

Abschlussbericht

zum Projekt

„Optimierung der Freilandhaltung von Legehennen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen im Auslauf in partizipativem Ansatz mit der Praxis“ (OPAL)



Holzhackschnitzel

Strohhäcksel

Strohpellets



DBU-Aktenzeichen: 33974/01

Verfasser: M.A. Frauke Deerberg, Dr. Friedhelm Deerberg, Prof. Dr. Jürgen Heß

Projektbearbeitung: M.A. Frauke Deerberg

Projektleitung: Prof. Dr. Jürgen Heß

Fachgebiet Ökologischer Land- & Pflanzenbau
Universität Kassel

Projektbeginn: 16.07.2018

Laufzeit: 4 Jahre, 7 Monate

Witzenhausen, März 2023

gefördert durch



www.dbu.de



Ökologische Agrarwissenschaften U N I K A S S E L

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az **33974/01**Referat **36**

Fördersumme

589.575 €

Antragstitel **Optimierung der Freilandhaltung von Legehennen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen im Auslauf in partizipativem Ansatz mit der Praxis**

Stichworte Boden, Emissionsminderung/Umweltbelastung, Landwirtschaft/Umweltgerechte Landnutzung, Umweltorientiertes Management/Nachhaltigkeitsmanagement, Tierproduktion, organisch, Stallbau, Stickstoff, Verminderung

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
4 Jahre, 7 Monate	16.07.2018	31.01.2023	3+2

Zwischenberichte	15.Juli 2019
	15.Juli 2020
	15.Juli 2021

Bewilligungsempfänger Universität Kassel
Präsidium
Mönchebergstr. 19
34125 Kassel

Tel +49 554298-1606

Fax

Projektleitung
Prof. Dr. Jürgen HeßBearbeiterin
Frauke Deerberg**Kooperationspartner****Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Aufgrund der wachsenden Nachfrage der Verbrauchenden nimmt die Freilandhaltung von Legehennen stetig zu. Laut Eier-Vermarktungsverordnung und EU-Öko-Verordnung müssen jedem Tier mindestens 4 m² Auslauffläche zur Verfügung stehen. Allerdings wird die Auslauffläche jedoch nicht gleichmäßig von den Tieren genutzt: Da die Tiere sich bevorzugt in Stallnähe aufhalten, werden der überdachte Stallrand und der angrenzende Nahbereich überproportional genutzt. Die Bevorzugung und intensive Nutzung (Scharren, Picken, Sandbaden, Koten) dieser Bereiche führt zwangsläufig zu einer punktuellen Akkumulation von Nährstoffen und bewirkt i. d. R. dauerhaft eine nahezu vollständige Zerstörung der Grasnarbe im Nahbereich der Ställe. Dies hat zur Folge, dass eingetragene Nährstoffe ausgewaschen werden können.

In das transdisziplinär angelegte Projekt wurden acht Betriebe mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen und Haltungskonzepten einbezogen. Die jeweiligen Auslaufkonzepte wurden bezüglich ihrer Nährstoffdynamiken untersucht, evaluiert und in Zusammenarbeit mit den Landwirt:innen im Rahmen regelmäßiger Besprechungen vor Ort, via Zoom und in Workshops optimiert. Die Optimierungsmaßnahmen sollen dazu beitragen, die verschiedenen Haltungssysteme tiergerecht und zukunftsfähig zu gestalten und gleichzeitig die wirtschaftliche Existenz der Landwirt:innen stützen.

Ziel ist es, das Management und die Gestaltung des Auslaufes sowie die Konzeption der Ställe soweit zu optimieren, dass der Eintrag sowie Verlagerung oder gar Auswaschung von Nährstoffen auf ein Minimum reduziert bzw. ganz verhindert wird. Zeitgleich soll ein möglichst großer Teil der Tiere den Auslauf nutzen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Insgesamt umfasste die Projektlaufzeit 55 Monate. Sie setzte sich zusammen aus einer Hauptlaufzeit von 36 Monaten und zwei kostenneutralen Verlängerungen von 13 und sechs Monaten.

Die Hauptlaufzeit umfasste drei Jahre und drei winterliche Sickerwasserperioden. Analog dazu war das Projekt in drei Phasen untergliedert. Jede der drei Projektphasen umfasste eine winterliche Sickerwasserperiode (Oktober bis März).

Anders als in der Vegetationsperiode, in der bedingt durch Evapotranspiration weniger Sickerwasser gebildet wird, ist die Wasserbewegung in der winterlichen Sickerwasserperiode i. d. R. abwärtsgerichtet. Dies wiederum begünstigt eine Verlagerung von Nährstoffen in tiefere Bodenschichten. Deshalb sind Maßnahmen wichtig, die eine Verminderung oder Vermeidung von Nährstoffeinträgen über den Zeitraum einer winterlichen Sickerwasserperiode bewirken.

In der ersten Projektphase wurden die Ausläufe nach optischen Nutzungsmerkmalen in Zonen unterteilt. Diese wurden in 0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe beprobt und auf Nitrat-(NO₃-N) und Ammoniumstickstoff (NH₄-N) untersucht. So konnten die besonders stark von Stickstoffeinträgen belasteten Bereiche der einzelnen Betriebe identifiziert werden. Im Anschluss wurden gemeinsam mit jedem der acht Betriebe in einem persönlichen Gespräch, Lösungsansätze und Handlungsoptionen erarbeitet mit dem Ziel, betriebsindividuell eine Reduktion der Nährstoffeinträge in den Auslaufflächen zu erwirken. Um den Effekt und die Wirksamkeit dieser Optimierungsmaßnahmen besser abschätzen zu können, gab es auf den Betrieben Auslaufflächen, die optimiert und solche, die betriebsüblich weitergeführt wurden. Die fortlaufend durchgeführten Bodenproben gaben Aufschluss über die N_{min}-Dynamik im Boden.

Auf Basis dieser Evaluation wurden die Optimierungsmaßnahmen in der dritten Projektphase erneut überarbeitet und angepasst.

Des Weiteren wurde zur Messung der Vegetationsanteile der Auslaufflächen der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) an ausgewählten Zeitpunkten im Projektzeitraum bestimmt. Dies geschah durch geoinformatische Auswertung von Satellitenbildern.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen der Status-quo Erhebungen wurden folgende Bereiche identifiziert, in denen mineralischer Stickstoff (N_{\min}) in hohem oder besonders hohem Maße akkumuliert wird:

1. Die Standflächen von Mobilställen ohne eigene Bodenplatte
2. Die überdachten Stallrandbereiche bei stationären Legehennenställen
3. Die Nahbereiche von stationären und mobilen Legehennenställen
4. Hütten/Unterstände und Gehölzstreifen/Hecken

Für die sog. Roten Gebiete gilt, auf den Schlag bezogen, eine Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr (bzw. 17 g/m²). Die ökologischen Anbauverbände Bioland und Naturland geben diese N-Obergrenze für den Legehennenauslauf vor. Bei den oben genannten Bereichen handelt es sich i. d. R. um Flächen von wenigen bis einigen hundert Quadratmetern auf denen z. T. 300 g N_{\min} /m² und mehr gemessen wurden.

Die gemeinsam mit den Landwirt:innen erarbeiteten Lösungsansätze bestehen je nach Bedarf aus einer Unterflursicherung und/oder dem Einsatz von Transfersubstraten.

Zur Unterflursicherung von Mobilställen ohne eigene Bodenplatte wurde eine mobile Unterziehplane entwickelt und auf der Winterstandfläche eines Kufenstalls verwendet. Nach einer Standphase von sechs Monaten konnten von der mobilen Unterziehplane insgesamt 13 t Mist entnommen werden, was umgerechnet etwa 264 kg Stickstoff entspricht. Umgerechnet auf die Stallgrundfläche von 192 m² entspricht das einer Menge von 1.375 g N/m², die von der Plane entnommen wurde. Die N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Standphase mit mobiler Unterziehplane waren statistisch signifikant geringer und lagen im statistischen Mittel 45 bzw. 32 g/m² unter denen der Vorjahre. Allerdings bedarf es einer Weiterentwicklung der Plane, vor allem was die Reißfestigkeit des Materials anbelangt, sowie weiterer Forschung, um eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und weitere Erfahrung im Umgang mit der Plane (z. B. was das Abmisten betrifft) zu ermöglichen.

Zur Unterflursicherung von Schutzhütten und Unterständen wurden IBC-Container zu „IBcon-Chicks“ umgebaut, als Schutzhütten mit eigener Bodenplatte und mit Transfersubstraten (Sand oder Strohgranulat) versehen und in zwei Ausläufen eines Praxisbetriebes aufgestellt. Die „IBcon-Chicks“ bieten den Tieren Schutz und bearbeitbares Einstreumaterial. Zugleich werden durch die Unterflursicherung (Bodenplatte der Container) direkte Nährstoffeinträge in den Boden verhindert. Durch das Verteilen der „IBcon-Chicks“ in der Fläche ist ggf. auch eine bessere Auslaufannahme zu erreichen. Hütten sollten daher, ebenso wie Mobilställe, in kurzen Intervallen versetzt werden, um eine Nährstoffakkumulation in den unmittelbar umliegenden Bereichen zu vermeiden und zudem über eine eingebaute (bzw. mobile) Bodenplatte bzw. Unterflursicherung verfügen.

Da mineralische Substrate (Schotter, Kies und Sand) nicht in der Lage sind, Nährstoffe aufzunehmen und aus einer Vielzahl anderer Gründe ungeeignet für den Außenbereich von Geflügelausläufen sind, wurden für die Optimierungen organische Substrate auf Holz- oder Strohbasis in Häcksel- oder Pelletform zum Einsatz gebracht. In den Substraten konnte ein deutlicher Anstieg der N_T -Gehalte über die Liegedauer gemessen werden, der in einem Fall, nach einer Liegedauer der eingesetzten Holzhackschnitzel von 167 Tagen, bei im Durchschnitt 99 g/m² lag. Auch quellfähige Substrate wie Strohpellets erwiesen sich als geeignet. So konnte bei den auf einem anderen Betrieb eingesetzten Strohpellets am Ende der Liegedauer eine Zunahme der N_T -Gehalte von 158 g/m² auf insgesamt 382 g N_T /m² festgestellt werden.

Strohhäcksel und Grünschnitt erwiesen sich im Nahbereich aus hygienischer Sicht und aufgrund starker Umsetzungsprozesse als ungeeignet.

Entscheidend ist in jedem Fall der Abtransport des angereicherten Materials von der Fläche, um tatsächlich einen Nährstoffentzug bewirken zu können. Bei zu langer Liegedauer kann es zu einem Rückgang der Nährstoffhaltekapazität der Substrate kommen, insbesondere die Stickstoffgehalte sanken bei einer Liegedauer von mehr als 300 Tagen. Zudem konnte bei langer Liegedauer eine Verschlammung der Substrate beobachtet werden.

Ein regelmäßiger Austausch der organischen Substrate mindestens vor und nach der winterlichen Sickerwasserperiode ist daher ratsam.

Auch die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor lagen in den stark frequentierten Bereichen oftmals in der Gehaltsklasse E, bei der keine weitere Düngung empfohlen wird. Diese findet aber zwangsläufig durch den fortlaufenden Kotabsatz statt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

14 Vorträge darunter (eine Auswahl):

- Deerberg Fri: Herausforderungen an das künftige Management von Legehennenausläufen, EuroTier 2018, DLG Forum, Hannover, 13.11.2018
- Heß J: Untersuchungen und Erkenntnisse zum Auslaufmanagement – 23. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Bad Schussenried, 12.03.2019
- Deerberg, Fra: & B. Delics: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen. 25. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Online-Veranstaltung, 10.03.2021
- Deerberg Fra & B Delics*: (Kein) Nährstoffmanagement im Nahbereich von Legehennenausläufen. 26. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Online-Veranstaltung, 29.02.2022
- Deerberg Fra*: Shit Happens – der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt Nährstoffmanagement im Nahbereich von Legehennenausläufen. Netzwerk Fokus Tierwohl, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 14.07.2022
- Deerberg Fra., Heß J, Deerberg Fri*: Nährstoffeinträge in Geflügel-/Legehennenausläufen. Fachgespräch vor dem Fachausschuss Geflügel des Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW), 22.10.2022
- Deerberg Fra: Reduzierung von Nährstoffausträgen aus der Freilandhaltung von Legehennen. Fachtagung „Gewässerschutz – Den Systemvorteil Ökolandbau nutzen“, Rendsburg, 29.11.2022

12 Beiträge in Lehrveranstaltungen darunter (eine Auswahl):

- Heß J: Nährstoffkreisläufe im Ökologischen Landbau, Beispiel Legehennen. Modul Nährstoffkreisläufe, Energie- & Ökobilanzen, M.Sc. Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel, 25.10.2018
- Deerberg Fri: Nährstoffdynamik in der Öko-Legehennenhaltung, Modul Tierhaltung im ökologischen Landbau, B.Sc. Landwirtschaft (u. a.), Hochschule Osnabrück, Sommersemester 2019
- Deerberg Fra & B Delics*: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen, Modul Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffkreisläufe, 5./6. Sem. B.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 10.06.2021
- Deerberg Fra: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen, Modul Nährstoffkreisläufe, Energie- & Ökobilanzen, M.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 11.11.2022

Veröffentlichungen:

- Delics B, Deerberg Fra, Deerberg Fri, Ruf M & J Heß (2019) Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen. Problembereiche im Auslauf. In: „Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft“, (Hrsg.) D. Mühlrath, Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 06.-09.03.2019, Kassel, 288-289
- Deerberg Fra, Jalane V, Deerberg Fri & J Heß (2019): Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen. Eignung von Kies im Nahbereich. In: „Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft“, (Hrsg.) D. Mühlrath, Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 06.-09.03.2019, Kassel, 286-287
- Deerberg Fra, Deerberg Fri., Delics B. & J Heß (2020): Kies und Schotter eine Abfuhr erteilen. In: DGS-Magazin 49/2020

Öffentlichkeitsarbeit:

- Delics B, Deerberg Fra, Deerberg Fri, Kluth J & J Heß (2019): Demoanlage und Poster zu der Thematik „Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen“ auf den Öko-Feldtagen, Domäne Frankenhäusen, 03.-04.07.2019

Eingangsworkshop des Projektes:

Allgemeine Einführung in die Thematik, Diskussion der Teilnehmenden zu den Themen Auslaufgestaltung, Flächenbeimessung und Problembereiche sowie Erkenntnisse vorangegangener Untersuchungen, 30.01.2019

Zweiter Projektworkshop:

Präsentation des neuesten Erkenntnisstandes, insbesondere des Einsatzes von Substraten im überdachten Stallrand und Nahbereich von Legehennenställen, Erfahrungsaustausch der Landwirt:innen zu den Optimierungsmaßnahmen, 21.01.2021

Erstellen eines Kurzfilmes zum Thema „gute Auslaufakzeptanz – Beispiele aus der Praxis“

Abschlussworkshop des Projektes:

Präsentation des neuesten Erkenntnisstandes, insbesondere des Einsatzes einer mobilen Unterziehpole, IBcon-Chicks (Schutzhütten mit Unterflursicherung aus IBC-Containern) und Substraten im Nahbereich von Legehennenställen, 04.07.2022

Im weiteren Verlauf wurden Projektergebnisse bereits auf der 27. Internationalen Bioland Geflügeltagung vorgestellt.

Zudem gab es am 09.03.2023 anlässlich der 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau einen Workshop zum Thema (Titel: Shit Happens – auch im Legehennenauslauf!?).

Die Projektergebnisse werden auch zukünftig durch Vorträge, Öffentlichkeitsarbeit, Veröffentlichungen und Lehrveranstaltungen in Beratung, Praxis sowie Lehre und Forschung getragen.

Fazit

Die im Rahmen des Projektes monatlich gezogenen Bodenproben ermöglichen es, die Dynamik des mineralischen Stickstoffes in einer Tiefe von 0-90 cm im Boden sichtbar zu machen und nachzuvollziehen.

Um zu verhindern, dass die während der Standzeiten anfallenden Kotmengen auf dem gewachsenen Boden eingetragen werden, sollten Mobilställe grundsätzlich über eine eigene eingebaute Bodenplatte verfügen. Durch die im Projekt eingesetzte mobile Unterziehplane bleibt die Mobilität der Ställe erhalten (anders als bei Betonplatten, die feste Standplätze vorgeben). Allerdings bedarf es einer Weiterentwicklung der Plane, vor allem was die Reißfestigkeit des Materials anbelangt, sowie weiterer Forschung, um eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und weitere Erfahrung im Umgang mit der Plane (z. B. was das Abmisten betrifft) zu ermöglichen.

Hütten sollten, ebenso wie Mobilställe, regelmäßig versetzt werden und über eine eigene Bodenplatte verfügen.

Mineralische Substrate wie Schotter, Kies und Sand sollten im Außenbereich von Geflügelställen nicht eingesetzt werden, da sie nicht in der Lage sind, Nährstoffe zu binden. Für Schotter und Kies besteht zudem ein kaum lösbares Problem was die sach- und fachgerechte Aufbereitung und Entsorgung des Materials (kontaminierter Bauschutt) anbelangt.

Organische Substrate wie etwa Holzhackschnitzel oder Strohpellets erwiesen sich als deutlich besser geeignet. Ein regelmäßiger Austausch des Materials ist nötig. Zudem besteht weiterer Forschungsbedarf was Menge, Liegedauer und Eigenschaften der Substrate anbelangt.

Hecken und Gehölzstreifen können zu einer besseren Verteilung der Tiere in die Fläche beitragen, sind mitunter aber so beliebt, dass es in ihrem Umkreis ebenfalls zu problematischen Nährstoffakkumulationen kommt.

Die Forschungsarbeit auf Praxisbetrieben unterliegt einer Vielzahl an Variablen, die interagieren und so die Ergebnisse beeinflussen. So haben Management, wie etwa Pflegemaßnahmen im Auslauf, oder eine Haltung anderer Tiere im Legehennenauslauf, aber auch das Verhalten der Hühner, Einfluss auf die Nährstoffgehalte im Boden. Ebenso sind die Effekte der Substrate nicht immer und in jedem Fallbeispiel lückenlos mit den Stickstoffdynamiken im Boden zusammenzubringen. In Anbetracht der (teils sehr) hohen Stickstoffgehalte, die punktuell gemessen werden konnten, sind Lösungsansätze jedoch dringend erforderlich, um die Freilandhaltung von Legehennen zukunftsfähig zu gestalten. Hierfür bedarf es weiterer Forschung, die, um Ursache und Wirkung noch klarer in Zusammenhang zu bringen, sowohl modellhaft unter ceteris paribus Bedingungen als auch unter Praxisbedingungen stattfinden muss. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Lösungsansätze sowohl den Ansprüchen der Landwirt:innen als auch denen der Tiere und des Umweltschutzes genügen müssen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	vii
Abkürzungsverzeichnis	viii
Zusammenfassung	1
1 Einführung/Motivation	5
2 Zielsetzung und Anlass des Projektes	6
3 Projektablauf	6
4 Methodik/Vorgehensweise	8
5 Projektergebnisse und erste Diskussion	12
5.1 Mobilställe ohne eigene Bodenplatte	13
5.1.1 Betrieb 1.....	13
5.1.2 Betrieb 2.....	15
5.2 Überdachte Stallrandbereiche	17
5.2.1 Betrieb 6.....	17
5.2.2 Betrieb 8.....	19
5.2.3 Betrieb 3.....	23
5.2.4 Betrieb 7.....	32
5.3 Nahbereiche.....	33
5.3.1 Betrieb 1.....	33
5.3.2 Betrieb 2.....	34
5.3.3 Betrieb 3.....	40
5.3.4 Betrieb 4.....	41
5.3.5 Betrieb 5.....	45
5.3.6 Betrieb 6.....	47
5.3.7 Betrieb 7.....	48
5.3.8 Betrieb 8.....	52
5.4 Gehölzstreifen und Schutzhütten.....	54
5.4.1 Betrieb 2.....	54
5.4.2 Betrieb 4.....	55
5.4.3 Betrieb 7.....	57
5.4.4 Betrieb 5.....	58
5.5 Satellitenbilddauswertung	66

5.5.1	Betrieb 2.....	66
5.5.2	Betrieb 3.....	68
6	Öffentlichkeitsarbeit/Veröffentlichungen.....	69
7	Fazit/Ausblick	72
8	Literaturverzeichnis	78
9	Anlagen/Anhang.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung eines Legehennenauslaufes mit unterschiedlich genutzten Bereichen (Querschnitt).....	5
Abbildung 2:	Skizze der Funktionsweise der Unterziehplane für Mobilställe ohne eigene Bodenplatte (links) und Fotoaufnahme des Unterziehens (rechts)	13
Abbildung 3:	Mittlere N_{min} - Gehalte (emmeans (+SE)) im Boden (0-90 cm) des Winterstandplatzes nach den drei Standphasen mit und ohne Unterziehplane	14
Abbildung 4:	N_{min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der unbefestigten Standfläche von Betrieb 2 im Untersuchungszeitraum (April 2019 bis Mai 2021).....	16
Abbildung 5:	Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte (P_{CAL}) im Boden (0-60 cm) der unbefestigten Standfläche von Betrieb 2	16
Abbildung 6:	N_{min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallrandbereiche der Ausläufe von Betrieb 6 im Untersuchungszeitraum der Status quo -Erhebungen.....	18
Abbildung 7:	Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte (P_{CAL}) im Boden (0-60 cm) in den überdachten Randbereichen der vier Ausläufe von Betrieb 6	18
Abbildung 8:	Gittergewebe im Nahbereich von Betrieb 6 (September 2019).....	19
Abbildung 9:	Mit Sand bestückter Nahbereich und angrenzender überdachter Stallrandbereich während der Status quo-Erhebungen (a), überdachter Stallrand (betriebsübliche Variante) (b), nivellierter, überdachter Stallrand mit Holzpellet-Big Bags (c), mit Holzpellets optimierter, überdachter Stallrandbereich 81 Tage nach Ausbringung der Holzpellets (d)	20
Abbildung 10:	N_{min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallrandbereiche der vier Teilflächen im Untersuchungszeitraum der Status quo- Erhebungen (in allen Teilflächen Sand bzw. Sandboden (betriebsüblich)) und der Optimierung 1 (in den Teilflächen A1 und B1 Holzpellets (optimiert), in den Teilflächen A2 und B2 betriebsüblich).....	21
Abbildung 11:	Überdachte Stallrandbereiche mit Holzpelletaufgabe (a-e und g) im zeitlichen Verlauf während des Untersuchungszeitraumes, Verschleppung des Materials in den angrenzenden Wintergarten (d), betriebsüblich weitergeführter überdachter Stallrand (f) und starke Frequentierung der überdachten Stallrandbereiche durch andere Tiere im Auslauf (h)	22
Abbildung 12:	Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte (P_{CAL}) im Boden (0-60 cm) der überdachten Randbereiche der vier Teilflächen an den drei Probenahmeterminen (2019, 2020 und 2021)	23

Abbildung 13: Gestaltung des überdachten Randbereiches der Ausläufe 1 bis 4 von Betrieb 3 (schematisch) in den drei Projektphasen (Status quo-Phase, Optimierung 1 und Optimierung 2)	24
Abbildung 14: Aufnahmen des überdachten Stallrandbereiches von Auslauf 4 nach Ausbringung der Substrate Holzhackschnitzel (Variante 4A) und Sand (Variante 4B) im Mai 2019 (a) und im Juli 2019 nach Verschleppung der Holzhackschnitzel auf die Sandvariante (b)	25
Abbildung 15: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallränder unterhalb der für die Optimierungen 1 und 2 eingesetzten Substrate Sand (betriebsüblich, schwarz) und Holzhackschnitzel (optimiert, grün) in den Ausläufen 1 (gestrichelte Linie) und 4 (durchgezogene Linie)	26
Abbildung 16: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallränder unterhalb der für die Optimierungen 1 und 2 eingesetzten Substrate Sand (betriebsüblich, schwarz) und Strohhäcksel mit Holzhackschnitzeln (optimiert, grün) in den Ausläufen 1 (gestrichelte Linie) und 4 (durchgezogene Linie) über den Zeitraum von der Ausbringung bis zur Beprobung der Substrate (*Aufstallung der Tiere in Mrz. und Apr. 2021 aufgrund der Vogelgrippe)	27
Abbildung 17: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) des Substrates Sand nach dessen Ausbringung (Ausgangssubstrat) und zum Zeitpunkt der Substratbeprobung (Mai 2019 und April 2021, Endsubstrat) gemittelt über Ausläufe und Probenahmestellen	29
Abbildung 18: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der Holzhackschnitzel nach deren Ausbringung (Ausgangssubstrat) und zum Zeitpunkt der Substratbeprobung (Mai 2019 und April 2021, Endsubstrat) gemittelt über Ausläufe und Probenahmestellen	30
Abbildung 19: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der Substrate Strohhäcksel mit Holzhackschnitzel nach deren Ausbringung (Ausgangssubstrat) und zum Zeitpunkt der Substratbeprobung (Mai 2019 und April 2021, Endsubstrat) gemittelt über Ausläufe und Probenahmestellen	30
Abbildung 20: Überdachter Stallrandbereich und angrenzender Nahbereich mit Gleisschotterbett (a), Nahaufnahme der starken Kotauflage auf und zwischen dem Gleisschotter im überdachten Stallrandbereich (b) (Aufnahmen vom 6.08.2019)	32
Abbildung 21: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der beiden Nahbereiche des Winterstandplatzes von Betrieb 1, von November 2018 bis Januar 2022 (Monate in denen die Tiere Zugang zum Bereich hatten sind schwarz umrandet)	33
Abbildung 22: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) und Nutzungszeiträume der Nahbereiche von Stall 1 und Stall 2 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (Nov. 2018 bis Mai 2021)	36
Abbildung 23: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) und Nutzungszeiträume der Nahbereiche von Stall 3 und Stall 2 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (Nov. 2018 bis Mai 2021)	37
Abbildung 24: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in der Optimierung 1 von Stall 1 verwendeten Strohhäcksel und des Grünschnitts vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 163 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen	37
Abbildung 25: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (emmeans (+SE)) der in der Optimierung 2 von Stall 1 verwendeten Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 153 bzw. 215 Tagen	38

Abbildung 26: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in der Optimierung 1 von Stall 3 verwendeten Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 101 und 374 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen.....	39
Abbildung 27: Bildreihe der in der Optimierung 1 von Stall 3 ausgebrachten Strohpellets über die Liegedauer (Januar 2020 bis Februar 2021, 374 Tage)	40
Abbildung 28: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der Nahbereiche der Ausläufe 1 bis 4 von Betrieb 3 (Nov. 2018 bis März 2020)	41
Abbildung 29: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der Nahbereiche von Betrieb 4 während der Status quo-Erhebungen (Nov.2018 – Dez.2019) und der Optimierung 1 (Jan. – Okt. 2020), in der im Nahbereich von Auslauf 2 Strohpellets eingesetzt wurden.....	42
Abbildung 30: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in der Optimierung 1 von Auslauf 2 verwendeten Substrate Stroh mit Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 161 und 323 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen.....	43
Abbildung 31: Mittlere Gesamtphosphorgehalte (P_t) und deren Anteil pflanzenverfügbaren Phosphors (P_{CAL}) der in der Optimierung 1 von Stall 3 verwendeten Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 101 und 374 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen	44
Abbildung 32: Bildreihe des Nahbereichs von Auslauf 2 (Betrieb 4) vor (a) und nach Ausbringung des Strohs und der Strohpellets (b-i) über die Liegedauer (Dezember 2019 bis Oktober 2020, 323 Tage).....	45
Abbildung 33: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der Zone 1 der Ausläufe 1 bis 4 von Betrieb 5 (Nov. 2018 bis März 2020)	46
Abbildung 34: N_{\min} -Gehalte im Boden (0- 90 cm) der Nahbereiche von Auslauf 2 und 4 (Betrieb 6) von November 2018 bis Mai 2019.....	47
Abbildung 35: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der Zone 1 der Ausläufe 1-4 von Betrieb 7 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (Nov. 2018 bis Mai 2021) mit arithmetischen Mitteln (gerade Linie ohne Markierung). Die Optimierungen mit Transfersubstraten erfolgte in den Ausläufen 3 und 4 (gestrichelt mit grüner Markierung), Auslauf 1 und 2 wurden betriebsüblich weitergeführt (blanker Boden).....	49
Abbildung 36: Mittlere N_{\min} -Gehalte (emmeans (+SE)) im Boden (0-90 cm) der Zone 1 (Nah) der Ausläufe 1-4 von Betrieb 4 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (betriebsüblich/optimiert)	50
Abbildung 37: Aufnahmen der Strohhäcksel (Optimierung 1) nach 91 und 204 Tagen Liegedauer	51
Abbildung 38: Aufnahmen der Holzhackschnitzel (Optimierung 2) nach 118 und 167 Tagen Liegedauer	51
Abbildung 39: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) der Nahbereiche der Teilflächen 1 bis 4 von Betrieb 8 (Nov. 2018 bis Februar 2020).....	53
Abbildung 40: Fotoaufnahme des Gehölzstreifens von Betrieb 2 (14.11.2018).....	54
Abbildung 41: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) der drei Zonen (Nahbereich, Gehölzstreifen und Fernbereich), der Auslauf 3a von November 2018 bis November 2019.....	55

Abbildung 42: Skizze (schematisch) der Ausläufe 1 und 2 von Betrieb 4 mit Zonierung.....	56
Abbildung 43: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) der beiden Gehölzstreifen der Ausläufe 1 und 2 von Betrieb 4 (Nov. 2018 bis Februar 2020)	57
Abbildung 44: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) des Nahbereiches, sowie der Gras- und KUP-Streifen (Pappel) von Auslauf 1 (Betrieb 7) in unterschiedlichen Entfernungen zum Stallgebäude (Nov. 2018 bis März 2020)	58
Abbildung 45: Aufnahmen der untersuchten Unterstände aus Holz in Auslauf 1 und 4 (a) und aus Stahlmatten mit Windschutznetz in Auslauf 2 und 3 (b)	59
Abbildung 46: N_{\min} -Gehalte im Boden (0- 90 cm) unter den Schutzhütten in den Ausläufen 1 bis 4 (Betrieb 5) von November 2018 bis Mai 2020.....	59
Abbildung 47: Zur Reinigung vorbereiteter „IBcon-Chick“ mit den beiden gegenüberliegenden Auslauf-klappen (A) und dem durch die Serviceöffnung sichtbaren Substrat (B).....	60
Abbildung 48: Aufstellung und Verteilung der „IBcon-Chicks“ in Auslauf 1 und 2 am 01.06.2021 (Skizze)	61
Abbildung 49: Aufnahme des mit „IBcon-Chicks“ bestückten Auslaufes 2 (a) (Blick aus circa 60 m Entfernung in Richtung Stall) und des mit Schutzhütten bestückten Auslaufes 3 (b) (beide Aufnahmen vom 01.06.2021).....	61
Abbildung 50: Aufnahmen der Wildtierkamera eines IBcon-Chicks in 14 m Entfernung zum Stall (Auslauf 1) mit Sand (oberer Bildreihe) und Strohpellets (untere Bildreihe) zwischen dem 02.06.2021 und dem 02.08.2021	62
Abbildung 51: Mittlerer Magengritverbrauch (%) in den mit Strohgranulat oder Sand befüllten „IBcon-Chicks“ nach 65 Tagen, in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Stall	63
Abbildung 52: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in den „IBcon-Chicks“ ausgebrachten Substrate Sand und Strohgranulat vor und nach einer Liegedauer von 65 Tagen.....	64
Abbildung 53: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) im Umkreis der „IBcon-Chicks“ in den Ausläufen 1 und 2 in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Stall und des eingesetzten Substrates bei Aufstellung (Juni 2021) und an drei folgenden Probenahmeterminen.....	64
Abbildung 54: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) unter den „IBcon-Chicks“ in den Ausläufen 1 und 2 in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Stall und des eingesetzten Substrates, bei Aufstellung (Juni 2021) und am Ende der Standphase (Dez. 2021).....	65
Abbildung 55: NDVI der Gesamtauslauffläche von Betrieb 2 (insgesamt 3 Ställe mit je 2 Standflächen und Ausläufen) am 30.03.2019.....	66
Abbildung 56: Aufnahme des Auslaufes 2a nach einer (mindestens) 5-monatigen Standphase (a) und Blick in die Auslauffläche 2b nach einer entsprechend langen Regenerationsphase (b), Aufnahmen vom 11.04.2019	67
Abbildung 57: Abgleich der Fotoaufnahmen bestimmter Bereiche der Ausläufe 1 und 2 bei der Beprobung am 25.03.21 (nach Pflegemaßnahmen) mit der grafischen Darstellung des NDVI der Fläche (Auswertung Satellitenbilddaufnahme vom 31.3.21).....	68
Abbildung 58: Bei der Optimierung verwendete Substrate aus Stroh: Strohhäcksel (a) und Strohpellets (b).....	80

Abbildung 59: Bei der Optimierung verwendete Substrate aus Holz: Holzhackschnitzel (a) und Holzpellets (b)	81
Abbildung 60: Sand wie er mitunter von Betrieben im Legehennenauslauf ausgebracht wird	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auszug aus dem Zeit- und Arbeitsplan des Projektes	7
Tabelle 2: Übersicht der Bewirtschaftungs- und Haltungsform sowie der Bodenart und Tierzahl je Stallgebäude der acht partizipierenden Betriebe	9
Tabelle 3: Übersicht der im Rahmen für das Projekt analysierten Parameter	10
Tabelle 4: Übersicht der für die Optimierung mit Holzpellets verwendeten Flächengröße, Substratmengen und -kosten	20
Tabelle 5: Übersicht der für die Optimierungen verwendeten Substratmengen und -kosten	25
Tabelle 6: Mittlere C/N-Verhältnisse (\pm Standardabweichung) der eingesetzten Substrate zu Beginn (Ausgangssubstrat) und zum Ende der Untersuchungen (Endsubstrat)	29
Tabelle 07: Befund der parasitologischen Untersuchungen der in den überdachten Randbereichen von Betrieb 3 für die Optimierung 2 eingesetzten Substrate (Beprobung am 29.04.2021)	31
Tabelle 8: Übersicht der für die Optimierungen in den Nahbereichen von Betrieb 2 verwendeten Substrate, deren Aufwandsmengen und der Kosten	34
Tabelle 9: Nitratstickstoffgehalte (in g/m ² TS) in der Zone 1 der Ausläufe 1 bis 4 im Beprobungszeitraum von November 2018 bis Januar 2019 nach Bodentiefen	46
Tabelle 10: Übersicht der für die Optimierung 1 und 2 verwendeten Substratmengen und -kosten	48
Tabelle 11: Statistische Mittelwerte (mit Standardfehler) ($\bar{x} \pm SE$) der Gesamtstickstoff- und Gesamtphosphorgehalte in den für die Optimierung 1 und 2 auf Betrieb 4 eingesetzten Substraten zu Beginn und Ende ihrer Liegedauer in Abhängigkeit ihrer Entfernung zum Stall	52
Tabelle 12: Übersicht der für die Projektphasen 2 und 3 auf den jeweiligen Betrieben geplanten Optimierungsmaßnahmen	78

Abkürzungsverzeichnis

DWD	Deutscher Wetterdienst
DüV	Düngeverordnung
EuGH	Gerichtshof der Europäischen Union
FK	Feldkapazität (Wasserspeicherfähigkeit eines Bodens)
KUP	Kurzumtriebsplantage
N	Stickstoff
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
N _{min}	verfügbarer mineralischer Stickstoff im Boden (Nitrat- und Ammoniumstickstoff)
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
N _t	Gesamtstickstoff (organischer + mineralischer Stickstoff)
FS	Frischsubstanz
P	Phosphor
P ₂ O ₅	Phosphat (Diphosphorpentoxid)
P _{CAL}	pflanzenverfügbare Phosphor nach Calcium-Acetat-Lactat-Extraktion
P _t	Phosphor-Gesamtgehalt (nach Königswasseraufschluss)
SWP	Sickerwasserperiode
SE	Standard error (Standardfehler)
TS	Trockensubstanz

Titelseite: Für die Optimierung eingesetzte Substrate (Holzhackschnitzel, Strohhäcksel und Strohpellets) vor und während der Nutzung durch die Tiere

Bildnachweis: sofern nicht anders vermerkt alle Bilder Frauke Deerberg

Danksagung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Projektes und die gute Zusammenarbeit, Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Piepho (Universität Hohenheim) für die statistische Beratung bei der Auswertung der Fallstudien, Herrn Falko Krügel für die geoinformatische Auswertung der Satellitenbilder und den Praxisbetrieben für ihre Beteiligung und ihr Engagement im Projekt.

Zusammenfassung

Seit den 1990ern werden in der Freilandhaltung von Legehennen immer wieder punktuell hohe Stickstoffeinträge in den Boden wissenschaftlich belegt. Auch vor dem Hintergrund der Klage gegen die Bundesrepublik Deutschland wegen Verstoßes gegen die Nitrat-Richtlinie vor dem EuGH ist es wichtig, dass es in den stark belasteten Bereichen zu einer Reduktion der Nährstoffbelastung kommt. Ebenso ist es von großer Bedeutung, die Freilandhaltung von Legehennen, die sowohl aus Gründen des Tierwohls als auch der Nachfrage durch die Verbraucher zunehmend an Bedeutung gewinnt, zukunftsfähig zu gestalten. Hierfür sind Maßnahmen erforderlich, die sich als für die Praxis geeignet und umsetzbar erweisen.

Im Rahmen des Projektes „Optimierung der Freilandhaltung von Legehennen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen im Auslauf in partizipativem Ansatz mit der Praxis“ (OPAL) wurden über drei Jahre Legehennenausläufe von insgesamt acht Praxisbetrieben monatlich auf ihre N_{\min} -Gehalte und jährlich auf ihre Phosphorgehalte untersucht. Zur Messung der Vegetationsanteile in den Auslaufflächen wurde anhand von Satellitenbildern für insgesamt drei Termine im Jahr der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bestimmt.

Die Praxisbetriebe liegen in den Bundesländern Hessen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, haben unterschiedliche Haltungs- und Bewirtschaftungsformen (mobil/stationär, ökologisch/konventionell), verschiedene Standortbedingungen (z.B. in Bezug auf Boden, Temperatur und Niederschläge) und unterscheiden sich auch hinsichtlich der in einem Stallgebäude untergebrachten Anzahl an Tieren (1.000 bis 40.000 Tiere). Das Projekt gliedert sich im Wesentlichen in drei Phasen und umfasst drei Sickerwasserperioden (zuzüglich einer weiteren Sickerwasserperiode im Zuge der Projektverlängerung).

In der ersten Sickerwasserperiode (2018/19) wurden im Rahmen der Status-quo Erhebungen folgende Bereiche identifiziert, in denen sich mineralischer Stickstoff (N_{\min}) in hohem oder besonders hohem Maße akkumuliert:

1. die Standflächen von Mobilställen ohne eigene Bodenplatte
2. die überdachten Stallrandbereiche bei stationären Legehennenställen
3. die Nahbereiche von stationären und mobilen Legehennenställen
4. Hütten/Unterstände und Gehölzstreifen/Hecken

Laut geltender Düngeverordnung (DüV)¹ und EU-Öko-Verordnung² darf der Nährstoffeintrag eine Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr (organischer bzw. Wirtschaftsdünger), im Gesamtdurchschnitt aller Flächen eines Betriebes, nicht überschreiten. In den sogenannten

¹ Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch den Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist.

² Verordnung (EU) 2018/848 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologisch/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates

Roten Gebieten gilt diese Obergrenze auf den Schlag bezogen. Einen dezidierten Bezug auf die Auslaufläche von Legehennen nehmen die Verbände Bioland und Naturland und legen in ihren Richtlinien eine Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr bezogen auf die Auslaufläche fest. Bei den oben genannten „Hot Spots“ handelt es sich i.d.R. um Flächen von wenigen bis einigen hundert Quadratmetern auf denen z.T. 300 g N_{min}/m² und mehr gemessen wurden. Setzt man dies in Relation mit den durch die Verbände vorgegebenen 17 g/m² (entsprechend 170 kg N/ha) wird deutlich, dass es sich hier um eine sehr hohe punktuelle Belastung handelt.

In der zweiten Projektphase wurden gemeinsam mit den Landwirt:innen betriebsindividuelle Optimierungsansätze erarbeitet und für die zweite Sickerwasserperiode (2019/20) auf den Betrieben umgesetzt. Nach Auswertung und Besprechung der Ergebnisse wurden diese Maßnahmen erneut überarbeitet, angepasst und entsprechend in der dritten Sickerwasserperiode (2020/21) realisiert. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um zwei verschiedene Ansätze:

1. Unterflursicherung
2. Einsatz von Transfersubstraten

Zur **Unterflursicherung von Mobilställen** ohne eigene Bodenplatte wurde eine mobile Unterziehplane entwickelt und über die dritte Sickerwasserperiode (2020/21) auf der Winterstandfläche eines Kufenstalls verwendet. Im Zeitraum vom 24.03.2021 bis zum 03.05.2021 mussten die Tiere aufgrund der Vogelgrippe eingehaust werden. Nach einer Standphase von sechs Monaten konnten von der mobilen Unterziehplane insgesamt 13 t Mist entnommen werden, was umgerechnet etwa 264 kg Stickstoff entspricht. Umgerechnet auf die Stallgrundfläche von 192 m² entspricht das einer Menge von 1.375 g N/m², die von der Plane entnommen wurde. Die N_{min}-Gehalte im Boden nach der Standphase mit mobiler Unterziehplane waren statistisch signifikant geringer als die nach den Standphasen ohne, in denen der Kot auf dem mit Stroh bedeckten Boden anfiel. So lagen die N_{min}-Gehalte nach Nutzung der Plane im statistischen Mittel 45 bzw. 32 g/m² unter denen der Vorjahre. Allerdings bedarf es einer Weiterentwicklung der Plane, vor allem was die Reißfestigkeit des Materials anbelangt sowie weiterer Forschung, um eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und weitere Erfahrung im Umgang mit der Plane (z.B. was das Abmisten betrifft) zu ermöglichen.

Zur **Unterflursicherung von Schutzhütten und Unterständen** wurden IBC-Container zu „IBcon-Chicks“ umgebaut, die als Schutzhütten mit eigener Bodenplatte und mit Transfersubstraten (Sand oder Strogranulat) versehen in zwei Ausläufen eines Praxisbetriebes aufgestellt wurden. Die „IBcon-Chicks“ bieten den Tieren Schutz und bearbeitbares Einstreumaterial. Zugleich werden durch die Unterflursicherung (Bodenplatte der IBC-Container) direkte Nährstoffeinträge in den Boden verhindert. Durch das Verteilen der „IBcon-Chicks“ in der Fläche ist ggf. auch eine bessere Auslaufannahme zu erreichen. Die Container wurden von den Tieren gerne angenommen, allerdings zeigte sich ein starker Verbrauch des Einstreumaterials. Die Testung der „IBcon-Chicks“ zeitgleich auf mehreren Betrieben wäre sinnvoll, um standort- und herdenbedingte Einflussfaktoren zu reduzieren und eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen. Über die Standzeit von knapp

sieben Monaten war im 50 cm Umkreis der Container ein deutlicher Anstieg der N_{\min} -Gehalte im Boden festzustellen.

Hütten sollten daher, ebenso wie Mobilställe, in kurzen Intervallen versetzt werden, um eine Nährstoffakkumulation (und das damit verbundene Risiko der Verlagerung und Auswaschung) in den unmittelbar umliegenden Bereichen zu vermeiden. Zudem sollten sie ebenfalls über eine eingebaute (bzw. mobile) Bodenplatte bzw. Unterflursicherung verfügen.

Die **Transfersubstrate** wurden vor allem in den überdachten Randbereichen und in den Nahbereichen der Legehennen-Ställe getestet.

Mineralische Substrate wie Schotter, Kies oder Sand sind aufgrund ihrer Beschaffenheit nicht in der Lage, Nährstoffe zu binden, entsprechend hoch ist das Auswaschungsrisiko des darauf abgesetzten Kotes. Zudem ergeben sich im Auslaufbereich von Legehennen bzw. Geflügel auch Probleme was die Hygiene und Desinfektion des Materials anbelangt. Eine ordnungsgemäße Entsorgung von Schotter und Kies ist mit sehr hohem (finanziellen) Aufwand verbunden, da es sich aufgrund der Vermischung mit Hühnerkot, um kontaminierten Bauschutt handelt. Dieser bedarf (auch aus hygienischer Sicht) einer fach- und sachgerechten Reinigung, Aufbereitung und Entsorgung. Mineralische Substrate sind daher für den Einsatz im Außenbereich von Geflügelställen **ungeeignet**.

Für die mit den Landwirt:innen erarbeiteten Optimierungen kamen vor allem **organische Substrate** auf Holz- oder Strohbasis in Häcksel- oder Pelletform zum Einsatz. In Einzelfällen konnte eine Wirkung der Substrate auf die N_{\min} -Dynamiken im Boden nicht zweifelsfrei festgestellt werden. Allerdings konnte in den Substraten ein deutlicher Anstieg der Gesamtstickstoffgehalte über die Liegedauer gemessen werden, der in einem Fall, nach einer Liegedauer der eingesetzten **Holzhackschnitzel** von 167 Tagen bei durchschnittlich 99 g/m^2 lag. Auch quellfähige Substrate wie **Strohpellets** erwiesen sich aufgrund ihres Quellvermögens und ihrer hohen Wasserhaltekapazität als **geeignet**. So konnte bei den auf Betrieb 2 eingesetzten Strohpellets am Ende der Liegedauer eine Zunahme der Gesamtstickstoffgehalte um 224 g/m^2 auf insgesamt 382 g N/m^2 festgestellt werden. **Strohhäcksel** und **Grünschnitt** erwiesen sich im Nahbereich aus hygienischer Sicht und aufgrund starker Umsetzungsprozesse als **ungeeignet**.

