschriebenen Begrünungsanlage dar. Zusätzlich zum Hydrokultursystem an der Stallwand werden Balkonkästen und Zusatzbeleuchtung zwischen den jeweiligen Stallbuchten installiert. Variante 2 entspricht damit dem Stallbegrünungssystem, wie es zuletzt im Projekt erprobt wurde. Die Pflanzenanzahl steigt von 160 auf 250 Pflanzen. Ansonsten gelten die gleichen Annahmen wie bei Variante 1.

Bei **Variante 3** handelt es sich um eine kostenrestriktive Annahme, die im Projekt nicht erprobt wurde. Hierbei wird von einer breiten Fensterfront entlang der Längsseite des Stallabteils ausgegangen, die eine zusätzliche Beleuchtung der Pflanzen unnötig macht. Weiterhin wird auf die

Installation einer automatischen Bewässerung durch ein Hydrokultursystem verzichtet. Stattdessen werden lediglich Wandhalterungen unterhalb der Fenster für eine Bepflanzung mit Blumenkästen vorgesehen. Für die Betriebskosten wird vom Zukauf fertig bepflanzter Blumenkästen ausgegangen, die vom Stallpersonal gepflegt werden. Ein Wartungsvertrag mit einer Gartenbaufirma entfällt. Tabelle 19 gibt eine Übersicht über die beschriebenen Varianten und über die anteiligen Kosten pro Tier.

Tabelle 19: Kostenrechnung Stallbegrünung in der Ferkelaufzucht

Investitionskosten in €	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Bewässerungssystem	2.579,92	2.579,92	
Elektroinstallation	3.052,6	4.690,6	
Stallbauarbeiten	5.400	7.300	1.820
Summe	11.032,52	14.570,52	1.820
Abschreibung Nutzung 10 J.	1.103,25	1.457,05	182
Betriebskosten in € pro Jahr			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Stromkosten	762,12	1.314	
Pflanzen	800,8	1.183	1.920
Arbeit Gartenbau	8.580	9.680	
Arbeit Stallpersonal			2.000
Summe	10.142,92	12.177	3.920
Kosten in € pro Schwein			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Anzahl Schweine			
448	25,10	30,43	9,16
480	23,43	28,40	8,55
512	21,97	26,63	8,01
560	20,08	24,35	7,33
600	18,74	22,72	6,84
640	17,57	21,30	6,41

Für die Nachrüstung des Stallabteils ergeben sich für die im Projekt untersuchten Begrünungssysteme Zusatzkosten von 17,57 € bis 30,43 € pro Tier in Abhängigkeit der Auslastung der Tierplätze. Neben den einmaligen Investitionskosten sind es in erster Linie die laufend anfallenden Arbeiten zur Wartung des Begrünungssystems und zur Pflege der Pflanzen, die die Mehrkosten pro aufgezogenem Ferkel bestimmen. Doch selbst unter Einsparung dieser kostenintensiven Faktoren in Variante 3 fallen Zusatzkosten zwischen 6,41 € und 9,16 € pro aufgezogenem Ferkel an.

5.9. Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Die Grundlagen zur Erprobung von Begrünungssystemen in geschlossenen Stallanlagen wurden geschaffen, indem man geeignete Pflanzen und Vegetationsträger auswählte und die Anbringung, Pflege und die Steuerung der Trägersysteme im Stall ermöglichte.

In der Ferkelaufzucht wurden unter Stallgrünbedingungen weniger Tierverluste und ein besserer Gesundheitszustand der Tiere dokumentiert. Diese Effekte sind allerdings gering und konnten in der statistischen Auswertung nicht als signifikant nachgewiesen werden. Eine gesonderte Untersuchung von 300 Einzeltieren in drei Versuchsdurchgängen zeigte eine signifikant höhere Tagesgewichtszunahme in der Stallgrünvariante. Dieses Ergebnis konnte bei der Auswertung der mittleren Tiergewichte aller Versuchsreihen jedoch nicht bestätigt werden. Somit konnte insgesamt ein Nutzen im Sinne des Tierwohls, eine Reduktion der Tierverluste oder eine deutliche Erhöhung der Produktivität nicht signifikant nachgewiesen werden.

