

## TIERÄRZTLICHE UMSCHAU

## PFERD &amp; NUTZTIER



Impfung von Schweinen gegen *Lawsonia intracellularis* i.m. oder i.d. – Kalkulation der Effekte einer verbesserten Futtermittelverwertung auf die N- und P-Ausscheidung sowie den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Beispielkalkulationen aus verschiedenen Praxisbetrieben

Stichworte: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck; N- und P-Ausscheidung; *Lawsonia intracellularis*; Leistungsverbesserung; Futtermittelverwertung; Impfung Porcilis®Lawsonia/ Porcilis® Lawsonia ID; Modellkalkulation

Keywords: carbon footprint; N- and P-emission; *Lawsonia intracellularis*; improved performance; feed conversion ratio; Porcilis®Lawsonia/Porcilis®Lawsonia ID vaccination; model calculation

*Lawsonia intracellularis* wird als Darmerreger im klinischen und subklinischen Bereich wie auch die Potentiale der gezielten Prophylaxe oft unterschätzt. Die positiven Effekte auf Leistungsparameter, Antibiotikaeinsatz und Futtermittelverwertung sowie die ökonomischen Ergebnisse sind hervorzuheben. Die Effizienzsteigerungen werden zunehmend wichtiger für den schonenden Ressourceneinsatz und sind aus Umweltaspekten der Schweinehaltung von praktischem Interesse. In der vorliegenden Arbeit wurden modellhaft die Effekte der Effizienzsteigerung mit der Lawsoniaprophylaxe auf die Nachhaltigkeit der Schweineproduktion am Beispiel der Stickstoff- und Phosphor-Ausscheidung sowie dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck beschrieben, um Tierärzten und Landwirten eine Orientierungshilfe zu geben und praktikable Einflussmöglichkeiten aufzuzeigen.

## Einleitung

### Stickstoff (N) und Phosphor (P) Emissionen der Schweinehaltung

N- und P-Einträge in die Umwelt können die Wasserqualität durch übermäßige Nährstoffanreicherung mit nachfolgender Eutrophierung schädigen (1, 2). Durch

das Ausbringen von wirtschaftseigenen Düngern auf landwirtschaftliche Nutzflächen kann es u.a. zur Auswaschung ins Grundwasser oder direktes Abschwemmen in Oberflächengewässer insbesondere in Regionen mit hoher Viehdichte kommen. Daher gelten in Deutschland besondere Regelungen hinsichtlich der

N- und P-Düngung landwirtschaftlich genutzter Flächen (3) und entsprechende Reduktionsziele (4).

Stickstoff (elementarer Proteinbaustein) muss für Wachstum und optimale Leistungen von Tieren und Pflanzen in adäquater Menge und Qualität zur Verfügung stehen. Mit Fütterungsmaß-

**DR. ROBERT TABELING**

**DR. FRIEDERIKE VON UND ZUR MÜHLEN**

**DR. CHRISTINE RENKEN**

Intervet Deutschland GmbH,  
ein Unternehmen der MSD  
Tiergesundheit, Feldstraße 1a,  
85716 Unterschleißheim

nahmen, wie der Absenkung des Rohprotein-Gehaltes (RP) und der Optimierung des Aminosäurenmusters (Einsatz synthetischer Aminosäuren) können relevante Verminderungen der N-Ausscheidungen beim Schwein erfolgen, was bereits seit einigen Jahren gängige Beratungspraxis mit guten Ergebnissen in den betrieblichen Leistungen und den Auswirkungen auf die N-Emissionen ist (5).

Die Versorgung von Schweinen mit Phosphor ist essenziell für eine Reihe von Körperfunktionen, insbesondere das Knochenwachstum. Die P-Versorgung erfolgt durch mineralische Quellen und aus Futterpflanzen. Der in Pflanzen weitgehend phytin gebundene Phosphor kann durch das Enzym Phytase freigesetzt werden, welches weder das Schwein noch dessen Darmflora ausreichend bereitstellen können, so dass der Zusatz von Phytasen zum Futter die Effizienz der P-Verwertung erheblich verbessern kann. Auch für Phosphor und seine Verbindungen wurden aus Umweltaspekten Obergrenzen definiert, da der Eintrag über die Tierhaltung in Intensivregionen höher war als die Abfuhr über die Feldfrüchte. In den landwirtschaftlichen Betrieben wird mit Hilfe des einzelbetrieblichen Nährstoffmanagements der P-Einsatz bilanziert und gezielte Maßnahmen zur Erfüllung der Düngeverordnung festgeschrieben. Dabei sind die Rationsgestaltung und die tierischen Leistungen entscheidende Stellgrößen.

Für die Futterzusammensetzung wurden bestimmte N- und P-Reduktionsklassen definiert (5), deren erfolgreiche Nutzung aber auch bestimmte betriebliche Voraussetzungen erfordert (Tab. 1).