Entscheidend ist in jedem Fall die **Entnahme** und der **Abtransport** des angereicherten Materials von der Fläche, um tatsächlich einen Nährstoffentzug bewirken zu können. Bei zu langer Liegedauer kann es zu einem Rückgang der Nährstoffhaltekapazität der Substrate kommen, insbesondere die Stickstoffgehalte sanken bei einer Liegedauer von mehr als 300 Tagen. Zudem konnte bei langer Liegedauer eine Verschlammung der Substrate beobachtet werden. Ein **regelmäßiger Austausch** der organischen Substrate mindestens vor und nach der winterlichen Sickerwasserperiode ist daher ratsam.

Auch die Gehalte an pflanzenverfügbarem **Phosphor** in 0-30 cm Bodentiefe lagen in den stark frequentierten Bereichen oftmals in der Gehaltsklasse E, bei der laut VDLUFA (2018) keine

weitere Düngung empfohlen wird. Die Vorgaben der Düngeverordnung beziehen sich auf Phosphat (gemessen als P_2O_5), das mit der CAL-Methode in Bodenproben bestimmt wurde. So dürfen phosphathaltige Düngemittel bei einem durchschnittlichen Phosphatgehalt von 20 mg je 100 g/Boden allenfalls in Höhe der Phosphatabfuhr (etwa durch Fruchtfolge) aufgebracht werden. Das entspricht umgerechnet 8,7 mg Phosphor je 100 g Boden. Dieser Wert wird vor allem (aber nicht nur) in den Bereichen, in denen auch hohe N_{min} -Gehalte festgestellt wurden, um ein Vielfaches überschritten. So konnten im überdachten Stallrandbereich und dem Nahbereich in 0-30 cm mitunter 51 mg $P_{CAL}/100g$ Boden (TS) gemessen werden. Während eine Phosphatabfuhr aufgrund von Fruchtfolge (also pflanzlichem Entzug) im Legehennenauslauf i.d.R. nicht erfolgt, ist allerdings davon auszugehen, dass es durch den Kotabsatz Tiere zu einem weiteren Eintrag von Phosphor kommt.

In Anbetracht der (teils sehr) hohen Stickstoffgehalte, die punktuell gemessen werden konnten, sind Lösungsansätze dringend erforderlich, um die Freilandhaltung von Legehennen weiterhin zukunftsfähig zu gestalten. Hierfür bedarf es weiterer Forschung, die, um Ursache und Wirkung noch klarer in Zusammenhang zu bringen, sowohl modellhaft unter ceteris paribus Bedingungen als auch unter Praxisbedingungen stattfinden muss. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Lösungsansätze sowohl den Ansprüchen der Landwirt:innen als auch denen der Tiere und des Umweltschutzes genügen müssen.

1 Einführung/Motivation

Aufgrund der wachsenden Nachfrage der Verbraucher nimmt die Freilandhaltung von Legehennen stetig zu. Laut den Durchführungsbestimmungen zu den Eier-Vermarktungsnormen (Europäischer Rat 2008) und gemäß den Durchführungsbestimmungen zur EU-Öko-Verordnung (Europäische Kommission 2018 und 2020) müssen jedem Tier mindestens 4 m² Auslauffläche zur Verfügung stehen. Im Gesamtdurchschnitt aller Flächen eines Betriebes darf, laut geltender Düngeverordnung und EU-Öko-Verordnung (Europäische Kommission 2018), der Nährstoffeintrag eine Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr organischer bzw. Wirtschaftsdünger nicht überschreiten. Ausnahme hierzu sind die nach §13a der Düngeverordnung als mit Nitrat belastet ausgewiesenen Gebiete (rote Gebiete). Hier gilt die Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr auf den Schlag bezogen (und nicht im gesamtbetrieblichen Durchschnitt). Bei den Verbänden des ökologischen Landbaus liegt die Obergrenze im Betriebsdurchschnitt niedriger, bei 1,4 DE/ha, entsprechend 112 kg N/ha und Jahr (Deerberg 2004). Einen dezidierten Bezug auf die Auslauffläche von Legehennen nehmen die Verbände Bioland und Naturland und legen in ihren Richtlinien eine Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr bezogen auf die Auslauffläche fest.

Bei der Betrachtung von Legehennenausläufen (z.B. in Luftbildaufnahmen) lässt sich immer wieder ein typisches Schema erkennen, das beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt ist.

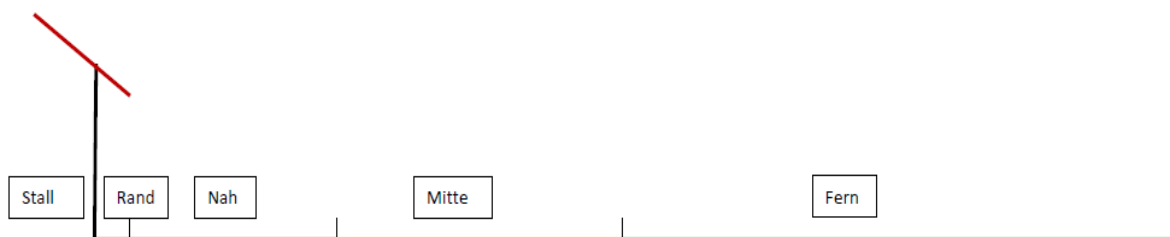


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Legehennenauslaufes mit unterschiedlich genutzten Bereichen (Querschnitt)

Da die Tiere sich bevorzugt in Stallnähe aufhalten, sind der überdachte Stallrand und der angrenzende Nahbereich i.d.R. frei von Pflanzenaufwuchs. Daran grenzt häufig ein Bereich (hier „Mitte“ genannt), der den Übergang aus dem stark beanspruchten Nahbereich zu dem Fernbereich bildet. Häufig ist die Grasnarbe im vorderen Teil dieser „Übergangszone“ spärlich vorhanden, während im hinteren Teil häufig Aufwuchs und eine gut etablierte Grasnarbe festzustellen sind. Der Fernbereich ist häufig durch eine völlig intakte Grasnarbe, teils hohen Aufwuchs und wenig Tiere gekennzeichnet.

Die Bevorzugung und intensive Nutzung (Scharren, Picken, Sandbaden, Koten) der stallnahen Bereiche führt zwangsläufig zu einer punktuellen Akkumulation von Nährstoffen und bewirkt i.d.R. eine nahezu vollständige Zerstörung der Grasnarbe im Nahbereich der Ställe. Dies hat zur Folge, dass eingetragene Nährstoffe ausgewaschen werden können.

Bereits in den 1990er Jahren konnten in stark genutzten Auslaufbereichen Nährstoffgehalte von 300 bis hin zu 800 kg Nitratstickstoff pro Hektar³ nachgewiesen werden (Meierhans & Menzie 1995, Menke & Paffrath 1996). Auch Studien jüngerer Datums kommen zu ähnlichen Ergebnissen (Kratz 2002, Deerberg 2004, Zorn 2004, Fürmetz et al. 2005, Elbe 2006, Heß & Deerberg 2017a Delics et al. 2019).

Durch die geringere Feldkapazität kommt es insbesondere auf leichteren Böden zwangsläufig zur Auswaschung von Nitrat. So können auf Sandböden (FK 10 %) Niederschläge von 30 mm eine Nitratverlagerung um 30 cm bewirken (Baumgärtel & Olf 2014). Auch auf schweren Böden findet Auswaschung statt, allerdings meist zeitverzögert und langsamer.

2 Zielsetzung und Anlass des Projektes

Es zeigt sich deutlich, dass es notwendig ist, derzeitige Managementkonzepte für die Ausläufe von Legehennen auf ihre Schwachstellen und Gefahrenpotenzial in Bezug auf die Anreicherung und Verlagerung von Nährstoffen zu untersuchen. Gerade durch die Verurteilung der Bundesrepublik Deutschland vor dem Gerichtshof der Europäischen Union wegen Verstoß gegen die Nitratrichtlinie und die verschärfte Düngeverordnung wird der Handlungsbedarf noch einmal deutlich.

Es bedarf praxistauglicher Lösungsansätze. Ziel des transdisziplinären Projektes ist es daher, für die Problematik der Nährstoffeinträge durch die Freilandhaltung zu sensibilisieren und gemeinsam mit Landwirt:innen wirksame Lösungsansätze zu erarbeiten, um die verschiedenen Arten der Freilandhaltung weiterzuentwickeln und die betriebliche Existenz der Landwirt:innen zu stützen. Leitgedanke ist es, Management und Gestaltung der Ausläufe sowie die Konzeption der Ställe soweit zu optimieren, dass bei maximaler Auslaufakzeptanz und -annahme (ein Großteil der Tiere soll den Großteil der Fläche annehmen), der Eintrag sowie die Verlagerung oder gar Auswaschung von Nährstoffen auf ein Minimum reduziert bzw. ganz verhindert wird. Durch den transdisziplinären Ansatz bestimmt die Praxis den Forschungsansatz maßgeblich mit, die in der Forschung gewonnenen Erkenntnisse werden an die Praktiker weitergegeben und mit ihnen weiterentwickelt.

3 Projektablauf

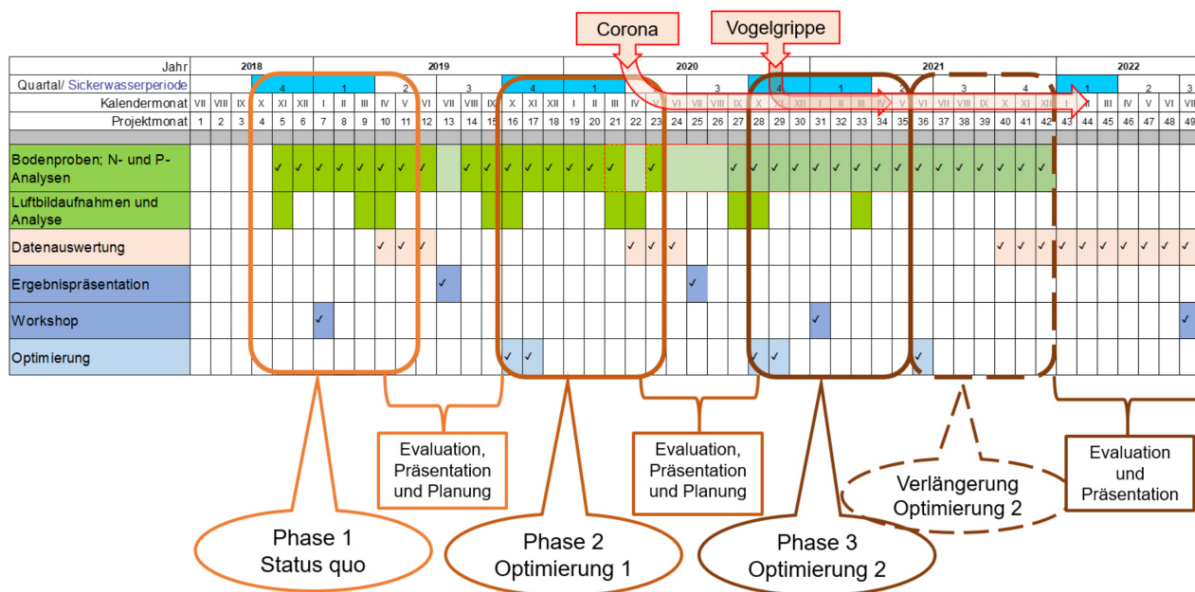
Insgesamt umfasst die Projektlaufzeit 55 Monate. Sie setzen sich zusammen aus einer Hauptlaufzeit von 36 Monaten und zwei kostenneutralen Verlängerungen von 13 und sechs Monaten.

³ Da die Untersuchung von Flächen auf ihre N_{\min} -Gehalte aus dem Ackerbau stammt, werden diese in der Literatur meist in kg N/ha angegeben. Die stark belasteten Flächen in Geflügelausläufen sind i.d.R. kleiner als 1 ha. Die Angabe in g/m² wäre daher korrekter. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird jedoch häufig an kg/ha festgehalten.

Die Hauptlaufzeit umfasst drei Jahre und drei winterliche Sickerwasserperioden. Analog dazu ist das Projekt in drei Phasen untergliedert. Die durchgehend entnommenen Bodenproben sollen Aufschluss darüber geben, wie sich die Nährstoffdynamiken im Boden in den einzelnen Projektphasen und über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg entwickeln. Hierfür ist es von besonderer Wichtigkeit, die Stickstoffgehalte nicht, wie in vielen Untersuchungen bisher üblich, halbjährlich im Herbst und Frühjahr zu bestimmen, sondern monatlich.

Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, umfasst jede der drei Projektphasen eine winterliche Sickerwasserperiode (Oktober bis März).

Tabelle 1: Auszug aus dem Zeit- und Arbeitsplan des Projektes



Anders als in der Vegetationsperiode, in der bedingt durch Evapotranspiration wenig bis kein Sickerwasser gebildet wird, ist die Wasserbewegung in der winterlichen Sickerwasserperiode abwärtsgerichtet. Dies wiederum begünstigt auch eine Verlagerung von Nährstoffen in tiefere Bodenschichten. Umso wichtiger ist es, dass Maßnahmen eine Verminderung oder Vermeidung von Nährstoffeinträgen über den Zeitraum einer winterlichen Sickerwasserperiode bewirken.

In der ersten Projektphase wurde der „**Status quo**“ auf den einzelnen Betrieben ermittelt. Nach der Auswertung der Ergebnisse konnten die besonders stark von Stickstoffeinträgen belasteten Bereiche der einzelnen Betriebe identifiziert werden.

Um den Landwirten ein größtmögliches Maß an Anonymität zu gewährleisten und eine zeitnahe Rückkopplung der Ergebnisse an die teilnehmenden Landwirte erreichen zu können, wurden die Ergebnisse nicht, wie ursprünglich vorgesehen, auf einem Workshop präsentiert. Stattdessen wurden die Betriebe einzeln vom engeren Projektteam aufgesucht, die Ergebnisse, in Anlehnung an die „stable school“, vor Ort mit Hilfe von A0-Postern präsentiert und gemeinsam diskutiert. Im Anschluss wurden zusammen mit den Landwirt:innen Lösungsansätze und Handlungsoptionen erarbeitet, die betriebsindividuell zu einer Reduktion

der Nährstoffeinträge in den Auslaufflächen beitragen sollen. Die durch die Optimierung entstandenen Kosten wurden zu 50 % durch das Projekt und zu 50 % von den Landwirt:innen getragen. Daher mussten Prioritäten gesetzt und Kompromisse in Bezug auf Menge und Größe der zu optimierenden Flächen, sowie Auswahl und Menge der benötigten Materialien, geschlossen werden. Die Anlage und Umsetzung der Optimierungen erfolgten teils mit Unterstützung von Seiten der Universität Kassel oder eigenständig durch den Landwirt. Da die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen an die betrieblichen Abläufe angepasst werden musste (u.a. Herdenwechsel, Arbeitsauslastung, Versetzung des Stalles), konnten nicht alle Optimierungen wie angestrebt zu Beginn der zweiten Sickerwasserperiode im Oktober 2019 umgesetzt werden.

Während im März 2020 aufgrund von starken Niederschlägen nur die Hälfte der Betriebe routinemäßig beprobt werden konnte, mussten die Beprobungen im April 2020 aufgrund von Corona komplett entfallen. Um das Infektionsrisiko zu senken, musste die Anzahl der Dienstfahrzeuge erhöht werden, während gleichzeitig die Anzahl der Probennehmer und somit auch der Probenumfang reduziert werden mussten. Im Mai 2020 wurden daher ausschließlich in den optimierten Bereichen und den jeweiligen Vergleichspaaren Bodenproben für die N_{\min} -Analysen entnommen. Über die Sommermonate Juni, Juli und August 2020 wurden die Probenahmen komplett ausgesetzt. Gründe hierfür waren, dass einige der Betriebe zeitweilig in einem Corona-Sperrgebiet lagen.

Aufgrund der Corona-Pandemie und der durch die Vogelgrippe bedingten Aufstallungsgebote auf den Partnerbetrieben, kam es auch in der dritten Projektphase (Optimierung 2), zu Einschränkungen beim Probenumfang und Verzögerungen in der Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen. Um die entsprechende Datenerhebung und -auswertung zu ermöglichen, waren eine e kostenneutrale Verlängerungen der Projektlaufzeit um zunächst 13 und im weiteren Verlauf noch einmal um sechs Monate erforderlich.

4 Methodik/Vorgehensweise

Im Rahmen des Projektes „Optimierung der Freilandhaltung von Legehennen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen im Auslauf in partizipativem Ansatz mit der Praxis“ wurden über drei Jahre Legehennenausläufe von insgesamt 8 Praxisbetrieben auf ihre N_{\min} -Gehalte im Boden untersucht. Die Praxisbetriebe liegen in den Bundesländern Hessen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, haben unterschiedliche Haltungs- und Bewirtschaftungsformen (mobil/stationär, ökologisch/konventionell), unterschiedliche Standortbedingungen (Boden, Klima) Bodenstandorte und unterscheiden sich auch hinsichtlich der in einem Stallgebäude untergebrachten Anzahl an Tieren. (vgl. Tabelle 2). Ebenso unterscheiden sich Form, Ausrichtung und Management der Auslaufflächen. Dementsprechend sind die Ergebnisse nicht losgelöst von den betrieblichen Rahmenbedingungen zu verstehen und haben Fallstudien-Charakter. Die zum besseren Verständnis und zur Interpretation der Ergebnisse notwendigen, betriebssepezifischen Angaben zu Material und Methoden finden sich daher auch im Ergebnisteil.

Tabelle 2: Übersicht der Bewirtschaftungs- und Haltungsform sowie der Bodenart und Tierzahl je Stallgebäude der acht partizipierenden Betriebe

Betrieb Nr.	Bewirtschaftung	Haltungsform	Bodenart	Anzahl Tiere je Stallgebäude
1	ökol.	mobil	Sand (S)	800
2	konv.	mobil	sandiger Lehm (sL)	1.600 - 1.700
3	ökol.	stationär	stark lehmiger Sand (IS)	6.000
4	ökol.	stationär	Lößlehm (L/uL)	6.000
5	ökol.	stationär	Lößlehm (L/uL)	12.000
6	ökol./konv.	stationär	schwach lehmiger Sand (I`S)	12.000
7	konv.	stationär	Lößlehm (L/uL)	22.000
8	konv.	stationär	schwach lehmiger Sand (I`S)	39.998

Zu Beginn der Bodenuntersuchungen, im November 2018, wurden die Auslauflächen aller Betriebe eingemessen und betriebsindividuell nach optischen Nutzungsmerkmalen in verschiedenen Zonen unterteilt. Eine Beprobung der gesamten Auslauflächen ist in den meisten Fällen (abhängig von Größe und Zuschnitt der Flächen) weder kosten- noch arbeitseffizient durchführbar. Daher wurden über die verschiedenen Auslaufbereiche repräsentative Zonen gewählt.

Nach Rückspiegelung der Status quo-Ergebnisse wurden gemeinsam mit den Landwirt:innen Optimierungsansätze erarbeitet. Für das Untersuchungsdesign wurde darauf geachtet, dass ein Teil der Flächen unverändert also „betriebsüblich“ weitergeführt wurde. Hierdurch können die betriebsübliche und die optimierte Variante bei der Ergebnisauswertung einander gegenübergestellt werden.

Die statistische Beratung zur biometrischen Auswertung der erhobenen Daten erfolgte durch Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Piepho (Leiter des Fachgebietes Biostatistik, Uni Hohenheim). Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte in den meisten Fällen in Form einer ein- oder mehrfaktoriellen Varianzanalyse. Dargestellt werden die statistischen Mittelwerte (emmeans) mit Standardfehler (+SE).

Die im Rahmen des Projektes erhobenen Parameter sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht der im Rahmen für des Projektes analysierten Parameter

	Untersuchte Parameter	Analyseverfahren nach	Beprobungshäufigkeit	Anzahl der Analysen
Boden	Bodenart	VDLUFA I, D.1: 1997	1x im Untersuchungszeitraum (Aug. 2019)	264
	mineralischer Stickstoff (N_{\min}) (= Nitrat- (NO_3 -N) und Ammoniumstickstoff (NH_4 -N))	VDLUFA I, A 6.1.4.1: 2002	monatlich Nov. 2018-Mai 2021; Nov 2018-April 2022 (mit Einschränkungen durch Corona und Vogelgrippe)	10.519
	Gesamtphosphor (P_t) und pflanzenverfügbare Phosphor (P_{CAL})	DIN EN ISO 11885:2009-09 (P_t) VDLUFA I, A 6.2.1.1:2012 (P_{CAL})	Jährlich (Frühjahr 2019-2021)	932
Substrat	Rohdichte	Methodenbuch der BGK : 2006-09	Zu Beginn und Ende der Liegedauer	471
	Trockensubstanz	DIN EN 13040:2008-01		
	Wassergehalt	Methodenbuch der BGK: 2006-09		
	Organische Substanz	Methodenbuch der BGK: 2013-05		
	C/N-Verhältnis	berechnet aus Messwerten der Einzelparameter		
	N_t	nach Methodenbuch der BGK: 2013-05 nach Methodenbuch der BGK: 2006-09 nach Methodenbuch der BGK: 2006-09		
	NH_4 -N	DIN EN ISO 11885 : 2009-09 Methodenbuch der BGK : 2006-09		
	NO_3 -N	DIN EN 13040 : 2008-01		
	P_t	Methodenbuch der BGK : 2006-09		
	P_{CAL}	Methodenbuch der BGK : 2013-05		
Magendarmwurmeier	LUFÄ Nord-West 2/4-451; 2020-03 Nachweis von Parasiteneiern und Kokzidienoozysten in Kotproben mittels Sedimentations-/Flotationsverfahren	Ende der Optimierung 2 (April/Mai 2021)	32	
Bandwurmeier				
Haarwurmeier				
Spulwurmeier				
Kokzidienoozysten				

	Untersuchte Parameter	Analyseverfahren nach	Beprobungshäufigkeit	Anzahl der Analysen
Satelliten- bilder	Messung der Vegetationsanteile in den Auslaufflächen	Bestimmung des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Für 2018-2020 an drei Terminen im Jahr (Frühjahr, Sommer und Herbst) Für 2021 nur im Frühjahr	730.000 Messpunkte

Für die Untersuchungen auf **mineralischen Stickstoff** (N_{\min}) wurden die Zonen ab November 2018 monatlich in 0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe mittels Pürckhauer Bohrstöcken beprobt. Die Probenahme innerhalb der Zone erfolgte randomisiert, wobei darauf geachtet wurde, dass die Fläche möglichst repräsentativ beprobt wurde. So wurden etwa in stallnahen Bereichen zwei Einstiche gen Stall und zwei Einstiche gen Auslauffläche entnommen. War die zu beprobende Fläche mit einem Substrat versehen (etwa im Zuge einer Optimierung), wurde das Substrat an der Probenahmestelle zuerst entfernt.

Um eine Erwärmung des Bodens und eine mögliche Mineralisation zu vermeiden, wurden die Proben direkt nach der Entnahme in Kühlboxen zwischengelagert und im Anschluss an die Beprobung tiefgekühlt und per Kühltransport zum Labor gebracht.

Da die beprobten Zonen unterschiedlich groß, i.d.R. aber kleiner als 1 ha sind, erfolgt die Angabe der Nitrat- und Ammoniumstickstoffgehalte in g/m^2 (für eine Umrechnung in die Angabe kg/ha ist lediglich eine Multiplikation mit dem Faktor 10 nötig).

Die Proben zur Ermittlung des **pflanzenverfügbaren (P_{CAL}) und Gesamtphosphors (P_t)** wurden mittels absätzigem Verfahren in den Tiefen 0-30 und 30-60 cm entnommen, wobei je zwei Einstiche je Zone für eine Mischprobe genutzt wurden.

Die Angabe der Phosphorgehalte erfolgt in $mg/100$ g Boden (bezogen auf die Trockensubstanz).

Für einen Teil der Optimierungsmaßnahmen wurden unterschiedliche **Transfersubstrate** eingesetzt. Um eine Anreicherung der Substrate mit **Nährstoffen** über den Nutzungszeitraum feststellen zu können, wurden zu Anfang und am Ende der Untersuchungszeitraumes Substratproben entnommen. Anschließend wurde das Substrat homogenisiert und gekühlt bevor es per Kühltransport an das untersuchende Labor geliefert wurde. Um eine Belastung der Substrate mit **Endoparasiten** feststellen zu können, wurden von den Substraten am Ende der Optimierung 2 (April/Mai 2021) Mischproben entnommen.

Um Aufschluss über den **Zustand/Bedeckungsgrad der Auslaufflächen** im Untersuchungszeitraum jeweils zu Beginn und Ende einer winterlichen Sickerwasserperiode zu erhalten, wurden Satellitenbilder ausgewertet. Die Messung erfolgte ex-post. Für jeden Betrieb wurden so Bilder aus dem Frühjahr (März/April) und dem Herbst (September/Oktober) der Jahre 2018 bis 2020, sowie aus dem Frühjahr 2021 ausgewählt und in die Analyse einbezogen. Diese sollen Auskunft über den Zustand der Vegetation in der

Hauptvegetationsphase (Sommer) sowie vor und nach der winterlichen Sickerwasserperiode (Herbst und Frühjahr) geben.

In Anlehnung an die Ausführungshinweise zur Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung wurde Auslauffläche als die freizugängliche Fläche außerhalb des Stallgebäudes definiert (AG Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz 2021).

Zur Messung der Vegetationsanteile wurde der **Normalized Difference Vegetation Index** (NDVI) der Flächen bestimmt. Hierfür wurden zuerst die Ausgangsdaten nach ihren spektralen Bändern zerlegt. Anschließend erfolgt mit den Bändern 3 (Rot-Licht-Reflexion der Erdoberfläche) und 4 (Nah-Infrarot-Reflexion der Erdoberfläche) die Berechnung des NDVI.

Durch die Photosyntheseaktivität absorbieren gesunde Pflanzen den sichtbaren Rotanteil des Lichts und erscheinen grün. Bei einer erkrankten Pflanze hingegen ist die Photosyntheseleistung eingeschränkt und der sichtbare Rotanteil des Lichts wird nicht vollständig absorbiert. Beim nicht-sichtbaren Nahinfrarot (NIR) verhält es sich entgegengesetzt: Bei gesunden Bäumen wird hiervon viel reflektiert, bei kranken mehr absorbiert. Die Betrachtung der Rot-Licht- und Nah-Infrarot-Reflexion der Erdoberfläche ermöglichen daher robuste Aussagen zum Zustand der Vegetation. Für die Berechnung des NDVI wird ein Verhältnis zwischen der Differenz des Reflexionsvermögens von Nah-Infraroten- und roten Bändern und der Summe des Reflexionsvermögens von Nah-Infraroten- und roten Bändern abgeleitet. Die Indexwerte liegen zwischen -1 und 1. Dabei sind Messergebnisse zwischen -1 bis 0,1 Zeiger für vegetationsfreie Werte (Versiegelungs-, Gesteins- und Wasserflächen). Werte größer 0,1 haben zumindest teilweise Vegetationsanteil. Der NDVI dient somit als Indikator für die Photosyntheseleistung einer Fläche.

Die Geoinformatische Aufbereitung und Auswertung der Satellitenbilder wurde im Rahmen eines Werkvertrages von Herrn Falko Krügel ausgeführt. Die Lizenzen für Daten und Software (z.B. Planet Labs, Inc.) wurden durch die Universität Kassel bereitgestellt.

5 Projektergebnisse und erste Diskussion

Wie schon in vorangegangenen Forschungsarbeiten beschrieben (Meierhans & Menzie 1995, Kratz 2002 Elbe 2006, Stadig 2019) zeigen auch die Projektergebnisse einen deutlichen Rückgang der Nährstoffgehalte im Boden mit zunehmender Entfernung zum Stall. Aufgrund der Vielzahl der erhobenen Daten kann im Rahmen dieses Abschlussberichtes allerdings nur eine Auswahl der Ergebnisse wiedergegeben werden. Daher sollen im Folgenden die Bereiche, die in besonders hohem Maße von Nährstoffeinträgen (insbesondere mit mineralischem Stickstoff) betroffen sind und die im Rahmen des Projektes mit den Landwirt:innen erarbeiteten Lösungsansätze und Optimierungsmaßnahmen vorgestellt werden. Bei Betrachtung und Interpretation der Ergebnisse sind neben Tierzahl, Management und Nutzungsdauer der Flächen vor allem auch die unterschiedlichen Bodenarten zu berücksichtigen. Angesichts der z.T. stark abweichenden betrieblichen Ausgangssituationen (vgl. Tabelle 2) sind die Betriebe als Fallbeispiele zu betrachten. Zum besseren Verständnis

der einzelnen Fallbeispiele (wie etwa der betrieblichen Rahmenbedingungen und der umgesetzten Optimierungsmaßnahmen) finden sich z.T. auch im Ergebnisteil Angaben zu Material und Methoden. Ein direkter Vergleich der Betriebe miteinander ist aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen wenn überhaupt nur sehr eingeschränkt möglich. Alle Angaben, sofern nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, beziehen sich auf die Trockensubstanz (TS). Sofern nicht ausdrücklich anders beschrieben (z.B. bei Nutzung von Wechselläufen oder bei Aufstellungsgebot), hatten die Tiere durchgehend Zugang zu den Ausläufflächen (Eingewöhnungszeiten nach Neuaufstellung und Stalltage aufgrund von Schlechtwetter ausgenommen). Ein Überblick über die im Projekt durchgeführten Optimierungen findet sich im Anhang (Tabelle 12).

5.1 Mobilställe ohne eigene Bodenplatte

Die Mobilstallhaltung auf Betrieb 1 und Betrieb 2 erfolgt in Kufenställen. Die eingesetzten Stallmodelle verfügen über keine eingebaute Bodenplatte. Das bedeutet, dass der in der Standzeit des Stalles (circa 3-6 Monate) anfallende Hühnerkot unmittelbar auf den unter dem Stall befindlichen Untergrund fällt (z.B. den gewachsenen Boden). Dementsprechend sind Standflächen ohne Unterflursicherung in besonderem Maße von Nährstoffeinträgen betroffen.

5.1.1 Betrieb 1

Im Vergleich zu Betrieb 2 wurden auf Betrieb 1 niedrigere N_{\min} -Gehalte auf der Standfläche gemessen. Hierbei ist, neben einem anderen Management und unterschiedlicher Herdengröße, auch die Bodenart ursächlich zu berücksichtigen. Anders als bei Betrieb 2 handelt es sich bei Betrieb 1 um einen Sandstandort mit einem sehr geringen Tonanteil von 0- 12 %. Da Sandböden nur eine geringe Wasserhaltekapazität besitzen, wird vor allem Nitrat sehr viel schneller verlagert (und ausgewaschen). Laut Baumgärtel und Olf (2014) bewirkt ein Niederschlag von 30 mm auf Sandböden mit einer Feldkapazität von 10 %, eine Nitratverlagerung um 30 cm.

Das betriebsübliche Vorgehen auf Betrieb 1 war, einen Ballen Stroh auf der vorgesehenen Standfläche zu verteilen und den Stall beim Versetzen darüber zu ziehen. Nach dem Versetzen des Stalles auf eine andere Standfläche wurde der Mist abgefahren. Wie die Status quo-Erhebungen deutlich machten, reichte dieses Verfahren nicht aus, um teils hohe Nitratbelastungen des Bodens zu verhindern. Gemeinsam mit dem Landwirt wurde daraufhin

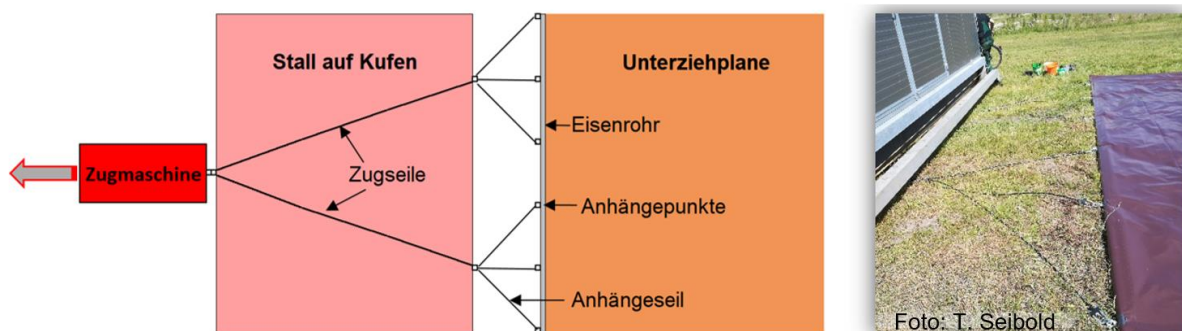
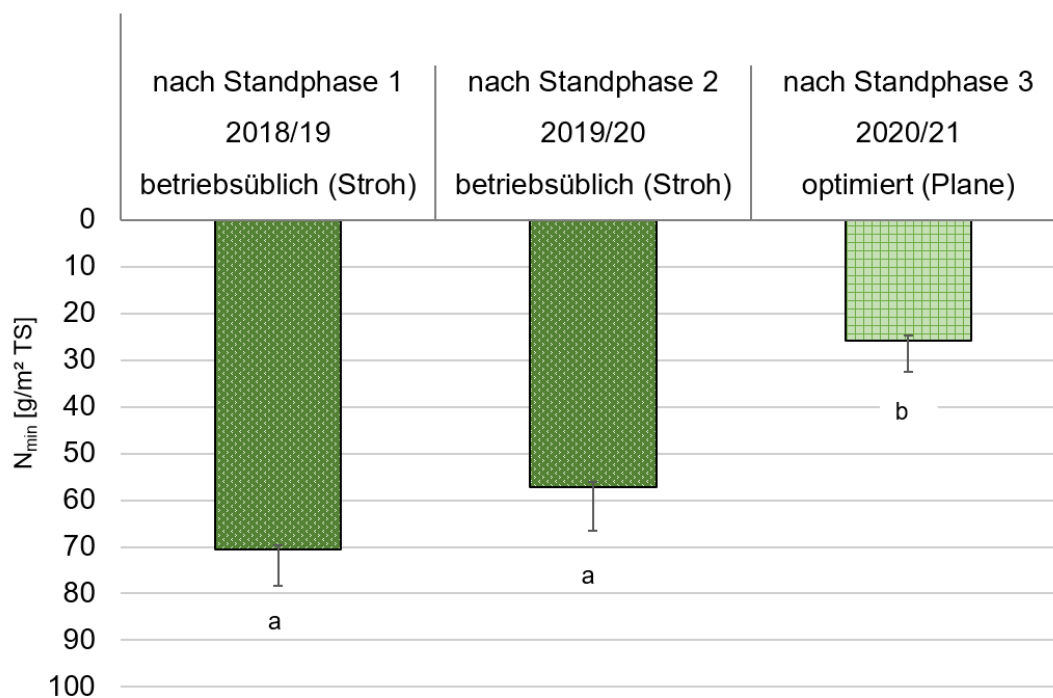


Abbildung 2: Skizze der Funktionsweise der Unterziehplane für Mobilställe ohne eigene Bodenplatte (links) und Fotoaufnahme des Unterziehens (rechts)

eine mobile Unterziehplane entwickelt. Diese wird, wie in Abbildung 2 dargestellt, nach dem Versetzen des Stalles mit einem Stahlseil unter den Stall gezogen und zur Beschäftigung der Tiere Stroh darauf ausgebracht.

Nach der Standphase wird der Stall erneut von der Fläche gezogen und der Mist von der Unterziehplane genommen. Im Anschluss wird die Plane gereinigt, bevor sie erneut unter den Stall gezogen werden kann. Dies ermöglicht die Rückführung der Nährstoffe in den betrieblichen Kreislauf und auch die Mobilität und Standortvielfalt des Stalles wird durch die Plane nicht eingeschränkt, da sich die Unterflursicherung dem Stall anpasst und dieser somit nicht an feste Standplätze (wie im Falle einer Betonplatte) gebunden ist.

Im Dezember der Jahre 2018, 2019 und 2020 wurde der Stall auf die sog. Winterstandfläche versetzt, wo er für etwa fünf bis sechs Monate (bis April/Mai des Folgejahres) verblieb, bevor er erneut versetzt und der Mist von der Fläche abgefahren wurde. Im Anschluss an das Versetzen wurden von der Winterstandfläche monatlich (April/Mai bis Dezember) Bodenproben entnommen. Während in den Sickerwasserperioden 2018/19 und 2019/20 betriebsüblich Stroh auf dem blanken Boden ausgebracht worden war, wurde über die Sickerwasserperiode 2020/21 erstmalig die mobile Unterziehplane auf der Winterstandfläche eingesetzt. Die statistische Auswertung der N_{\min} -Gehalte, die nach den Standphasen 1-3 im Boden gemessen wurden, ist in Abbildung 3 dargestellt. Nach den beiden winterlichen Standphasen 2018/19 und 2019/20, bei denen Stroh auf dem Boden aufgebracht und im Anschluss wieder entfernt worden war, konnten deutlich höhere N_{\min} -Gehalte gemessen werden als nach der dritten Standphase, bei der die mobile Unterziehplane verwendet wurde.



Bodenart: Sand (S) | Nutzung der Fläche als Auslauf: seit 2015 | Anzahl Tiere: 1.000 | Standfläche 192 m²

Abbildung 3: Mittlere N_{\min} - Gehalte (emmeans (+SE)) im Boden (0-90 cm) des Winterstandplatzes nach den drei Standphasen mit und ohne Unterziehplane

Die N_{\min} -Gehalte nach der Standphase 3 (mit Plane) unterscheiden sich statistisch signifikant von denen der beiden vorhergehenden Standphasen. So lag die Differenz der emmeans der N_{\min} -Gehalte von Standphase 1 und 2 bei 13 g/m^2 ($p=0,2876$). Die mittleren N_{\min} -Gehalte nach Standphase 1 lagen 45 g/m^2 über denen der Standphase 3 ($p=0,0004$), die der zweiten Standphase rund 32 g/m^2 über denen nach der Standphase mit Unterziehplane ($p= 0,0152$).

Beim Vergleich der N_{\min} -Gehalte, die am letzten Termin vor und nach ein jeder Standphase gemessen wurden (nicht gezeigt), wird deutlich, dass nach den Standphasen 1 und 2 deutliche Anstiege festzustellen waren. So wurden vor der Standphase 1 (Dez. 2018) in 0-90 cm Tiefe $14 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ festgestellt, während im Anschluss an die Standphase (Juni 2019) $108 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ gemessen wurden. Vor der Standphase 2 (Dez. 2019) konnten rund $48 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ nachgewiesen werden, danach (Juni 2020) waren es $96 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$. Im Gegensatz dazu sind die N_{\min} -Gehalte nach Nutzung der mobilen Unterziehplane weniger stark angestiegen: von $38 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ vor, auf $43 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ nach der Standphase. Da ein Eintrag von Nährstoffen durch die Plane verhindert wurde, ist dieser Anstieg wohl auf die Mineralisation der im Boden noch vorrätigen Nährstoffe zurückzuführen.

Darüber hinaus kam es, bedingt durch die Vogelgrippe, in der Standphase 3 (mit der mobilen Unterziehplane) zu einem Einhausungsgebot der Tiere. Während der 41 Tage fielen 100 % des täglich ausgeschiedenen Kotes im Stall und somit auf der Unterziehplane und dem darauf befindlichen Stroh an. Geht man wie Deerberg & Heß (2017) von einer N-Ausscheidung von $2,48 \text{ g}$ pro Tier und Tag aus, so entspricht das bei 1.000 Tieren und 41 Tagen 101.680 g N . Bei einer Stallgrundfläche (Standfläche) von 192 m^2 entspricht das rund 530 g N/m^2 , die während der Aufstellungszeit auf der Plane abgesetzt wurden.

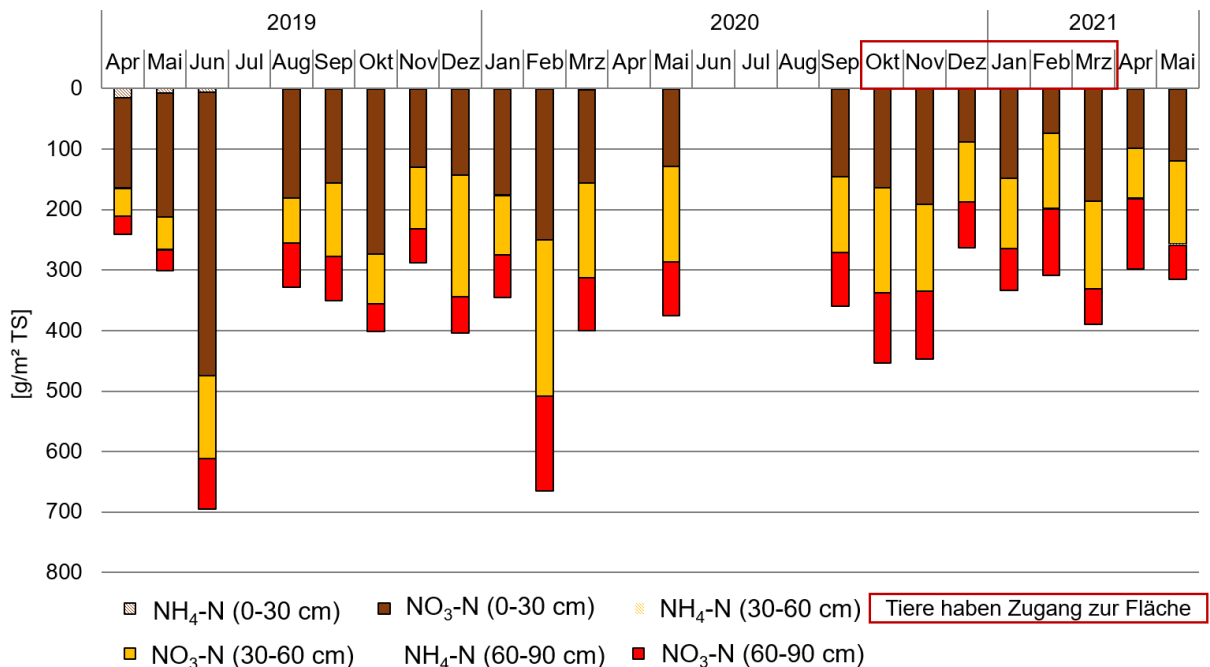
Laut Auskunft des Landwirtes wurden nach Standphase 3 etwa 13 t Mist von der Plane entnommen. Gemäß den Basisdaten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2021), enthält eine Tonne Hühnermist (bei einem Trockenmasseanteil von 50 %) $20,3 \text{ kg}$ Gesamtstickstoff. Legt man diesen Wert zugrunde, so wurden mit dem Mist von der Plane $264 \text{ kg } N_t$ entnommen. Auf die 192 m^2 Standfläche bezogen entspricht das $1,375 \text{ kg } N_t/\text{m}^2$.

Die Kosten für die Plane und den notwendigen Zubehör (Zugseile etc.) belief sich auf circa 9 €/m^2 .

5.1.2 Betrieb 2

Zum Zeitpunkt der Status quo-Erhebungen waren fünf der insgesamt sechs Standflächen der Mobilställe von Betrieb 2 mit Betonplatten versehen. Die Proben wurden im Bereich der einen unbefestigten Standfläche entnommen. Defacto wurde die unbefestigte Standfläche während der Untersuchungen nur einmal tatsächlich als solche genutzt. Nach dem Versetzen des Stalls Anfang April 2019 (nach einer Standphase von mind. 5 Monaten) wurde der Mist von der Fläche abgefahren. Etwa 7 Tage später erfolgte die erste Beprobung der unbefestigten Standfläche. Im Juni 2020 führte der Betrieb Umbaumaßnahmen durch, eine bereits bestehende Betonplatte wurde entsprechend verlängert, sodass der Stall nicht mehr auf gewachsenem Boden stand. Abbildung 4 zeigt die N_{\min} -Gehalte, die an den Probenahmeterminen im Zeitraum von April 2019 bis Mai 2021 im Boden der unbefestigten

Standfläche gemessen wurden. Von Oktober bis März 2021 hatten die circa 1.650 Tiere noch einmal Zugang zu der Auslauffläche in der sich auch die unbefestigte Standfläche befand. In diesem Zeitraum kann es also zu neuem Koteintrag auf der Fläche gekommen sein, während die vor Oktober 2020 gemessenen Werte die N_{min} -Gehalte zeigen, die nach Nutzung der Standfläche im Boden verblieben.



Bodenart: Lehm (L/uL) | Nutzung der Fläche als Auslauf: seit 2011 | Anzahl Tiere: 1.650 | Standfläche 192 m²

Abbildung 4: N_{min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der unbefestigten Standfläche von Betrieb 2 im Untersuchungszeitraum (April 2019 bis Mai 2021)

Der Anteil an Nitratstickstoff überwiegt deutlich den Anteil an Ammoniumstickstoff und macht den Großteil des hier gemessenen mineralischen Stickstoffes aus. Das hier auf einer Fläche von etwa 192 m² über einen Zeitraum von zwei Jahren Nitratgehalte von 200 g/m² und mehr

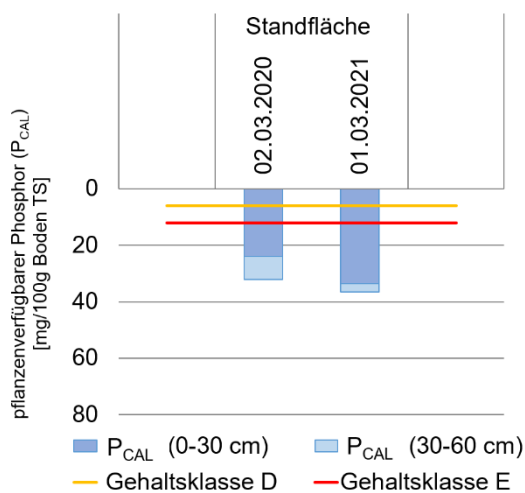


Abbildung 5: Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte (P_{CAL}) im Boden (0-60 cm) der unbefestigten Standfläche von Betrieb 2

nachgewiesen werden konnten, ist neben dem hohen Koteintrag während der Standdauer, auch auf das gute Nährstoffhaltevermögen des Lehmboedens (Tonanteil 25-35 %) zurückzuführen. Die Zu- und Abnahmen der Nitratgehalte in den einzelnen Tiefenstufen zwischen den Probenahmetermenin weisen auf Verlagerung hin, was wiederum für eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten und in Anbetracht der sehr hohen Nitratmengen für eine Auswaschung spricht (gasförmige Austräge wurden nicht erfasst). Die sehr hohen Nitratstickstoffgehalte zeigen auch, dass ein bloßes Abfahren des Mistes nach der Standphase nicht ausreicht, um eine Nitratbelastung des Bodens zu verhindern.