Die Fragestellung, ob ein innovatives Stallbegrünungssystem eine Verbesserung des Stallklimas und eine Minderung von Emissionen aus Nutztierhaltungen herbeiführt, ist sehr komplex und konnte in der hier durchgeführten praxisorientierten Forschung nicht geklärt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Pflanzen in Stallanlagen ein nur marginales Potential besitzen, Schadgase aus der Luft zu filtern. Das Schadgasminderungspotential zu ermitteln, ist reine Grundlagenforschung und insbesondere für das hoch reaktive Gas Ammoniak ausgesprochen kompliziert. Eine Verbesserung der Gesundheit von Mensch und Tier ließ sich auf der Basis von objektiven Schadgasparametern im Praxisversuch nicht signifikant nachweisen, jedoch war das subjektive Empfinden aller im Stallgrünabteil tätigen Personen stets besser. Die Pflanzen bringen einen Wohlfühlfaktor in den Stall und beruhigen das Auge von Mensch und Tier. In der Mehrzahl der Versuchsdurchgänge wurden im Stallgrünabteil niedrigere Temperaturen und höhere Luftfeuchten aufgezeichnet. Die durchgeführten Messungen mit Datenloggern zeigten hinsichtlich des Parameters Luftfeuchtigkeit signifikante Unterschiede.

Die Etablierung des Begrünungssystems und das Überleben und Gedeihen von Pflanzen unter den widrigen Stallbedingungen kann insgesamt als Erfolg betrachtet werden.

Der ökonomische Nutzen, der aus einer Stallbegrünung gezogen werden kann, rechtfertigt aktuell nicht die Kosten, um ein solches System zu installieren und zu betreiben. Jedoch ist der Ansatz, Pflanzen in den Stall zu integrieren, visionär und zukunftsweisend und kann zur Imageverbesserung der Tierhaltung in geschlossenen Systemen, aber auch in offenen Stallsystemen beitragen und das Vertrauen in die heimische Landwirtschaft stärken.

5.10. Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP Zielen

Das Forschungsprojekt „Innovative Stallbegrünungssysteme“ ist dem EIP Leitthema 2 „Verbesserung der Tierhaltung durch tiergerechte und leistungsorientierte Haltungs- und Zuchtverfahren“ zuzuordnen. Verschiedene Akteure aus den Bereichen der Landwirtschaft, des Gartenbaus, der Landtechnik, der Umweltanalytik sowie dazugehörige Forschungseinrichtungen arbeiteten im Projekt zusammen, um eine anwendungsorientierte innovative Lösung zu finden und eine mögliche Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis aufzuzeigen. Mit der Etablierung eines Stallbegrünungssystems im Schweine- und im Putenstall wurde eine technische Lösung entwickelt und strapazierfähige Pflanzen, die mit den widrigen Bedingungen im Tierstall zurechtkommen, evaluiert. Diese Entwicklung, verbunden mit der praktischen Umsetzung, besitzt Modellcharakter und bedeutet einen Innovationsvorsprung für die landwirtschaftliche Forschung im Land Brandenburg.

In einer thematischen Vortragsveranstaltung mit dem Titel „Aktuelle Herausforderungen in der Schweinehaltung“ mit insgesamt 54 Teilnehmern, vorrangig Landwirte aus Brandenburg, wurde dem Gedanken des Wissenstransfers und der Vernetzung von Akteuren untereinander Rechnung getragen.

5.11. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Aktuell kann aus den gewonnenen Erkenntnissen noch kein ökonomischer Nutzen für die Praxis abgeleitet werden. Die Innovation, die hinter diesem Pilotprojekt steckt, sollte jedoch nicht vollends verworfen werden. Es wurde vergleichbar zu dem aus den Niederlanden stammenden „Kuh - Garten“ (Leso et. al 2020), erstmals ein Prototyp eines Stallbegrünungssystems im geschlossenen Schweine- und Putenstall entwickelt. Damit wurde ein ergänzendes Element

bevorzugt in der Stallhaltung für Schweine praxisnah evaluiert, welches als Bestandteil für den „Stall der Zukunft“ dienen kann. Ein wichtiger Nutzen des Projektes besteht in seiner Pilot- und Vorzeigefunktion für andere Landwirtschaftsbetriebe und als Ideengebung für weitere innovative Stallsysteme. Auch fand die Projektinnovation, Pflanzen in den Stall zu integrieren, breites Interesse in der Öffentlichkeit, so dass diese auch zu einer positiveren Wahrnehmung der Landwirtschaft in der Bevölkerung beitragen kann.