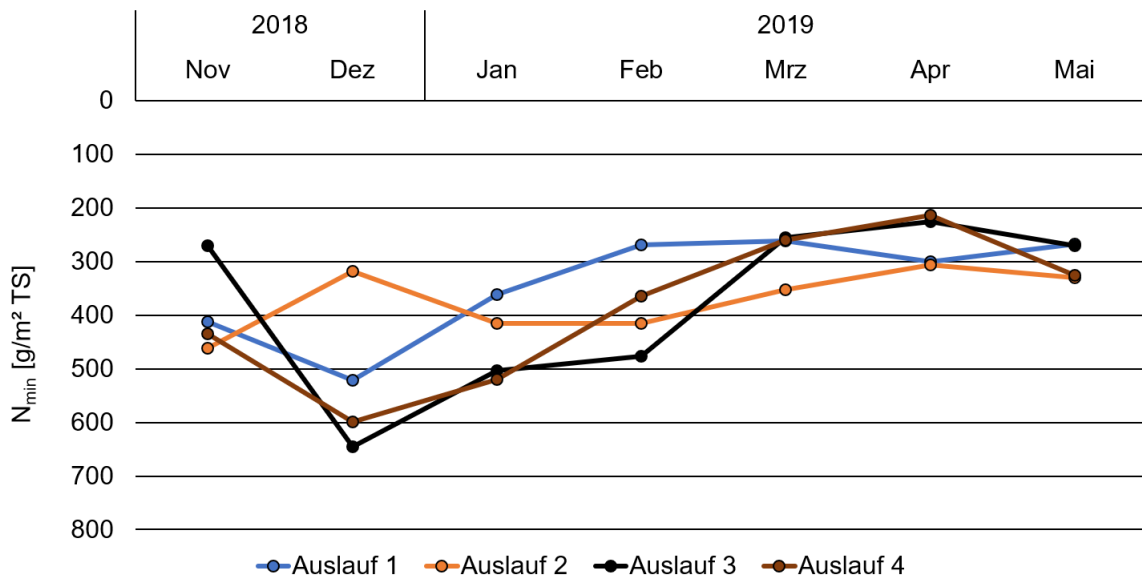
Abbildung 5 zeigt die pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte, die in 0-60 cm im Boden der unbefestigten Standfläche gemessen wurden. An beiden Terminen wurden im Oberboden (0- 30 cm) Gehalte gemessen, die mit 24 und 34 g P_{CAL}/m^2 und somit der Gehaltsklasse E (sehr hoch) zuzuordnen sind. Die von der VDLUFA entwickelten P-Gehaltsklassen gelten sowohl für Acker als auch für Grünlandstandorte (wobei die Probenahme auf Grünland nur bis 10 m Bodentiefe erfolgen sollte). Eine weitere „P-Düngung“ der Fläche wird in der Gehaltsklasse E nicht empfohlen (VDLUFA 2018). Die Vorgaben der Düngeverordnung beziehen sich auf Phosphat (gemessen als P_2O_5), dass mit der CAL-Methode in Bodenproben bestimmt wurde. So dürfen phosphathaltige Düngemittel bei einem durchschnittlichen Phosphatgehalt von 20 mg je 100 g/Boden allenfalls in Höhe der Phosphatabfuhr (etwa durch Fruchtfolge) aufgebracht werden. Das entspricht umgerechnet 8,7 mg Phosphor je 100 g Boden. Diese Menge wird hier punktuell deutlich überschritten. Während eine Phosphatabfuhr aufgrund von Fruchtfolge im Legehennenauslauf i.d.R. nicht erfolgt, ist allerdings davon auszugehen, dass es durch den Kotabsatz Tiere zu einem weiteren Eintrag von Phosphor kommt.

5.2 Überdachte Stallrandbereiche

Beim überdachten Stallrandbereich handelt es sich i.d.R. um den circa 2-3 m breiten, unmittelbar an die Auslaufluken angrenzenden Bereich, der durch einen Dachvorsprung geschützt ist. Der relative Schutz und die unmittelbare Nähe zum Stall haben zur Folge, dass dieser Bereich besonders stark genutzt und beansprucht wird. Die Mobilställe der Betriebe 1 und 2 verfügen über keinen Dachvorstand. Auf Betrieb 5 war der überdachte Stallrandbereich mit Pflaster, auf Betrieb 7 mit Gleisschotter befestigt. Auf Betrieb 4 waren in diesem Bereich elektrische Kabel verlegt. Daher konnten im überdachten Stallrandbereich ausschließlich auf den Betrieben 3, 6 und 8 Proben entnommen werden.

5.2.1 Betrieb 6

Auf Betrieb 6 werden 12.000 Tiere in vier Stallabteilen/Ausläufen mit je 3.000 Tieren gehalten. Der Boden der Ausläufe ist humos, die vorherrschende Bodenart ist schwach lehmiger Sand (I'S) mit einem Tonanteil von 5-12 %. In Verbindung mit dem Herdenwechsel wurde durch den Betrieb im Nahbereich der vier Ausläufe standardmäßig Sand ausgebracht, der durch die Tiere auch im überdachten Stallrand verteilt wurde. Die im Zeitraum von November 2018 bis Mai 2019 in den überdachten Stallrandbereichen gemessenen N_{min} -Dynamiken sind in Abbildung 6 dargestellt. Im Zeitraum von November 2018 bis März 2019 liegen die in den überdachten Randbereichen von Auslauf 3 und 4 gemessenen N_{min} -Gehalte über denen von Auslauf 1 und 2. Insgesamt wurden durchgängig N_{min} -Gehalte von mehr als 200 g/m², in Spitzen sogar über 500 g/m² gemessenen, wobei der überwiegende Anteil (zwischen 66 und 91 %) als Nitratstickstoff vorliegt. Die Werte sind somit als sehr hoch einzustufen.



Bodenart: lehmiger Sand (I'S) | Nutzung als Auslauf: seit 2012 | Anzahl Tiere/Auslauf: 3.000 | überdachter Randbereich ca. 50 m²

Abbildung 6: N_{min}-Dynamiken im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallrandbereiche der Ausläufe von Betrieb 6 im Untersuchungszeitraum der Status quo -Erhebungen

Die Zu- und Abnahmen der N_{min}-Gehalte zwischen den Probenahmeterminen, die mitunter zeitgleich in mehreren Ausläufen festzustellen sind (beispielsweise von Januar zu Februar und dann zu März 2019) weisen auf Verlagerungstendenzen des auswaschungsgefährdeten Nitratstickstoffes hin.

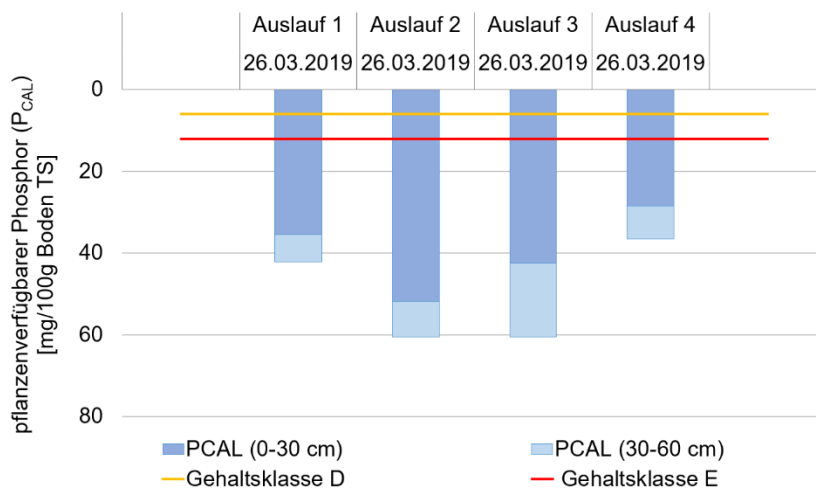


Abbildung 7: Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte (P_{CAL}) im Boden (0-60 cm) in den überdachten Randbereichen der vier Ausläufe von Betrieb 6

Die Gesamt- und pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte wurden in den überdachten Randbereichen nur einmalig, im März 2019 ermittelt (Abbildung 7). Mit mehr als 28 und bis zu 52 mg P_{CAL}/100g Boden (TS) im Oberboden, liegen die Gehalte deutlich in der Gehaltsklasse E (sehr hoch). Von einer P-Düngung wird abgeraten (VDLUF 2018), wobei

allerdings davon auszugehen ist, dass weiterer Koteintrag auf der Fläche stattfindet.

Im Juni 2019 ließ der Betrieb im überdachten Stallrandbereich und im angrenzenden Nahbereich Gittergewebe verlegen, um so der starken Verschlammung des bis dato unbefestigten Nahbereiches entgegenzuwirken. Hierbei handelt es sich laut Herstellerangaben um ein Monofiles PE-Gittergewebe, das formstabil, abrieb-, witterungs- und UV-beständig ist (Huesker 2013). In Hinblick auf die Nährstoffproblematik im Nah- und

überdachten Randbereich ist hier vor allem die Wasserdurchlässigkeit des Materials und das schwarze Gewebe als sehr kritisch zu beurteilen. Der auf dem Gittergewebe abgesetzte Kot (vgl. Abbildung 8) wird durch Niederschläge auf den darunter befindlichen Boden gewaschen. Bei Sonneneinstrahlung, gerade im Sommer, konnte eine starke Erwärmung des schwarzen Gittergewebes beobachtet werden, was eine Art Bebrütungseffekt des Bodens zur Folge hat. Dadurch werden Ammonifikation und Nitrifikation, also die Umwandlung von organischen N-Verbindungen zu Ammonium und weiter in den auswaschungsgefährdeten Nitratstickstoff, beschleunigt.



Abbildung 8: Gittergewebe im Nahbereich von Betrieb 6 (September 2019)

Auch vor dem Hintergrund des Tierwohls ist der Einsatz des Gittergewebes kritisch zu betrachten. Das Material ermöglicht kein arttypisches Verhalten (Picken, Scharren, Sandbaden) und kann sich im Sommer stark erhitzen. Ein gewisses Meide-Verhalten der Tiere konnte beobachtet werden, nicht aber die vom Hersteller beworbene, gleichmäßigere Verteilung der Tiere und des Kotes in der Auslaufläche (Huesker 2013). Es ist anzunehmen, dass die Tiere ihre Aktivitäten auf den an das Gittergewebe angrenzenden Bereich mit Boden verlegen, wodurch sich die

Problematik lediglich räumlich verschiebt. Nach den Umbaumaßnahmen im Juli 2019 konnten in den betroffenen Bereichen keine Bodenproben mehr entnommen werden, da dies eine Beschädigung des Gittergewebes zur Folge gehabt hätte.

5.2.2 Betrieb 8

Auf Betrieb 8 werden 39.998 Legehennen gehalten. Der stationäre Stall verfügt über sieben Stallabteile, die nur im Stallinneren voneinander getrennt sind. Da die Auslauflächen beidseits des Stalles nicht unterteilt sind, wurden sie für das Versuchsdesign in vier (imaginäre) Teilflächen aufgeteilt, in denen im Anschluss die Zonierung und Beprobung erfolgte. Die im überdachten Stallrand und im Nahbereich vorherrschende Bodenart ist schwach lehmiger Sand (l'S) mit Anteilen von Sand und stark lehmigem Sand (S/IS). Der Tonanteil variiert zwischen 0-17 %.

Die in Abbildung 9 gezeigten Fotoaufnahmen geben einen Eindruck von Aussehen und Beschaffenheit des überdachten Stallrandes. Unregelmäßig (in etwa mit dem Herdenwechsel) wurde durch den Betrieb im Nahbereich Sand ausgebracht, den die Tiere auch in den angrenzenden überdachten Stallrand verteilten (a). Die Status quo-Erhebungen erfolgten von November 2018 bis Februar 2020. Im März 2020 wurde beidseits des Stallgebäudes im überdachten Stallrandbereich jeweils eine Teilfläche (A1 und B1) durch den Landwirt optimiert. Hierfür wurden Niveauunterschiede im überdachten Stallrandbereich mit Sand aus dem

Nahbereich ausgeglichen (c) und im Anschluss daran mit Holzpellets versehen (d). Die jeweils benachbarten Teilflächen A2 und B2 blieben unverändert (betriebsüblich) (b).

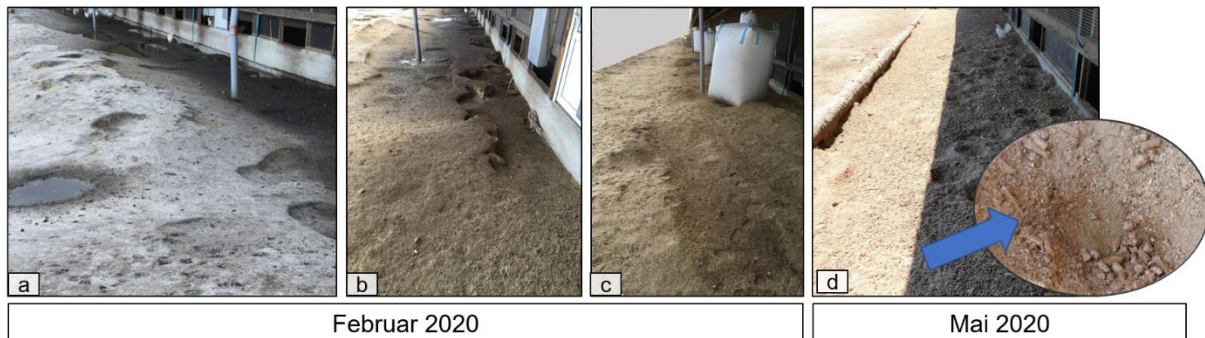


Abbildung 9: Mit Sand bestückter Nahbereich und angrenzender überdachter Stallrandbereich während der Status quo-Erhebungen (a), überdachter Stallrand (betriebsübliche Variante) (b), nivellierter, überdachter Stallrand mit Holzpellet-Big Bags (c), mit Holzpellets optimierter, überdachter Stallrandbereich 81 Tage nach Ausbringung der Holzpellets (d)

Flächengröße, aufgewendete Substratmenge und Substratkosten für die Optimierung der beiden überdachten Stallrandbereiche der Teilflächen A1 und B1 sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Übersicht der für die Optimierung mit Holzpellets verwendeten Flächengröße, Substratmengen und -kosten

Teilfläche	Schütthöhe [cm FS]	Ausgebrachte Substratmenge [kg/m ² FS]	Optimierte Fläche (gesamt) [m ²]	Substratkosten* je 10 cm Schütthöhe (FS)
A1	15,9	90,76	92	7,17 €
B1	15,3	87,44	85,2	7,17 €

*Bei den hier angeführten Kosten handelt es sich um Nettokosten (excl. MwSt. und Lieferkosten). Sie können von "aktuellen" Kosten je nach Anbieter und Angebot abweichen

Aufgrund der Corona-Pandemie konnten die Beprobungen der Flächen nicht wie geplant monatlich erfolgen. Die Beprobung der optimierten Flächen erfolgte erstmalig im Mai 2020.

Die an den Beprobungsterminen in den überdachten Stallrandbereichen der vier Teilflächen gemessenen N_{\min} -Gehalte sind in Abbildung 10 abgebildet. Von November 2018 bis November 2019 wurden in den überdachten Stallrandbereichen der Teilflächen A1 und A2 deutlich höhere N_{\min} -Gehalte gemessen als in den auf der anderen Stallseite liegenden Stallrandbereichen (B1 und B2). Grund hierfür könnte eine Bevorzugung der Stallseite mit den Teilflächen A1 und A2 durch die Tiere sein. Mit Ausnahme der Beprobung im April 2019, bei der 155 g N_{\min}/m^2 gemessen wurden - liegen die N_{\min} -Gehalte im überdachten Stallrand der Teilflächen A1 und A2 durchgängig über 225 g/m². Vor allem in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) wurden dabei auch beträchtliche Ammoniumstickstoffgehalte festgestellt, die bis zu 50 % des gemessenen mineralischen Stickstoffs ausmachen. Im Zuge der Nitrifikation wird Ammoniumstickstoff durch Mikroorganismen zu Nitratstickstoff umgewandelt. Ebenso ist – in Abhängigkeit des pH-Wertes - auch eine Umwandlung in Ammoniak und somit eine Ausgasung möglich.

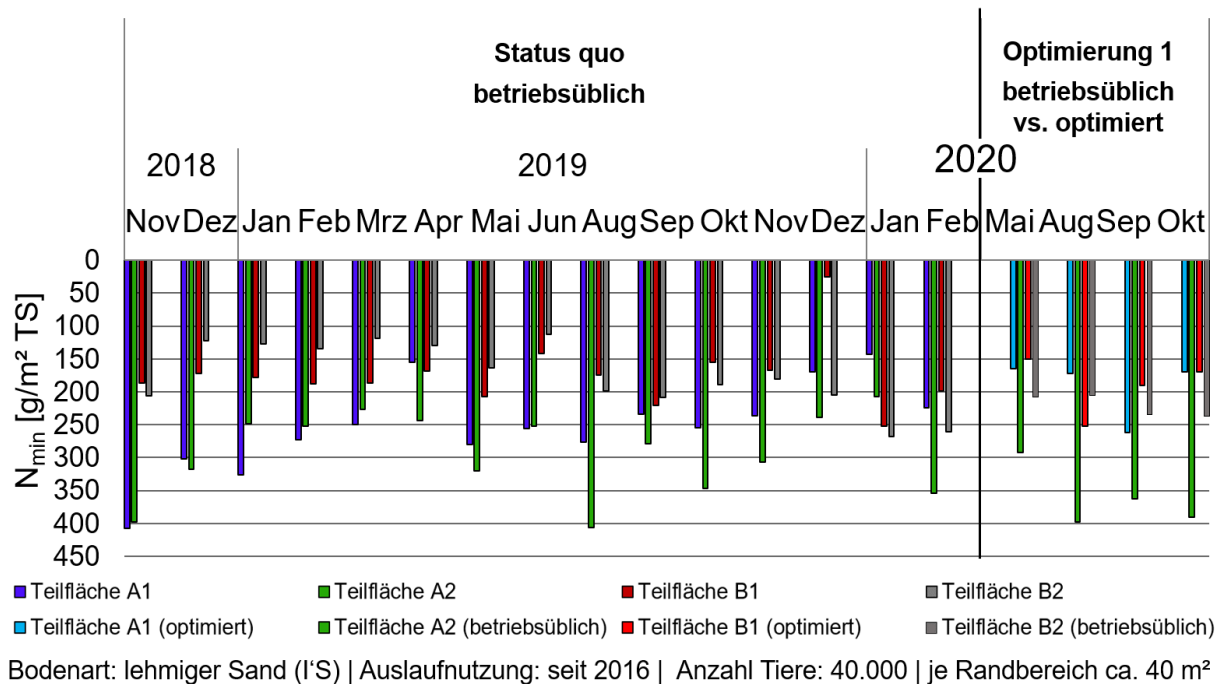


Abbildung 10: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallrandbereiche der vier Teilflächen im Untersuchungszeitraum der Status quo- Erhebungen (in allen Teilflächen Sand bzw. Sandboden (betriebsüblich)) und der Optimierung 1 (in den Teilflächen A1 und B1 Holzpellets (optimiert), in den Teilflächen A2 und B2 betriebsüblich)

Zwischen den einzelnen Beprobungsterminen sind teils deutliche Zu- und Abnahmen der gemessenen N_{\min} -Gehalte festzustellen. Dies kann auf Auswaschungsereignisse auch im überdachten Stallrand hinweisen. Zum einen ist der Schutz durch den Dachvorstand nicht vollumfänglich, wie sich an der Feuchtigkeit und z.T. Pfützenbildung in Abbildung 9 (a und b) erkennen lässt. Zum anderen besteht, da es sich um ein und denselben Boden handelt, ein lateraler Wasserfluss zwischen dem überdachten Stallrand und dem angrenzenden (nicht überdachten) Nahbereich. Somit ist es auch möglich, dass das Nitrat aus dem überdachten Stallrand durch Niederschlagswasser aus dem Nahbereich verlagert bzw. ausgewaschen wird. Zunahmen der gemessenen N_{\min} -Gehalte können durch Nitrifikation der vorhandenen und über den Kot stets neu anfallenden Ammoniummengen zustande kommen.

Im März 2020 erfolgte die Optimierung in den Teilflächen A1 und B2 mit Holzpellets. Die Bildfolge in Abbildung 11 zeigt die überdachten Stallrandbereiche im zeitlichen Verlauf über den Untersuchungszeitraum. Zum Zeitpunkt der ersten Beprobung nach der Optimierung (im Mai 2020) hatte ein nicht quantifizierbarer Teil der Pellets bereits seine Pelletstruktur verloren und war durch die Tiere mit dem unter den Pellets befindlichen Sand vermengt wurden (a). Der Zerfall der Pellets entsteht durch das Aufquellen bei Feuchtigkeit und anschließendes erneutes Abtrocknen. Bei der Substratbeprobung im August 2020 war neben der starken Vermengung der losen Pellets mit dem Sand (b) auch ein hoher Substratschwund festzustellen. So lag das Bodenniveau deutlich tiefer, als die Holzbalken, die im März ausgelegt worden waren, um die Holzpellets einzugrenzen (c).

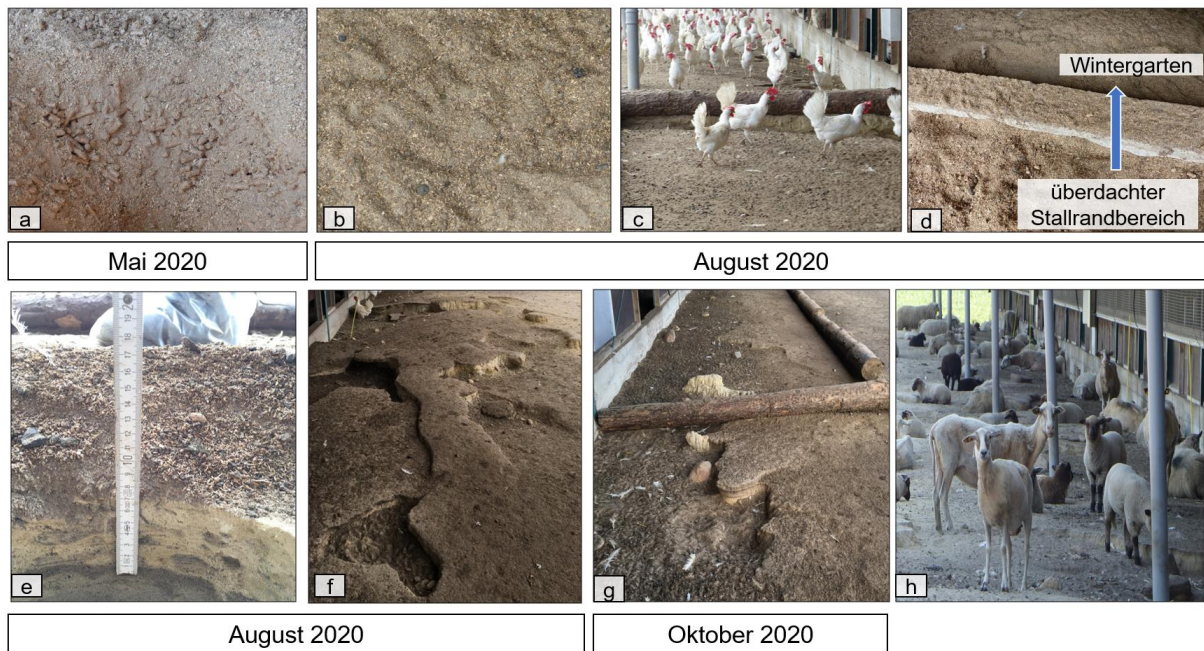


Abbildung 11: Überdachte Stallrandbereiche mit Holzpelletauflage (a-e und g) im zeitlichen Verlauf während des Untersuchungszeitraumes, Verschleppung des Materials in den angrenzenden Wintergarten (d), betriebsüblich weitergeführter überdachter Stallrand (f) und starke Frequentierung der überdachten Stallrandbereiche durch andere Tiere im Auslauf (h)

Da den Tieren in Stall und Wintergarten keinerlei Einstreu zur Verfügung steht, ist anzunehmen, dass ein Teil des (zerfallenen) Substrates von den Tieren aufgenommen wurde (möglicherweise auch, um den Rohfaseranteil der Kost zu erhöhen oder etwa aus Beschäftigungsgründen). Erhöhte Tierverluste oder Verluste, die mit der Aufnahme des Substrates durch die Tiere in Verbindung zu bringen sind, wurden nicht festgestellt. Ein Teil des Substrates wurde von Tieren (möglicherweise durch Scharren oder Anhaften an den Füßen) in den Wintergarten verbracht (d). Die Auflage aus Sand und zerfallenen Holzpellets variierte zwischen 5 bis 10 cm Stärke (e). In den betriebsüblich weitergeführten Stallrandbereichen war eine starke Krustenbildung zu erkennen (f), die auch schon vor der Optimierung zu beobachten war. Im Oktober 2020, etwa ein halbes Jahr nach Ausbringung der Holzpellets in den überdachten Randbereichen war optisch kein Unterschied mehr zwischen den optimierten (A1 und B1, mit Holzbalken eingefasst) und den betriebsüblich weitergeführten Bereichen (B1 und B2) zu erkennen (g).

Aufgrund des schnellen und sehr starken Substratschwundes und der Corona-bedingten niedrigeren Anzahl von Probenahmeterminen nach der Optimierung, kann keine zuverlässige Aussage darüber getroffen werden, ob die Ausbringung des Substrates ursächlich für eine Reduzierung der Stickstoffgehalte war. Ebenso ist zu bedenken, dass die Anzahl der Tiere, die (außer den 40.000 Legehennen) Zugang zum Auslauf hatte, im Untersuchungszeitraum (Nov. 2018 bis Oktober 2020) von circa 30 Schafen zu Beginn auf über 300 Schafe, 3 Esel und 12 Tüpfelhirsche zum Untersuchungsende, stark anstieg. Daher kann nicht zuverlässig quantifiziert werden, wie hoch der Anteil des durch die Legehennen und wie hoch der Anteil des durch die übrigen Tiere eingetragenen Kotes bzw. Stickstoffes an den im überdachten

Stallrand nachgewiesenen N_{\min} -Gehalten tatsächlich ist. Es kann aber festgestellt werden, dass die gemessenen Ammonium- und Nitratstickstoffgehalte mit 200 g/m² und mehr, als sehr hoch einzustufen sind.

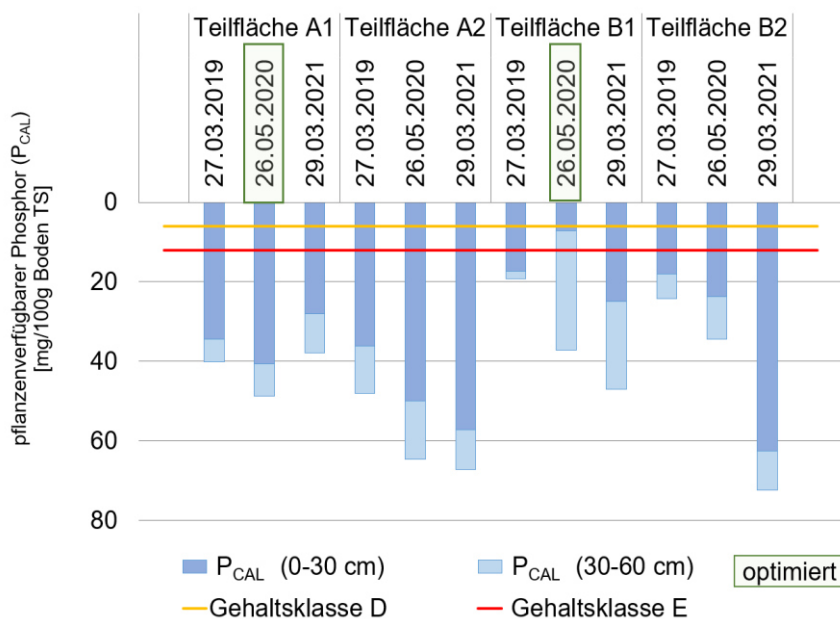


Abbildung 12: Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte (P_{CAL}) im Boden (0-60 cm) der überdachten Randbereiche der vier Teilflächen an den drei Probenahmeterminen (2019, 2020 und 2021)

Die in den überdachten Randbereichen der vier Teilflächen gemessenen Gehalte pflanzenverfügbaren Phosphors (0-60 cm) sind in Abbildung 12 dargestellt. Mit einer Ausnahme (Teilfläche B1 am 26.5.2020) überschreiten die pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte im Oberboden (0-30 cm) den maximal Wert der Gehaltsklasse D von 12 mg CAL-P/100 g Boden und Jahr und liegen somit in der

Gehaltsklasse E (sehr hoch). Von einer P-Düngung wird abgeraten (VDLUF 2018). Dabei ist allerdings davon auszugehen, dass ein Koteintrag auf der Fläche weiterhin (in erheblichem Maße) stattfindet.

5.2.3 Betrieb 3

Auf Betrieb 3 wurden die Auslaufflächen von zwei Stallgebäuden untersucht. Jedes der Stallgebäude war in zwei Abteile mit je einer Herde von 3.000 Tieren unterteilt. Die vorwiegende Bodenart der untersuchten Zonen in den vier Auslaufflächen ist Sand (S) mit Anteilen von schwach lehmigem Sand (I'S). Der Tonanteil ist mit 0-5 bzw. 5-12 % sehr gering. Mit dem Herdenwechsel wurde durch den Betrieb in den überdachten Stallrandbereichen eine etwa 30 cm mächtige Sandauflage ausgebracht. Aufgrund hoher N_{\min} -Gehalte im überdachten Stallrandbereich (nicht gezeigt) wurden für die Optimierung 1 und 2 die überdachten Stallrandbereiche der vier Ausläufe etwa mittig unterteilt und mit Holzbalken eingefasst. Das Versuchsdesign ist in Abbildung 13 dargestellt. Auf den ausdrücklichen Wunsch des Betriebes hin, wurde jeweils eine Hälfte der Randbereiche (wie betriebsüblich) mit Sand befüllt, während die jeweils andere Hälfte mit Holzhackschnitzeln (in den Ausläufen 1 und 3) oder Strohhackseln mit einer Schicht aus Holzhackschnitzeln (in den Ausläufen 2 und 4) versehen wurde. Dies hatte zur Folge, dass die beiden Hälften des überdachten Stallrandes separat voneinander beprobt werden mussten und nicht, wie in den Status quo-Erhebungen als ein Bereich. Daher ist eine Vergleichbarkeit der N_{\min} -Gehalte der Status quo-Erhebungen mit denen der Optimierungsphasen nicht im erforderlichen Maß gegeben.

Abweichend zur Optimierung 1 wurde durch den Betrieb in der Optimierung 2 im überdachten Stallrand von Auslauf 4 auf der gesamten Länge der betriebsübliche Sand ausgebracht.

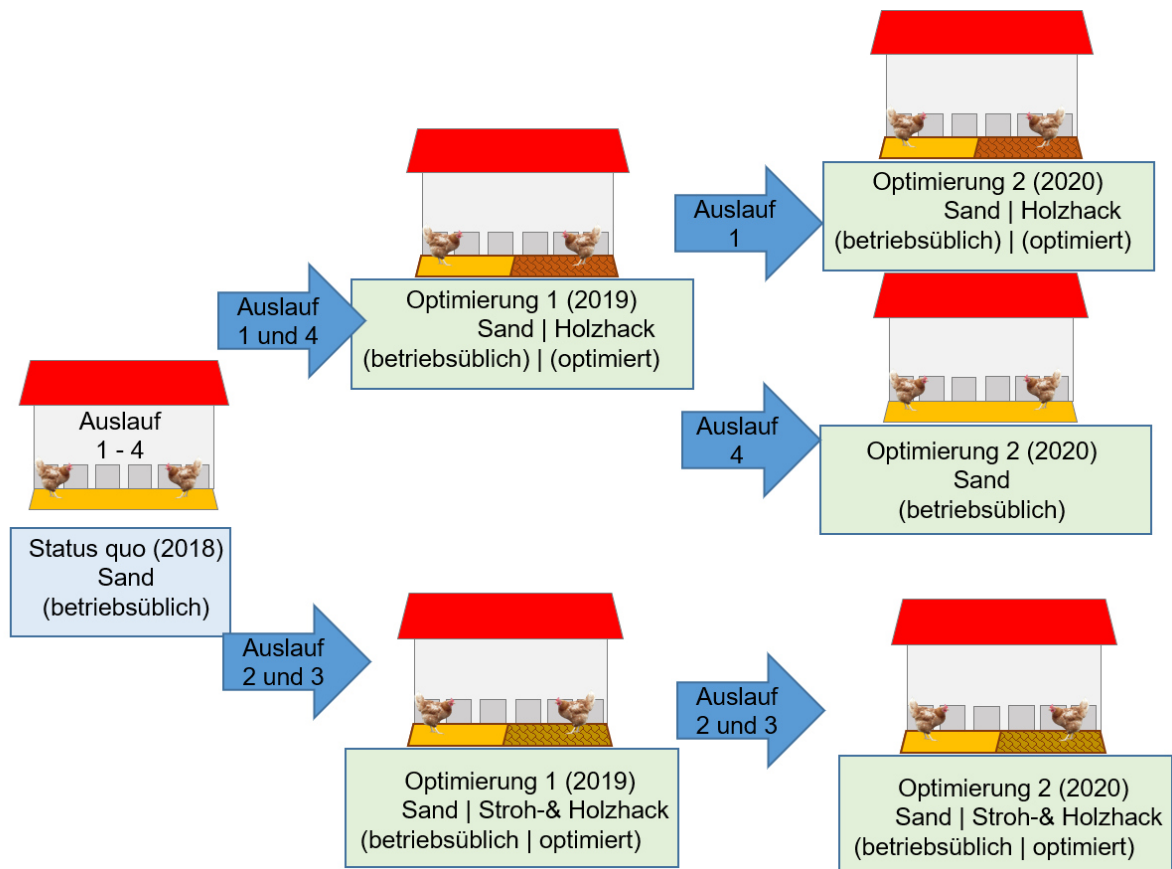


Abbildung 13: Gestaltung des überdachten Randbereiches der Ausläufe 1 bis 4 von Betrieb 3 (schematisch) in den drei Projektphasen (Status quo-Phase, Optimierung 1 und Optimierung 2)

Da keine Angaben zu den ausgebrachten Substratmengen vorliegen, wurde basierend auf vorangehenden Messungen von einer angestrebten Schütthöhe von 30 cm ausgegangen und die ausgebrachte Substratmenge im Anschluss über die Rohdichte der Substrate errechnet. Bei der Ausbringung der Substrate durch den Betrieb, wurden teilweise keine Rückstellproben des frischen Materials (Ausgangssubstrat) entnommen (Optimierung 2, Auslauf 1, Holzackschnitzel). Um dennoch eine Aussage über die Veränderungen des Substrates über die Liegedauer treffen zu können, wurden für die fehlende Proben die mittleren Werte/Gehalte der anderen Rückstellproben gleicher Art (Ausgangssubstrat, gleiches Material), die auf Betrieb 3 entnommen wurden, zugrunde gelegt.

Die mittlere Flächengröße je Substratvariante betrug etwa 26 m² (± 5 m²). Die aufgewendete Substratmenge, Schütthöhe und Substratkosten für die Optimierungen der überdachten Stallrandbereiche der Ausläufe 1 bis 4 sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht der für die Optimierungen verwendeten Substratmengen und -kosten

Substratart	Angestrebte Schütthöhe [cm FS]	Mittlere ausgebrachte Substratmenge [kg/m ² FS]	Substratkosten* je m ² bei 10 cm Schütthöhe (FS)
Sand	30	416,89 (± 59) (n=7)	2,20 €
Holzhackschnitzel	30	51,2 (± 21,54) (n=6)	4,00 €
Strohhäcksel + Holzhackschnitzel	15 cm + 15 cm	9,39 (± 2,52) (n=5) + 51,2 (± 21,54) (n=6)	0,58 € + 4,00 €

* Bei den hier angeführten Kosten handelt es sich um Nettokosten (excl. MwSt. und Lieferkosten). Sie können von "aktuellen" Kosten je nach Anbieter und Angebot abweichen

Da die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen durch den Betrieb im Zuge des Herdenwechsels erfolgte, variiert die Dauer, in der die Substrate in den überdachten Stallrandbereichen auslagen, zwischen den vier Ausläufen.

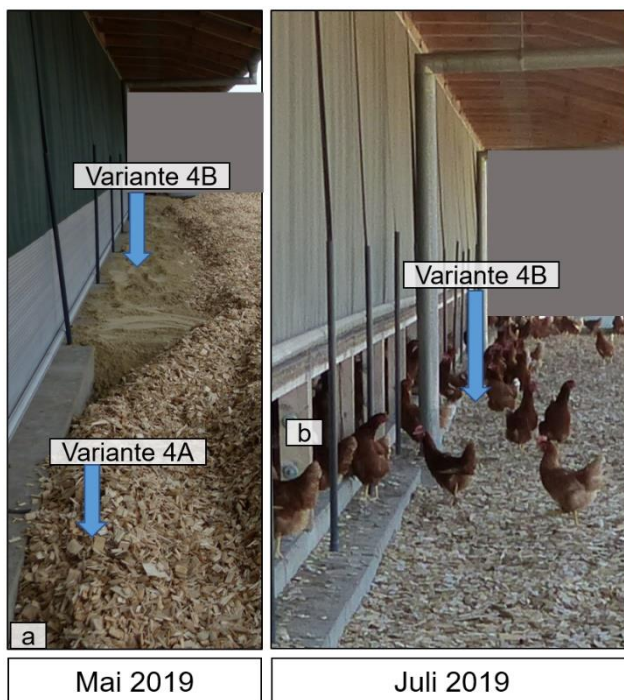
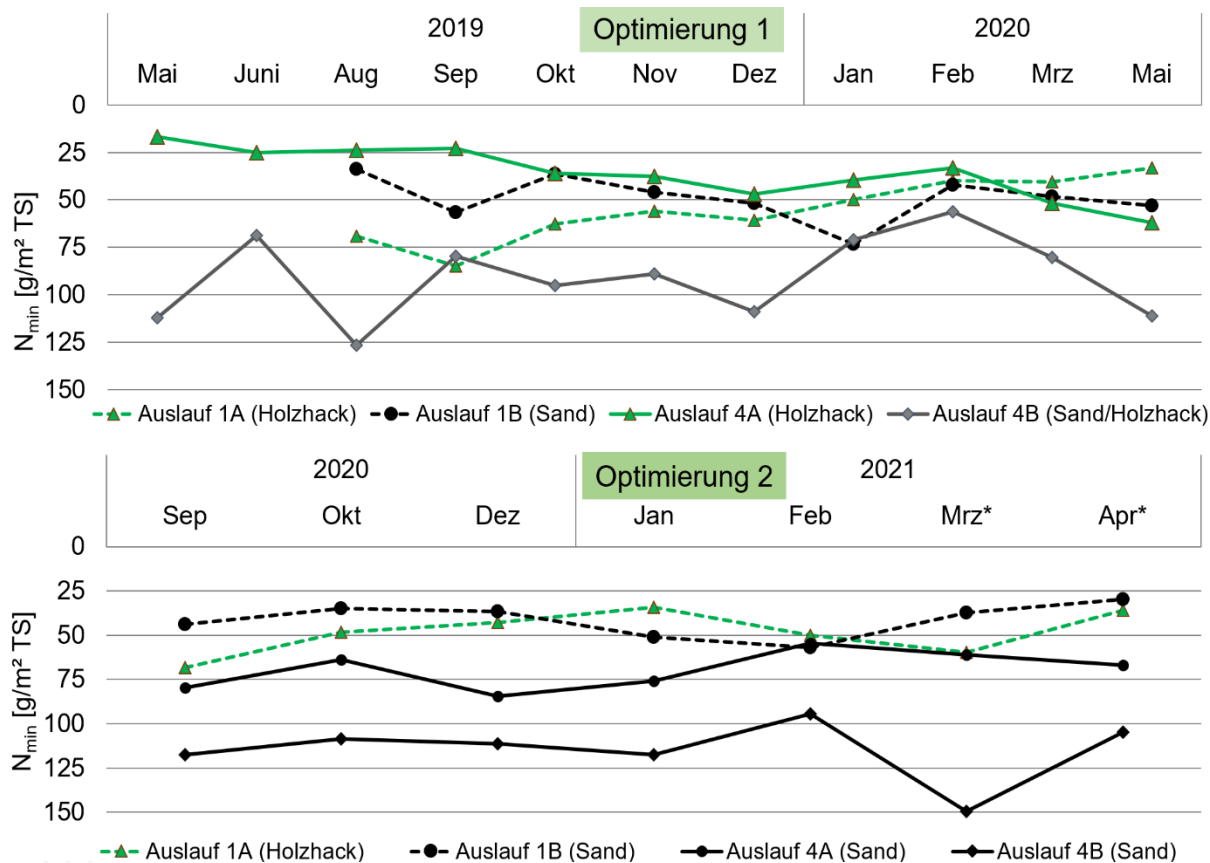


Abbildung 14 zeigt Aufnahmen aus dem überdachten Stallrand von Auslauf 4 nach der Ausbringung der Substrate. Diese erfolgte für die Optimierung 1 zum Mai 2019. Wie oben beschrieben, wurde der überdachte Stallrandbereich hälftig mit Holzhacksnitzeln (Variante 4A) und Sand (Variante 4B) bestückt (a). Allerdings fehlten zu diesem Zeitpunkt die Holzbalken, die die Substrate im überdachten Stallrandbereich voneinander und auch von dem ebenfalls mit Holzhacksnitzeln bedeckten, unmittelbar angrenzenden Nahbereich trennen sollten.

Dadurch kam es zu einer starken Verschleppung der Holzhacksnitzel in die Sandvariante, sodass im Juli 2019 eine optische Unterscheidung der beiden Bereiche nicht mehr möglich war (b). Der Anteil an Holzhacksnitzeln war nicht quantifizierbar.

Abbildung 14: Aufnahmen des überdachten Stallrandbereiches von Auslauf 4 nach Ausbringung der Substrate Holzhacksnitzel (Variante 4A) und Sand (Variante 4B) im Mai 2019 (a) und im Juli 2019 nach Verschleppung der Holzhacksnitzel auf die Sandvariante (b)

In Abbildung 15 sind die N_{min} -Dynamiken im Boden unter den Substraten Sand (betriebsüblich) und Holzhacksnitzel (optimiert) in den überdachten Randbereichen der Ausläufe 1 und 4 während der Optimierung 1 und 2 dargestellt. Gezeigt wird der Zeitraum von der Ausbringung der Substrate bis zu Beprobung der (End-)Substrate im Mai 2020 bzw. April 2021.



Bodenart: Sand (S) | Anzahl Tiere je Auslauf: 3.000 | Fläche Stallrand: ~ 52 m² | Fläche je Variante: ~ 26 m²

Abbildung 15: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallränder unterhalb der für die Optimierungen 1 und 2 eingesetzten Substrate Sand (betriebsüblich, schwarz) und Holzhackschnitzel (optimiert, grün) in den Ausläufen 1 (gestrichelte Linie) und 4 (durchgezogene Linie) (*Aufstallung der Tiere in Mrz. und Apr. 2021 aufgrund der Vogelgrippe)

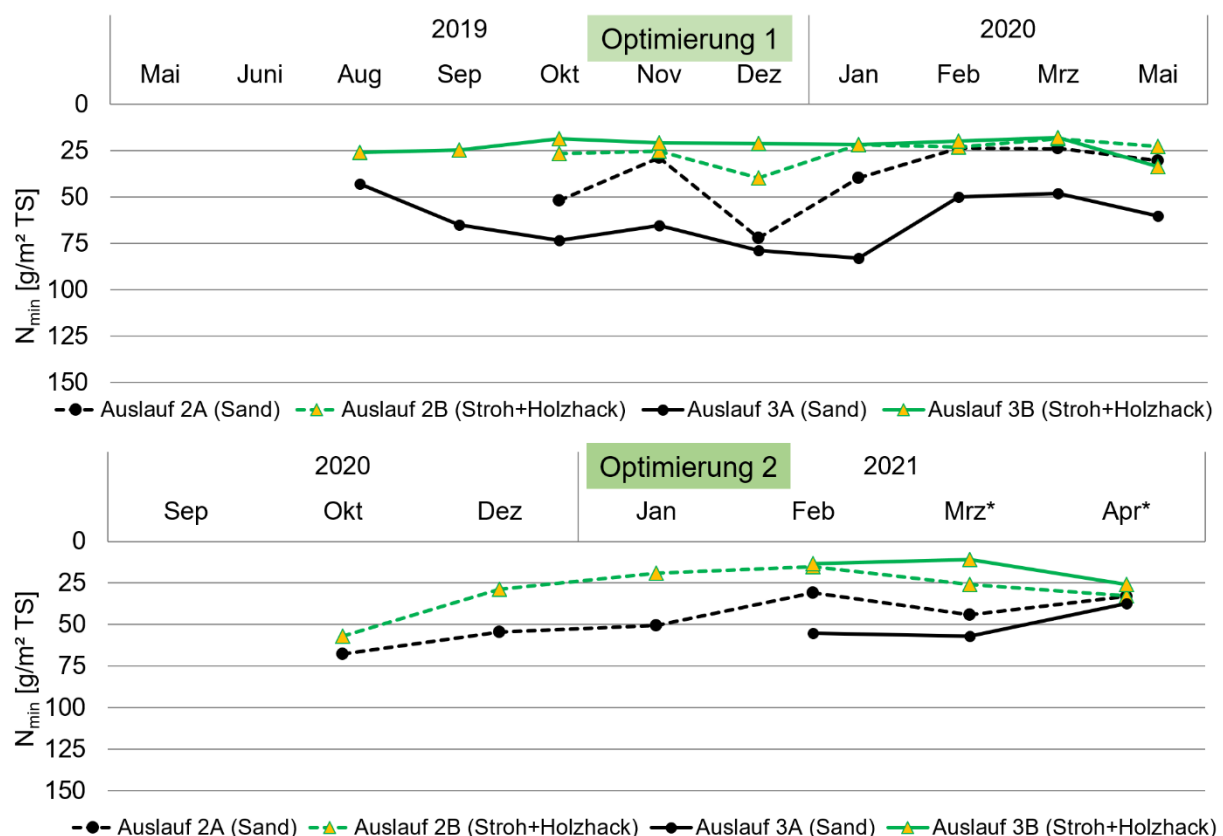
Bereits im Mai 2019, nach Ausbringung der Substrate für die Optimierung 1 im Auslauf 4 (durchgezogene Linien), ist ein sehr deutlicher Unterschied zwischen den beiden Varianten 4A (Holzhackschnitzel) und 4B (Sand/später mit Holzhackschnitzeln) festzustellen. Im Boden unter der Sandvariante wurden im Mai 2019 rund 95 g N_{\min}/m^2 mehr gemessen als unter der Variante 4A. Da ein Einfluss der Substrate auf die N_{\min} -Gehalte zu diesem frühen Zeitpunkt kaum erwartbar ist, ist dieser starke Unterschied vermutlich eher auf die vorangegangene Nutzung (etwa einer stärkeren Nutzung dieses Bereiches durch die Tiere) zu erklären. Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden unter der Variante 4B Werte zwischen 56 und 112 g N_{\min}/m^2 gemessen. Von Dezember 2019 zu Januar und Februar 2020 ist ein Rückgang der N_{\min} -Gehalte festzustellen, bevor diese bis Mai 2020 wieder ansteigen. Unter der Variante 4A wurden während der ersten Optimierungsphase N_{\min} -Gehalte zwischen 16 und 62 g N_{\min}/m^2 gemessen, starke Schwankungen zwischen den Probenahmeterminen (wie etwa bei der Variante 4B von Mai 2019 zu Juni 2019) sind nicht zu beobachten.

Auch im Zeitraum der Optimierung 2 liegen die N_{\min} -Gehalte der Variante 4B deutlich über den in den anderen Bereichen gemessenen. Unter der Variante 4A, die in der Optimierung 2 ebenfalls mit Sand bestückt worden war, wurden höhere N_{\min} -Gehalte gemessen als während der ersten Optimierung.

Im überdachten Stallrandbereich von Auslauf 1 wurden über den Zeitraum von August 2019 bis Dezember 2019 unter der Variante mit Holzhackschnitzeln (1A) höhere N_{\min} -Gehalte gemessen als unter der Sandvariante. Ab Dezember 2019 sinken die N_{\min} -Gehalte unter den Holzhackschnitzeln und liegen bis Februar unter denen der Sandvariante. Insgesamt liegen die N_{\min} -Dynamiken der Varianten 1A und 1B näher beieinander als das in Auslauf 4 (4A und 4B) der Fall ist.

Anhand der N_{\min} -Dynamiken ist eine Wirkung der unterschiedlichen Substrate Sand und Holz nicht eindeutig mit einer Veränderung der N_{\min} -Gehalte im Boden in Zusammenhang zu bringen. Um Ursache und Wirkung besser nachvollziehen zu können, wären hier homogenere Ausgangsbedingungen wünschenswert. Diese sind aufgrund vorhergehender Nutzung und der Flächenhistorie sowie einer Vielzahl intervenierender Variablen (wie etwa dem Verhalten der Hühner) unter Praxisbedingungen oftmals nicht herstellbar.

Die N_{\min} -Dynamiken im Boden unter den Substraten Sand (betriebsüblich) und Strohhäcksel mit Holzhackschnitzeln (optimiert) in den überdachten Randbereichen der Ausläufe 2 und 3 während der Optimierung 1 und 2 sind in Abbildung 16 dargestellt. Gezeigt wird der Zeitraum von der Ausbringung der Substrate bis zu Beprobung der (End-)Substrate im Mai 2020 bzw. April 2021.



Bodenart: Sand (S) | Anzahl Tiere je Auslauf: 3.000 | Fläche Stallrand: ~ 52 m² | Fläche je Variante: ~ 26 m²

Abbildung 16: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der überdachten Stallränder unterhalb der für die Optimierungen 1 und 2 eingesetzten Substrate Sand (betriebsüblich, schwarz) und Strohhäcksel mit Holzhackschnitzeln (optimiert, grün) in den Ausläufen 2 (gestrichelte Linie) und 3 (durchgezogene Linie) über den Zeitraum von der Ausbringung bis zur Beprobung der Substrate (*Aufstallung der Tiere in Mrz. und Apr. 2021 aufgrund der Vogelgrippe)

Die beiden Varianten von Auslauf 2 (gestrichelte Linien), starten auf einem unterschiedlichen Niveau, haben über den Untersuchungszeitraum der Optimierung 1 aber einen ähnlichen Verlauf mit einer Zunahme der Gehalte von November zu Dezember und einem Rückgang der N_{\min} -Gehalte zum Februar. Dabei ist festzustellen, dass die N_{\min} -Gehalte unter der Sandvariante höher sind und auch die Schwankungen der Gehalte stärker ausgeprägt sind als unter der Kombination von Strohhäckseln und Holzhackschnitzeln.

Bei den ersten Beprobungen im August 2019 sind die N_{\min} -Gehalte in der Variante 3A (Sand) rund $17 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ höher, als in der Variante 3B (Strohhäcksel und Holzhackschnitzel). Zum September 2019 gehen die Werte weiter auseinander. Im Januar 2020 beträgt die Differenz der im Boden unter den beiden Varianten gemessenen N_{\min} -Gehalte rund $61 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die N_{\min} -Gehalte unter der Sandvariante deutlich stärker schwanken.

In die zweite Optimierungsphase starten die beiden Varianten von Auslauf 2 im Oktober 2020 mit einer Differenz von rund $11 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$. Was Zu- und Abnahmen der N_{\min} -Gehalte betrifft, ähneln sich die Verläufe, wobei die Sandvariante bis zum letzten Termin im April 2021 höhere Werte als die Variante mit Strohhäckseln und Holzhackschnitzeln aufweist. In Auslauf 3 sind die N_{\min} -Gehalte der Sandvariante (3A) bereits zu Beginn rund $42 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ höher, im Vergleich zur Variante mit Strohhäckseln und Holzhackschnitzeln (3B). Über den Messzeitraum nehmen die N_{\min} -Gehalte in der Variante 3A ab und in 3B zu. Im April liegen alle Varianten der beiden Ausläufe auf einem ähnlichen Niveau.

Als mineralisches Substrat verfügt der Sand nur über eine sehr geringe Wasserhaltekapazität. Zudem wird er von den Tieren sehr gut angenommen, was zur Folge hat, dass es hier zu einer starken Belastung mit mineralischem Stickstoff kommt, die der Sand aber weder binden noch halten kann. Dies wiederum hat zur Folge, dass insbesondere der leicht lösliche Nitratstickstoff in die darunterliegenden Bodenschichten verlagert wird. Dies könnte die steigenden Gehalte während der Optimierung 1 und die Schwankungen erklären. Zwar ist der überdachte Randbereich durch den Dachvorsprung vor Niederschlag (von oben) geschützt, jedoch ist dieser Schutz nicht vollumfänglich. Des Weiteren besteht, da es sich um ein und denselben Boden handelt, eine unterirdische Verbindung zwischen dem überdachten Stallrand und dem angrenzenden (nicht überdachten) Nahbereich. Somit ist es auch möglich, dass das Nitrat aus dem überdachten Stallrand mit durch Niederschlagswasser aus dem Nahbereich verlagert bzw. ausgewaschen wird.

Wie Tabelle 6 zeigt, verfügen die organischen Substrate Strohhäcksel und Holzhackschnitzel -im Gegensatz zum Sand- zu Beginn (Ausgangssubstrat) über ein sehr weites C/N-Verhältnis. Das C/N-Verhältnis beschreibt das Verhältnis zwischen Kohlenstoff und Stickstoff in der organischen Substanz. Je weiter das C/N-Verhältnis, desto höher der Anteil an Kohlenstoff. Wie die Untersuchung der Endsubstrate zeigt, hat sich das mittlere C/N-Verhältnis der Sand-Variante geweitet, ist also bei den Substratbeprobungen im Mai 2019 und 2020 stickstoffärmer als zu Beginn der Ausbringung. Im Gegensatz dazu ist vor allem in der Kombination aus Strohhäckseln und Holzhackschnitzeln eine starke Anreicherung der organischen Substanz mit Stickstoff zu beobachten.

Tabelle 6: Mittlere C/N-Verhältnisse (\pm Standardabweichung) der eingesetzten Substrate zu Beginn (Ausgangssubstrat) und zum Ende der Untersuchungen (Endsubstrat)

	Sand	Strohhäcksel	Holz hackschnitzel
Ausgangssubstrat	7 (\pm 2) (n= 07)	108 (\pm 25) (n=05)	288 (\pm 76) (n= 06)
Endsubstrat	17 (\pm 9) (n= 31) *	76 (\pm 46) (n=16)	
		45 (\pm 11) (n= 7)	

*Da die Variante 4 B in der Optimierung 1 weder den Sand- noch den Holz hackschnitzelvarianten eindeutig zuzuordnen ist, wird sie bei der Auswertung der Substratproben nicht berücksichtigt

Die Ergebnisse der Substratuntersuchungen des Sandes auf Gesamtstickstoff (N_{\min} und N_{org}) sind in Abbildung 17 dargestellt. Während im Ausgangssubstrat des für die Optimierung 1 verwendeten Sandes nur knapp 4 g N_{\min}/m^2 und keinerlei organischer Stickstoff nachgewiesen werden konnte, gab es über die Versuchsdauer einen deutlichen Anstieg der Stickstoffgehalte.

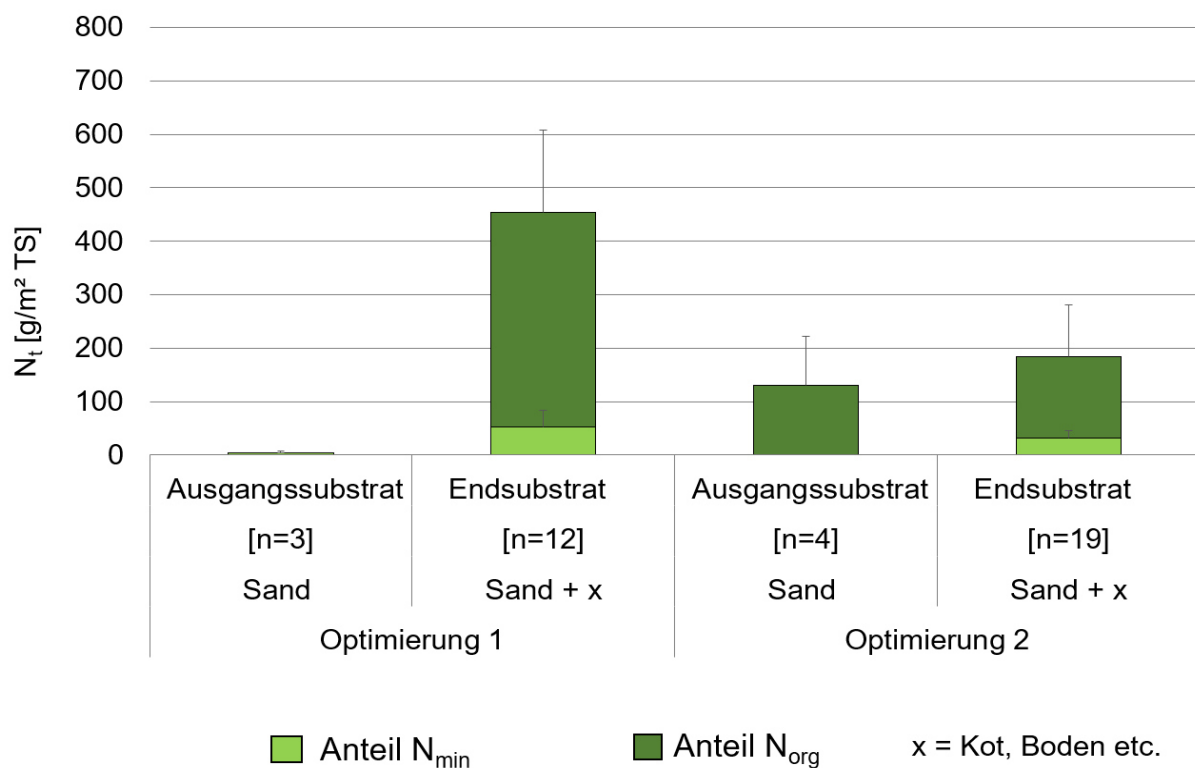


Abbildung 17: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) des Substrates Sand nach dessen Ausbringung (Ausgangssubstrat) und zum Zeitpunkt der Substratbeprobung (Mai 2019 und April 2021, Endsubstrat) gemittelt über Ausläufe und Probenahmestellen

Bei der Beprobung der Endsubstrate (nach Nutzung durch die Tiere) im Mai 2019 konnte ein Zuwachs der mittleren N_{\min} -Gehalte um knapp 50 g/m² und des organischen Stickstoffs auf 402 g/m² festgestellt werden, der auf den Eintrag organischer Substanz durch die Tiere zurückzuführen ist. Auch in der Optimierung 2 kam es, wenn auch in niedrigerem Maße, zu einem Anstieg der Stickstoffgehalte (um 32 g N_{\min}/m^2 und 22 g N_{org}/m^2) über die (z.T. kurze) Liegedauer.

Auch die N_{\min} -Gehalte der Holz hackschnitzel steigen in beiden Optimierungsphasen über die Liegedauer deutlich an. So wurden im Endsubstrat 77 und 62 g N_{\min}/m^2 mehr nachgewiesen

als im Ausgangssubstrat. Der Zuwachs an organischem Stickstoff betrug in beiden Optimierungsphasen etwa 430 g/m² (vgl. Abbildung 18).

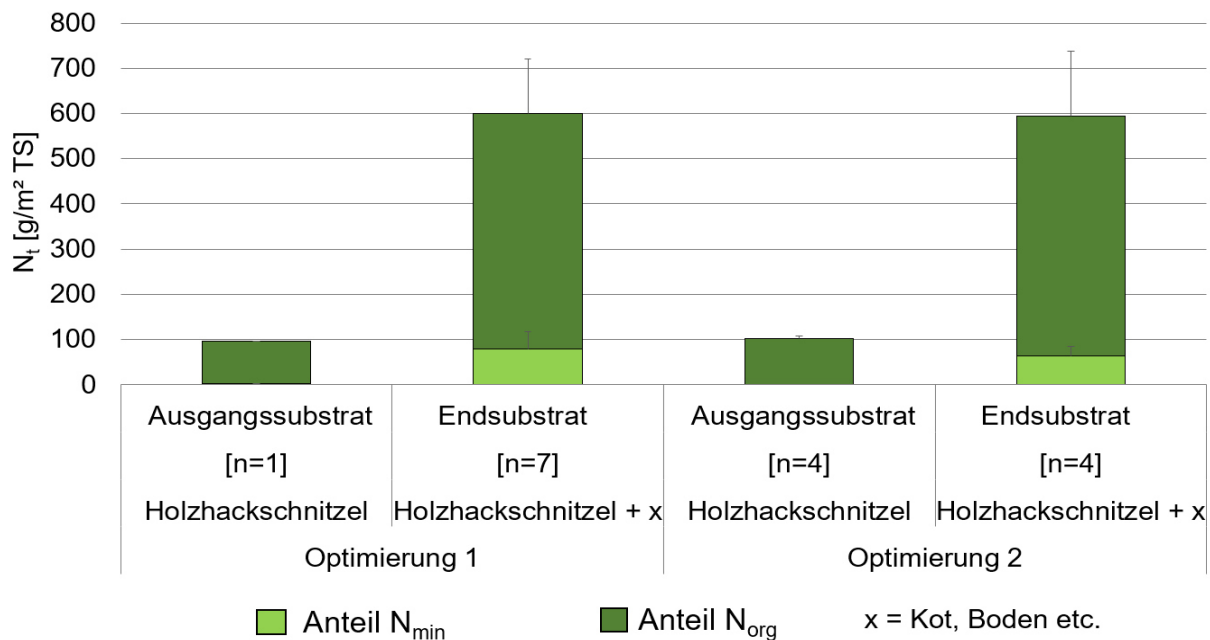


Abbildung 18: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{min} und N_{org}) der Holz hackschnitzel nach deren Ausbringung (Ausgangssubstrat) und zum Zeitpunkt der Substratbeprobung (Mai 2019 und April 2021, Endsubstrat) gemittelt über Ausläufe und Probenahmestellen

Auch die Substratkombination aus Stroh häckseln und Holz hackschnitzeln (vgl. Abbildung 19) weist nach der Liegedauer deutlich höhere Stickstoffgehalte auf, als zum Zeitpunkt der Aus-

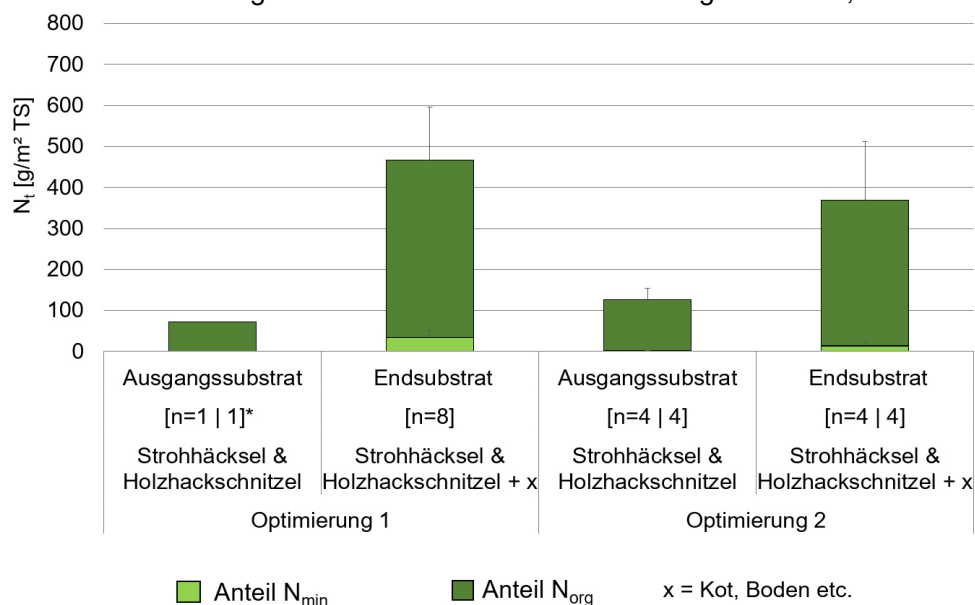


Abbildung 19: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{min} und N_{org}) der Substrate Stroh häcksel mit Holz hackschnitzel nach deren Ausbringung (Ausgangssubstrat) und zum Zeitpunkt der Substratbeprobung (Mai 2019 und April 2021, Endsubstrat) gemittelt über Ausläufe und Probenahmestellen

bringung. Nach der Optimierung 1 konnte hier ein Zuwachs pro Quadratmeter von 33 g/N_{min} und 361 g N_{org} festgestellt werden.

Die Differenz der Stickstoffgehalte im Ausgangs- und dem Endsubstrat in der Optimierung 2 liegen bei 12 g/N_{min} und 229 g N_{org}/m².

Der organische Stickstoff kann im Zuge der Ammonifikation in Ammoniak oder Ammoniumstickstoff und dann durch Nitrifikation weiter in Nitratstickstoff umgewandelt werden. Die gestiegenen N_{\min} -Gehalte in den (End-)Substraten weisen darauf hin, dass dieser Prozess hier stattgefunden hat. Während die organischen Substrate zu Versuchsende ein deutlich engeres C/N-Verhältnis aufweisen, ist der Sand aufgrund seiner Eigenschaften nicht in der Lage den angereicherten Stickstoff zu binden. Das könnte auch Grund für die teils deutlichen Schwankungen der N_{\min} -Gehalte im Boden unter den Sandvarianten sein.

Die parasitologischen Untersuchungen der in der Optimierung 2 eingesetzten Substrate sind Tabelle07 zu entnehmen. In den Sandvarianten konnte im Vergleich zu den daneben liegenden organischen Substraten eine höhere Parasitenbelastung festgestellt werden.

Tabelle 7: Befund der parasitologischen Untersuchungen der in den überdachten Randbereichen von Betrieb 3 für die Optimierung 2 eingesetzten Substrate (Beprobung am 29.04.2021)

Auslauf	Substrat (Endsubstrat)	Liegedauer (Tage)	im Substrat nachgewiesener Befall				
			Magendarmwürmer	Spulwürmer	Bandwürmer	Haarwürmer	Kokzidienoozysten
1	Sand	289	-	+++	-	-	-
	Holzhackschnitzel	289	-	+	-	-	-
2	Sand	224*	-	++	-	-	+
	Strohhäcksel und Holzhackschnitzel	224*	-	-	-	-	+
3	Sand	65	++	-	-	-	-
	Strohhäcksel und Holzhackschnitzel	65	+	-	-	-	+
4	Sand	318	+	-	-	-	-
	Sand	318	+	-	-	-	-
*exaktes Datum der Ausbringung unbekannt			- = nicht nachgewiesen, + = geringgradig, ++ = mittelgradig, +++ = hochgradig				

5.2.4 Betrieb 7

Sowohl die überdachten Stallrandbereiche als auch die daran angrenzenden Nahbereiche aller vier Ausläufe von Betrieb 7 sind mit einer 20-30 cm mächtigen Schicht aus grobem Gleisschotter ausgestattet. Unter dieser Schotterauflage befindet sich ein zusätzliches Kiesbett (circa 15-20 cm). Aus technischen Gründen konnten in diesen Bereichen daher keine regelmäßigen Bodenprobenahmen erfolgen. Wie den Fotoaufnahmen in Abbildung 20 zu entnehmen ist, ist der Gleisschotter im überdachten Stallrandbereich aufgrund einer starken



Abbildung 20: Überdachter Stallrandbereich und angrenzender Nahbereich mit Gleisschotterbett (a), Nahaufnahme der starken Kotauflage auf und zwischen dem Gleisschotter im überdachten Stallrandbereich (b) (Aufnahmen vom 06.08.2019)

Schicht aus Kot und zum Teil auch Boden kaum noch als Schotter zu erkennen (a). Anders verhält es sich im angrenzenden Nahbereich. Hier wirkt der Schotter zumindest oberflächlich „optisch sauber“ und die einzelnen Steine sind klar zu erkennen. Wie die Nahaufnahme (b) zeigt, handelt es sich dabei nicht nur um eine „oberflächliche“ Verunreinigung, Kot und Schmutz sind auch zwischen und unter den Schottersteinen zu finden. Zudem wurde eine starke Geruchsentwicklung wahrgenommen, die auf Ausgasungen (etwa in Form von Ammoniak) hinweist.

Der Grund für die starke Diskrepanz zwischen dem optischen Zustand des überdachten Stallrandes und dem angrenzenden Nahbereich ist vor allem der Dachvorstand. Zum einen gibt er den Tieren einen gewissen Schutz (Schatten, Trockenheit) und das unmittelbar vor den Auslaufluken (grüne Folie in Abbildung 20 a), was dazu führt dass sich dort viele Tiere aufhalten und Kot absetzen. Zum anderen schützt der Dachvorsprung in gewissem Maße vor direktem Niederschlag. Anders verhält es sich im Nahbereich: hier werden Kot und Schmutz in noch stärkerem Maße in die darunterliegenden Bodenschichten gespült und erscheinen daher „sauberer“. Die gute Drainagewirkung des Schotters, die das Risiko der Pfützenbildung im Nahbereich mindern soll, ist vor dem Hintergrund der hohen Verschmutzung und Kotbelastung kontraproduktiv.

5.3 Nahbereiche

Beim Nahbereich handelt es sich i.d.R. um den an den überdachten Stallrand angrenzenden Bereich. Die Größe und Form variieren zwischen den Betrieben und hängen von Nutzung und Form der Auslauflächen ab. Die Nahbereiche wurden in allen Auslauflächen der Betriebe untersucht. Auf Betrieb 5 und Betrieb 7 waren die Nahbereiche befestigt (Pflastersteine bzw. Gleisschotter) weshalb eine Beprobung hier nicht durchführbar war. In diesen Fällen wurde der an die Befestigung angrenzende Bereich mit gewachsenem Boden als „Nahbereich“ beprobt.

5.3.1 Betrieb 1

Die N_{\min} -Gehalte im Boden der Nahbereiche beidseits des Winterstandplatzes des Mobilstalls von Betrieb 1 wurden von November 2018 bis Januar 2022 gemessen. Solange der Stall in diesem Teil der Auslaufläche stand, hatten die Tiere im Wechsel Zugang zu Nahbereich 1 oder Nahbereich 2. Die Nutzungsdauer betrug zwischen 1 - 5 Monaten. Der Bereich stand den Tieren entweder als Nahbereich (v.a. über die Wintermonate) oder als Teil der Auslaufläche zur Verfügung. Die in Abbildung 21 gezeigten N_{\min} -Gehalte von Nahbereich 1, der weniger oft und über kürzere Zeiträume genutzt wurde, liegen im Untersuchungszeitraum unter 20 g/m^2 , wobei der Großteil des mineralischen Stickstoffes in 0-30 cm Bodentiefe festgestellt wurde.

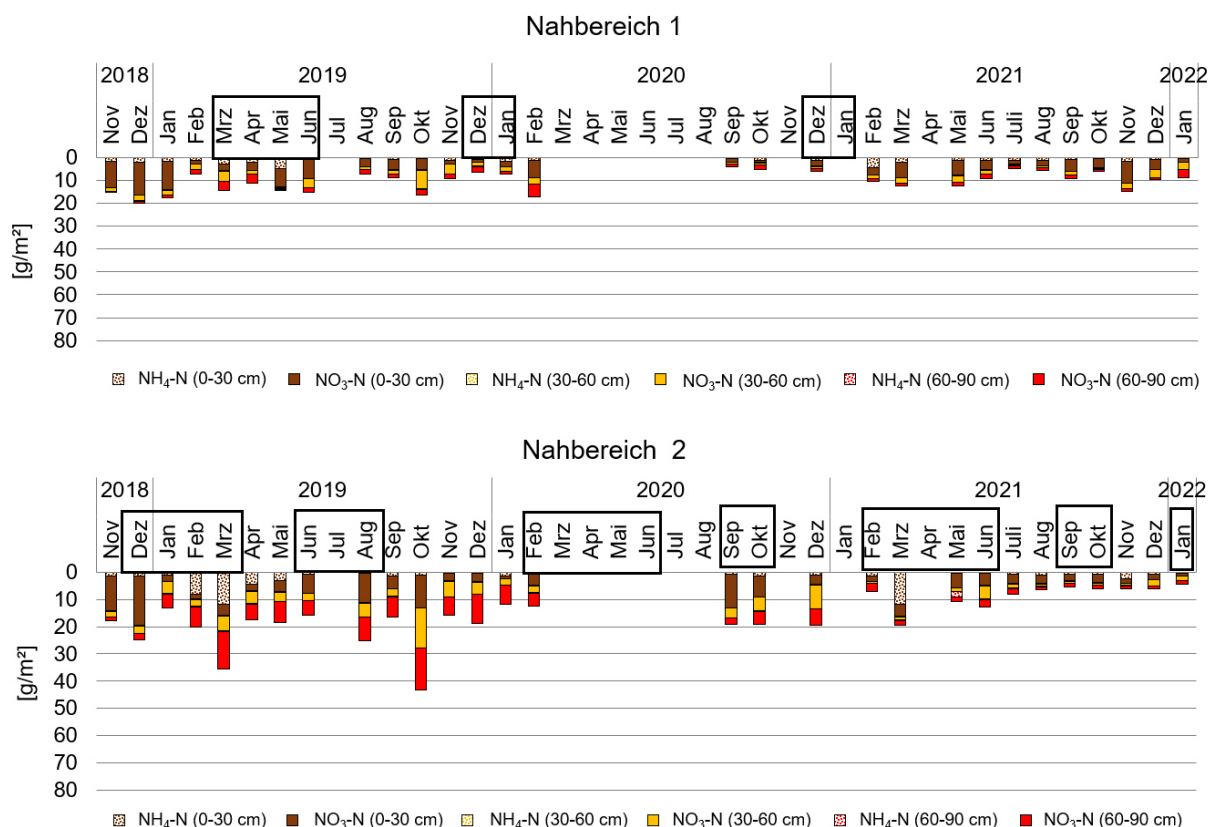


Abbildung 21: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) der beiden Nahbereiche des Winterstandplatzes von Betrieb 1, von November 2018 bis Januar 2022 (Monate in denen die Tiere Zugang zum Bereich hatten sind schwarz umrandet)

Die N_{\min} -Gehalte im Boden von Nahbereich 2 liegen an den meisten Terminen unterhalb von 20 g/m^2 . An vier Terminen wurden N_{\min} -Gehalte zwischen 20 und 40 g/m^2 nachgewiesen. Im

März 2019 und 2021 konnten im Oberboden Ammoniumstickstoffgehalte von 12 g/m² gemessen werden. Bei Betrachtung der N_{min}-Gehalte ist die geringe Wasserhaltekapazität des Sandbodens zu berücksichtigen. Während der Nutzungszeiten war der Nahbereich 2 i.d.R. frei von Bewuchs. Somit steigt das Auswaschungsrisiko des Nitratstickstoffes.

5.3.2 Betrieb 2

In den drei Mobilställen (Kufenställe) von Betrieb 2 werden jeweils circa 1.650 Tiere gehalten. Jeder der Ställe hat zwei feste Standplätze und daran gebunden zwei Auslauflächen. Bei den im Folgenden dargestellten Nahbereichen handelt es sich um die Nahbereiche der Auslauflächen, zu denen die Tiere über die winterlichen Sickerwasserperioden Zugang hatten (Ausläufe der Standflächen 1b, 2b und 3a in Abbildung 55, S.66). Als Nahbereiche wurden hier die Bereiche unmittelbar links und rechts der Ställe beprobt. Während der Optimierungsphasen wurden ausschließlich die Nahbereiche von Stall 1 und Stall 3 mit Substraten beaufschlagt, während Stall 2 zum Vergleich betriebsüblich weitergeführt wurde. Eine Übersicht der eingesetzten Substrate, der Flächengrößen und der verwendeten Mengen gibt Tabelle 8. Für die zweite Optimierung der Nahbereiche von Stall 1 wurden Strohpellets verwendet, die in zwei separaten Gaben ausgebracht wurden. Aus Kostengründen wurde die einzustreuende Fläche dabei deutlich reduziert. Die für die Optimierung von Stall 3 ausgebrachten Strohpellets verblieben über die gesamte Haltungsdauer der Herde (mehr als 12 Monate) im Nahbereich und wurden von den Tieren genutzt.

Tabelle 8: Übersicht der für die Optimierungen in den Nahbereichen von Betrieb 2 verwendeten Substrate, deren Aufwandsmengen und der Kosten

		Stall 1	Stall 2	Stall 3
Bodenart		sandiger Lehm (sL) z.T. Lößlehm/schluffiger Lehm (L/uL) Tonanteil: 17-35 %		
	Nutzung der Fläche als Auslauf seit	2010	2011	2012
	Fläche Nahbereich [m ²]	Optim. 1: 330 m ² Optim. 2: 145 m ²	515 m ²	297 m ²
	Entfernung zum Stall [m]	0-5 m	0-10 m	0-5 m
Substrat	Status quo (betriebsüblich)	blanker Boden (schwarzbrach)	blanker Boden (schwarzbrach)	blanker Boden (schwarzbrach)
	Optimierung 1	Strohhäcksel + Grünschnitt	blanker Boden (schwarzbrach)	Strohpellets
	Optimierung 2	Strohpellets (in 2 Gaben)	blanker Boden (schwarzbrach)	
	Mittlere Aufwandsmenge [kg/m ² FS]	Stroh: 1,7 Grünschnitt: 8,6	-	38,5
		Strohpellets Gabe 1: 21,1 Gabe 2: 17,8		
Schütthöhe (FS)	Stroh: 2,6 cm Grünschnitt: 2,6 cm	-	7,4 cm	

		Stall 1	Stall 2	Stall 3
Substrat	Schütthöhe (FS)	Strohpellets Gabe 1: 4 cm Gabe 2: 3 cm		
	Kosten* je m ² bei 10 cm Schütthöhe (FS)	Stroh: 1,05 € Grünschnitt: 0,00 € Strohpellets: 10,63 €	-	10,21 €
* Bei den hier angeführten Kosten handelt es sich um Nettokosten (excl. MwSt. und Lieferkosten). Sie können von "aktuellen" Kosten je nach Anbieter und Angebot abweichen				

Die N_{\min} -Dynamik des Nahbereiches von Stall 1 und die des durchgängig betriebsüblich geführten Nahbereiches von Stall 2, sind in Abbildung 22 dargestellt. Beim Vergleich der N_{\min} -Dynamiken über die drei Projektphasen wird deutlich, dass die Gehalte mineralischen Stickstoffs in der durchgängig betriebsüblich geführten Variante (Stall 2) –mit Ausnahme von drei Probenahmeterminen im Sommer 2019 – bereits während der Status quo-Erhebungen höher sind, als die im Nahbereich von Stall 1 gemessenen. Auch während der Optimierungsphasen, in denen im Nahbereich von Stall 1 Substrate ausgebracht wurden, wurden in dem betriebsüblich geführten Nahbereich (blanker Boden) weiterhin die höheren Werte festgestellt. Die N_{\min} -Gehalte zwischen den einzelnen Probenahmeterminen unterliegen in beiden Nahbereichen teils deutlichen Schwankungen. Ein Vergleich der Mittelwerte über die drei Untersuchungsphasen ergibt, dass die Differenz der mittleren N_{\min} -Gehalte zunimmt. So sind die im durchgängig betriebsüblichen Nahbereich gemessenen N_{\min} -Gehalte während der Status quo-Phase 10 g/m², in der Optimierung 1 rund 15 g/m² und in der zweiten Optimierungsphase 14 g/m² höher, als in dem mit den jeweiligen Substraten beaufschlagten Nahbereich (Stall 1). Unklar bleibt allerdings in welchem Maße dies auf die eingesetzten Substrate und/oder auf Jahreseffekte und die Nutzung durch die Tiere zurückzuführen ist.

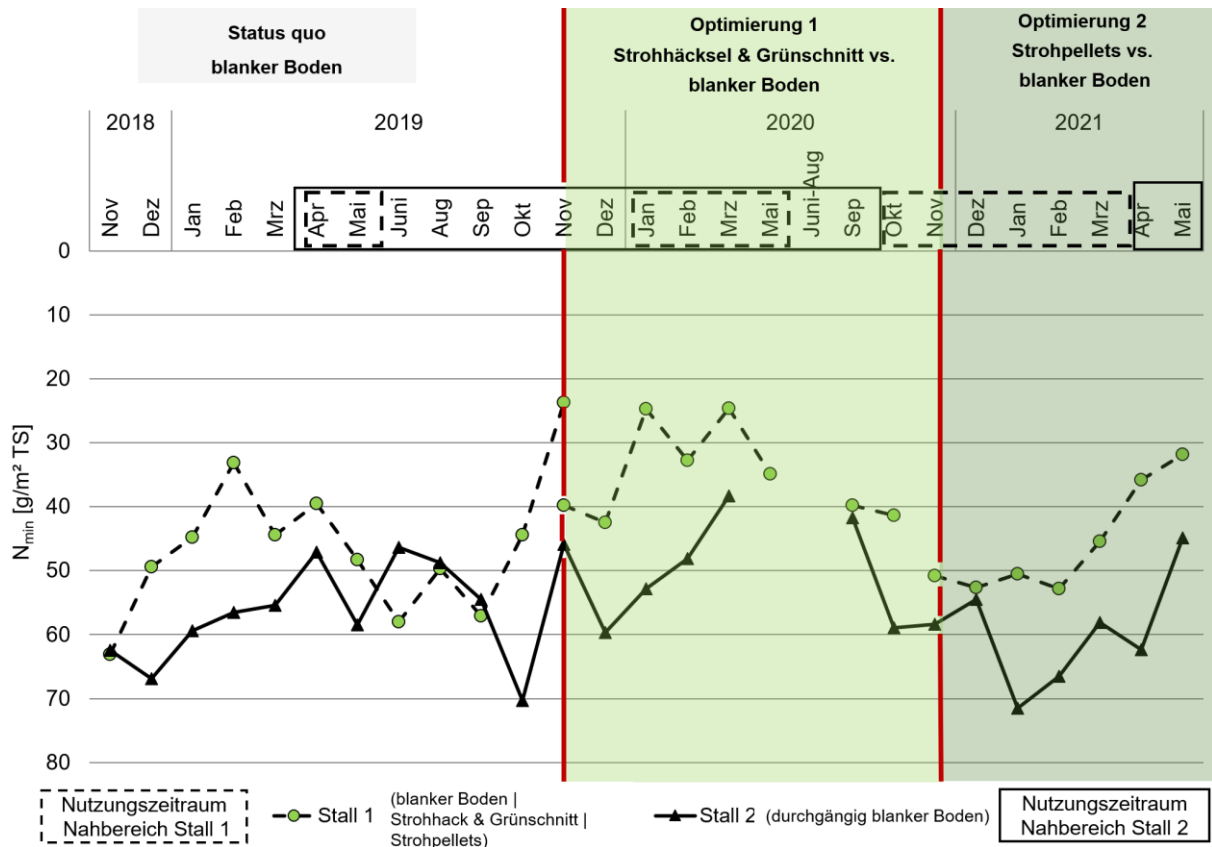


Abbildung 22: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) und Nutzungszeiträume der Nahbereiche von Stall 1 und Stall 2 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (Nov. 2018 bis Mai 2021)

Die N_{\min} -Dynamiken des Nahbereiches von Stall 3 und Stall 2, sind in Abbildung 23 dargestellt. Während der Nahbereich von Stall 2 durchgängig betriebsüblich geführt wurde (blanker Boden), wurden für die Optimierung 1 im Nahbereich von Stall 3 Strohpellets ausgebracht. Die N_{\min} -Gehalte der beiden Nahbereiche schwanken mitunter deutlich zwischen den einzelnen Beprobungsterminen. Von März 2019 bis Juni 2019 haben beide N_{\min} -Dynamiken einen sehr ähnlichen Verlauf, danach ist im Nahbereich von Stall 3 ein stetiger Rückgang der N_{\min} -Gehalte bis Januar 2020 erkennbar, während die N_{\min} -Gehalte im Nahbereich von Stall 2 bis Oktober 2019 ansteigen. Während der Optimierung 1 liegen die N_{\min} -Gehalte unter dem mit Strohpellets versehenen Nahbereich deutlich niedriger als in dem betriebsüblich weitergeführten Auslauf.

Ein Vergleich der Mittelwerte in den beiden Phasen zeigt, dass die N_{\min} -Gehalte im Boden unter den Strohpellets (Stall 3) während der Optimierungsphase im Durchschnitt 12 g/m^2 niedriger sind im Vergleich zu denen, die dort in der Status quo-Phase gemessen wurden. In der betriebsüblich geführten Variante wurden während der Status quo-Erhebungen im Durchschnitt $18 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ mehr gemessen als im (zu diesem Zeitpunkt ebenfalls betriebsüblich geführten) Nahbereich von Stall 3. Während der Optimierungsphase lagen die N_{\min} -Gehalte im Boden der betriebsüblichen Variante im Mittel 29 g/m^2 über denen des optimierten Nahbereiches. Ein Einfluss der Präsenz bzw. Absenz eines Substrates auf die mineralischen Stickstoffgehalte im Boden erscheint plausibel, lässt sich aber anhand der N_{\min} -Dynamiken nicht zweifelsfrei belegen.

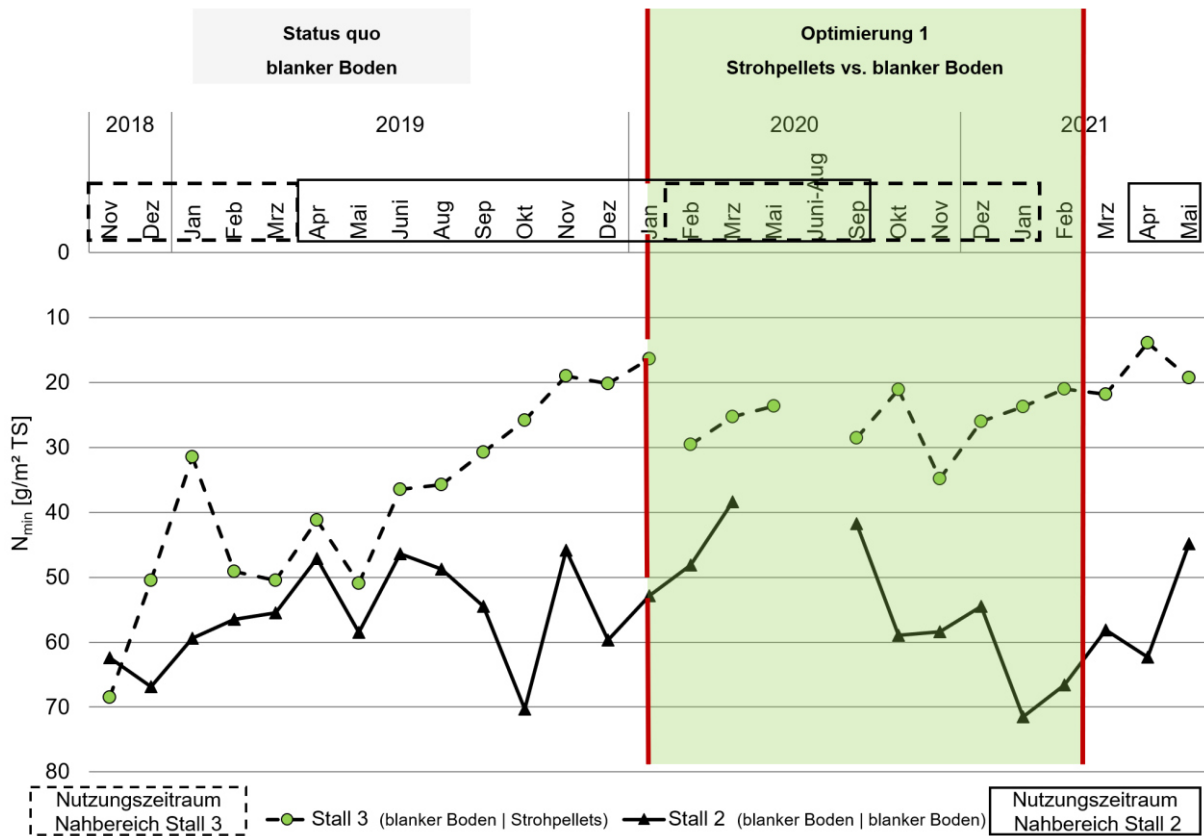


Abbildung 23: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) und Nutzungszeiträume der Nahbereiche von Stall 3 und Stall 2 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (Nov. 2018 bis Mai 2021)

Die N_{\min} -Gehalte in dem Gemisch aus Strohhäckseln und

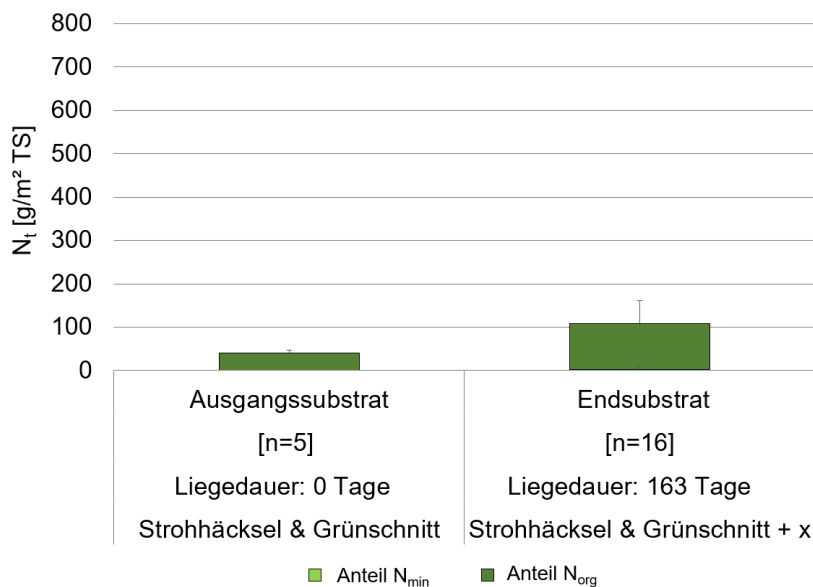


Abbildung 24: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in der Optimierung 1 von Stall 1 verwendeten Strohhäcksel und des Grünschnitts vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 163 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen

Grünschnitt, das für die Optimierung 1 von Stall 1 verwendet wurde, sind in Abbildung 24 dargestellt. Sie steigen im Laufe der 163 tägigen Liegedauer auf rund 3 g/m² an. Der organische Stickstoffgehalt des Endsubstrates liegt, bezogen auf den Quadratmeter, 64 g über dem des Ausgangssubstrates. Dies weist auf einen Eintrag organischen Stickstoffes durch die Tiere und eine teilweise Mineralisation desselben hin. Das C/N-

Verhältnis der Strohhäcksel lag zu Beginn der Liegedauer bei 87, das des Grünschnittes bei 68. Nach 163 Tagen wurde für das Endsubstrat ein C/N-Verhältnis von 26 ermittelt.