5.12. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Ziel des Projektes war die Entwicklung innovativer Stallbegrünungssysteme zum Einsatz in der Nutztierhaltung und die Implementierung eines neuartigen Verfahrens zur Verbesserung des Stallklimas in Tierhaltungsanlagen durch Annäherung an einer an die Natur angepassten Umgebung im Sinne einer emissionsärmeren Tierhaltung. Der Abbau von Schadgasen, die Staubbindung sowie die Senkung des Lärmpegels sollten durch die Integration eines betriebsspezifischen Begrünungssystems erfolgen, welches mit geringem technischem Aufwand zu bestücken, zu integrieren, zu reinigen und weiter verwertbar sein sollte. Die hier angestrebten innovativen Stallbegrünungssysteme sollten sowohl in bestehende Tierhaltungen als modulare Begrünungssysteme integrierbar sein als auch bei der Entwicklung neuartiger Haltungssysteme mit eingeplant werden können.

Die technische Zielstellung, die Entwicklung eines Begrünungssystems und die Implementierung in den Tierstall wurde als Prototyp im Schweine- und im Putenstall erreicht. Eine annähernde Praktikabilität ist nur für den Schweinestall zu empfehlen. Es wurden geeignete Trägersysteme, Vegetationsträger sowie standortkompatible Pflanzen ermittelt, die die ungünstigen Umweltbedingungen (hohe Staublast, Schadgase, teilweise wenig Licht) auch über mehrere Haltungsperioden im Stall überstehen. Eine positive Auswirkung auf das Stallklima infolge einer Verringerung von Schadgasen konnte statistisch jedoch nicht ermittelt werden. Auch waren keine eindeutigen signifikanten Einflüsse auf die Tierleistungen und auf das Wohlbefinden der Tiere festzustellen.

5.13. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

Ein wirtschaftlicher Gesamteffekt für den Landwirtschaftsbetrieb konnte im Rahmen dieses Projektes nicht aufgezeigt werden. Aus wissenschaftlicher Sicht wäre eine umfangreiche Grundlagenforschung zur Schadgasaufnahmekapazität von Pflanzen, insbesondere Ammoniak, notwendig. Technologisch betrachtet, sollte das Begrünungssystem als Prototyp zur Marktreife weiterentwickelt werden, um bisher auftretende Störfaktoren zu beheben und das Gesamtsystem auf eine höhere Entwicklungsstufe zu stellen. Auch müssen Lösungen geschaffen werden, die die bisher umfangreiche Anzucht der Pflanzen im Vorfeld vereinfachen. Dafür ist ein Anschlussprojekt im Rahmen des Programmes zur Innovationsförderung des BMEL (DIP) angedacht.

Weiterhin muss der Nachweis erbracht werden, dass Grünpflanzen im Stall das Stallklima und damit den Emissionsausstoß positiv beeinflussen können. Diese Untersuchungen sollten in einem kontrollierten Versuchsstall durchgeführt werden, wo Umwelt- und Praxiseinflüsse weitestgehend ausgeschlossen bzw. gleichbleibend vorkommen. Dazu ist im Rahmen des Netzwerks EMITI, welches von der FFG geführt wird, eine Zusammenarbeit mit der Universität Wien und der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein angedacht.

Die AG Ranzig als OG-Praxispartner ist an einer Fortführung der Stallbegrünung interessiert und wird diese für mindestens einen Tierdurchgang eigenständig betreiben. Weitere Landwirtschaftsunternehmen und Forschungseinrichtungen zeigten Interesse an den Forschungsergebnissen und an der praktischen Einführung des Stallbegrünungssystems.