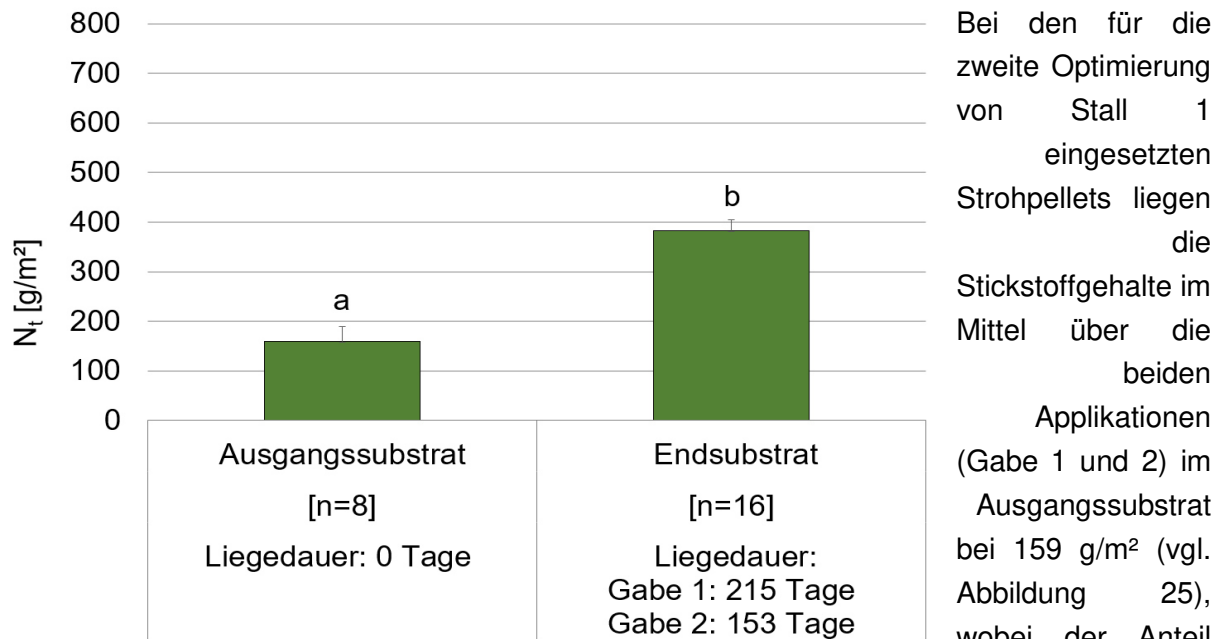


Abbildung 25: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (emmeans (+SE)) der in der Optimierung 2 von Stall 1 verwendeten Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 153 bzw. 215 Tagen

Bei den für die zweite Optimierung von Stall 1 eingesetzten Strohpellets liegen die Stickstoffgehalte im Mittel über die beiden Applikationen (Gabe 1 und 2) im Ausgangssubstrat bei 159 g/m² (vgl. Abbildung 25), wobei der Anteil organischen Stickstoffs bei 97 % liegt. Über die Liegedauer kommt es zu einer

weiteren Anreicherung der Strohpellets mit Stickstoff, so dass der Gesamtstickstoffgehalt im Endsubstrat 224 g/m² über dem des Ausgangssubstrates liegt ($p < .0001$). Auch die Gesamtphosphorgehalte steigen über die Liegedauer um 36 g/m² auf insgesamt 51 g/m² im Endsubstrat an ($p < .0001$). Bei einer Entnahme des Substrates zum Zeitpunkt der letzten Beprobung hätten so mit den Strohpellets rund 382 g N/m² und 51 g P/m² von der Fläche entnommen werden können. Bei der parasitologischen Untersuchung konnte ein mittelgradiger Befall des Endsubstrates mit Magendarm- und Bandwurmeiern, sowie ein geringgradiger Befall mit Spulwurmeiern nachgewiesen werden.

In Abbildung 26 sind die mittleren Gesamtstickstoffgehalte der Substrate an drei Terminen zu sehen: bei Versuchsbeginn nach Ausbringung der Strohpellets (Ausgangssubstrat), nach einer Liegedauer von 101 Tagen und am Ende der Liegedauer nach 374 Tagen. Nach 101 Tagen Liegedauer konnten bei der ersten Beprobung des Endsubstrates rund 98 g N/m² mehr festgestellt werden, als im Ausgangssubstrat. Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die Gesamtstickstoffmengen im Ausgangssubstrat (245 g/m²) kaum von denen, die nach 374 Tagen noch im Substrat festgestellt werden konnten (246 g N/m²). Die Differenz an Gesamtstickstoffgehalten zwischen den beiden Beprobungen der Endsubstrate, beläuft sich auf 97 g /m² ($p = 0,0119$).

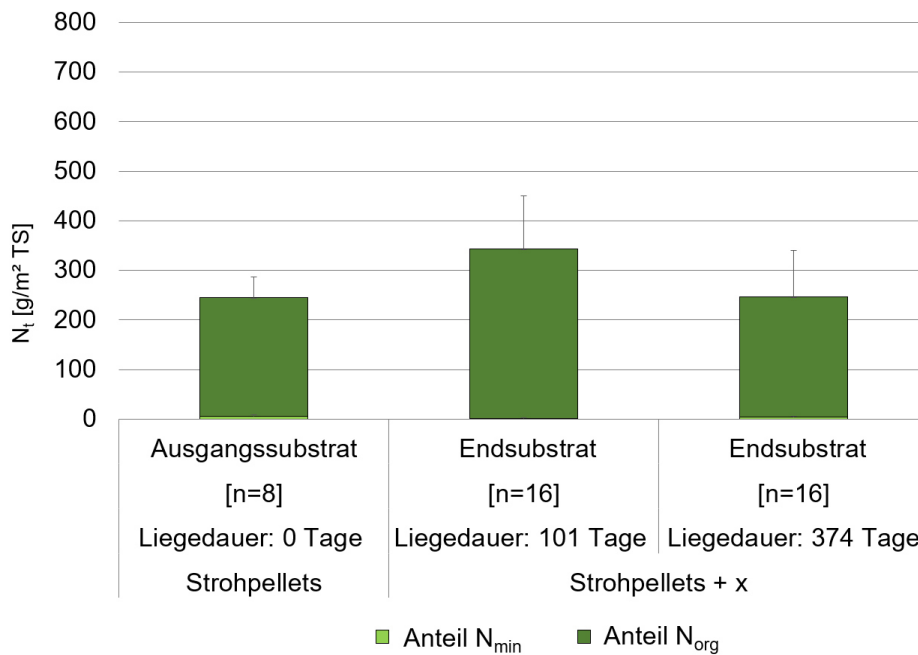


Abbildung 26: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in der Optimierung 1 von Stall 3 verwendeten Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 101 und 374 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen

Das C/N-Verhältnis der Substrate wurde über den Untersuchungszeitraum enger. Von 76 im Ausgangssubstrat auf 43 nach 101 Tagen Liegedauer und schließlich 23 nach 374 Tagen. Dies spricht für eine N-Anreicherung des Substrates über die Liegedauer. Die N-Verluste zwischen dem Beprobungstermin nach 101 und jenem nach 374 Tagen können zum einen auf gasförmige Austräge zurückzuführen sein (diese wurden im Projekt nicht erfasst), zum anderen ist auch nicht auszuschließen, dass Stickstoff ausgewaschen wurde. Die Gehalte des weniger auswaschungsgefährdeten Phosphors steigen im Substrat über den Untersuchungszeitraum kontinuierlich an. Nach 101 Tagen ist der Gesamtphosphorgehalt im Endsubstrat 11 g/m² höher, nach 374 Tagen 19 g/m² höher als im Ausgangssubstrat. Dies spricht dafür, dass eine Anreicherung der Strohpellets mit Nährstoffen über die gesamte Liegedauer stattfindet, der Stickstoff aber bei zu langer Liegedauer (in diesem Fall 374 Tagen) wieder verloren gehen kann.

Die Ergebnisse in Abbildung 26 machen deutlich, dass das Entfernen des Substrates von der Fläche um einen tatsächlichen Stickstoffentzug zu erreichen nach 101 Tagen oder zumindest deutlich vor 374 Tagen Liegedauer hätte erfolgen müssen. Auch der optische Eindruck des Substrates wird über die lange Liegedauer schlechter, was ebenfalls für einen früheren Austausch spricht, wie die Bildfolge in Abbildung 27 zeigt. In den 374 Tagen sind in Summe 521 mm Niederschlag gefallen, davon 310 mm im Zeitraum von Februar 2020 (Ausbringung) bis September 2020. Zum Zeitpunkt der zweiten Substratbeprobung (kurz vor dem Entfernen des Substrates von der Fläche) waren die Strohpellets stark aufgequollen (l), die Oberfläche durch den Eintrag des matschigen Bodens aus den angrenzenden Bereichen dunkel verfärbt (j-k).

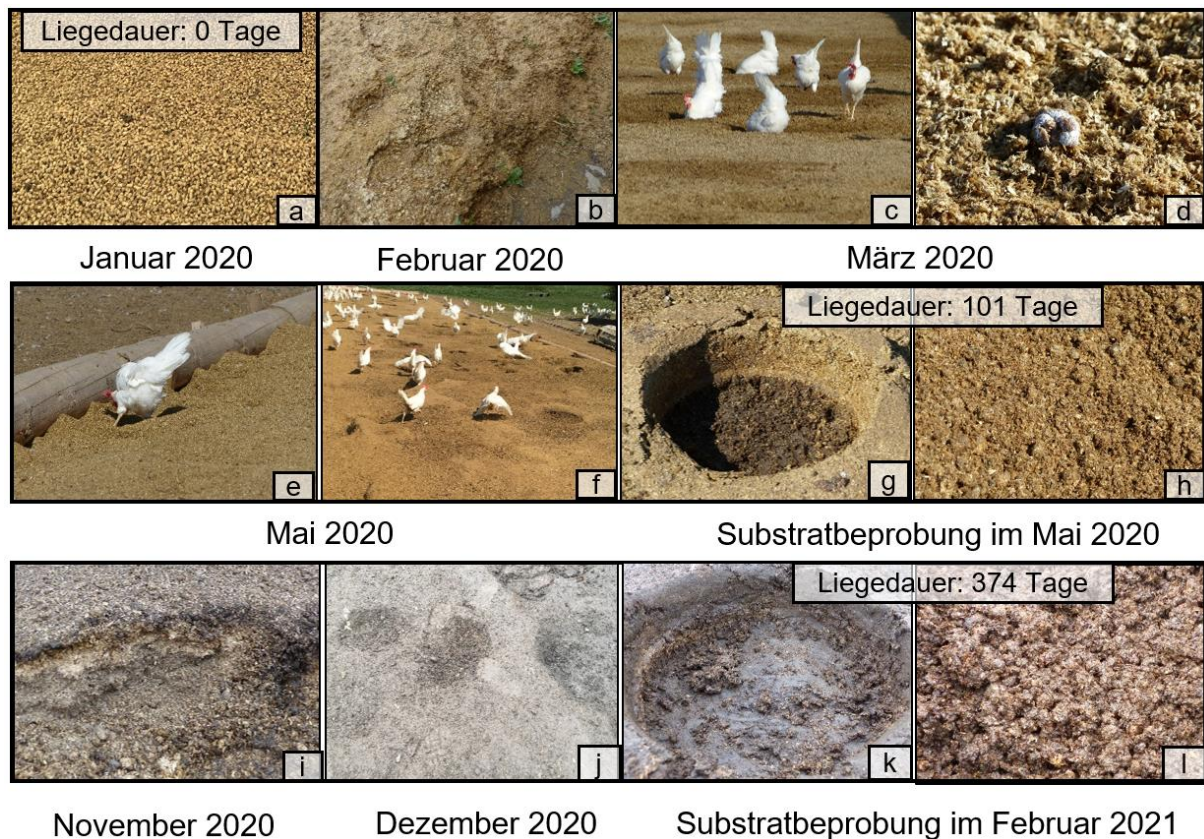
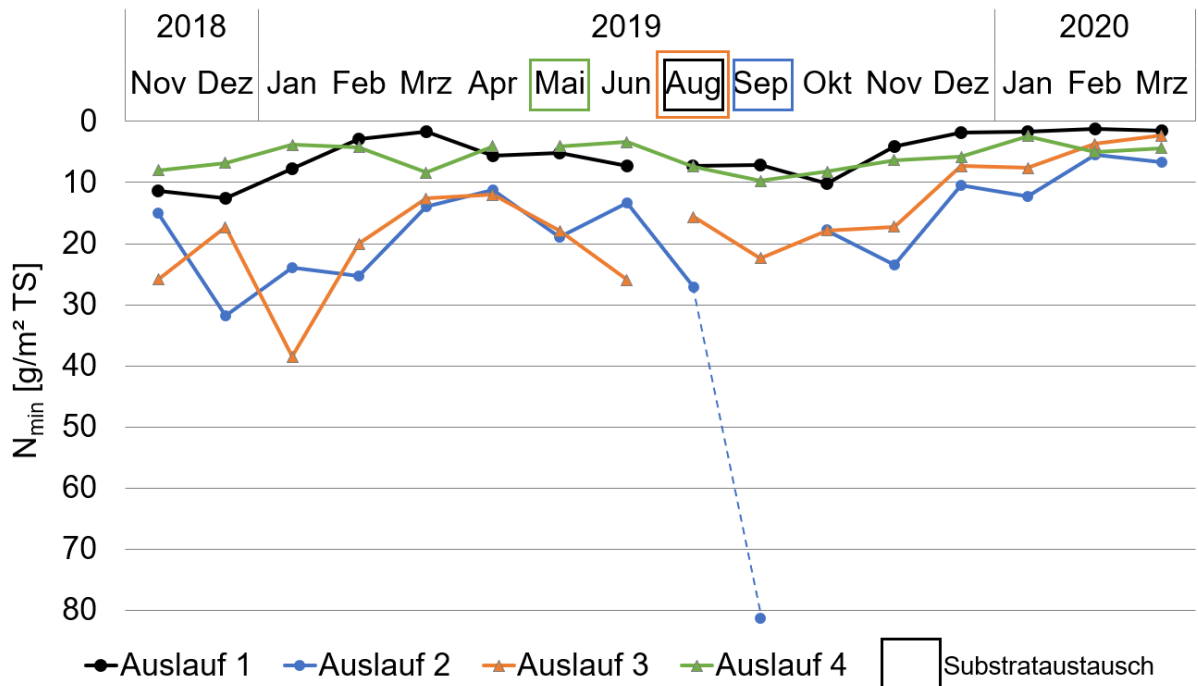


Abbildung 27: Bildreihe der in der Optimierung 1 von Stall 3 ausgebrachten Strohpellets über die Liegedauer (Januar 2020 bis Februar 2021, 374 Tage)

5.3.3 Betrieb 3

Die vier Nahbereiche von Auslauf 1-4 werden durch den Betrieb mit einer circa 30 cm mächtigen Schicht aus Holzhackschnitzeln versehen. Mit dem Herdenwechsel werden die Holzhackschnitzeln ausgetauscht, das alte Material wird innerbetrieblich als Dünger weiterverwendet. Die je 3.000 Tiere mit Zugang zu Auslauf 1 bzw. Auslauf 2 leben in einem Stallgebäude, Auslauf 3 und 4 gehören zu einem zweiten Stallgebäude. Die N_{\min} -Dynamiken der Nahbereiche sind in Abbildung 28 dargestellt. In Auslauf 1 und 4 wurden an den meisten Probenahmeterminen N_{\min} -Gehalte unter 10 g/m^2 festgestellt. In Auslauf 2 und 3 kommt es im Nahbereich zu deutlichen Schwankungen der gemessenen Werte, die von November 2018 bis November 2019 zwischen 15 und $39 \text{ g N}_{\min}/\text{m}^2$ liegen. Zum Dezember 2019 sinken die N_{\min} -Gehalte und befinden sich im Februar und März in allen Ausläufen auf einem Niveau von unter 10 g/m^2 . Bei der Messung im September 2019 in Auslauf 2 handelt es sich sehr wahrscheinlich um einen Fehler bei der Probenentnahme. Da die sehr hohen N_{\min} -Gehalte in der Krume (0-30 cm) festgestellt wurden, ist anzunehmen, dass hier möglicherweise Kot mit ins Probenmaterial gelangt ist.



Bodenart: Sand (S) | Anzahl Tiere je Auslauf: 3.000 | Fläche Nahbereich: 380-400 m²

Abbildung 28: N_{min}-Dynamik im Boden (0-90 cm) der Nahbereiche der Ausläufe 1 bis 4 von Betrieb 3 (Nov. 2018 bis März 2020)

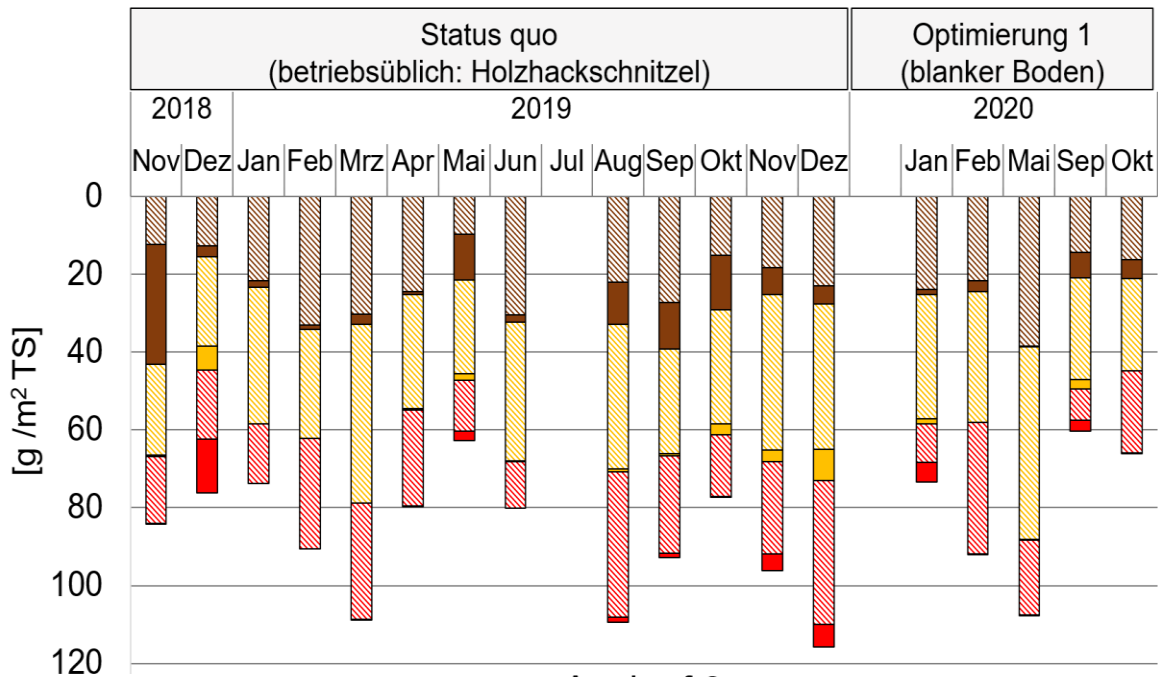
Da alle Ausläufe über die 30 cm starke Holzhackschnitzelschicht verfügen (und somit eine nicht beaufschlagte Referenzfläche fehlt), lässt sich nicht klar sagen, in welchem Maße die Holzhackschnitzel die mineralischen Stickstoffgehalte beeinflussen. Eine deutliche Veränderung der N_{min}-Gehalte in Zusammenhang mit dem Substrataustausch ist ebenfalls nicht eindeutig erkennbar.

5.3.4 Betrieb 4

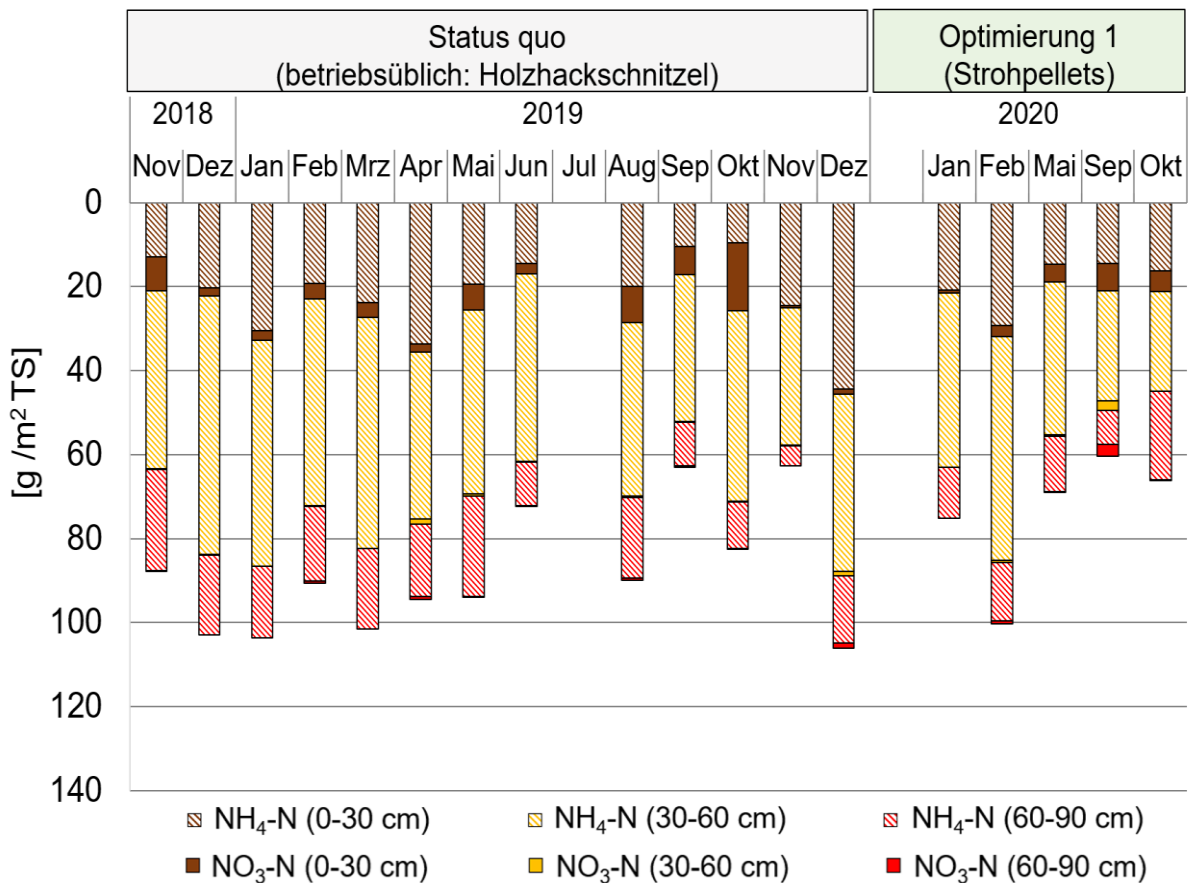
Auf Betrieb 4 werden zwei Herden mit je 3.000 Tieren gehalten, die Ausläufe wurden erstmals im Herbst 2014 genutzt. Die Bodenart im Nahbereich ist stark lehmiger Sand (IS) mit einem Tonanteil von 12-17 %. Die beiden Nahbereiche werden betriebsüblich mit einer Schicht aus Holzhackschnitzeln ausgestattet. Anfang Dezember 2019 wurde der 202 m² große Nahbereich von Auslauf 2 optimiert. Hierfür wurden zunächst zwei Strohquaderballen (3,47 kg/m², circa 3 cm Schütthöhe) auf der Fläche ausgerollt. Im Anschluss wurden darauf 13.265 kg Strohpellets (65,8 kg/m² FS) mit einer Schütthöhe von 13 cm ausgebracht. Die Kosten für je 10 cm Schütthöhe (FS) je m² beliefen sich auf 1,32 €/m² für das Stroh und 13,77 €/m² für die Strohpellets (bei den hier angeführten Kosten handelt es sich um Nettokosten (excl. MwSt. und Lieferkosten), die von "aktuellen" Kosten je nach Anbieter und Angebot abweichen können).

Abbildung 29 zeigt die N_{min}-Gehalte, die von November 2018 bis Oktober 2020 im Boden der beiden Nahbereiche gemessen wurden.

Auslauf 1



Auslauf 2



Bodenart: stark lehmiger Sand (IS) | Anzahl Tiere je Auslauf: 3.000 | Fläche je Nahbereich: 202 m²

Abbildung 29: N_{min}-Gehalte im Boden (0-90 cm) der Nahbereiche von Betrieb 4 während der Status quo-Erhebungen (Nov.2018 – Dez.2019) und der Optimierung 1 (Jan. – Okt. 2020), in der im Nahbereich von Auslauf 2 Strohpellets eingesetzt wurden

Wie aus den Grafiken von Auslauf 1 und 2 deutlich wird, wurden hier über den gesamten Beprobungszeitraum in allen drei Bodentiefen hohe Gehalte von Ammoniumstickstoff gemessen. Dieser kann – unter den entsprechenden Voraussetzungen - entweder über Nitrifikation in Nitratstickstoff oder in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und pH-Wert in Ammoniak umgewandelt werden. Da Ammonium kationisch ist und sich an Tonmineralen anlagert, gilt es (im Vergleich zum Nitratstickstoff) als weniger auswaschungsgefährdet. Dementsprechend sind vor allem die hohen Gehalte von Ammoniumstickstoff in den Schichten 30-60 und 60-90 auffallend. Sie weisen auf eine Übersättigung des Bodens mit Ammonium hin und auf eine Verlagerung von Ammonium, möglicherweise über Makroporen. In 0-90 cm Tiefe konnten im Mittel über den Beprobungszeitraum in Auslauf 2 $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte von $83 \text{ g/m}^2 (\pm 15)$ gemessen werden, in Auslauf 1 waren es $76 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^2 (\pm 19)$. Hohe Ammoniumgehalte kommen mitunter in Marsch- und Moorgebieten vor, wo es bei der Zersetzung organischen Materials entsteht (Scheffer et al. 2018). Die hohen Ammoniumgehalte weisen auf einen schlecht durchlüfteten Boden hin, was auch die geringen Gehalte an Nitratstickstoff erklären würde, da für die Nitrifikation eine Durchlüftung des Bodens benötigt wird. Bei den Probenahmen war zu beobachten, dass der Boden häufig durchnässt war (vgl. auch Abbildung 32 a). Möglicherweise ist ein Grund für die hohen Ammoniumgehalte auch in der Auslaufhistorie zu suchen. Eine weitere Eintragsquelle für $\text{NH}_4\text{-N}$ ist der im Hühnerkot enthaltene Harnstoff, der in Ammonium umgewandelt wird.

Eine Reduktion des mineralischen Stickstoffs im Boden durch die Verwendung des Stroh in Kombination mit den Strohpellets ist nicht eindeutig festzustellen. Allerdings zeigen die in

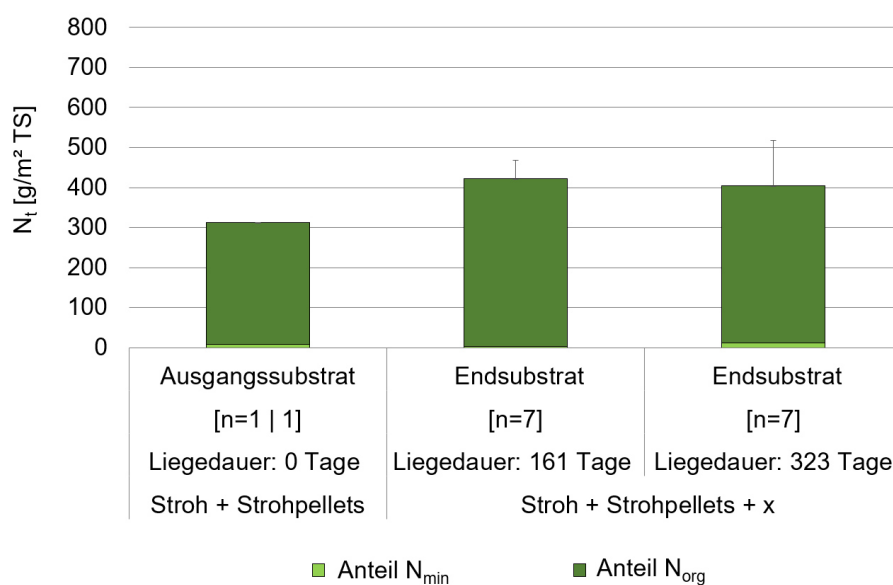


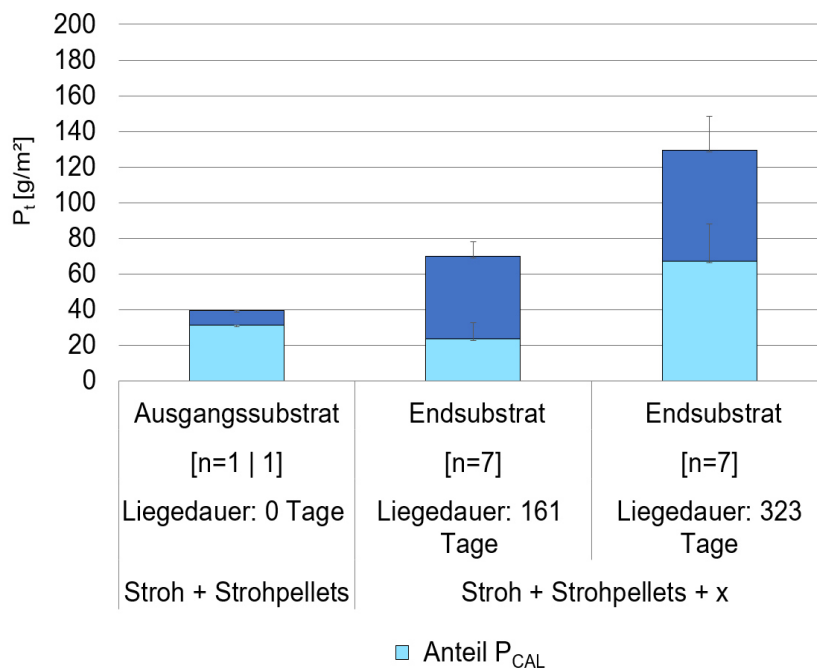
Abbildung 30 dargestellten N_t -Gehalte im Substrat einen deutlichen Anstieg der Stickstoffgehalte (vor allem des organischen Stickstoffs) über die Liegedauer. So liegen die N_t -Gehalte nach 161 Tagen rund 111 g/m^2 über denen des Ausgangssubstrats. Nach einer weiteren Liegedauer von noch einmal

Abbildung 30: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{min} und N_{org}) der in der Optimierung 1 von Auslauf 2 verwendeten Substrate Stroh mit Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 161 und 323 Tagen

162 Tagen, ist ein Anstieg der mineralischen Stickstoffgehalte im Substrat auf 12 g/m^2 festzustellen, (9 g/m^2 mehr, als nach 161 Tagen festgestellt werden konnten), was für eine Mineralisation des organischen Stickstoffs spricht. Die Menge an organischem Stickstoff sinkt allerdings um 18 g/m^2 . Gründe hierfür können zum einen gasförmige Stickstoffverluste (nicht

erfasst) und zum anderen auch Verlagerung/Auswaschung im Anschluss an Nitrifikation sein. Nach 323 Tagen lagen die N_t -Gehalte im Endsubstrat noch 93 g/m^2 über jenen des Ausgangssubstrates. Während der gesamten Liegedauer fielen insgesamt 607 mm Niederschlag, davon 333 mm zwischen den Beprobungsterminen der Endsubstrate.

Bei Betrachtung der in Abbildung 31 gezeigten, nicht von Auswaschung betroffenen Gehalte an Gesamtphosphor (P_t) und pflanzenverfügbarem Phosphor (P_{CAL}), wird deutlich, dass es hier über die Liegedauer zu einem kontinuierlichen Anstieg kommt. So liegen die P_t -Gehalte nach 161 Tagen gut 31 g/m^2 über denen des Ausgangssubstrates. Über die weitere



Liegedauer verdoppelt sich dieser Anstieg noch einmal, so dass nach einer Liegedauer von 323 Tagen $90 \text{ g } P_t/\text{m}^2$ mehr gemessen wurden, als im Ausgangssubstrat. Auch das C/N-Verhältnis wird über die Liegedauer deutlich enger. Während zu Versuchsbeginn ein C/N-Verhältnis von 108 für das Stroh und von 111 für die Strohpellets ermittelt wurden, lag das C/N-Verhältnis des Endsubstrates nach 161

Abbildung 31: Mittlere Gesamtphosphorgehalte (P_t) und deren Anteil pflanzenverfügbaren Phosphors (P_{CAL}) der in der Optimierung 1 von Stall 3 verwendeten Strohpellets vor (Ausgangssubstrat) und nach (Endsubstrat) einer Liegedauer von 101 und 374 Tagen gemittelt über die Probenahmestellen

Tagen bei 35, nach 323 bei 18. Die steigenden Phosphorgehalte und das enger werdende C/N-

Verhältnis weisen ebenfalls darauf hin, dass es über die Liegedauer zu einer Anreicherung des Substrates mit Nährstoffen gekommen ist, wobei es vor allem beim Stickstoff bei andauernder Liegedauer bedingt durch Ausgasung und Auswaschung zu Verlusten kommt.

Die Bildreihe in Abbildung 32 zeigt den Nahbereich von Auslauf 4. Vor Ausbringung des Substrates (a) ist eine starke Durchnässung des Bodens erkennbar. Circa 2 Wochen nach Ausbringung des Strohs und der Strohpellets sind erste Kuhlen zu sehen. Die Tiere bearbeiten das Material, das unter der oberen, dunkleren Schicht noch strohfarben ist und Pellet-Struktur zeigt (c). Zum Zeitpunkt der ersten Substratbeprobung im Mai 2020 ist eine Krustenbildung des Materials feststellbar (d und e), die wahrscheinlich auf wiederholtes Aufquellen und Abtrocknen des Substrates, sowie auf Verdichtung und Bodeneintrag durch die Tiere zurückzuführen ist. Der an den Nahbereich angrenzende Bereich ist zu diesem Zeitpunkt schwarzbrach und weist ebenfalls eine Vielzahl von Kuhlen auf (d). Die Strohpellets im Nahbereich werden von den Tieren bearbeitet und sind unterhalb der Krusten scharffähig und

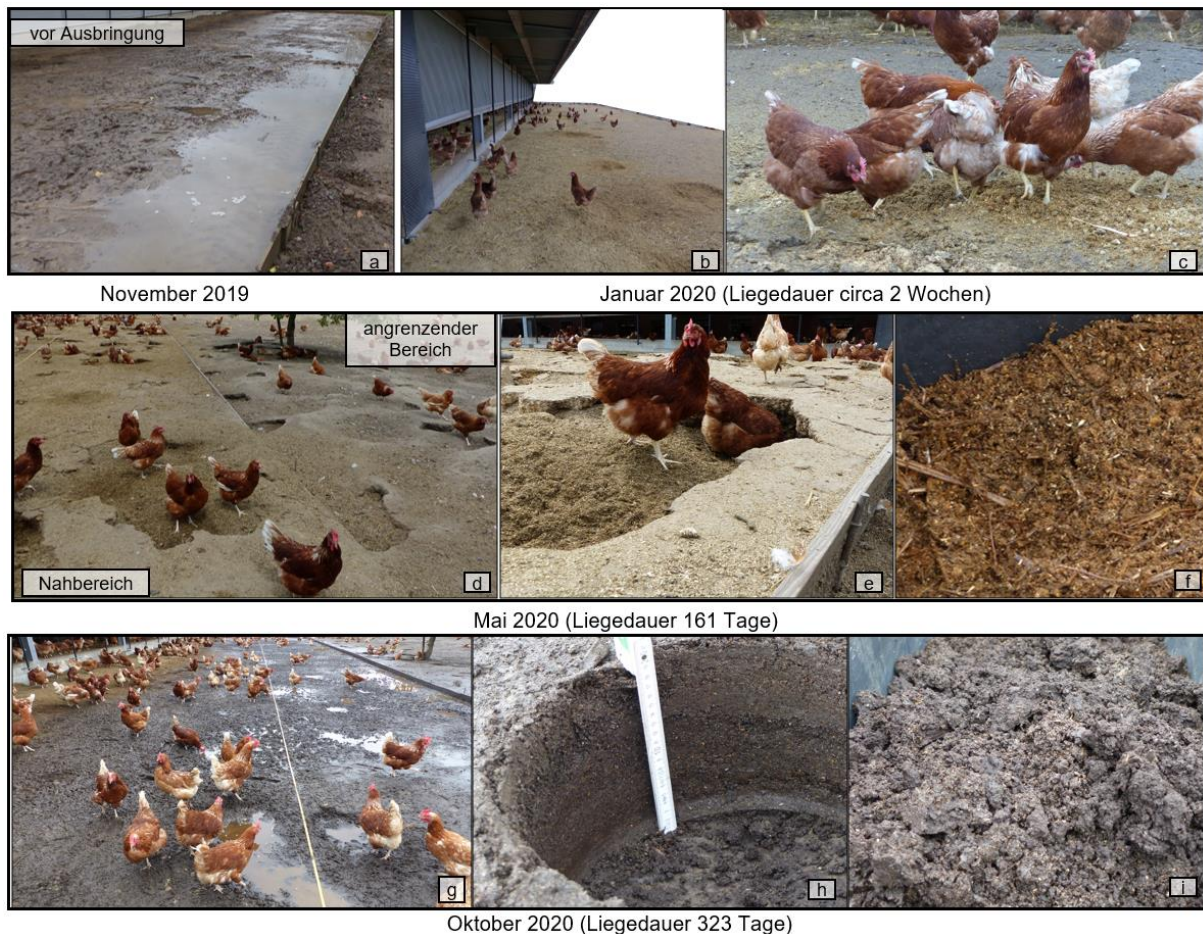


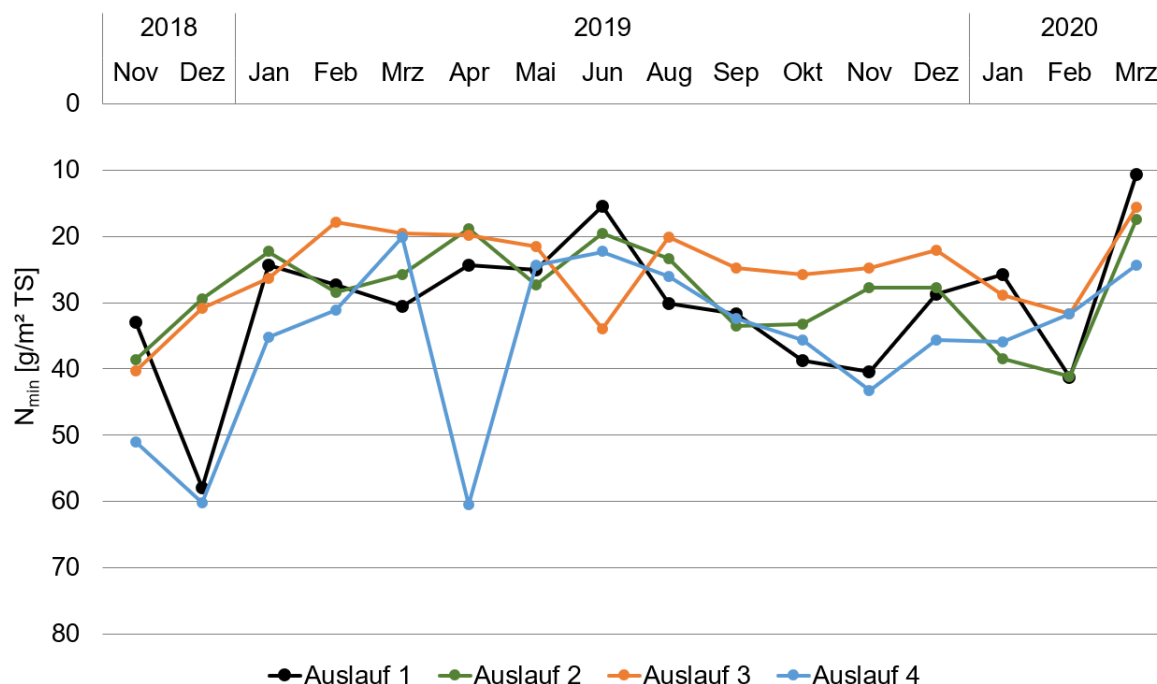
Abbildung 32: Bildreihe des Nahbereichs von Auslauf 2 (Betrieb 4) vor (a) und nach Ausbringung des Strohs und der Strohpellets (b-i) über die Liegedauer (Dezember 2019 bis Oktober 2020, 323 Tage)

krümelig (e). Teile des entnommenen Substrates sind feucht, die Strohpellets sind aufgequollen und krümelig, einzelne Strohhalme sind erkennbar (f). Nach 323 Tagen Liegedauer stehen im unüberdachten Nahbereich Pfützen (g), das Substrat ist matschig, von dunkler Farbe, Strohanteile sind kaum noch identifizierbar (h und i). Tierverluste in Zusammenhang mit den Substraten wurden nicht vermeldet. Dennoch empfiehlt sich sowohl aus Sicht der Stickstoffgehalte als auch aus hygienischen Aspekten ein früherer Austausch des Substrates.

5.3.5 Betrieb 5

Die an die Auslaufluken angrenzenden (unüberdachten) Nahbereiche der vier Ausläufe des Stallgebäudes von Betrieb 5 sind mit Pflaster befestigt. Dementsprechend konnten auf dieser Fläche keine Bodenproben entnommen werden. Die nächste beprobare Fläche (Zone 1) begann in etwa 13 m Entfernung zum Stall. Hier wurden in den vier Ausläufen mit je 3.000 Tieren im Zeitraum von November 2018 bis März 2020 Bodenproben entnommen. Zuschnitt und Flächengröße der Zone 1 variieren dabei je nach Zuschnitt der Auslaufläche (Auslauf 1: 1000 m², Auslauf 2: 630 m², Auslauf 3: 361 m², Auslauf 4: 800 m²), wobei es beim Zuschnitt Ähnlichkeiten zwischen Auslauf 1 und 4 und zwischen Auslauf 2 und 3 gibt. Die Bodenart ist

Lößlehm, schluffiger Lehm (L/uL) mit einem Tonanteil zwischen 25 und 35 %. Die N_{\min} -Gehalte in dieser Zone 1 über den Untersuchungszeitraum sind Abbildung 33 zu entnehmen.



Bodenart: Lößlehm, schluffiger Lehm (L/uL) | Anzahl Tiere je Auslauf: 3.000 | Nutzung als Auslauf seit 2015

Abbildung 33: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der Zone 1 der Ausläufe 1 bis 4 von Betrieb 5 (Nov. 2018 bis März 2020)

Über den gesamten Untersuchungszeitraum sind Schwankungen der N_{\min} -Gehalte in allen vier Ausläufen festzustellen. Im Zeitraum von November 2018 bis Januar 2019 ähneln sich die N_{\min} -Dynamiken der Zone 1 von Auslauf 1 und 4. Hier ist ein starker Anstieg gefolgt von einem starken Rückgang (um 34 g N_{\min}/m^2 in Auslauf 1 und 25 g N_{\min}/m^2 in Auslauf 4) der N_{\min} -Gehalte zum Januar hin festzustellen. Auch die N_{\min} -Dynamiken von Auslauf 2 und 3 ähneln sich in diesem Zeitraum, hier ist ein kontinuierlicher Rückgang zum Januar festzustellen, so dass die Differenz zu den N_{\min} -Gehalten im November 2018 zwischen 13 und 16 g N_{\min}/m^2 beträgt.

Bei Betrachtung der NO_3 -N-Gehalte in den einzelnen Tiefenstufen, wie in Tabelle 9 gezeigt, wird deutlich, dass sich die Nitratstickstoffgehalte in der Krume der Zone 1 von Auslauf 1 von November zu Dezember 2018 mehr als verdoppelt haben.

Tabelle 9: Nitratstickstoffgehalte (in g/m² TS) in der Zone 1 der Ausläufe 1 bis 4 im Beprobungszeitraum von November 2018 bis Januar 2019 nach Bodentiefen

Bodentiefe in cm	Auslauf 1			Auslauf 2			Auslauf 3			Auslauf 4		
	Nov 18	Dez 18	Jan 19	Nov 18	Dez 18	Jan 19	Nov 18	Dez 18	Jan 19	Nov 18	Dez 18	Jan 19
0-30	22	46	5	26	15	4	27	19	7	38	41	4
30-60	6	8	9	8	9	10	8	7	11	8	11	12
60-90	4	3	10	4	6	8	4	4	8	5	8	19
Summe	32	58	23	38	29	22	39	31	26	51	60	35

Auch in 30-60 cm Tiefe gab es einen Anstieg der Nitratstickstoffgehalte, während in 0-90 cm ein Rückgang (1 g/m²) festzustellen war. Im Januar 2019 wurden im Oberboden nur noch 5 g/m² festgestellt, wohingegen es in den Bodenschichten 30-60 zu einem leichten Anstieg und in 60-90 cm zu einer knappen Verdreifachung der Nitratstickstoffgehalte kam.