6. Zusammenarbeit der operationellen Gruppe

Die Zusammenarbeit der operationellen Gruppe kann als kooperativ beschrieben werden und war über weite Zeiträume von hoher Aktivität gekennzeichnet. In zahlreichen Projekttreffen wurde der Zwischenstand der durchgeführten und geplanten Arbeiten diskutiert und Entscheidungen hinsichtlich der im Projekt bearbeiteten Fragestellungen gemeinschaftlich erarbeitet und im Konsens

festgelegt. Die alltägliche Kommunikation erfolgte innerhalb des Projekts häufig bilateral zwischen den beteiligten Partnern. Zusätzlich initiierte die FFG in ihrer Rolle als Lead-Partner zahlreiche Beratungen und Gespräche mit einzelnen Projektpartnern und erfüllte so die Funktion der Projektkoordination. Als Plattform für den Datenaustausch zwischen den Projektpartnern wurde ein FTP-Server eingerichtet, auf dem Zwischenergebnisse, Protokolle und weitere Daten von den Mitgliedern der operationellen Gruppe ausgetauscht werden konnten. Die Mitglieder erfüllten ihre Aufgaben gemäß der im Kooperationsvertrag festgelegten Vereinbarungen.

7. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Die Verbreitung der Projektergebnisse und die Öffentlichkeitsarbeit waren wichtige Aufgaben innerhalb des EIP-Projekts, die von den Projektpartnern und insbesondere durch den Lead-Partner erfüllt wurden. Dafür wurden vielfältige Kommunikationskanäle genutzt und das Projekt gegenüber Wissenschaft, Praxis und der breiteren Bevölkerung regional, national und international bekannt gemacht. Zu den durchgeführten Methoden der Bekanntmachung des Projekts und der Verbreitung von Projektergebnissen zählten Artikel in Fachmagazinen, Tagungen und Workshops, Messeauftritte, Vorträge und Fernsehbeiträge. Hervorzuheben ist hier die von der Frankenfelder Forschungsgesellschaft durchgeführte Tagung zum Thema „Aktuelle Herausforderungen in der Schweinehaltung“, zu der über 50 Personen, größtenteils Landwirte, teilnahmen sowie ein Fernsehbeitrag im Rahmen der Sendung „Unser Land“ des Bayerischen Rundfunks. Als ein weiterer Höhepunkt kann die Eröffnung des Humboldt-Forums in Berlin genannt werden, bei der eine gesonderte Ausstellung zum Thema Stallbegrünung in die Veranstaltung integriert und somit Projektergebnisse der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurden.

Tabelle 19 Veröffentlichung von Projektergebnissen

Vorträge und Poster auf Veranstaltungen	
05./06.03.2018	2. bundesweiter EIP-Workshop in Weimar, Poster
24./25.04.2018	EIP-Workshop für OG`s zum Thema Schweinehaltung, Haus Düsse, Vortrag
11.05.2018	BRALA, Paaren-Glien, Vortrag
29./30.05.2018	EIP-Workshop für OG`s, Uelzen, Vortrag
09.06.2018	Brandenburger Landpartie, Ranzig, Poster
28.11.2018	Workshop Netzwerk farm4net, Potsdam, Poster
19.02.2019	FFG-Workshop „Aktuelle Herausforderungen in der Schweinehaltung“, Seddin, Vortrag
06.03.-08.03.2019	DGG & BHGL Jahrestagung, Poster
09.03.2019	DGG & BHGL Jahrestagung Exkursion, Poster
14./15.03.2019	3. bundesweiter EIP-Workshop in Arnstadt, Poster
15./16.06.2019	Brandenburger Landpartie, Ranzig, Poster
23.10.2019	Arbeitsgruppentreffen Tierschutzplan Brandenburg, AG Schwein, Seddin, Vortrag