Zwischen den Probenahmen im November und Dezember 2018 fielen 45 mm Niederschlag, zwischen Dezember und Januar waren es 131 mm. Eine Verlagerung der Nitratstickstoffgehalte in tiefere Bodenschichten ist für diesen Zeitraum in allen 4 Ausläufen feststellbar, was klar für eine Auswaschung des Nitratstickstoffes spricht. Da die Tiere ihrem arttypischen Verhalten (Scharren, Picken, Sandbaden) auf dem befestigten Nahbereich (Pflastersteine) nicht nachgehen können, wird die daran angrenzende Fläche (mit gewachsenem Boden) bearbeitet was, wie die Ergebnisse zeigen, dort zu hohen N_{min}-Gehalten im Boden führt.

5.3.6 Betrieb 6

Aus den unter 5.2.1 beschriebenen Gründen konnten die an den überdachten Stallrand angrenzenden Nahbereiche der vier Ausläufe von Betrieb 6 nur im Zeitraum von November 2018 bis Mai 2019 beprobt werden. Zuschnitt und Flächengröße der an die überdachten

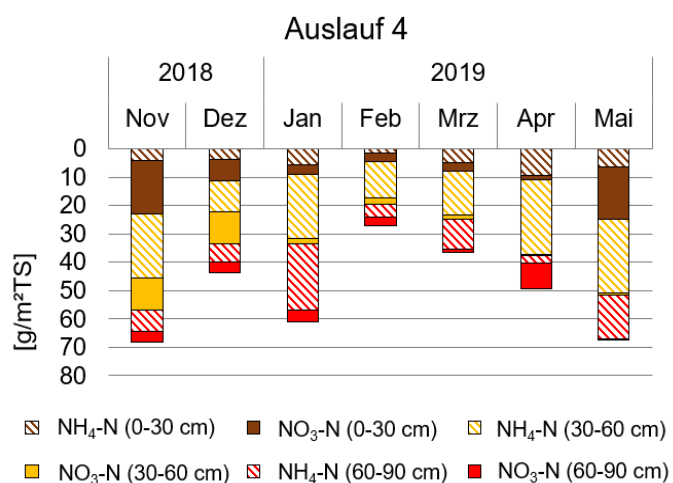
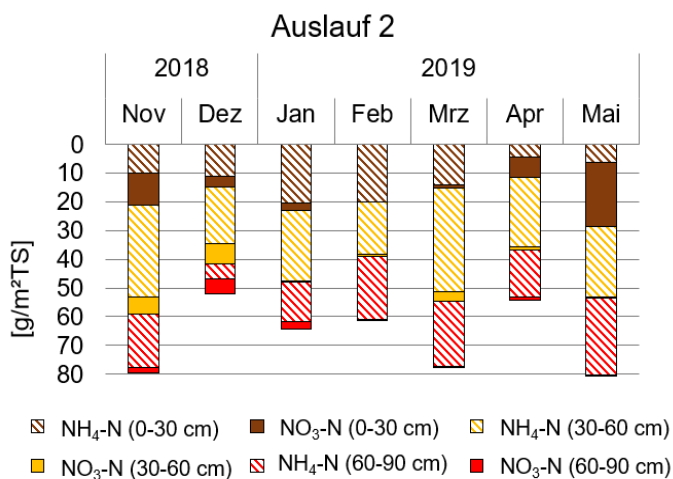


Abbildung 34: N_{min}-Gehalte im Boden (0- 90 cm) der Nahbereiche von Auslauf 2 und 4 (Betrieb 6) von November 2018 bis Mai 2019

Stallränder angrenzenden Nahbereiche variieren dabei je nach Zuschnitt der Auslaufläche (Auslauf 1: 182 m², Auslauf 2: 288 m², Auslauf 3: 358 m², Auslauf 4: 370 m²). Die Flächen (mit je 3.000 Tieren pro Auslauf) sind seit 2012 als Grünauslauf in Nutzung, die vorherrschende Bodenart ist lehmiger Sand (I'S).

Exemplarisch werden hier die in diesem Zeitraum in den Nahbereichen von Auslauf 2 und 4 gemessenen N_{min}-Gehalte dargestellt (Abbildung 34). In allen Bodentiefen konnte Ammoniumstickstoff festgestellt werden. Die Ammoniumstickstoffgehalte sind dabei deutlich höher, als die gemessenen Nitratstickstoffgehalte. Ebenso ist festzustellen, dass die Gehalte an Ammoniumstickstoff zwischen den Probenahmeterminen z.T. deutlich variieren, was vor allem in einer Bodentiefe von 0-90 cm

kaum auf gasförmige Verluste in Form von Ammoniak zurückzuführen ist. Die deutlich niedrigeren Nitratstickstoffgehalte weisen auf eine geringe Nitrifikation, z.B. bedingt durch eine schlechte Belüftung des Bodens, hin. Obwohl Ammoniumstickstoff als weniger auswaschungsgefährdet gilt, weisen die hier gemessenen Werte auf eine Verlagerung hin. Neben dem kontinuierlichen Eintrag durch Hühnerkot, könnte ein weiterer Grund für die hohen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte der Boden bzw. der Standort sein, der in Nähe eines Moores liegt.

5.3.7 Betrieb 7

Aufgeteilt auf vier Herden werden auf Betrieb 7 in Summe 22.000 Legehennen gehalten. Da der unmittelbar an den überdachten Stallrand angrenzende Nahbereich mit Gleisschotter befestigt ist (vgl. hierzu auch 5.2.4) konnten hier keine Bodenproben entnommen werden. Die nächste beprobte Fläche (Zone 1) lag circa 6 m vom Stall entfernt. Hier wurden in den vier Ausläufen im Zeitraum von November 2018 bis Mai 2021 Bodenproben entnommen. Zuschnitt und Flächengröße der Zone 1 variieren dabei je nach Zuschnitt der Auslauffläche (Auslauf 1: 160 m², Auslauf 2: 470 m², Auslauf 3: 348 m², Auslauf 4: 359 m²), Die Bodenart ist Lößlehm, schluffiger Lehm (L/uL) mit einem Tonanteil zwischen 25 und 35 %.

Im Oktober 2019 wurden die Zonen 1 der Ausläufe 3 und 4 mit Holzbalken eingefasst und mit Strohhäckseln beaufschlagt, im Folgejahr (Nov. 2020) mit Holzhackschnitzeln. Diese optimierte Fläche begann in 6 m Entfernung zum Stall und war im Schnitt 8 m lang. Somit betrug die Entfernung zum Stall 6 bis max. 14 m. Im Gegensatz dazu wurden die Zonen 1 der Ausläufe 1 und 2 über den gesamten Untersuchungszeitraum betriebsüblich (blanker Boden) weitergeführt. Die für die beiden Optimierungen verwendeten Substratmengen und –kosten sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10: Übersicht der für die Optimierung 1 und 2 verwendeten Substratmengen und-kosten

	Auslauf	Substrat	Schütt- höhe [cm FS]	Optimierte Fläche [m ²]	Mittlere ausgebrachte Substratmenge [kg/m ² FS]	Substratkosten* je m ² bei 10 cm Schütthöhe (FS)
Optim. 1	3	Stroh- häcksel	20	453,6	9	0,41 €
	4	Stroh- häcksel	16	444,6	6	0,34 €
Optim. 2	3	Holzhack- schnittzel	11	448,8	34	1,54 €
	4	Holzhack- schnittzel	12	442,9	32	1,38 €

* Bei den hier angeführten Kosten handelt es sich um Nettokosten (excl. MwSt. und Lieferkosten) und können von "aktuellen" Kosten je nach Anbieter und Angebot abweichen

Die N_{\min} -Dynamiken in den Zonen 1 während der Status quo-Untersuchungen und der Optimierung 1 und 2 sind Abbildung 35 zu entnehmen. Während der Status quo-Phase hatten alle vier Ausläufe den betriebsüblichen blanken Boden. In allen vier Ausläufen sind deutliche

Zu- und Abnahmen der N_{\min} -Gehalte festzustellen, wobei sich die N_{\min} -Dynamiken von Auslauf 1 und 2 während der Status-quo Phase sehr ähneln. Beim Vergleich der Mittelwerte (gerade Linien) wird deutlich, dass die N_{\min} -Gehalte im Boden von Auslauf 1 und 3 und die von Auslauf 2 und 4 nah beieinander liegen.

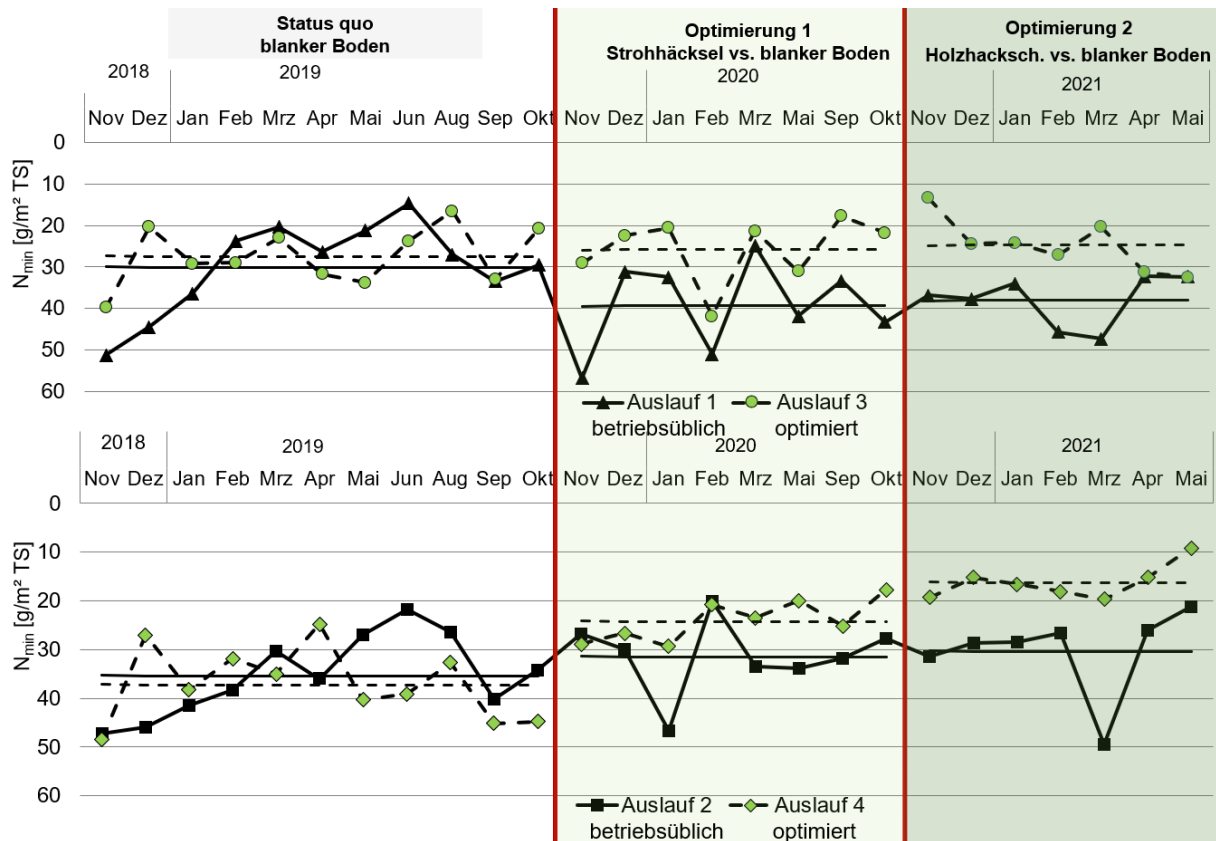


Abbildung 35: N_{\min} -Dynamik im Boden (0-90 cm) der Zone 1 der Ausläufe 1-4 von Betrieb 7 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (Nov. 2018 bis Mai 2021) mit arithmetischen Mitteln (gerade Linie ohne Markierung). Die Optimierungen mit Transfersubstraten erfolgten in den Ausläufen 3 und 4 (gestrichelt mit grüner Markierung), Auslauf 1 und 2 wurden betriebsüblich weitergeführt (blanker Boden).

In den Phasen Optimierung 1 und 2 hingegen, liegen die N_{\min} -Gehalte der beiden optimierten Ausläufe (3 und 4) im Mittel auf einem niedrigeren Niveau als die der betriebsüblich weitergeführten Ausläufe (1 und 2). Dabei ist festzustellen, dass die Graphen von Auslauf 1 und 3 während der ersten Optimierungsphase – auf unterschiedlichem Niveau – nahezu parallel verlaufen.

Auch die mittleren N_{\min} -Gehalte von Auslauf 2 und 4 liegen in den beiden Optimierungsphasen weiter auseinander, wobei der Unterschied zwischen dem mit Holzhackschnitzeln optimierten Auslauf 4 und dem betriebsüblich weitergeführten Auslauf 2 besonders deutlich wird: von November 2020 bis Mai 2021 sind die N_{\min} -Gehalte im betriebsüblich geführten Auslauf deutlich höher.

Auch die statistische Auswertung zeigt deutliche Unterschiede zwischen den betriebsüblich geführten Bereichen und den mit Substrat versehenen. Abbildung 36 zeigt die emmeans (die Mittelwerte der statistischen Auswertung) der mineralischen Stickstoffgehalte in den

verschiedenen Projektphasen in Abhängigkeit ihrer Behandlung (betriebsüblich/optimiert). Zwischen den betriebsüblichen Varianten der Status quo-Phase und jenen der Optimierung 1 gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p=0,609$). Die mit Strohhäckseln optimierten Flächen (Optimierung 1) liegen im Mittel rund $11 \text{ g N}_{\min}/\text{m}^2$ unter den betriebsüblich weitergeführten ($p=0,016$). Während der Optimierung 2 mit Holzhackschnitzeln liegt die Differenz zwischen den N_{\min} -Gehalten der betriebsüblichen und der optimierten Flächen bei rund $14 \text{ g N}_{\min}/\text{m}^2$ ($p=0,046$). Die unter den Holzhackschnitzeln gemessenen Werte liegen im Mittel $15 \text{ g}/\text{m}^2$ und somit statistisch signifikant ($p=0,023$), unter jenen der betriebsüblich geführten Flächen in der Optimierung 1 und $13 \text{ g}/\text{m}^2$ unter den mittleren N_{\min} -Gehalten der Status quo-Erhebungen ($p=0,020$).

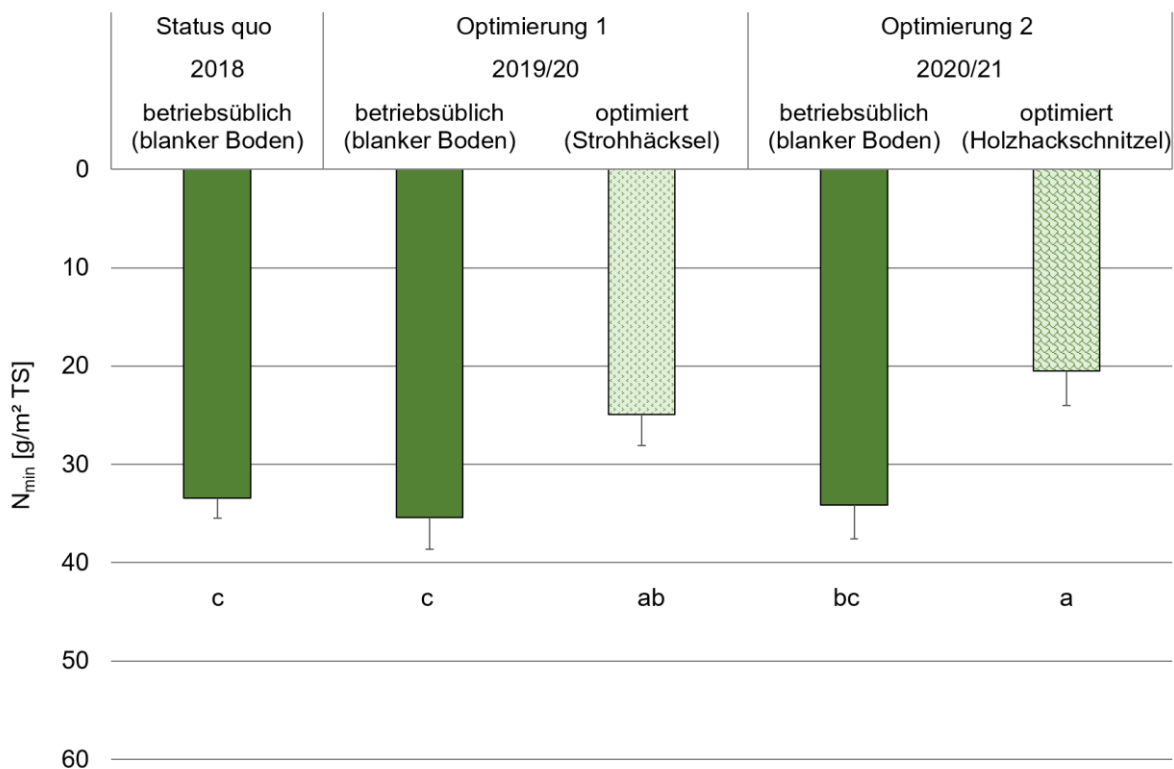


Abbildung 36: Mittlere N_{\min} -Gehalte (emmeans (+SE)) im Boden (0-90 cm) der Zone 1 (Nah) der Ausläufe 1-4 von Betrieb 7 in den Projektphasen Status quo, Optimierung 1 und Optimierung 2 (betriebsüblich/optimiert)

Der Einsatz der beiden Substrate Strohhäcksel und Holzhackschnitzel hat somit einen statistisch signifikanten Effekt auf die N_{\min} -Gehalte im Boden darunter. In beiden Fällen tragen die Substrate zu einer Minderung der mineralischen Stickstoffgehalte im Boden bei. Ein statistischer Effekt zwischen den Substraten Strohhäcksel und Holzhackschnitzel war nicht nachweisbar ($p=0,356$).

In der Praxis war allerdings ein deutlicher Unterschied zwischen den Substraten erkennbar. Wie Abbildung 37 zeigt, verschlammten die Strohhäcksel sehr stark durch den von den Tieren eingetragenen Boden und Kot (a und b).

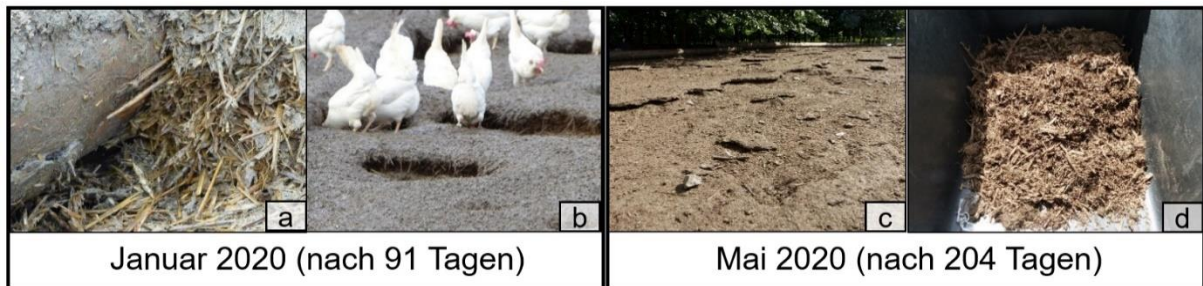


Abbildung 37: Aufnahmen der Strohhäcksel (Optimierung 1) nach 91 und 204 Tagen Liegedauer

In den Kuhlen sammelte sich Wasser, was ein Hygienierisiko darstellen kann und eine starke Geruchsentwicklung war festzustellen (nicht quantifizierbar). Bei der Entnahme der Bodenproben im Mai 2020 war darüber hinaus ein deutlicher Materialschwund festzustellen, zudem waren die Strohhäcksel stark in den Boden eingearbeitet worden (c und d). Somit unterblieb auch die geplante Abfuhr des Materials. In Abbildung 38 sind Aufnahmen der in der Optimierung 2 eingesetzten Holzhackschnitzel gezeigt.

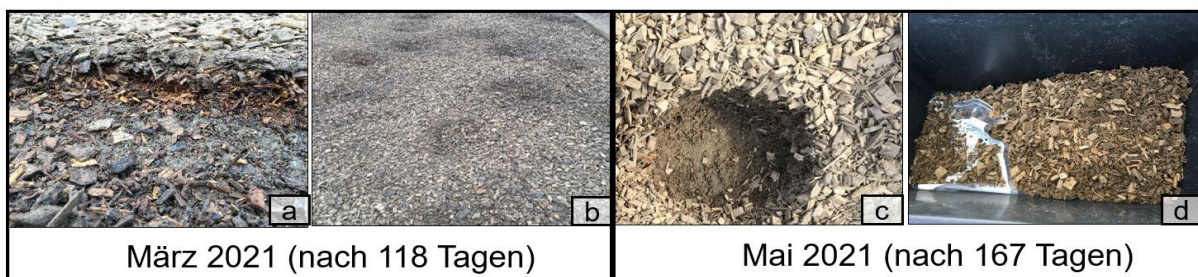


Abbildung 38: Aufnahmen der Holzhackschnitzel (Optimierung 2) nach 118 und 167 Tagen Liegedauer

Auch hier ist eine Verschlammung des Materials festzustellen (a), durch die Tiere wurde das Material bearbeitet (Kuhlen, b). Allerdings war am Ende der Liegedauer (167 Tage) noch ausreichend Material vorhanden, um eine Abfuhr des Materials von der Fläche zu gewährleisten. Während bei der Untersuchung der Ausgangssubstrate Probenmaterial von der gesamten optimierten Fläche eines Auslaufs entnommen wurde, wurde die optimierte Fläche für die Entnahme der Endsubstrate horizontal unterteilt. Im Anschluss wurden je vier Proben in der dem Stall näher gelegenen Hälfte (Entfernung zum Stall 6-10 m) und vier Proben in der dem Auslauf näher gelegenen Hälfte (Entfernung zum Stall 10 -14 m) entnommen.

Die mittleren Gesamtstickstoff- und Gesamtphosphorgehalte (emmeans) der Strohhäcksel und der Holzhackschnitzel zu Beginn und zum Ende der jeweiligen Liegedauer sind in Tabelle 11 aufgeführt. In beiden Optimierungsphasen gab es über die Liegedauer einen deutlichen Anstieg der N_t - und P_t -Gehalte, der auch statistisch signifikant ist. So konnten in den Strohhäckseln nach 204 Tagen im Mittel $90,5 \text{ g } N_t/m^2$ und $30,6 \text{ g } P_t/m^2$ mehr festgestellt werden als zu Beginn der Liegedauer. Zudem ist festzustellen, dass im Falle der Strohhäcksel auch die Entfernung zum Stall einen statistisch signifikanten Unterschied in Bezug auf die

Gesamtstickstoffgehalte hat ($p=0,003$). So beträgt die Differenz der beiden mittleren N_t -Gehalte im Endsubstrat rund 58 g/m^2 , obwohl der Unterschied in der Entfernung zum Stall nur 4 m beträgt. Möglicherweise deutet dies auf einen Nutzungsgradienten der Tiere hin (mehr Kotabsatz in Stallnähe).

Tabelle 11: Statistische Mittelwerte (mit Standardfehler) (emmeans \pm SE) der Gesamtstickstoff- und Gesamtphosphorgehalte in den für die Optimierung 1 und 2 auf Betrieb 4 eingesetzten Substraten zu Beginn und Ende ihrer Liegedauer in Abhängigkeit ihrer Entfernung zum Stall

Substrat:	Strohhäcksel (Optimierung 1)			Holzhackschnitzel (Optimierung 2)		
	Ausgangssubstrat	Endsubstrat		Ausgangssubstrat	Endsubstrat	
Liegedauer:	1 Tag	204 Tage		1 Tag	167 Tage	
Entfernung zum Stall:	6-14 m	6-10 m	10-14 m	6-14 m	6-10 m	10-14 m
N_t [g/m ² TS]	53,9 ^a ± 17	173,4 ^b ± 12	115,6 ^c ± 12	34,7 ^a $\pm 25,3$	154,5 ^b $\pm 17,9$	112,9 ^b $\pm 17,9$
P_t [g/m ² TS]	5,28 ^a $\pm 4,37$	36,77 ^b $\pm 3,10$	35,04 ^b $\pm 3,09$	2,34 ^a $\pm 7,36$	21,77 ^b $\pm 5,21$	39,98 ^c $\pm 5,21$

^{a-c} Mittelwerte innerhalb einer Optimierung und einer Reihe ohne gleichen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0,05$)

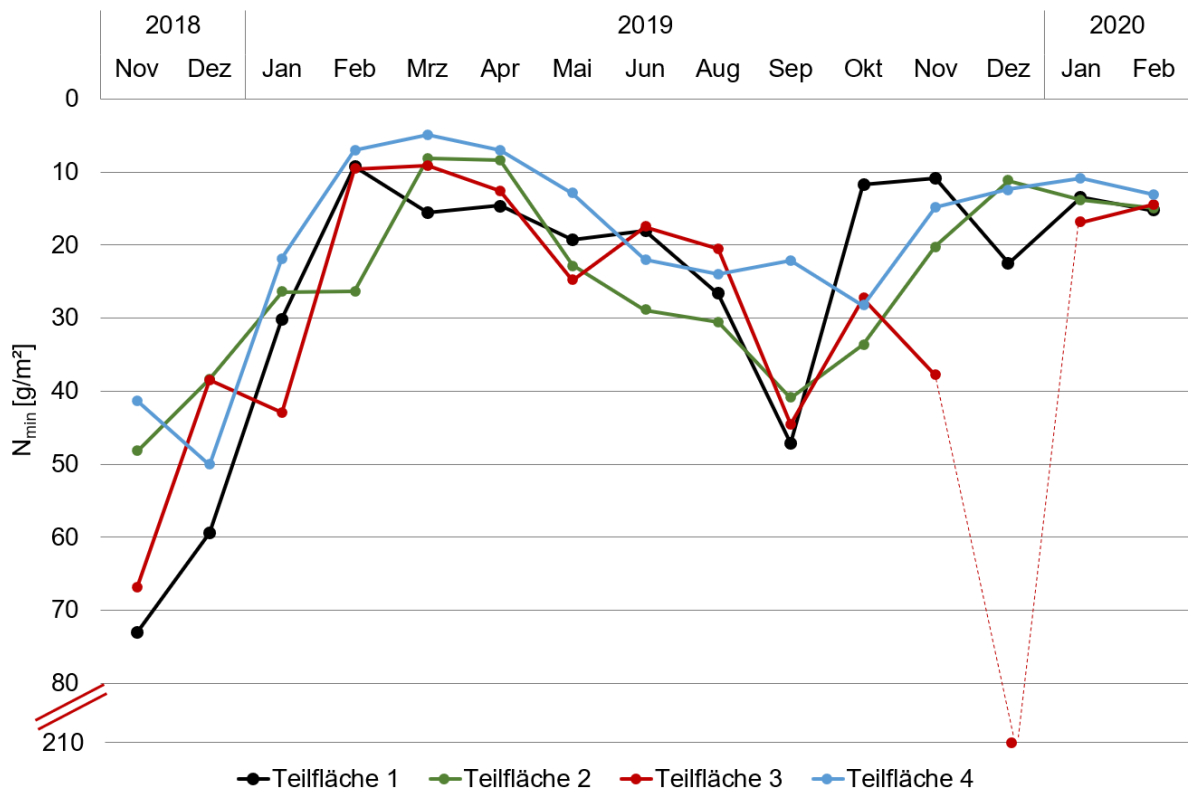
Im Falle der Holzhackschnitzel wurden zu Ende der Liegedauer von 167 Tagen im Mittel rund 99 g N/m^2 und 29 g P/m^2 mehr im Vergleich zum Ausgangssubstrat festgestellt. Auch das C/N-Verhältnis beider Substrate wurde im Durchschnitt über die Liegedauer deutlich enger (Strohhäcksel: $63,45 \rightarrow 15,5$, Holzhackschnitzel: $420,03 \rightarrow 125,5$), was ebenfalls für eine Zunahme des Stickstoffs spricht.

Die parasitologische Untersuchung der Holzhackschnitzel am Ende der Liegedauer ergab einen geringgradigen Befall mit Spulwurmeiern.

Obwohl es durch den Einsatz von Strohhäckseln gelang, Stickstoff zu binden und den N_{\min} -Eintrag in den Boden zu reduzieren, ist aufgrund der beschriebenen, in der Praxis beobachteten Effekte, von den vergleichsweise kostengünstigen Strohhäckseln abzuraten. Zumindest wäre hier ein deutlich häufigerer Austausch von Nöten gewesen, um die beobachteten Negativeffekte (starke Vernässung und Verschlämzung sowie das damit einhergehende Infektionsrisiko) zu reduzieren.

5.3.8 Betrieb 8

Die Nahbereiche von Betrieb 8 wurden im Zeitraum von November 2018 bis Februar 2020 auf ihre N_{\min} -Gehalte untersucht. Bei der Betrachtung und Interpretation der Daten ist zu berücksichtigen, dass der stallnahe Bereich auch in hohem Maße von anderen Tieren (Schafe, Esel etc.) genutzt wurde (für ausführlichere Informationen zu Betrieb 8 und dem Versuchsdesign Siehe 5.2.2). Die N_{\min} -Dynamiken der vier Nahbereiche sind in Abbildung 39 dargestellt.



Bodenart: lehmiger Sand (I'S) | Auslaufnutzung: seit 2016 | Anzahl Tiere: 40.000 | je Nahbereich ca. 160 m²

Abbildung 39: N_{min}-Dynamiken im Boden (0-90 cm) der Nahbereiche der Teilflächen 1 bis 4 von Betrieb 8 (Nov. 2018 bis Februar 2020)

Insgesamt ähneln sich die N_{min}-Dynamiken, was Zu- und Abnahmen betrifft, stark. Von November 2018 bis Februar 2019 ist in allen Nahbereichen ein deutlicher Rückgang der N_{min}-Gehalte festzustellen. So liegen die N_{min}-Gehalte in Teilfläche 1 zu Beginn der Untersuchungen bei 73 g/m² und sinken über die folgenden Probenahmetermine bis sie im Februar 2019 bei 9 g/m² liegen. Bei Betrachtung der Nitratgehalte in den verschiedenen Bodentiefen über diesen Zeitraum (nicht gezeigt) wird deutlich, dass in allen Nahbereichen eine Abnahme in der Krume (0-30 cm) und eine Zunahme in den Bodenschichten 30-60 bzw. 60-90 cm festzustellen ist. Dies weist auf eine Verlagerung der N_{min}-Gehalte hin. Zum Februar hin sinken die N_{min}-Gehalte in allen drei Bodentiefen deutlich. Geht man davon aus, dass ein Niederschlag von 60 mm auf lehmigen Sandböden (FK 20 %) eine Verlagerung des Nitrates um 30 cm bewirkt (Baumgärtel & Olf 2014), dann ist hier von einer Verlagerung bzw. Auswaschung durch Niederschläge auszugehen. Zwischen November und Dezember 2018 fielen 69 mm, zwischen Dezember 2018 und Januar 2019 waren es 85 mm und zwischen Januar und Februar 2020 noch einmal 106 mm. In Summe entsprechen die 260 mm Niederschlag, die zwischen den Beprobungen im November 2018 und Februar 2019 fielen, einer potenziellen Verlagerung der N_{min}-Gehalte um 130 cm. Da nur bis 90 cm Bodentiefe beprobt wurde, können Verlagerungen darüber hinaus nicht mehr erfasst werden. Auch die Rückgänge zwischen September und Oktober 2019 sind mit den Niederschlägen (142 mm) in Verbindung zu bringen.

Ab Februar/März 2019 erfolgt ein erneuter Anstieg der Gehalte zum August 2019, gefolgt von einem erneuten Rückgang.

Im Dezember 2019 wurden in allen drei Bodentiefen sehr hohe N_{\min} -Gehalte gemessen ($>560 \text{ g/m}^2$ in 0-30 cm für sowohl $\text{NH}_4\text{-N}$ als auch $\text{NO}_3\text{-N}$, $550 \text{ g NO}_3\text{-N/m}^2$ in 30-60 cm und $317 \text{ g NO}_3\text{-N/m}^2$ in 60-90 cm Bodentiefe). Da dieser Anstieg sehr drastisch und in allen Bodentiefen ist, aber nur in Teilfläche 3 festgestellt wurde, ist anzunehmen, dass es sich hierbei um einen Ausreißer handelt (Ursache unklar).

Insgesamt konnten auch in den Nahbereichen von Betrieb 8 deutlich erhöhte Stickstoffgehalte festgestellt werden. Die teils deutlichen Abnahmen stehen im Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen.

5.4 Gehölzstreifen und Schutzhütten

Gehölzstreifen wie etwa Hecken oder Obstbäume und Unterstände strukturieren den Auslauf, bieten Schutz, Schatten und sind in der Lage Auslaufakzeptanz (also der prozentuale Anteil der Tiere, die den Auslauf nutzen) und Auslaufannahme (Verteilung der Tiere in der Auslaufläche zu fördern (Stadig et al. 2019). Zudem kommen die Landwirte auch den Vorgaben der Verordnung (EG Nr. 589/2008) mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) 1234/2007 des Rates hinsichtlich der Vermarktungsnormen für Eier und der EU- Ökoverordnung (2018/848) (Europäischer Rat 2019, Europäische Kommission 2018) nach, wenn sie die entsprechenden Elemente im Auslauf anlegen. Auf den Betrieben 1,2,3,4 und 6 wurden um die angelegten Gehölzstreifen Bodenproben entnommen, auf Betrieb 7 waren Pappelstreifen in Form einer Kurzumtriebsplantage angelegt worden, die ebenfalls untersucht wurden. Auf Betrieb 5 wurden Bodenproben unter den Schutzhütten entnommen. Aus Platzgründen soll und kann hier nur eine Auswahl der Ergebnisse einzelner Betriebe gezeigt werden.

5.4.1 Betrieb 2



Abbildung 40: Fotoaufnahme des Gehölzstreifens von Betrieb 2 (14.11.2018)

Der auf Betrieb 2 untersuchte Gehölzstreifen besteht aus einer Reihe von Büschen und kleinen Bäumen und befindet sich in einem der beiden Ausläufe (3a) von Stall 3, die im Wechsel genutzt werden (vgl. Abbildung 55, S. 67). Die Anpflanzung beginnt in etwa 10 m Entfernung vom Standplatz des Mobilstalls und führt in einem circa 28 m langen Streifen in den Auslauf hinein. Der Gehölzstreifen wurde von den Tieren

sommers wie winters gerne angenommen, der Boden um die Hecke war schwarzbrach (vgl. Abbildung 40).

In Abbildung 41 sind die N_{\min} -Dynamiken im Boden der drei Zonen Nahbereich, Gehölzstreifen und Fernbereich dargestellt.

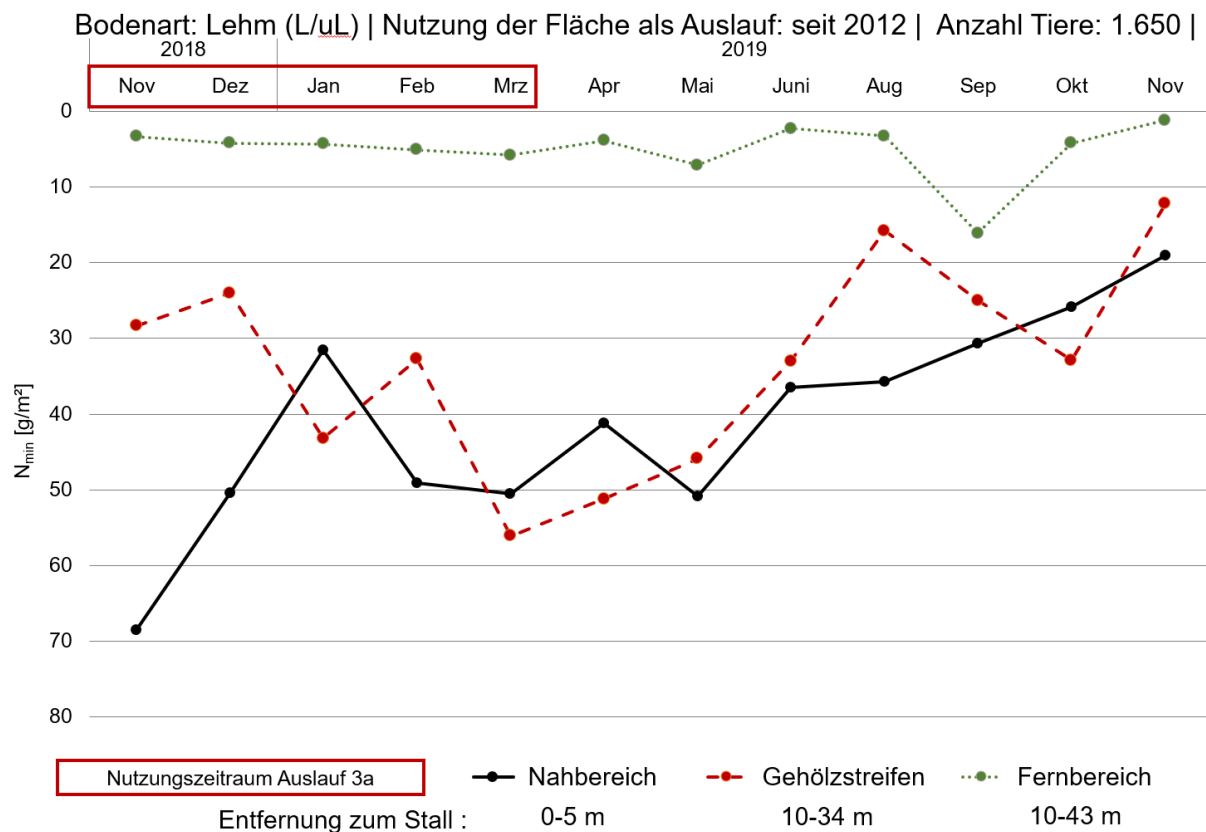


Abbildung 41: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) der drei Zonen von Auslauf 3a (Nahbereich, Gehölzstreifen und Fernbereich) von November 2018 bis November 2019

Dabei ist festzustellen, dass die N_{\min} -Gehalte im Boden des Gehölzstreifens vergleichbar hoch sind wie die des Nahbereichs. Zwischen den Probenahmeterminen sind teils deutliche Zu- und Abnahmen der N_{\min} -Gehalte festzustellen. Am Ende des Nutzungszeitraumes im März 2019 liegen die in dem Gehölzstreifen gemessenen N_{\min} -Gehalte bei 56 g/m² bevor sie über mehrere Monate stetig abnehmen und im August 2019 bei rund 16 N_{min}/m² liegen.

Die vergleichsweise geringe Entfernung zum Stall trägt sicher zur hohen Annahme des Gehölzstreifens bei, allerdings ist die N_{\min} -Dynamik des Fernbereiches durchgängig auf einem deutlich niedrigeren Niveau von weniger als 10 g N_{min}/m² und das, obwohl auch dieser in 10 m Entfernung zum Stall beginnt und die maximale Entfernung von 43 m vom Stall für die Tiere eine gut überbrückbare Distanz ist. Dementsprechend wird am Beispiel des auf Betrieb 2 untersuchten Gehölzstreifens deutlich, dass Gehölzstreifen von den Tieren bevorzugt werden (insbesondere gegenüber offenen, freien Flächen) und dass es daher in Gehölzstreifen zu erhöhten Gehalten mineralischen Stickstoffs kommen kann. Zudem ist festzustellen, dass es selbst bei Ausläufen mit geringen Auslaufdistanzen zu einer deutlichen Ungleichverteilung der mineralischen Stickstoffgehalte kommt, da die „Entfernung“ zum „Fernbereich“ mit gerade einmal 43 m im Vergleich zu den erlaubten 150 m (oder mehr) als gering zu bewerten ist.

5.4.2 Betrieb 4

Jeder der beiden Ausläufe von Betrieb 4 verfügt über einen Gehölzstreifen (Hecke) aus Büschen und Dornenranken. Die Gestaltung der beiden Auslaufflächen ist unterschiedlich, auch wenn sich Ausrichtung und Zonierung der beiden Ausläufe ähneln (vgl. Abbildung 42).

Die Gehölzstreifen (Hecken) verlaufen parallel zur kurzen Seite des Stallgebäudes in die Auslauflächen hinein. Je nachdem an welcher Stelle die Tiere den Stall verlassen und an welcher Stelle sie die Hecke betreten, beträgt die Entfernung zwischen Stall und Hecke lediglich 2 m.

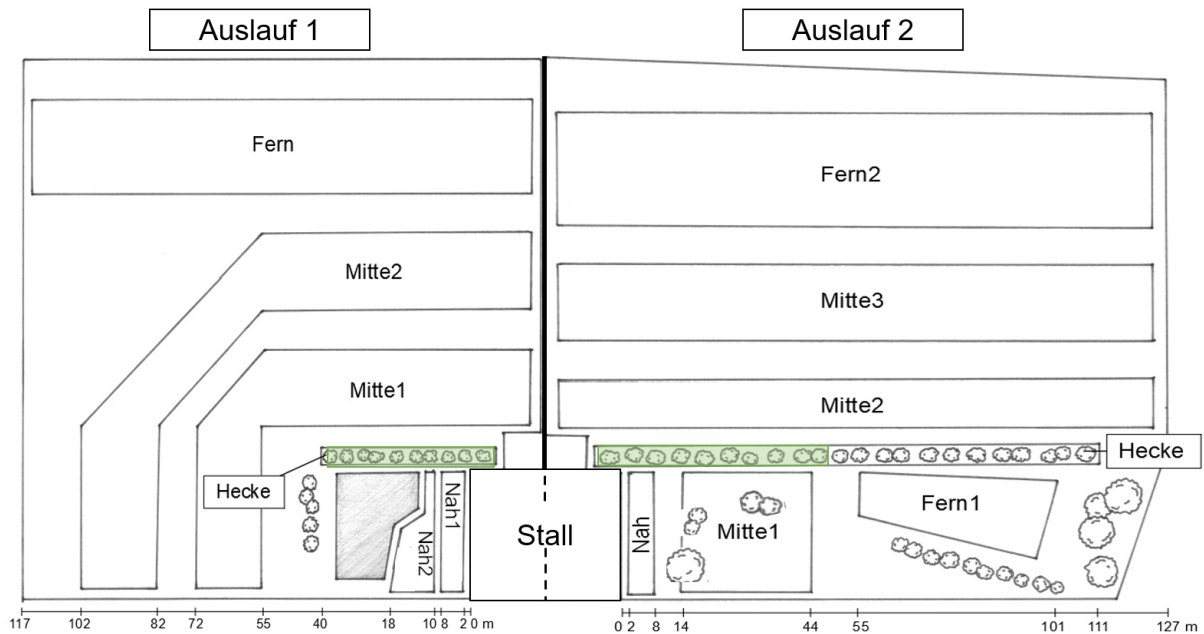
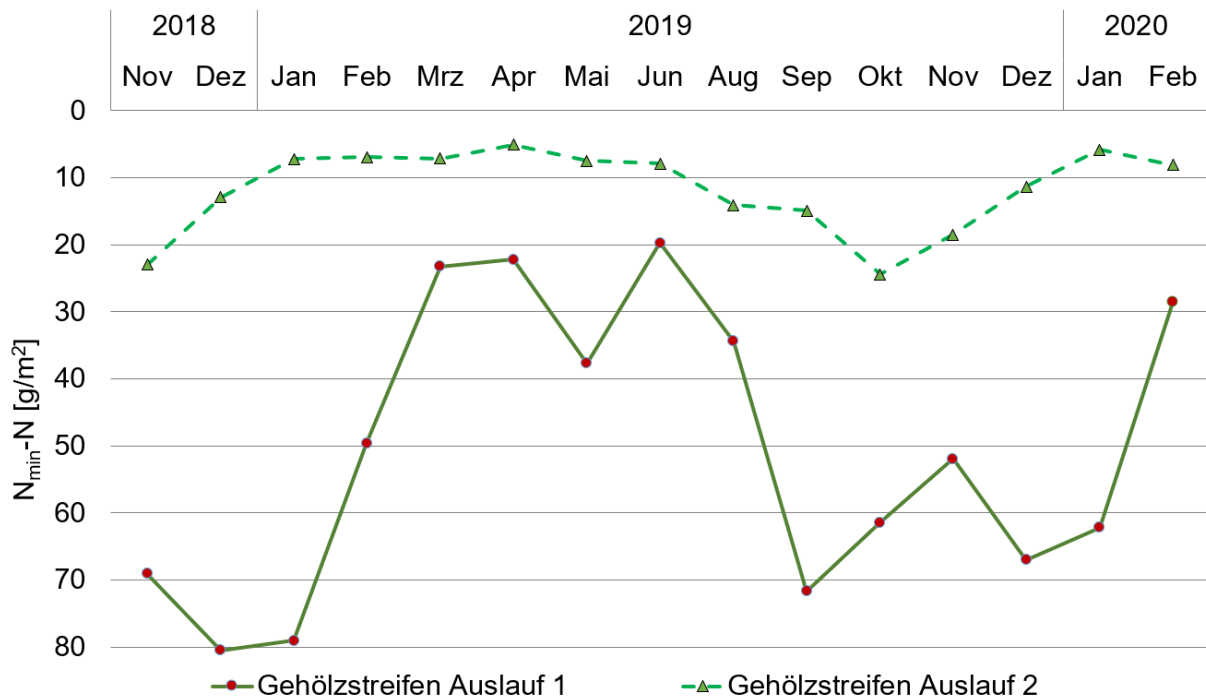


Abbildung 42: Skizze (schematisch) der Ausläufe 1 und 2 von Betrieb 4 mit Zonierung

Während die Tiere in Auslauf 1 aus dem Nahbereich heraus auf eine Teichfläche zulaufen, eröffnet sich in Auslauf 2 ein Teil des Auslaufes, der mit Bäumen und Büschen strukturiert ist. Laut Aussage des Landwirtes war es, trotz Gestaltung der Bereiche jenseits der Hecken mit schutzgebenden Elementen, schwierig die Tiere über die gesamte Auslaufläche (z. B. in die Zonen Mitte und Fern in Auslauf 1) zu verteilen.