19.02.2020	Mitgliederversammlung Erzeugergemeinschaft Flämingfleisch e.V., Dahmetal, Vortrag
20.-23.09.2021 (in Planung)	Konferenz in Cambridge, Vortrag
Messen und Ausstellungen	
09.-12.05.2019	BRALA, Paaren-Glien, Messestand
15.06.2019	Lange Nacht der Wissenschaften, Berlin, Führung
24.11.2020	Demonstrationsveranstaltung: Regionale Forschung und Hochschulpräsenz, Luckenwalde, Modell
ab 09.06.2021	Humboldt-Forum Berlin, Ausstellung, Modell
Publikationen in Medien	
37. KW 2019	Deutsche Bauernzeitung, Artikel
50. KW 2019	Deutsche Bauernzeitung, Artikel
01.01.2020	agrarheute, Artikel
05.06.2020	Bayerischer Rundfunk – Fernsehsendung „Unser Land“, Beitrag
11.06.2020	Youtube-Kanal „Unser Land“, Beitrag
01.04.2021	DEGA Gartenbau, Artikel
07/21(in Planung)	MDPI, Artikel

8. Literaturverzeichnis

Agency, E. E: European community emission inventory report 1990–2008 under the UNECE convention on long-range transboundary air pollution; European Environment Agency, Copenhagen, Denmark: 2010.

Bernatzky, A. 1973: Baum und Mensch. Frankfurt am Main: Kramer.

Bornman J.F., Evert R.F., Mierzwa R.J. & Bornman C.H. 1986: Fine structural effects of UV radiation on leaf tissue of *Beta vulgaris* Worrest R.C., Caldwell M.M. (Hrsg.): Stratospheric ozone reduction, solar ultraviolet radiation and plant life NATO ASI series G 8 Springer Verlag Heidelberg.

Büscher, W.; J., Henseler-Paßmann; A., Schmithausen 2012: Feinstaubbelastungen in Tierställen - Situationsbewertung und Minderungsmaßnahmen. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 169, 212.

Dong, H., G. Kang, Z. Zhu, X. Tao, Y. Chen, H. Xin, and J. D. Harmon. 2009: Ammonia, Methane, and Carbon Dioxide Concentrations and Emissions of a Hoop Grower-Finisher Swine Barn. *T Asabe* 52(5):1741-1747.

FLL 2008, 2011: Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen, 2. u. 3. Aufl., Bonn.

Humann, M. J., Sanderson, W. T., Gerr, F., Kelly K. M., und Merchant, J., A. 2012: Effects of Common Agricultural Tasks on Measures of Hearing Loss, *AMERICAN JOURNAL OF INDUSTRIAL MEDICINE* 55:904–916.

Leso, L., Barbari, M., Lopes, M.A., Damasceno, F.A., Galama, P., Taraba, J.L., Kuipers, A. 2020: Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows, *Journal of Dairy Science*, Volume 103, Issue 2, 1072-1099,

Monreal, M. und K.-H. Kerstjens 1995: Positive schallakustische Wirkung - Pflanzen im Raum schlucken viel Schall. *DeGa Innenraumbegrünung*. 16, 931-933.

Stennis, J. C. 1989: Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement.

Van der Heyden, C., P. Demeyer, and E. I. P. Volcke. 2015: Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. *Biosyst Eng* 134:74-93.

Wang, X. S., X. Y. Zhao, Y. He, and K. Y. Wang. 2019: Cough sound analysis to assess air quality in commercial weaner barns. *Comput Electron Agr* 160:8-13.

Wolverton, B.C und Wolverton, J.D, 1993: Plants and soil microorganisms: removal formaldehydes, Xylem and Ammonia from the indoor environment. *Journal of the Mississippi academy of sciences*, Vol 38 No. 2, S. 11-16.

Wood, R. A, 2001: Pot-plants really do clean indoor air. *The Nursery Papers NIAA*. 2.

Xu, K., C. M. Zheng, and H. Ye. 2020: The transpiration characteristics and heat dissipation analysis of natural leaves grown in different climatic environments. *Heat Mass Transfer* 56(1):95-108.

Zong, C., H. Li, and G. Q. Zhang. 2015: Ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pig house with two types of partial pit ventilation systems. *Agr Ecosyst Environ* 208:94-105.

<https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Tierschutzplan-Brandenburg-2017.pdf>