Die in Abbildung 43 gezeigten N_{\min} -Dynamiken der Gehölzstreifen in Auslauf 1 und 2 sind sehr unterschiedlich. Während die N_{\min} -Gehalte im Bereich des Gehölzstreifens von Auslauf 2 zwischen 24 und 5 g N_{\min}/m^2 liegen, sind die in im Bereich des Gehölzstreifens von Auslauf 1 gemessenen N_{\min} -Gehalte um ein Vielfaches höher und unterliegen deutlich stärkeren Schwankungen. So wurden hier N_{\min} -Gehalte von bis zu 81 g N_{\min}/m^2 gemessen. Während im Nahbereich von Betrieb 4 (vgl. 5.3.4) sehr hohe Ammoniumstickstoffgehalte gemessen wurden, haben die Nitratstickstoffgehalte den deutlich größeren Anteil an den in Abbildung 43 gezeigten N_{\min} -Gehalten.



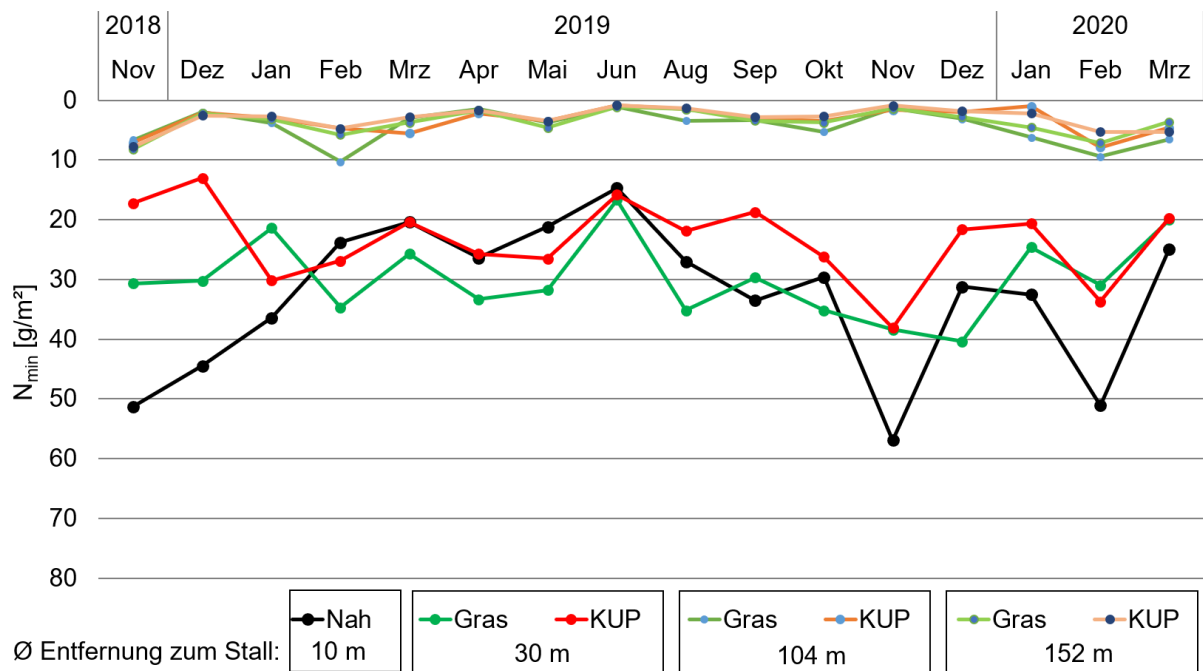
Bodenart: stark lehmiger Sand (IS) | Tiere je Auslauf: 3.000 | Nutzung der Fläche als Auslauf seit 2014

Abbildung 43: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) der beiden Gehölzstreifen der Ausläufe 1 und 2 von Betrieb 4 (Nov. 2018 bis Februar 2020)

Der Rückgang der mineralischen Stickstoffgehalte von Januar 2019 zum März 2019 ist in Auslauf 1 deutlich stärker ausgeprägt und betrifft alle Bodenschichten (hier nicht gezeigt). Zwischen den Probenahmeterminen im Dezember 2018 und März 2019 fielen in Summe 290 mm Niederschlag. Eine dadurch verursachte Verlagerung der Nitratstickstoffgehalte in tiefere Bodenschichten könnte daher Grund für den starken Rückgang der Stickstoffgehalte im Boden sein. Die stark ungleiche Nutzung der Gehölzstreifen in den beiden Ausläufen hängt vermutlich auch mit der unterschiedlichen Auslaufgestaltung und -annahme der Tiere zusammen.

5.4.3 Betrieb 7

In den vier Auslauflächen von Betrieb 7 wurden 2014 pro Auslauf je vier circa 10 m breite und etwa 200 m lange Pappelstreifen gepflanzt. Zum einen sollen diese die Auslaufakzeptanz und -annahme der Tiere erhöhen, zum anderen werden sie als Kurzumtriebsplantagen (KUP) in regelmäßigen Abständen geerntet. Hierfür werden pro Auslauf je zwei der Reihen einige Zentimeter über dem Boden abgesägt und anschließend zu Hackschnitzeln weiterverarbeitet. Zwischen den Pappelstreifen liegen ebenfalls etwa 10 m breite Grasstreifen. Sowohl in den KUP- als auch in den Grasstreifen wurden in verschiedenen Entfernungen vom Stall Bodenproben entnommen. Die Ergebnisse sind, gemeinsam mit dem Nahbereich (Zone 1), in Abbildung 44 dargestellt. Die N_{\min} -Gehalte der KUP- und Grasstreifen sinken deutlich mit zunehmender Entfernung zum Stall. So liegen die N_{\min} -Gehalte der KUP- und Grasstreifen mit einer mittleren Entfernung von 104 bzw. 152 m zum Stallgebäude, fast durchgängig unter 10 g/m².



Bodenart: Lößlehm, schluffiger Lehm (L/uL) | Hennen im Auslauf: 5.500 | Nutzung seit 2013

Abbildung 44: N_{\min} -Dynamiken im Boden (0-90 cm) des Nahbereiches, sowie der Gras- und KUP-Streifen (Pappel) von Auslauf 1 (Betrieb 7) in unterschiedlichen Entfernungen zum Stallgebäude (Nov. 2018 bis März 2020)

Im Gegensatz dazu liegen die N_{\min} -Gehalte der an den Nahbereich angrenzenden KUP- und Grasstreifen immer wieder auf einem ähnlich hohen Niveau wie die des Nahbereichs und sind im Vergleich zu den weiter entfernten Bereichen auch deutlich höheren Schwankungen unterlegen. Somit bleibt trotz der beobachteten hohen Auslaufannahme (nicht quantifiziert) eine ungleiche Verteilung der Nährstoffe bestehen. Die statistische Auswertung der mittleren N_{\min} -Gehalte aller KUP- und Grasstreifen in Abhängigkeit ihrer mittleren Entfernung ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied in Abhängigkeit des Bewuchses. So unterscheiden sich statistisch die N_{\min} -Gehalte im Boden unter den Pappel- und Grasstreifen in 30 m Entfernung nicht ($p=0,1223$). Gleiches trifft auf die N_{\min} -Gehalte der Pappel und Grasstreifen in 104 m Entfernung ($p=0,4232$), und jene in 152 m Entfernung zum Stall ($p=0,9770$) zu. Im Gegensatz dazu gibt es einen statistisch starken Unterschied in Abhängigkeit der Entfernung zum Stall: die N_{\min} -Gehalte in einer mittleren Entfernung von 30 m zum Stall sind signifikant höher als all jene in weiterer Entfernung zum Stall ($p<0.001$).

5.4.4 Betrieb 5

In den vier Ausläufen von Betrieb 5 wurde der Boden unter den Unterständen bzw. Schutzhütten untersucht. Die beiden untersuchten Typen zeigt Abbildung 45. In Auslauf 1 und 4 bestanden die Unterstände aus drei hintereinander aufgestellten „Hütten“ aus Holzpaletten (a), in Auslauf 2 und 3 wurden Unterstände aus mit Windschutznetz bespannten Stahlmatten (b) untersucht. Aufgrund der vergleichsweise geringen Fläche unterhalb der Unterstände und der vergleichsweise hohen Anzahl an Probenahmelöchern über den

Untersuchungszeitraum, konnte nicht fortlaufend die Standfläche ein und derselben Hütte beprobt werden. Daher wurden in Auslauf 1 und 4 jeweils zwei der in Abbildung 45a gezeigten

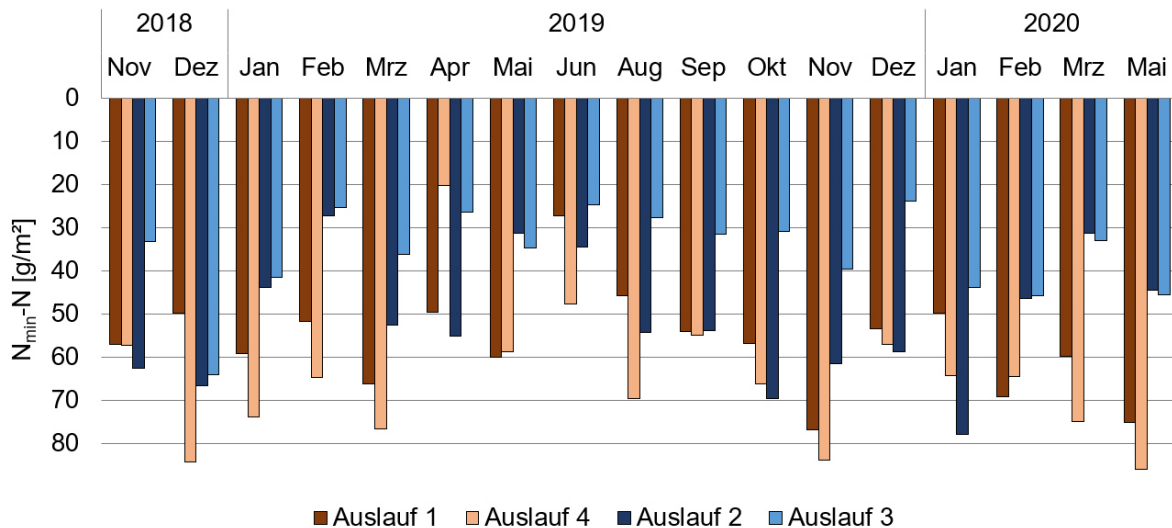


Abbildung 45: Aufnahmen der untersuchten Unterstände aus Holz in Auslauf 1 und 4 (a) und aus Stahlmatten mit Windschutznetz in Auslauf 2 und 3 (b)

Hütten-Gruppen (in Summe sechs einzelne „Hütten“) beprobt. Dabei wurden an jedem Termin unter einer anderen Hütte (vorne oder in der Mitte oder hinten) Proben entnommen. Die Grundfläche einer Hütte entspricht etwa 2,4 m². Die Entfernung zum Stall betrug circa 13 m.

In Auslauf 2 und 3 wurden je vier der in Abbildung 45b gezeigten Schutzhütten beprobt. Auch hier wurden an jedem Termin unter einer anderen Hütte Proben entnommen. Die Grundfläche eines solchen Unterstandes beträgt circa 4 m². Die Entfernung zum Stall betrug circa 15-25 m. Die im Zeitraum von November 2018

bis Mai 2020 in 0-90 cm gemessenen N_{min}-Gehalte sind in Abbildung 46 dargestellt. Zu keinem Zeitpunkt wurden Gehalte unter 20 g N_{min}/ m² festgestellt.



Bodenart: Lößlehm, schluffiger Lehm (L/uL) | Anzahl Tiere je Auslauf: 3.000 | Nutzung als Auslauf seit 2015

Abbildung 46: N_{min}-Gehalte im Boden (0- 90 cm) unter den Schutzhütten in den Ausläufen 1 bis 4 (Betrieb 5) von November 2018 bis Mai 2020

Die in Auslauf 3 gemessenen N_{min}-Gehalte liegen an den meisten Probenahmeterminen niedriger als die in den anderen Ausläufen gemessenen. In diesen wurden durchschnittliche

N_{\min} -Gehalte von 50-60 g/m² nachgewiesen. Somit handelt es sich bei den Unterständen um kleine Flächen mit hohen Stickstoffakkumulationen.

Für die Optimierung wurde daher ein Lösungsansatz gesucht, um einen direkten Eintrag auf den Boden zu verhindern. Im Gespräch mit dem Landwirt wurde besprochen, IBC-Container, wie sie vom Betrieb bereits im Stall als Kalkbäder verwendet werden, entsprechend zu bearbeiten und als Schutzhütten zu nutzen. Für die Fertigung der „IBcon-Chicks“ wurden 17 rekonditionierte IBC-Container angeschafft und entsprechend bearbeitet. Es wurde darauf geachtet, dass die Container zuvor keine schädlichen oder gefährlichen Substanzen enthalten hatten.

Der entscheidende Vorteil des „IBcon-Chicks“ ist, dass er den Tieren Schutz bietet, zugleich aber über einen Boden verfügt, der mit Einstreumaterial versehen werden kann und durch die entsprechende Abdeckung zugleich vor Wind und Niederschlägen geschützt ist. Durch diese Unterflursicherung wird ein direkter Nährstoffeintrag auf den Boden vermieden. Zudem kann der auf einer Stahlpalette montierte „IBcon-Chick“ einfach mittels Gabelstapler bzw. Frontlader bewegt, versetzt und entleert werden (vgl. Abbildung 47). Auch ein Reinigen und Stapeln (bei Nichtnutzung) ist unproblematisch möglich. Das Substrat sollte regelmäßig entleert bzw. ausgetauscht und als Dünger weitergenutzt werden. Durch Verteilen der Container über die Auslauffläche kann zudem eine höhere Auslaufannahme erreicht werden.

Jeder „IBcon-Chick“ verfügt über zwei einander gegenüberliegende Auslaufklappen (vgl. Abbildung 47), die mittels Metallstreben festgestellt werden können um ein Zuklappen



Abbildung 47: Zur Reinigung vorbereiteter „IBcon-Chick“ mit den beiden gegenüberliegenden Auslaufklappen (A) und dem durch die Serviceöffnung sichtbaren Substrat (B)

oder Flattern im Wind zu verhindern. Zudem ermöglichen die Auslaufklappen den Tieren ein einfaches Betreten und Verlassen der Container und tragen zur Luftzirkulation bei. Um Stauwärme zu vermeiden wurde der Deckel an der Oberseite der Container so bearbeitet, dass er hochsteht. So kann die warme Luft nach oben entweichen, gleichzeitig wird das Eindringen von Niederschlagswasser erschwert.

Zum Befüllen, Kontrollieren und Entleeren der „IBcon-Chicks“, gibt



Abbildung 48: Aufstellung und Verteilung der „IBcon-Chicks“ in Auslauf 1 und 2 am 01.06.2021 (Skizze)

zwischen zwei „IBcon-Chicks“ in der gleichen Entfernung zum Stall betrug 7 m.

Um eine Aussage über die Veränderung der Nährstoffgehalte im Boden und den Substraten über den Untersuchungszeitraum treffen zu können, wurden Proben der Standflächen (unterhalb der „IBcon-Chicks“) und im 50 cm Umkreis um jeden Container entnommen. Ebenso wurden Proben der Ausgangssubstrate genommen. Die Probenentnahme im Umkreis



Abbildung 49: Aufnahme des mit „IBcon-Chicks“ bestückten Auslaufes 2 (a) (Blick aus circa 60 m Entfernung in Richtung Stall) und des mit Schutzhütten bestückten Auslaufes 3 (b) (beide Aufnahmen vom 01.06.2021)

es auf der Vorderseite eine Serviceöffnung in Form einer herausnehmbaren Schiebetür (in Abbildung 47 wurde die Schiebetür für die Entleerung herausgenommen).

Nachdem die für die winterliche Sickerwasserperiode 2020/21 geplante Inbetriebnahme der „IBcon-Chicks“ aufgrund der (zuerst vorsorglichen und später angeordneten) Einhausung der Tiere verschoben werden musste, wurden die Container am 01.06.2021 in den Ausläufen 1 und 2 aufgestellt, befüllt und von innen mit Wildtierkameras versehen. Um eine Schütthöhe von 5 cm zu realisieren wurde vorab die Schüttdichte der beiden Substrate bestimmt und anschließend die so definierte Menge von 87 kg Sand bzw. 26 kg Strohgranulat in die „IBcon-Chicks“ eingebracht. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 48 dargestellt. Die Entfernung des ersten Container-Paares zum Stall betrug 14 m, die des letzten Paares 60 m. Die Distanz

erfolgte in einem 8-wöchigen Rhythmus nach einem festgelegten Schema mittels Schablone.

Abbildung 49 zeigt Fotoaufnahmen der Container nach ihrer Aufstellung im Auslauf 2 (a) und den unveränderten, mit Schutzhütten bestückten Auslauf 3. Die Aufnahmen

entstanden am selben Tag und zu gleicher Uhrzeit (01.06.2021, 19 Uhr) und zeigen die vergleichsweise deutlich höhere Attraktivität der (neuen) „IBcon-Chicks“.

Bereits nach wenigen Wochen war eine starke Präferenz der mit Sand befüllten „IBcon-Chicks“ festzustellen, wobei auch hier die Nähe zum Stall einen entscheidenden Einfluss hatte. So zeigen die Aufnahmen der Wildtierkamera aus dem mit Sand befüllten Container in 14 m Entfernung zum Stall, dass bereits 24 Tage nach der Befüllung mit 87 kg Sand, kaum noch Material vorhanden war (vgl. Abbildung 50). Im Gegensatz dazu, war in dem mit Strohgranulat befüllten Container auch zwei Monate nach der Befüllung noch scharffähiges Material vorhanden, das die Tiere, wie die Aufnahme vom 02.07. 2021 zeigt, auch zum Staubbaden nutzten.

Substrat: Sand, 87 kg



Substrat: Strohgranulat, 26 kg



Befüllung: 01.06.2021 | Fläche: 1,2 m² | Entfernung zum Stall: 14 m

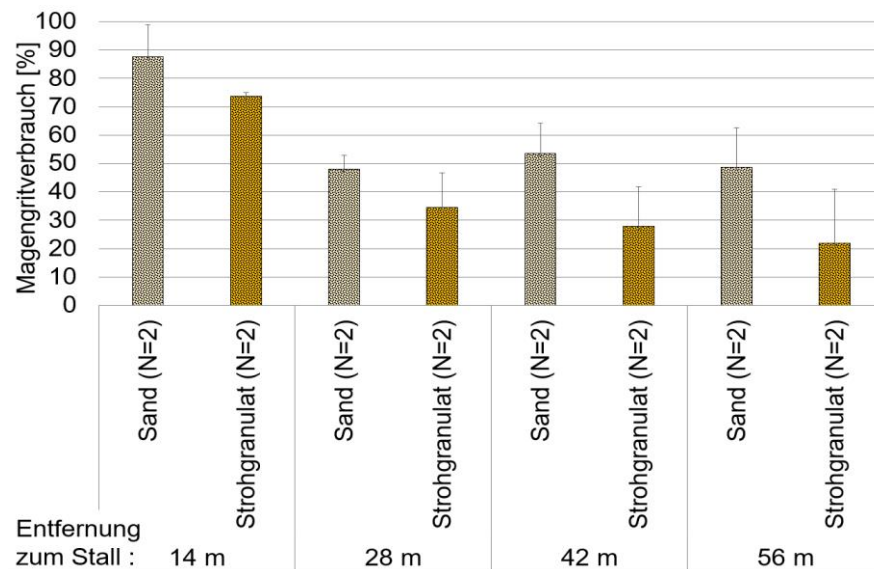
Abbildung 50: Aufnahmen der Wildtierkamera eines IBcon-Chicks in 14 m Entfernung zum Stall (Auslauf 1) mit Sand (oberer Bildreihe) und Strohpellets (untere Bildreihe) zwischen dem 02.06.2021 und dem 02.08.2021

Laut Aussage des Landwirtes wurde weder im Stall noch im Wintergarten Einstreu angeboten, aus Sorge, die Tiere könnten diese auffressen und erkranken. Es ist anzunehmen, dass die Tiere einen Teil des Sandes aufnahmen und/oder aus dem Container scharrten. Ein Zusammenhang zwischen Tierverlusten und der Präsenz / Absenz der „IBcon-Chicks“ bzw. einer Aufnahme von Substratmaterial konnte während der Untersuchungsdauer nicht nachgewiesen werden.

Am 10.08.2021 war in beiden Ausläufen lediglich in dem „IBcon-Chick“ in 56 m Entfernung zum Stall noch Sand vorhanden, so dass eine Materialbeprobung in sechs von acht mit Sand bestückten Containern nicht erfolgen konnte. Um den Gegebenheiten besser Rechnung tragen zu können, wurden alle Container gereinigt und am 04.10.2021 erneut befüllt. Dabei wurden je Container entweder 50 kg Sand oder 14,5 kg Strohmehlgranulat eingebracht, um eine Schütthöhe von 2,5 cm zu erreichen. Von den Substraten wurden erneut Proben

(Ausgangssubstrat) entnommen. Zusätzlich wurden in jedem der „IBcon-Chicks“ auch Futterautomaten aufgestellt, die zu Versuchsbeginn mit je 21,5 kg des hofeigenen Magensplits (der den Tieren auch im Stall zur Verfügung steht) gefüllt wurden.

In Abbildung 51 ist der mittlere Verbrauch des Magengrits in den „IBcon-Chicks“ in Abhängigkeit des verwendeten Substrates und der Entfernung zum Stall dargestellt. Wie



deutlich wird, wurden in den Containern, die in 14 m Entfernung zum Stall aufgestellt worden waren, die höchsten Mengen an Magengrit verbraucht. Ab einer Entfernung von 28 m zum Stall war der Magengritverbrauch in den mit Sand befüllten „IBcon-Chicks“ höher, als der in den mit Strohgranulat befüllten.

Abbildung 51: Mittlerer Magengritverbrauch (%) in den mit Strohgranulat oder Sand befüllten „IBcon-Chicks“ nach 65 Tagen, in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Stall

Trotz des zusätzlichen Angebotes von

Magengrit kam es vor allem in den mit Sand befüllten „IBcon-Chicks“ erneut zu einem erheblichen Substratverlust, so dass nach 65 Tagen in der Entfernung von 14 m zum Stall kein Sand mehr vorhanden war, lediglich einer der Container in 28 m Entfernung zum Stall führte noch Sand, der für eine Beprobung entnommen werden konnte. Im Gegensatz dazu, war in allen mit Strohgranulat befüllten „IBcon-Chicks“ noch Material vorhanden.

Die im Ausgangs- und Endsubstrat gemessenen Gesamtstickstoffgehalte werden in Abbildung 52 gezeigt. Eine Zunahme der Stickstoffgehalte im Endsubstrat ist in erster Linie für den organischen Stickstoffanteil festzustellen. Im Falle des Sandes konnte die größte Zunahme der Stickstoffgehalte im Endsubstrat in einer Entfernung von 42 m beobachtet werden. Hier liegen die mittleren Gesamtstickstoffgehalte bei 19 g/m² und somit 13 g N_T/m² über denen des Ausgangssubstrates. Für die Strohpellets konnten in 28 m Entfernung zum Stall der stärkste Anstieg im Vergleich zum Ausgangssubstrat festgestellt werden. Hier wurden N_T-Gehalte von 116 g/m² gemessen, was einem Zuwachs von 40 g N_T/m² entspricht.

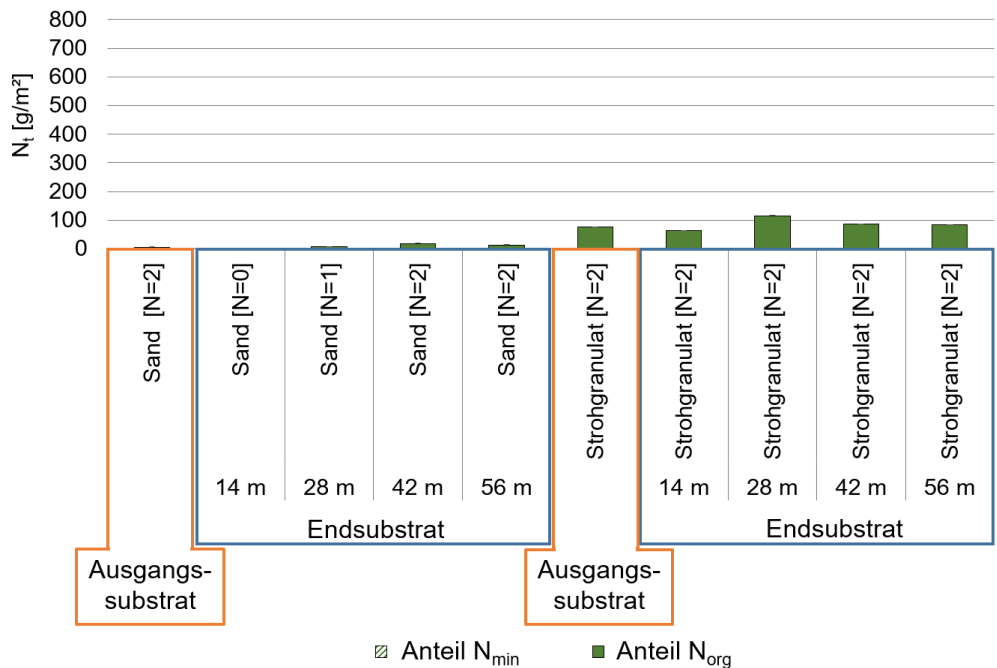


Abbildung 52: Mittlere Gesamtstickstoffgehalte (N_{\min} und N_{org}) der in den „IBcon-Chicks“ ausgebrachten Substrate Sand und Strohgranulat vor und nach einer Liegedauer von 65 Tagen

Die im Umkreis der „IBcon-Chicks“ gemessenen $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte (0-90 cm) sind in Abbildung 53 dargestellt.

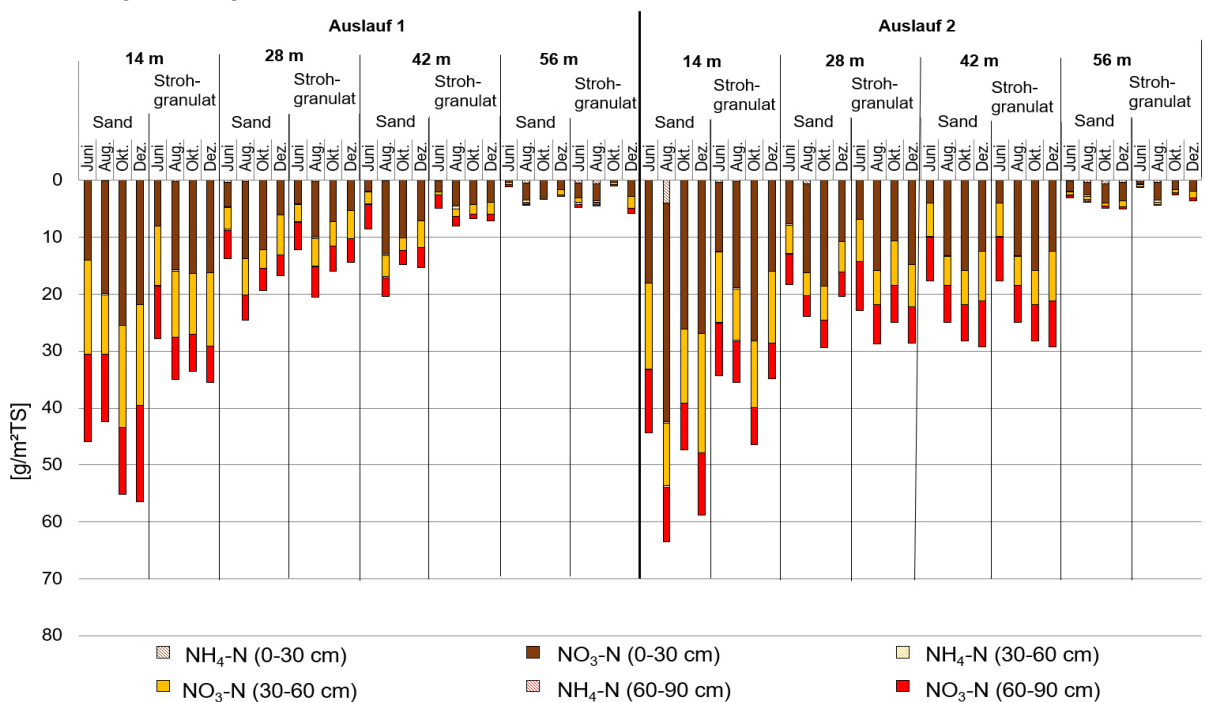


Abbildung 53: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) im Umkreis der „IBcon-Chicks“ in den Ausläufen 1 und 2 in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Stall und des eingesetzten Substrates bei Aufstellung (Juni 2021) und an drei folgenden Probenahmeterminen

In beiden Ausläufen ist ein Rückgang der Ammonium- und Nitratstickstoffgehalte mit zunehmender Distanz zum Stall festzustellen. Für Auslauf 1 ist diese ab einer Entfernung von

42 m um den mit Strohgranulat befüllten Container festzustellen, in Auslauf 2 nur im Umkreis der am weitesten vom Stall entfernten „IBcon-Chicks“. Insgesamt ist für alle Container eine Zunahme der N_{\min} -Gehalte gegenüber der Beprobung im Juni 2021, bei Aufstellung der „IBcon-Chicks“ festzustellen. Das spricht für Akkumulation und Mineralisation von Nährstoffen im Umkreis der „IBcon-Chicks“ und zeigt, wie wichtig ein regelmäßiges Versetzen von Unterständen ist.

Die Bodenuntersuchungen unterhalb der „IBcon-Chicks“ (Standfläche) bei deren Auf- und Abbau sind in Abbildung 54 dargestellt. Für alle Container ist unabhängig von Substrat und Entfernung zum Stall ein -teils deutlicher- Anstieg der N_{\min} -Gehalte über die Standdauer festzustellen. Da die Zunahmen vor allem im Oberboden nachgewiesen werden können und ein weiterer direkter Eintrag aufgrund des festen Bodens im Container nicht möglich ist, sind diese Zunahmen der Nitratstickstoffgehalte wohl auf Mineralisation der vorher dort akkumulierten Nährstoffe zurückzuführen. Die „Überdachung“ des Bodens durch den Container während der Standzeit erhöht die Temperatur und begünstigt somit die Mineralisation.

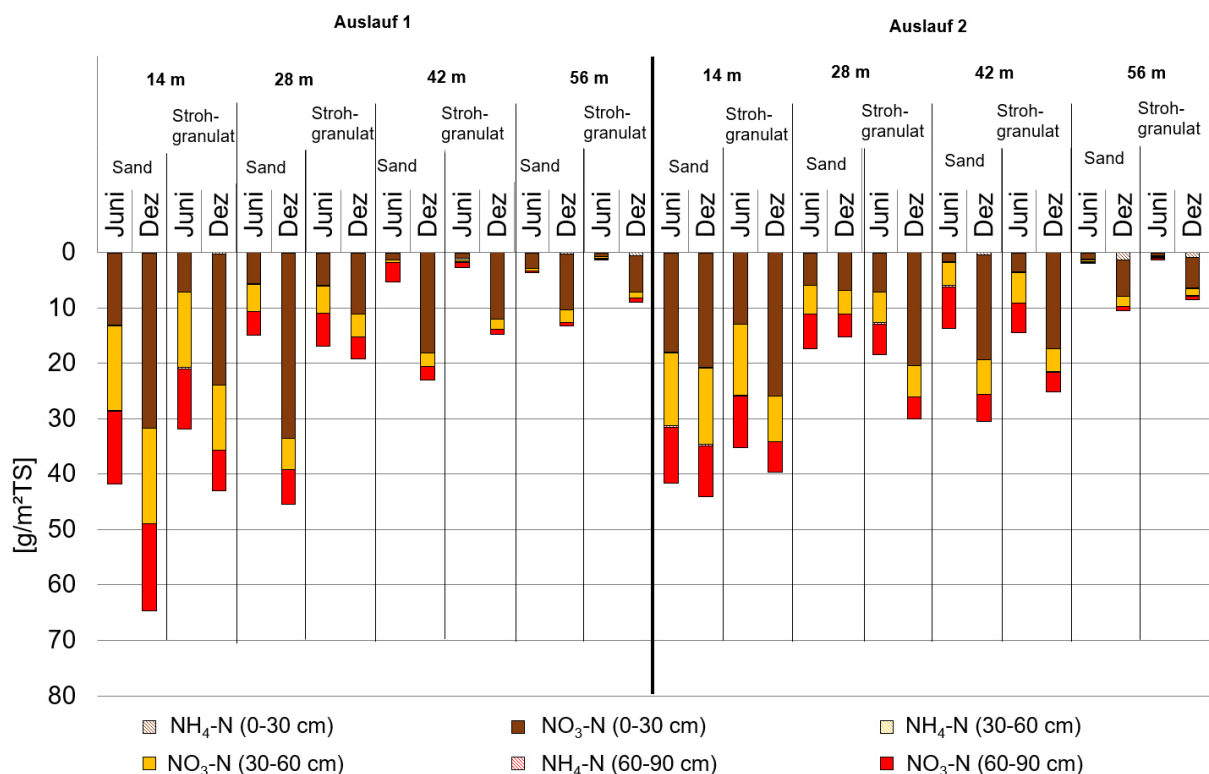


Abbildung 54: N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm) unter den „IBcon-Chicks“ in den Ausläufen 1 und 2 in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Stall und des eingesetzten Substrates, bei Aufstellung (Juni 2021) und am Ende der Standphase (Dez. 2021)

Die unter den Containern gemessenen N_{\min} -Gehalte sind niedriger als jene, die in den Vorjahren unter den Unterständen ermittelt wurden (vgl. Abbildung 46). Deutlich wird das hohe Potenzial der Nährstoffakkumulation unter und im Umkreis von Unterständen, sowie die starke Mineralisation bereits vorhandener Nährstoffe. Ein regelmäßiges Versetzen und eine Unterflursicherung von Unterständen/Hütten ist notwendig, um dem vorzubeugen und entgegenzuwirken.

In sechs von 16 „IBcon-Chicks“ konnte im Substrat ein Befall mit Spulwurmeiern festgestellt werden (3x gering-, 2x mittel- und 1x hochgradig). In fünf von diesen sechs Fällen waren die Container mit Sand versehen.

5.5 Satellitenbildauswertung

Zur Messung der Vegetationsanteile der Auslaufflächen wurde der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) aller untersuchten Betriebe und deren Auslaufflächen bestimmt. Exemplarisch sollen hier zwei Beispiele vorgestellt werden. Die Werte des NDVI können zwischen -1 (versiegelte Fläche) und 1 (dichtes Baumkronendach/maximale Photosyntheseleistung) liegen.

5.5.1 Betrieb 2

Abbildung 55 zeigt die grafische Auswertung des Normalized Difference Vegetation Index der Gesamtauslauffläche von Betrieb 2 am 30.03.2019, also am Ende der winterlichen Sickerwasserperiode und zu Beginn der Vegetationsperiode.

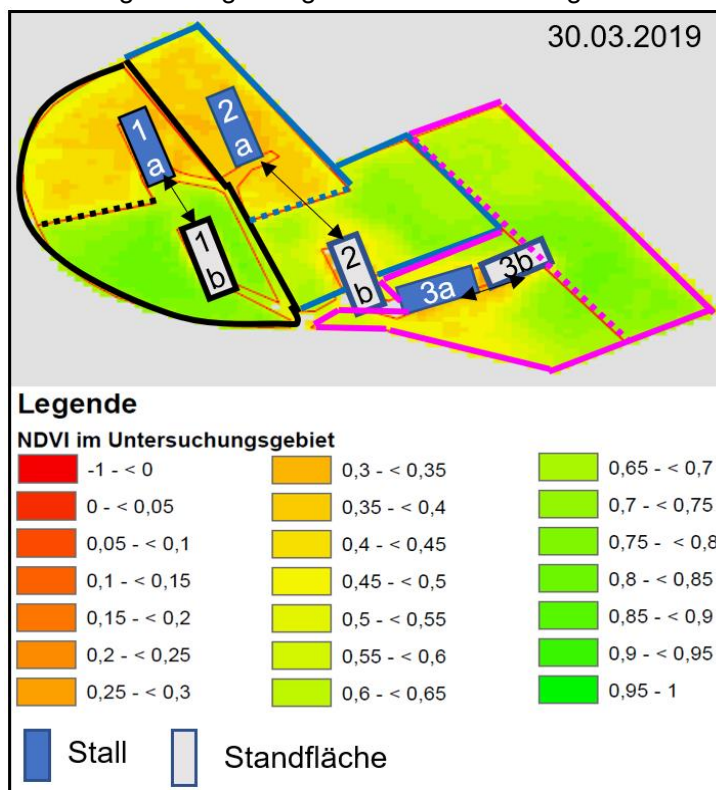


Abbildung 55: NDVI der Gesamtauslauffläche von Betrieb 2 (insgesamt 3 Ställe mit je 2 Standflächen und Ausläufen) am 30.03.2019

Gesamtauslauffläche von Betrieb 2 am 30.03.2019, also am Ende der winterlichen Sickerwasserperiode und zu Beginn der Vegetationsperiode. Jedem der drei Mobilställe stehen zwei alternierende Standflächen zur Verfügung. Die blau gefüllten Rechtecke zeigen den Standplatz der Ställe am Tag der Satellitenüberfliegung. Zu diesem Zeitpunkt standen die Ställe seit mindestens fünf Monaten (Nov. 2018) auf den jeweiligen Standflächen. Wie deutlich zu erkennen ist, ist der NDVI in den genutzten Ausläufen deutlich niedriger als in den nicht genutzten Flächen. Dies weist auf eine geringere Photosyntheseleistung der genutzten Flächen hin, die in diesem Fall auf die starke Nutzung der Fläche durch die Tiere zurückzuführen ist.

diesem Fall auf die starke Nutzung der Fläche durch die Tiere zurückzuführen ist.

Die Fotoaufnahme vom 11.04.2019 (Abbildung 56 (a)) zeigt den Auslauf 2a nach dem Versetzen des Stalls auf die Standfläche 2b. Wie deutlich zu erkennen ist, ist auf der Fläche 2a kein Grasaufwuchs mehr vorhanden. Diese Beobachtung deckt sich mit dem niedrigen NDVI, der für den 30.03.2019 hier ermittelt wurde. Trotz der ganzflächigen Nutzung der Fläche ist bei Betrachtung der N_{\min} -Gehalte im Boden eine höhere Belastung



Abbildung 56: Aufnahme des Auslaufes 2a nach einer (mindestens) 5-monatigen Standphase (a) und Blick in die Auslauffläche 2b nach einer entsprechend langen Regenerationsphase (b), Aufnahmen vom 11.04.2019

der Nahbereiche und somit eine ungleiche Verteilung bzw. Akkumulation der Nährstoffe in der Auslauffläche festzustellen. So wurden beispielweise im Nahbereich (Entfernung zum Stall 2-12 m) der Fläche 2a am 04.03.2019 rund $64 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ gemessen. Das sind $33 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ mehr als in den Zonen, die 5 bis 32 bzw. 10 bis 50 m entfernt vom Stall lagen. Bei der darauffolgenden Beprobung am 11.04.2019 verhält es sich ähnlich, hier wurden im Nahbereich $32 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ mehr gemessen als in den beiden anderen Zonen. Ein gleichmäßig erscheinender NDVI ist somit nicht mit einer gleichmäßigen Verteilung der Nährstoffe gleichzusetzen.

Die Fotoaufnahme von Auslauf 2b, nach einer (mindestens) 5-monatigen Regenerationsphase ist in Abbildung 56 (b) zu sehen. Um den Stall herum (Nahbereich) ist keine Vegetation vorhanden. Im Bildvordergrund ist ein lückiger Aufwuchs („spontan-Begrünung“) zu sehen. Eine intakte Grasnarbe war zum Aufnahmezeitpunkt nur in dem an den Auslauf 3b angrenzenden Bereich noch vorhanden. Es bleibt fraglich, ob die Flächen mit einem NDVI von 0,6 und mehr, die hier „grün“ erscheinen, auch tatsächlich in der Lage sind, über die vorhandene Vegetation die während der Nutzungsdauer anfallenden Nährstoffe aufzunehmen, zumal die Vegetation innerhalb kurzer Zeit durch die Tiere entfernt wird.

5.5.2 Betrieb 3

Bei dem Überfliegungstermin der Auslaufflächen 1 und 2 von Betrieb 3 konnte am 31.03.2021 ein geringer NDVI in der vorderen Hälfte der Ausläufe festgestellt werden. Beim Abgleich mit den sechs Tage zuvor aufgenommenen Fotos (Abbildung 57) ist festzustellen, dass die geringe Photosyntheseleistung der Fläche auf Pflegemaßnahmen zurückzuführen ist. Da die Tiere aufgrund der Vogelgrippe im Stall verbleiben mussten wurde der Auslauf in dieser Zeit gegrubbert und neu eingesät, um dadurch in Abwesenheit der Tiere wieder Aufwuchs etablieren zu können.

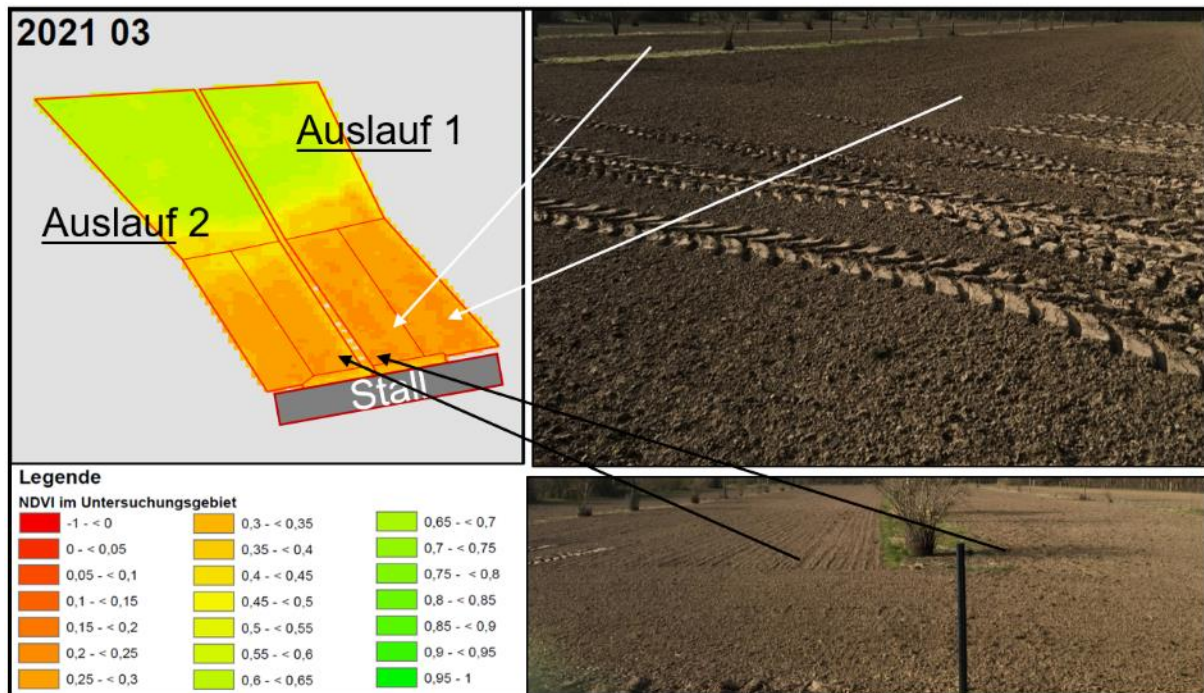


Abbildung 57: Abgleich der Fotoaufnahmen bestimmter Bereiche der Ausläufe 1 und 2 bei der Beprobung am 25.03.2021 (nach Pflegemaßnahmen) mit der grafischen Darstellung des NDVI der Fläche (Auswertung Satellitenbilddaufnahme vom 31.03.2021)

6 Öffentlichkeitsarbeit/Veröffentlichungen

Bei mit * gekennzeichneten Vorträgen etc. wurden ergänzend auch Ergebnisse aus dem durch das BÖL geförderten Projekt „Kreislaufschließung in der Freilandhaltung von Legehennen, Testung geeigneter Substrate und Zuschlagstoffe für den Nahbereich“(KLUFT) gezeigt.

Vorträge

Deerberg Fri: Herausforderungen an das künftige Management von Legehennenausläufen, Eurotier 2018, DLG Forum. Hannover,13.11.2018

Heß J: Legehennen - Nährstoffproblematik im stallnahen Bereich - Demeter Bund, FAG Geflügeltagung, Heppenheim, 28.01.2019

Deerberg Fri: Nährstoffdynamik in Legehennenausläufen auf Ökobetrieben in NRW - Bioland Wintertagung 2019, Möhnensee, 04.02.2019

Heß J: Untersuchungen und Erkenntnisse zum Auslaufmanagement - 23. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Bad Schussenried,12.03.2019

Delics B, Deerberg Fra, Deerberg Fri, Kluth J & J Heß (2020): Posterbeiträge „Freilandhaltung von Legehennen Umweltschutz versus Auslaufmanagement“ auf der 24. Internationalen Bioland Geflügeltagung, Cloppenburg 04.02.-06.02.2020

Deerberg Fra & B Delics*: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen. 25. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Online Veranstaltung 10.03.2021

Deerberg Fra & B Delics*: (Kein) Nährstoffmanagement im Nahbereich von Legehennenausläufen. 26. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Online Veranstaltung 29.02.2022

Heß J, Deerberg Fri, Deerberg Frau, Delics B*: Der Nahbereich von Legehennenställen im Spannungsfeld von Tierhygiene und Grundwasserschutz, Deutsche Vereinigung der Geflügelwissenschaft, 16.3. 2022

Heß J, Deerberg Fra*: Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen – Herausforderungen und erste Lösungsansätze, Bildungszentrum für die Ver- und Entsorgungswirtschaft Essen (BEW), 27. 04. 2022

Deerberg Fra*: Shit Happens – der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt Nährstoffmanagement im Nahbereich von Legehennenausläufen. Netzwerk Fokus Tierwohl, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 14.07.2022

Deerberg Fra, Heß J, Deerberg Fri*: Nährstoffeinträge in Geflügel-/Legehennenausläufen. Fachgespräch vor dem Fachausschuss Geflügel des Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW), 22.10.2022

Deerberg Fri: Auslaufmanagement von Geflügel. Fortbildungsveranstaltung für Praktiker. Salem, Südtirol 10.11.2022

Deerberg Fra*: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt – Gestaltung, Strukturierung und Management. Naturland Verband (Online), 22.11.2022

Deerberg Fra*: Reduzierung von Nährstoffausträgen aus der Freilandhaltung von Legehennen. Fachtagung „Gewässerschutz- Den Systemvorteil Ökolandbau nutzen“, Rendsburg, 29.11.2022

Deerberg Fra*: Was können Gehölzstreifen zum Nährstoffmanagement im Geflügelauslauf beitragen? 27. Internationale Bioland-Geflügeltagung, Tambach-Dietharz 28.02.2023-02.03.2023

Lehrveranstaltungen

Heß J: Nährstoffkreisläufe im Ökologischen Landbau, Beispiel Legehennen
Modul Nährstoffkreisläufe, Energie- & Ökobilanzen, M.Sc. Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel 25.10.2018

Deerberg Fri: Nährstoffdynamik in der Öko-Legehennenhaltung
Modul Tierhaltung im ökologischen Landbau, B.Sc. Landwirtschaft (u.a.), Hochschule Osnabrück, Sommersemester 2019

Heß J*: Legehennen - Nährstoffproblematik im stallnahen Bereich
Modul Nährstoffkreisläufe, 5./6. Sem. B.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 13.06.2019

Heß J*: Nährstoffkreisläufe im Ökologischen Landbau, Beispiel Legehennen
Modul Nährstoffkreisläufe, Energie- & Ökobilanzen, M.Sc. Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel 30.10.2019

Heß J*: Legehennen - Nährstoffproblematik im stallnahen Bereich
Modul Nährstoffkreisläufe, 5./6. Sem. B.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 30.06.2020

Deerberg Fri*: Nährstoffdynamik in der Öko-Legehennenhaltung
Modul Tierhaltung im ökologischen Landbau, B.Sc. Landwirtschaft (u.a.), Hochschule Osnabrück, Sommersemester 2020

Deerberg Fri*: Nährstoffdynamik in der Öko-Legehennenhaltung
Modul Tierhaltung im ökologischen Landbau, B.Sc. Landwirtschaft (u.a.), Hochschule Osnabrück, Sommersemester 2021

Deerberg Fra & B Delics*: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen. Modul Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffkreisläufe, 5./6. Sem. B.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 10.06.2021

Deerberg Fra*: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen. Modul Nährstoffkreisläufe, Energie- & Ökobilanzen, M.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 04.11.2021

Deerberg Fri*: Nährstoffdynamik in der Öko-Legehennenhaltung
Modul Tierhaltung im ökologischen Landbau, B.Sc. Landwirtschaft (u.a.), Hochschule Osnabrück, Sommersemester 2022

Deerberg Fra: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen. Modul Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffkreisläufe, 5./6. Sem. B.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 09.06.2022

Deerberg Fra*: Der Legehennenauslauf unter dem Nährstoffaspekt: Möglichkeiten und Grenzen. Modul Nährstoffkreisläufe, Energie- & Ökobilanzen, M.Sc. Ökologische Landwirtschaft, Universität Kassel, 11.11.2022

Veröffentlichungen

Delics B, Deerberg Fra, Deerberg Fri, Ruf M & J Heß (2019): Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen. Problembereiche im Auslauf. In: „Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft“, (Hrsg.) D. Mühlrath, Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 06.-09.03.2019, Kassel, 288-289

Deerberg Fra, Jalane V, Deerberg Fri & J Heß (2019): Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen. Eignung von Kies im Nahbereich. In: „Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft“, (Hrsg.) D. Mühlrath, Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 06.-09.03.2019, Kassel, 286-287

Deerberg Fra, Deerberg Fri, Delics B & J Heß (2020): Kies und Schotter eine Abfuhr erteilen. In: DGS-Magazin 49/2020

Öffentlichkeitsarbeit

Delics B, Deerberg Fra, Deerberg Fri, Kluth J & J Heß (2019): Demoanlage und Poster zu der Thematik „Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen“ auf den Öko-Feldtagen, Domäne Frankenhausen 03.-04.07.2019

Eingangsworkshop des Projektes

allgemeine Einführung in die Thematik, Diskussion der Teilnehmer zu den Themen Auslaufgestaltung, Flächenbeimessung und Problembereiche sowie Erkenntnisse vorangegangener Untersuchungen 30.01.2019

Zweiter Projektworkshop

Präsentation des neuesten Erkenntnisstandes, insbesondere des Einsatzes von Substraten im überdachten Stallrand und Nahbereich von Legehennenställen, Erfahrungsaustausch der Landwirte zu den Optimierungsmaßnahmen 21.01.2021

Erstellen eines Kurzfilmes zum Thema „Gute Auslaufakzeptanz – Beispiele aus der Praxis“

Abschlussworkshop des Projektes

Präsentation des neuesten Erkenntnisstandes, insbesondere des Einsatzes einer mobilen Unterziehplane, „IBcon-Chicks“ (Schutzhütten mit Unterflursicherung aus IBC-Containern) und Substraten im Nahbereich von Legehennenställen 04.07.2022

Workshop „Shit happens - auch im Legehennenauslauf“

Workshop auf der 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 07.03-10.03.2023, Frick

7 Fazit/Ausblick

Die im Rahmen des Projektes monatlich auf den Betrieben mit unterschiedlichen Standort- und Haltungsbedingungen mit gezogenen Bodenproben ermöglichen es, die Dynamik des mineralischen Stickstoffes in einer Tiefe von 0-90 cm im Boden sichtbar zu machen und nachzuvollziehen. Gasförmige N-Verluste durch Emission von Ammoniak oder Lachgas wurden nicht ermittelt. Ebenso kann die tatsächliche Auswaschungsmenge des Nitrates in das Grundwasser nicht bestimmt werden. Hierfür wäre eine Zonen-genaue Untersuchung etwa mittels Saugkerzen oder -platten sowie eine präzise Kenntnis des Bodenaufbaus und des Grundwasserkörpers der einzelnen Zonen nötig gewesen, was sowohl den zeitlichen, als auch den finanziellen Rahmen des Projektes gesprengt hätte und bei der Vielzahl der untersuchten Flächen nicht realisierbar gewesen wäre.

Dennoch kann mit den in diesem Bericht dargestellten N_{\min} -Gehalten abgeschätzt werden, wie hoch die Nährstofffracht im Boden und die damit verbundene potenzielle Auswaschungsgefahr in den Auslaufflächen ist. In den im Ergebnis teil vorgestellten, in besonderem Maße belasteten Bereichen, ist die Nutzung durch die Tiere so stark, dass keinerlei Aufwuchs vorhanden ist, der Stickstoff aufnehmen könnte.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass eine Nährstoffaufnahme durch Pflanzen in den stark belasteten Bereichen auch nicht ausreichen würde, um die sich im Boden akkumulierenden N_{\min} -Mengen aufzunehmen. Ein effektiver Entzug der Nährstoffe kann nur dann stattfinden, wenn das mit Stickstoff angereicherte Material (in diesem Fall die Pflanzen) von der Fläche entnommen wird. Ferner ist zu bedenken, dass eine Aufnahme der mit Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, überversorgten Pflanzen durch die Tiere infolge stark erhöhter Nitratgehalte ggf. negative bis hin zu toxischen Wirkungen auf die Tiere haben kann.

Im Folgenden werden die sich aus den Ergebnissen ableitenden Erkenntnisse sowie Lösungsansätze zusammengefasst.

Mobilställe

Um zu verhindern, dass die während der Standzeiten anfallenden Kotmengen unmittelbar auf dem Boden eingetragen werden, sollten Mobilställe grundsätzlich über eine eigene, **eingebaute Bodenplatte** verfügen. Eine Befestigung der Standplätze durch Betonplatten hat i.d.R. zur Folge, dass der Stall immer wieder an exakt dieselben Stellen gestellt wird. Dies wiederum hat zur Folge, dass die Nahbereiche (wie bei stationären Ställen) immer wieder identisch sind und sich auch hier Nährstoffe akkumulieren, wie etwa auf Betrieb 2. Um die Mobilität der Ställe im Sinne einer variablen Standplatzwahl erhalten zu können, sollte daher eine „mobile Unterflursicherung“ entweder durch eingebaute Bodenplatte oder eine mobile Unterziehplane, wie sie im Projekt entwickelt wurde, verwendet werden. In Bezug auf ihre Wirkung hat sich die mobile Unterziehplane bewährt, gleichwohl besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, insbesondere was die Reißfestigkeit des Materials und die Handhabung der Plane beim Abmisten betrifft.

Um einer Nährstoffakkumulation in den Nahbereichen von Mobilställen vorzubeugen, bedarf es zudem eines **regelmäßigen Versetzens** der Mobilställe. Bei dem von Heß und Deerberg (2017) durchgeführten Versuch wurden zwei baugleiche Mobilställe unterschiedlich gemanagt. Die Ergebnisse zeigen, dass die N_{\min} -Gehalte im Sandboden bei dem **etwa 10-tägig** versetzten Mobilstall (mit in Summe acht Standflächen mit je 4 m² pro Tier) vergleichbar mit denen eines intakten Klee grasbestandes - also sehr niedrig - waren. Im Gegensatz dazu konnte bei dem unbewegten „stationären“ Mobilstall innerhalb weniger Monate ein deutlicher Anstieg der N_{\min} -Gehalte im Boden des Auslaufes nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass bei Mobilställen mit zu langen Standzeiten für den Nahbereich ähnliche Lösungen gesucht werden müssen, wie für den Nahbereich stationärer Ställe.

Mobilställe, die erhöht stehen (z.B. Trailerställe), bieten den Tieren häufig die Möglichkeit unter dem Stall Zuflucht zu suchen. Da die Situation vergleichbar mit dem eines überdachten Stallrandes ist (unmittelbare Nähe zum Stall, viele Tiere, kein Bewuchs, ein partieller Schutz vor Wind und Witterungseinflüssen), ist davon auszugehen, dass es auch hier zu hohen Stickstoffakkumulationen kommt, die direkt auf dem Boden anfallen und nach dem Versetzen des Stalles in tiefere Bodenschichten verlagert bzw. ausgewaschen werden. Auch hier ist ein regelmäßiges Versetzen notwendig. Der Bereich unterhalb des Stalles müsste entsprechend mit einer Unterflursicherung versehen, oder für die Tiere unzugänglich gemacht werden.

Zudem sollte bei Mobilställen grundsätzlich sichergestellt werden, dass das Regenwasser vom Dach kontrolliert aufgefangen und/oder von der Fläche abgeleitet wird und nicht unmittelbar in den Nahbereich abfließt. Die Reinigung der Mobilställe (und ggf. der Betonplatten) sollte so erfolgen, dass das Schmutzwasser nicht in zu einer zusätzlichen Belastung der Fläche mit Nährstoffen beiträgt. Auch sollten die hierfür nötigen, mitunter nicht unerheblichen, Mengen an Wasser nicht in den Nahbereich geleitet werden, um eine Verlagerung der dort akkumulierten Nährstoffmengen zu verhindern. Hierfür muss der auf den Platten anfallende Mist vollständig entfernt werden, die Reinigung des Stalles ist ggf. auf der Mistplatte durchzuführen.

Hütten und Unterstände

Schutzhütten und Unterstände müssen ebenfalls regelmäßig versetzt werden und benötigen eine Unterflursicherung. Die im Projekt eingesetzten „IBcon-Chicks“ wurden von den Tieren gut angenommen. Tierverluste in direktem Zusammenhang mit der Annahme der Container konnten nicht festgestellt werden. Auch hier konnten über die Standdauer von etwa sechs bis sieben Monaten Nährstoffakkumulationen, um die Container festgestellt werden. Um die Wirkung und Funktionalität der „IBcon-Chicks“ weiter zu testen, bedarf es Folgeuntersuchungen auf weiteren Praxisbetrieben. So könnten Fragestellungen zur Verbesserung der Auslaufannahme durch Verteilung der „IBcon-Chicks“ in der gesamten Fläche untersucht werden.

Überdachte Stallrandbereiche und Nahbereiche

Aufgrund ihrer Überdachung sind die Stallrandbereiche zumindest teilweise vor Wetter- und Witterungseinflüssen geschützt und werden deshalb stark frequentiert, was hohe

Nährstoffakkumulationen zur Folge hat. Dass die N_{\min} -Dynamiken auch trotz Überdachung nicht konstant bleiben, sondern Zu- und Abnahmen unterliegen und somit auch im überdachten Stallrandbereich ein **Auswaschungsrisiko** besteht, zeigen die Projektergebnisse. Zum einen schützt der Dachvorstand nur bis zu einem gewissen Grad (abhängig von Ausrichtung des Stalls und Wetterlage) vor Niederschlägen, zum anderen ist der Boden mit dem des angrenzenden Nahbereiches verbunden, der den Wetter- und Witterungsbedingungen ausgesetzt ist. So kann es hier durch Kapillarität zu einem lateralen Wasserzug kommen, der zu auch unterhalb der Dachüberstände zu einer Verlagerung von Nitrat führen kann.

Sowohl im überdachten Stallrandbereich als auch im angrenzenden Nahbereich muss daher Stickstoff entzogen bzw. entnommen werden. Da ein Verarmungsanbau bei Festställen kaum praktikabel ist und i.d.R. auch bei Weitem nicht ausreichen würde, um die auf kleiner Fläche anfallenden Nährstoffmengen zu entziehen, wurden im Rahmen des Projektes **Transfersubstrate** eingesetzt.

Mineralische Substrate wie Schotter, Kies und Sand sind nicht in der Lage, Nährstoffe zu binden. Der Sand, der von den Tieren gerne zum Staubbaden genutzt wird, sollte daher im Stallinnenbereich (idealerweise in einer Wanne) angeboten werden. Kies und Schotter eignen sich nicht zum Scharren und Staubbaden, lassen sich nach einem Herdenwechsel nicht effektiv hygienisieren und können auch nicht als Dünger verwendet werden. Da es sich durch die Vermengung mit Hühnerkot im Falle von Kies und Schotter um kontaminierten Bauschutt handelt, können die Materialien nicht einfach entsorgt werden, sondern müssten vor der Entsorgung aufbereitet werden (Deerberg et al. 2019 und 2020). Dies ist mit sehr hohem (finanziellen) Aufwand verbunden, da es neben der Aufbereitung auch der fachgerechten Entsorgung sowohl des Schotters als auch des anfallenden Waschwassers bedarf. In Anbetracht der hohen Nährstofffrachten, die in den überdachten Randbereichen und zum Teil auch in den Nahbereichen gemessen wurden, sind **mineralische Substrate** hier als (absolut) **ungeeignet** zu betrachten.

Das auf einem der Betriebe im überdachten Stallrand- und Nahbereich verwendete **Gittergewebe** ist aus Aspekten des Tierwohls, einer Erhitzung bei sommerlichen Temperaturen und einer möglichen Mikroplastik-Problematik als kritisch zu beurteilen. Vor allem aber ist es nicht in der Lage, Stickstoffeinträge in den Boden zu reduzieren. Es ist wasserdurchlässig, so dass der dort anfallende Kot auf den darunter liegenden Boden gewaschen und von dort aus weiter in tiefere Schichten eingetragen wird. Die schwarze Farbe sorgt gerade im Sommer für eine Erhitzung des Materials, was sowohl die Ammonifikation als auch die Nitrifikation beschleunigt. Aus diesen Gründen ist das Gittergewebe ebenfalls als **ungeeignet** für den Einsatz im Legehennenauslauf zu beurteilen.

Im Gegensatz dazu erwiesen sich die im Projekt eingesetzten organischen Substrate (Strohhäcksel, Strohpellets, Strohgranulat, Holzhackschnitzel und Holzpellets) als deutlich besser geeignet, zu einer Reduktion der Nährstoffeinträge in den überdachten Stallrandbereichen und den angrenzenden Nahbereichen beizutragen. Die scharffähigen Substrate wurden von den Tieren stark angenommen und bearbeitet. Das zeigt auch der

deutliche Substratschwund, der im Laufe der Liegedauer festzustellen war. Dieser ist insbesondere dann, wenn den Tieren in Stall und Wintergarten keine Einstreu zur Verfügung stand auf eine Aufnahme durch die Tiere zurückzuführen. Ein Verscharren und Verschleppen (durch Anhaftung an den Füßen) in angrenzende Auslaufbereiche konnte ebenfalls beobachtet werden. Tierverluste in Zusammenhang mit den Transfersubstraten konnten nicht festgestellt werden.

Über die Liegedauer war eine teils deutliche Anreicherung des Substrates mit Stickstoff feststellbar, Substrate mit einem weiten C/N-Verhältnis wiesen nach der Liegedauer ein deutlich engeres auf. Für Betrieb 7 waren die N_{\min} -Gehalte im Boden der mit **Holzhackschnitzeln** optimierten Ausläufe im Vergleich zu den nicht optimierten Ausläufen rund $14 \text{ g } N_{\min}/\text{m}^2$ niedriger. Nach einer Liegedauer von 167 Tagen konnten in den Holzhackschnitzeln im (statistischen) Mittel rund $99 \text{ g } N_t/\text{m}^2$ und somit signifikant mehr N_t festgestellt werden als zu Beginn der Liegedauer. Auch quellfähige Substrate wie **Strohpellets** erwiesen sich aufgrund ihres Quellvermögens und der höheren Wasserhaltekapazität als **geeignet**. So konnte bei den auf Betrieb 2 eingesetzten Strohpellets am Ende der Liegedauer eine signifikante Zunahme der Gesamtstickstoffgehalte von $158 \text{ g}/\text{m}^2$ um $224 \text{ g}/\text{m}^2$ auf insgesamt $382 \text{ g } N_t/\text{m}^2$ festgestellt werden.

Die vergleichsweise günstigeren **Strohhäcksel** zeigten ebenfalls eine abgesichert nährstoffreduzierende Wirkung, sind aber aufgrund der starken Verschlammung und Vernässung, sowie der Umsetzungsprozesse als **ungeeignet** zu bewerten. Gleiches gilt für **Rindenmulch** (der aus diesen Gründen im Projekt nicht verwendet worden war) und **Grünschnitt**.

Wie die Beprobung der auf zwei Betrieben eingesetzten Strohpellets nach unterschiedlich langen Liegedauern ergab, lässt die Nährstoffhaltekapazität über die Zeit und in Abhängigkeit der Witterungseinflüsse nach. Das bedeutet, dass Stickstoff bei zu langer Liegedauer wieder aus dem Substrat ausgetragen wird. Das kann sowohl mittels Ausgasung (hier nicht quantifiziert), als auch durch Auswaschung geschehen. Um tatsächlich einen Nährstoffentzug herstellen zu können, müssen die **Substrate** somit **regelmäßig** und nicht erst mit dem Herdenwechsel ausgetauscht bzw. **entnommen und erneuert werden**. Wie lange die Liegedauer sein sollte, hängt von verschiedenen Faktoren ab (Menge, Anzahl Tiere, Witterung und Temperaturen etc.) und erfordert weitere Forschung. Aus derzeitiger Sicht erscheint ein Austausch (mindestens) vor und nach der winterlichen Sickerwasserperiode (Oktober bzw. März/April) ratsam.

Hecken und Gehölzstreifen

Hecken und Gehölzstreifen spenden (wie Schutzhütten und Unterstände) Schatten, begrünen und strukturieren den Geflügelauslauf und sind in der Lage die Auslaufakzeptanz (den prozentualen Anteil der Tiere, die den Auslauf nutzen) und die Auslaufannahme (die Verteilung der Tiere im Auslauf) zu erhöhen bzw. zu verbessern (Knierim 2006, Rault et al 2013, Stadig et al. 2019). Eine gute oder sehr gute Auslaufannahme kann das Nährstoffproblem bestenfalls abmildern, nicht aber lösen. Zum einen zeigen Deerberg und Heß in ihrer Modellrechnung (2017), dass selbst bei absolut gleichmäßiger Verteilung des Kotes in der Fläche (auf jedem

Quadratmeter Auslauffläche wird die gleiche Menge Kot hinterlassen) und einem Kotabsatz im Freiland von (nur) 10 Prozent bereits 22,6 g N/m² anfallen. Zum anderen zeigen auch die auf Betrieb 7 erhobenen Daten, dass es trotz der Anlage der Pappelstreifen und einer sehr guten Auslaufannahme (die nur beobachtet, aber nicht quantifiziert wurde), zu einer ungleichen Verteilung der Nährstoffe kam. So steigen die N_{min}-Gehalte auch hier mit zunehmender Nähe zum Stall signifikant an. Im Gegensatz dazu konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Art der Bepflanzung (Gras oder Pappeln) in Bezug auf die N_{min}-Gehalte im Boden festgestellt werden.

Aufgrund ihrer hohen Annahme durch die Hennen kann es im Bereich unter und um die Gehölzstreifen zu Nährstoffakkumulationen kommen, wie auch die N_{min}-Dynamiken der Gehölzstreifen bzw. Hecken auf Betrieb 2 und 4 zeigen. Zwar nehmen die Gehölze auch Nährstoffe auf, ein Nährstoffentzug von der Fläche findet aber nur dann statt, wenn die Gehölze und deren Laub entfernt, also von der Fläche entnommen werden. Dabei ist die Nährstoffaufnahme abhängig vom Biomassezuwachs. Dieser wiederum hängt beispielsweise bei Kurzumtriebsplantagen von der Rotationsdauer ab. Laut Englisch et al. (2009) sind bei Pappeln und Weiden in Europa mittlere Biomassezuwächse von 10-12 t/ha und Jahr möglich (gute Bedingungen vorausgesetzt). Bei einem 2-jährigen Umtrieb wären auf diese Weise Stickstoffentzüge von 66 kg/ha bzw. 6,6 g/m² möglich, die Ernte eines Hektars Pappeln bzw. Weiden vorausgesetzt. Die Ernte des Holzes bedeutet im Umkehrschluss allerdings auch, dass die Vorteile der Bäume (Schatten, Schutz etc.) wegfallen bis diese wieder ausgetrieben sind und wieder Deckung bieten können. Im Vergleich zu den im Legehennenauslauf anfallenden Stickstoffmengen, ist der potenzielle Entzug (der nur dann gegeben ist, wenn die Vegetation von der Fläche entfernt wird) als gering zu beurteilen.

Normalized Difference Vegetation Index

Der auf der Auswertung von Satellitenbildern basierende Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) kann als Indikator Aufschluss über die Photosyntheseleistung von Auslaufflächen geben. Allerdings ist das Verfahren zeit- und kostenintensiv. Beim Abgleich des NDVI mit den gemessenen Stickstoffgehalten wird deutlich, dass ein gleichmäßig erscheinender NDVI nicht mit einer gleichmäßigen Verteilung des Kotes in der Fläche gleichzusetzen ist. So kann eine Auslauffläche aufgrund von (Über-) Nutzung eine flächig geringe Photosyntheseleistung haben und trotzdem eine ungleichmäßige Nährstoffverteilung aufweisen. Ebenso ist ein höherer NDVI (in grün dargestellt) zwar mit einer besseren Vegetation in Verbindung zu bringen, das bedeutet aber nicht, dass diese Vegetation in der Lage ist, die dort anfallenden Nährstoffe aufzunehmen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass ein geringer NDVI unter Umständen auch durch Pflegemaßnahmen verursacht werden kann. Somit sollte er nicht losgelöst von den Abläufen in der Praxis betrachtet werden.

Die pflanzenverfügbaren **Phosphorgehalte** in 0-30 cm Bodentiefe lagen in den stark frequentierten Bereichen oftmals in der Gehaltsklasse E, bei der laut VDLUFA (2018) keine weitere Düngung empfohlen wird. Die Vorgaben der Düngeverordnung beziehen sich auf Phosphat (gemessen als P₂O₅), das mit der CAL-Methode in Bodenproben bestimmt wird. So

dürfen phosphathaltige Düngemittel bei einem durchschnittlichen Phosphatgehalt von 20 mg je 100 g/Boden allenfalls in Höhe der Phosphatabfuhr (etwa durch Fruchtfolge) aufgebracht werden. Das entspricht umgerechnet 8,7 mg Phosphor je 100 g Boden. Dieser Wert wird vor allem - aber nicht nur - in den Bereichen, in denen auch hohe N_{\min} -Gehalte festgestellt wurden, um ein Vielfaches überschritten. So konnten im überdachten Stallrandbereich und dem Nahbereich in 0-30 cm mitunter 51 mg $P_{\text{CAL}}/100\text{g}$ Boden (TS) gemessen werden. Während eine Phosphatabfuhr aufgrund von Fruchtfolge, d.h. in Folge pflanzlichen Entzuges im Legehennenauslauf i.d.R. nicht erfolgt, ist allerdings davon auszugehen, dass es durch den Kotabsatz der Tiere zu einem weiteren Eintrag von Phosphor kommt.

Bei künftigen Forschungsarbeiten sollten Bodenproben zur Untersuchung auf mineralischen Stickstoff mindestens monatlich erfolgen. Die Arbeit mit Saugkerzen oder Saugplatten ist ebenfalls möglich, hätte aber aufgrund des hohen Aufwandes vermutlich auch eine Einschränkung des Untersuchungsumfanges zur Folge. Eine zweimalige Beprobung des Bodens zu Beginn und Ende der Sickerwasserperiode (wie mitunter in Forschungsarbeiten üblich) ist nicht in der Lage, die N_{\min} -Dynamiken abzubilden und etwaige Verlagerungen nachzuvollziehen. Sie ermöglicht bestenfalls Momentaufnahmen. Aus dem gleichen Grund wurden Mittelwerte der Stickstoffgehalte im Boden immer im Zusammenhang mit den N_{\min} -Dynamiken (also den Verläufen) betrachtet. Bei der bloßen Angabe von Mittelwerten lassen sich Zu- und Abnahmen der N_{\min} -Gehalte im Boden, anhand derer die Verlagerung der Nitratgehalte in tiefere Bodenschichten nachvollzogen werden kann, nicht mehr erkennen.

Die Forschungsarbeit mit und auf Praxisbetrieben unterliegt einer Vielzahl an Variablen, die interagieren und so die Ergebnisse beeinflussen. So haben Management, wie etwa Pflegemaßnahmen im Auslauf, oder eine Haltung anderer Tiere im Legehennenauslauf, aber auch das Verhalten der Hühner, Einfluss auf die Nährstoffgehalte im Boden. Ebenso sind die Effekte der Substrate nicht immer und in jedem Fallbeispiel lückenlos mit den Stickstoffdynamiken im Boden zusammenzubringen. So unterscheiden sich z.T. auch die betriebsindividuell eingesetzten Substrate voneinander (z.B. was Herkunft, Größe und Durchmesser der Strohpellets anbelangt oder die Zusammensetzung der verschiedenen Holzarten in den Holzhackschnitzeln).

In Anbetracht der (teils sehr) hohen Stickstoffgehalte, die punktuell gemessen werden konnten, sind Lösungsansätze jedoch dringend erforderlich, um die Freilandhaltung von Legehennen zukunftsfähig weiterentwickeln zu können. Hierfür bedarf es weiterer Forschung, die, um Ursache und Wirkung noch klarer in Zusammenhang zu bringen, sowohl modellhaft unter *ceteris paribus* Bedingungen, als auch unter Praxisbedingungen stattfinden muss. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Lösungsansätze sowohl den Ansprüchen der Landwirt:innen als auch denen der Tiere und des Umweltschutzes genügen müssen.

8 Literaturverzeichnis

- AG Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (Hg.) (2021): Anlage IV: Ausführungshinweise zur Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung: Abschnitt 3, Anforderungen an das Halten von Legehennen.
- Alpers, A. (2013): Praxisleitfaden zur Gestaltung von Ausläufen in der Bio-Legehennenhaltung. Hrsg. Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen, Visselhövede
- Baumgärtel, G & H-W Olf (2014): Nitratauswaschung. Ursachen und Maßnahmen zur Minimierung. aid Infoheft, 24 S.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2015): Wie viel Stickstoff braucht der Mais? In: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 16/2015
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2021): Basisdaten Düngung und Nährstoffflüsse.
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten21_tabellen_1-9_20210309.pdf
- Deerberg Fri (2004): Entwicklung von Konzepten für eine tiergerechte und standortangepasste Bewirtschaftung von Grünausläufen in der Geflügelhaltung In: Untersuchungsvorhaben in der ökologischen Schweine- und Geflügelhaltung in Niedersachsen 2002-2003 Hrsg.: Landwirtschaftskammer Hannover, Referat Ökologischer Landbau, Hannover 12
- Deerberg Fri & J Heß (2017): Öko-Legehennen: Ressourceneffizienz und Umweltschutz versus Auslaufmanagement und Flächenbeimessung. In: Wolfrum S, Heuwinkel H, Reents H.J, Wiesinger K, Hülsbergen K-J & H-J Reents (Hrsg.): Ökologischen Landbau weiterdenken. Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken: Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan, 7. bis 10 März 2017
- Deerberg Fra, Jalane V, Deerberg Fri & J Heß (2019): Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen. Eignung von Kies im Nahbereich. In: „Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft“, (Hrsg.) D. Mühlrath, Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 06.-09.03.2019, Kassel, 286-287
- Deerberg Fra, Deerberg Fri, Delics B & J Heß (2020): Kies und Schotter eine Abfuhr erteilen. In: DGS-Magazin 49/2020
- Delics B, Deerberg Fra, Deerberg Fri, Ruf M & J Heß (2019): Nährstoffeinträge in der Freilandhaltung von Legehennen. Problembereiche im Auslauf. In: „Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft“, (Hrsg.) D. Mühlrath, Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 05.-08.03.2019, Kassel, 288-289
- Düngeverordnung (DüV): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch den Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf (Zugriff 09.12.2022)
- Elbe U (2006): Freilandhaltung von Legehennen unter besonderer Berücksichtigung der Auslaufnutzung, des Stickstoff- und Phosphoreintrags in den Boden und des Nitratreintrags in das Grundwasser. Sierke Verlag, Göttingen 2006

- Englisch M, Wresowar M, Spiegel H, Reiter R & K Katzensteiner (2009): Energiewälder im Kurzumtrieb – Möglichkeiten und Grenzen. Bundesforschungszentrum für Wald (Wien). BFW-Praxisinformation 18, 15 - 17
- Europäische Kommission (2018): Verordnung (EU) 2018/848 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologisch/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates
- Europäische Kommission (2020): Durchführungsverordnung (EU) 2020/464 der Kommission vom 26. März 2020 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und Rates hinsichtlich der für die rückwirkende Anerkennung von Umstellungszeiträumen erforderliche Dokumente, der Herstellung ökologischer/biologischer Erzeugnisse und der von den Mitgliedstaaten bereitzustellenden Informationen
- Europäischer Rat (2008): Verordnung (EG) Nr. 589/2008 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) 1234/2007 des Rates hinsichtlich der Vermarktungsnormen für Eier
Brüssel: Europäische Union
- Fachagentur Nachachsende Rohstoffe FNR [Hrsg.] (2014): Leitfaden feste Biobrennstoffe. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich.
<https://mediathek.fnr.de/leitfaden-bioenergie/datensammlung.php?grafik=0>
- Fleming K (2008): Analyse und Bewertung physikalisch-chemischer und stofflicher Parameter auf die Freisetzung von biogenen Gasen und luftgetragenen Partikeln aus Substraten bei der Haltung von Warmblutpferden in eingestreuten Einzelboxen.
<https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B039-A/fleming.pdf?sequence=1>.
- Fürmetz A, Keppler C, Knierim U, Deerberg F & J Heß (2005): Legehennen in einem mobilen Stallsystem – Flächenmanagement und resultierende N-Gehalte im Auslauf. In: "Ende der Nische", (Hrsg.) J. Heß & G. Rahmann, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4.03.2005, Kassel university press, Kassel, 299-302
- Heß J & F Deerberg (2017): Einführung optimierter Managementkonzepte in der Legehennenhaltung zur Verringerung der Nährstoffbelastung im Boden bei der Freilandhaltung von Öko-Legehennen (Land NRW)
- Huesker (2013): Viatrifit® Auslauf. Freilandausläufe für Geflügel. Werbebroschüre der Huesker Synthetic GmbH
- Knierim U (2006): Animal welfare aspects of outdoor runs for laying hens: a review. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences 54 (2): 133-145. DOI: [10.1016/S1573-5214\(06\)80017-5](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(06)80017-5)
- Kratz S (2002): Nährstoffbilanzen konventioneller und ökologischer Broilerproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Belastung von Böden in Grünausläufen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 240, Braunschweig
- Meierhans D & H Menzi (1995): Freilandhaltung von Legehennen: Bedenklich aus ökologischer Sicht? In: DGS-Magazin 9/95, 2-12
- Menke D & A Paffrath (1996): Freilandhaltung von Legehennen – artgerechte Tierhaltung ökologisch bedenklich? In: DGS-Magazin 22/96, 11-16
- Rault J-L, van de Wouw A & P Hemsworth (2013): Fly the coop! Vertical structures influence the distribution and behavior of laying hens in an outdoor range. Australian Veterinary Journal 91 (10): 423-426 <https://doi.org/10.1111/avj.12099> (letzter Zugriff: 14.03.2023)
- Scheffer F et al. (2018): Lehrbuch der Bodenkunde (17. überarb. Aufl.). Spektrum Akademischer Verlag

- Stadig LM, Tuyttens FAM, Bas Rodenburg T, Vandecasteele B, Ampe B & B Reubens (2019): Interactions between broiler chickens, soil parameters and short rotation coppice willow in a free-range system, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43:9, 1009-1030
- VDLUFA (2018): Standpunkt. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf (<https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformationen-35/standpunkte-des-vdlufa>)
- Zorn W, Lippmann J, Gayer P, Schröter H & W Reichardt (2004): Nährstoffeintrag in den Boden. In: *Alternative Legehennenhaltung*, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8 - 9. Jahrgang 2004, 139-151

9 Anlagen/Anhang

Sämtliche im Projekt umgesetzten Optimierungsmaßnahmen (nicht alle konnten im Ergebnisteil aufgegriffen werden) sind in Tabelle 12 aufgeführt. Des Weiteren soll ein Teil der eingesetzten Transfersubstrate ausführlicher vorgestellt werden.

Tabelle 12: Übersicht der für die Projektphasen 2 und 3 auf den jeweiligen Betrieben geplanten Optimierungsmaßnahmen

Betrieb Nr.	Anzahl			Optimierung 1 (2019/20)				Optimierung 2 (2020/21)		
	Art d. Haltung	Tiere je Stallgebäude	beprobte Herden je Betrieb	Beginn	Bereich	Art der Optimierung		Beginn	Art der Optimierung	
1	mobil	800	1	Jun 2020	Standfläche	Unterziehplane	Ableitung d. Regenwassers	Dez. 20	Unterziehplane ¹	
2	mobil	1.600 - 1.700	3	Herde 1: Nov+Dez. 2019	Nahbereiche	Strohhack + Grünschnitt	Ableitung d. Regenwassers	Herde 1: Nov+Dez. 2020	Strohpellets	Ableitung d. Regenwassers
				Herde 3: Feb. 2020	Nahbereiche	Strohpellets		Herde 3: Mrz. 2021	Strohpellets	
3	stationär	6.000	4	Herde 1: Jul/Aug.19	überdachter Randbereich	Holzhack.	Sand	Herde 1: Jul/Aug.20	Holzhack.	Sand
				Herde 2: Sept. 2019	überdachter Randbereich	Holz- & Strohhack	Sand	Herde 2: Aug. 2020	Holz- & Strohhack	Sand
				Herde 3: Aug. 2019	überdachter Randbereich	Holz- & Strohhack	Sand	Herde 3: Feb. 2021	Holz- & Strohhack	Sand
				Herde 4: Mai 2019	überdachter Randbereich	Holzhack.	Sand	Herde 4: Juni 2020	Sand	
4	stationär	6.000	2	Herde 1: Dez. 2019	Nahbereich	Drainage		Herde 1: Apr.2021	Holzhackschnitzel	
				Herde 2: Dez. 2019	Nahbereich	Strohpellets (auf Langstroh)		Herde 2: Jan. 2021	Holzhackschnitzel	

Betrieb Nr.	Anzahl			Optimierung 1 (2019/20)			Optimierung 2 (2020/21)	
	Art d. Haltung	Tiere je Stallgebäude	beprobte Herden je Betrieb	Beginn	Bereich	Art der Optimierung	Beginn	Art der Optimierung
5	stationär	12.000	4	Herde 1 und 2: Okt. 2019	gepflasterter Nahbereich	Plane + Strohhäcksel	Herde 1 und 2: Juni 2021	IBcon-Chicks
				Herde 1 und 2: Jan. 2020		Plane + Strohpellets		
6	stationär	12.000	4	Herde 2 und 3: Nov. 2019	Gewebeplane (überdachter Stallrand und Nahbereich)	Strohpellets	Entfällt	
7	stationär	22.000	4	Herde 3 und 4: Okt. 2019	Nahbereich	Strohhäcksel	Herde 3 und 4: Nov.2020	Holzhackschnitzel
8	stationär	39.998	7	² Mrz. 2020	überdachter Randbereich	Holzpellets	² Nov. 2020	Holzpellets

¹ Aus technischen Gründen konnte die mobile Unterziehplane erstmalig erst im Sommer 2020 untergezogen werden

² Die Optimierung fand hälftig auf zwei gegenüberliegenden Stallseiten statt, die keiner Herde eindeutig zugeordnet werden können, da alle Auslaufbereich für die Tiere frei zugänglich sind



= Vogelgrippe: Optimierung konnte aufgrund eines mehrmonatigen Aufstallungsgebotes nicht umgesetzt werden



= Optimierung konnte aus betrieblichen Gründen nicht umgesetzt werden

Einsatz von Transfersubstraten

Mit Ausnahme des auf Betrieb 3 eingesetzten Sandes, der nur auf ausdrücklichen Wunsch des Betriebes (weiter) verwendet wurde, sind alle anderen für die Optimierung eingesetzten Substrate organisch und scharffähig. Die Hühner können somit ihrem artspezifischen Verhalten nachgehen.

Arbeitshypothesen:

- je attraktiver der Nahbereich, desto mehr Tiere verlassen den Stall, desto höher der Koteintrag auf der mit Substrat ausgebrachten Fläche
- die Adsorptionsfähigkeit (in Hinblick auf Nährstoffe und Regenwasser) variiert je nach Art und Menge des ausgebrachten Substrates
- Substrate mit einem weiten C/N-Verhältnis im Ausgangssubstrat sind geeignet um Nährstoffe anzulagern
- sehr quellfähige Substrate, wie etwa Strohpellets, könnten den Beginn der Sickerwasserbildung verzögern; aufgenommene Nährstoffe werden nicht direkt ausgeschwemmt und in den Boden eingetragen, da das Regenwasser aufgenommen wird und bei entsprechender Witterung ggf. verdunsten kann
- das Endsubstrat (also das Substrat-Kotgemisch, das am Ende der Sickerwasserperiode oder ggf. der Legeperiode entnommen wird) kann in Form von Dünger in den betrieblichen Kreislauf überführt werden

Die Substrate und ihre spezifischen Eigenschaften sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Transfersubstrate aus dem Ausgangsmaterial Stroh

Getreidestroh ist i.d.R. gut verfügbar, saug- und scharffähig. Abbildung 58 zeigt die beiden Aufbereitungsformen von Stroh, die am häufigsten für Optimierungen eingesetzt wurden: Strohhäcksel und Strohpellets.



Abbildung 58: Bei der Optimierung verwendete Substrate aus Stroh: Strohhäcksel (a) und Strohpellets (b)

Durch das Aufbrechen der Strohhalme beim Häckseln verändert sich die Oberflächenstruktur, was wiederum die Saugfähigkeit des Materials erhöht.

Neben den Strohhäckseln wurden auf einigen Betrieben Strohpellets im Nahbereich ausgebracht (vgl. Tabelle 12). Hierbei handelt es sich um Stroh, das gehäckseln, gemahlen

und pelletiert wird. Durch die Erhitzung im Pelletierverfahren auf etwa 110 °C werden Keime abgetötet, zudem werden Zellstruktur und Kapillaren aufgeschlossen, was die Saugfähigkeit des Materials erhöht (Fleming 2008).

Tranfersubstrate aus dem Ausgangsmaterial Holz

Die für die Optimierung eingesetzten Materialien aus Holz waren zum einen Holzhackschnitzel, zum anderen Holzpellets wie in Abbildung 59 dargestellt.

Holz hackschnitzel, die in erster Linie als Brennmaterial für Hackschnitzelheizungen eingesetzt werden, werden i.d.R. aus Waldrest- und Schwachholz hergestellt. Auch Holz aus Kurzumtriebsplantagen und der Landschaftspflege wird durch unterschiedliche Hacker zu Hackschnitzeln verarbeitet. Holz hackschnitzel sind, gemäß der DIN EN 14961-4 in verschiedene Hauptfraktionen unterteilt und unterscheiden sich in erster Linie in der Größe der Holz hackschnitzel im Hauptanteil (3,15-16 mm, 8-31,5 mm oder 8-45 mm große Häcksel machen 75 % der Hackschnitzelmasse aus) und dem entsprechenden Fein- und Grobanteil (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe 2014). Für die Verwendung im Hühnerauslauf ist es wichtig, dass das Material PCB-frei ist. Des Weiteren sollte Holz aus Waldrest- und Schwachholz und nicht etwa Industrierestholz oder Grünschnitt aus Pflegemaßnahmen (Gärten und Parks) genutzt werden, um giftige Inhaltsstoffe (wie etwa Eibe) zu vermeiden. Werden Holz hackschnitzel bzw. Pellets erworben, so sollten Verkäufer/Händler in der Lage sein zu belegen, dass das Material frei von Schadstoffen (wie z.B. Dioxinen) ist. Diese können als Nebenprodukt z.B. bei Brandereignissen entstehen.

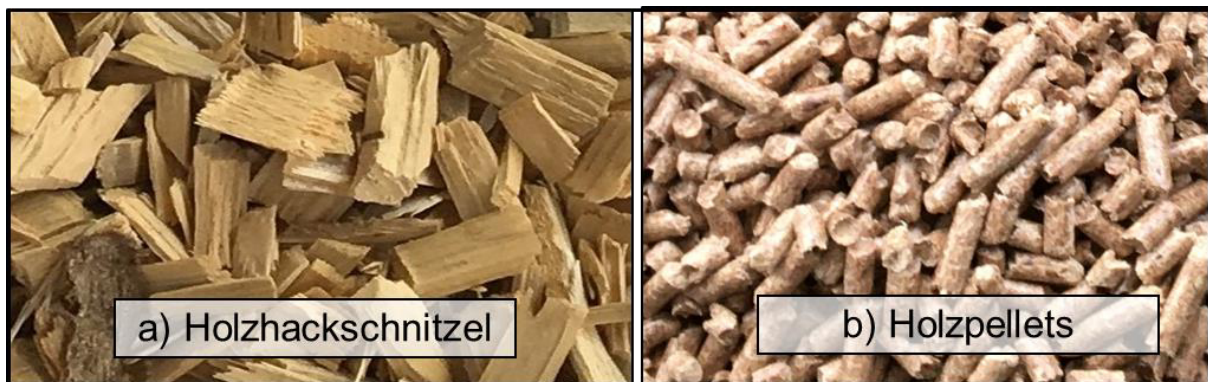


Abbildung 59: Bei der Optimierung verwendete Substrate aus Holz: Holz hackschnitzel (a) und Holz pellets (b)

Für die Herstellung der Holz pellets wird zerkleinertes Material in Form von Sägemehl oder Hobelspänen verwendet. Nach der Trocknung, bei der das Material je nach Trocknungsbedingungen auf bis zu 85° C erhitzt wird, erfolgt die Pelletierung mittels Kollergangpressen mit Ring- oder Flachmatrizen. Die Länge der Pellets beträgt zwischen 3,15 und 40 mm, der Wassergehalt liegt unter 15 %.

Transfersubstrate aus dem Ausgangsmaterial Sand

Der auf Betrieb 3 im überdachten Randbereich eingesetzte Sand (Abbildung 60) wurde auf



Abbildung 60: Sand wie er mitunter von Betrieben im Legehennenauslauf ausgebracht wird

Wunsch des Betriebes auch während der Optimierungsphasen eingesetzt. Da sich das Material sehr gut zum Scharren, Sand- und Staubbaden eignet, wird es von den Tieren gerne angenommen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Sand frei von Schadstoffen (z.B. PCB und Dioxin) ist und regional bezogen werden kann (Alpers 2013). Als mineralisches Substrat eignet sich der Sand nur bedingt für die anschließende Nutzung als Dünger.