### **Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft und speziell der Schweinehaltung**

Aufgrund der Notwendigkeit zum Klimaschutz wird auch die Schweineproduktion vor die Aufgabe gestellt, Verringerungen beim Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen (THG; Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub>) vorzunehmen. 2021 betrug die ermittelte THG-Emission im Sektor deutsche Landwirtschaft 56,3 Mio. t Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (CO<sub>2</sub>-e).

Dies macht ca. 7,4 % der deutschen THG-Emissionen aus (6). Zusätzlich werden Emissionen des Brennstoffeinsatzes in Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft in diesen Sektor gerechnet (ca. 6 Mio. t; 2021: Gesamt 62 Mio. t CO<sub>2</sub>-e). Der Anteil der Tierhaltung an der o.g. eigentlichen landwirtschaftlichen Emission beträgt 46,4 % (6). Der überwiegende Teil (94–95 %) stammt aus der Rinder- (2021: Milchkühe 51,5 %, übrige Rinder 33,9 %) und Schweinehaltung (10,1 %). Der Rückgang der Tierzahlen seit 1990 führt auch zu einem Rückgang der THG-Emissionen (6). Grund für diesen Rückgang sind beim Schwein verschlechterte Marktbedingungen, insbesondere in Folge des ASP-Eintrages in Deutschland 2020 und dem darauffolgenden Preissturz sowie wegen der hohen Futterkosten nach Beginn des Ukrainekrieges. Hohe wirtschaftliche Verluste der Schweinehalter und unklare Perspektiven führen, besonders in der Ferkelerzeugung, auch aktuell zum weiteren Rückgang. Im Klimaschutzgesetz vom 24.06.2021 (7) war bis dessen Änderung am 21.06.23 (8) für jeden Sektor der Wirtschaft eine definierte THG-Minderung vorgesehen (Ziel Sektor Landwirtschaft 2021: 62; 2030: 56 Mio. t CO<sub>2</sub>-e). Mit Änderung des Klimaschutzgesetzes gelten diese Sektorziele nicht mehr als verbindlich, sondern die Gesamtmenge aller Wirtschaftsbereiche wird betrachtet. Was diese Flexibilisierung für den Sektor Landwirtschaft bedeutet, ist zurzeit unklar.

### ***Lawsonia intracellularis***

Der Erreger (LI) ist der Verursacher einer der wichtigsten Darmerkrankungen beim Schwein (9). Das Bakterium besiedelt die Enterozyten und hat eine mangelhafte Ausreifung dieser Zellen zur Folge (10). Diese unreifen proliferierenden Darmzellen sind wiederum die Ursache für die charakteristische Verdickung der Darmwand – beschrieben als „hirschwurmartig“. Betroffen ist vor allem der letzte Abschnitt des Dünndarms, das Ileum. Die infizierten Tiere reagieren in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt der Infektion sehr unterschiedlich. Aufgrund des redu-

zierten Wachstums kann es zu einem Auseinanderwachsen innerhalb von Gruppen gleichaltriger Tiere und zu einer Verlängerung der Mastdauer kommen. Klinisch stehen Durchfälle im Vordergrund, die in unterschiedlicher Ausprägung und Schwere bis hin zu perakuten Verläufen mit Todesfolge vorkommen (10). Da in der Schweinemast die Kosten der Futtermittel an erster Stelle stehen, führen Lawsonien-Infektionen, unabhängig von der Schwere des Verlaufes, immer zu wirtschaftlichen Einbußen (11, 12, 13). Hervorgerufen durch einen höheren Erhaltungsbedarf und ggf. eine reduzierte Verdaulichkeit des Futters bei den erkrankten Tieren verschlechtert sich die Futtermittelverwertung. Der dadurch höhere Futteraufwand hat folgerichtig auch ökologische Folgen: Es werden höhere Nährstoffmengen zur Produktion benötigt, die in vermehrten Ausscheidungen resultieren.

### **Material und Methoden**

In 9 Praxisbetrieben wurden Ferkel mit dem Impfstoff Porcilis®Lawsonia oder Porcilis®LawsoniaID (im Folgenden wird die Bezeichnung Porcilis Lawsonia für beide Impfstoffe verwendet) intramuskulär oder intradermal geimpft (12, 13). Daten der Betriebe aus Auswertungszeiträumen mit Tieren, die diese Impfung erhielten, wurden verglichen mit Zeiträumen ohne diese Maßnahme. In den meisten Betrieben wurde eine zeitversetzte Auswertung durchgeführt, in Betrieb 5 eine parallele Auswertung. Die Mastbetriebe unterschieden sich in ihrer Struktur: vier geschlossene Betriebe mit Impfung der Saugferkel, vier Zukaufbetriebe mit Impfung bei Einstellung in die Mast, ein Betrieb mit Einstellung geimpfter Ferkel. Vor Einführung der Impfung Porcilis Lawsonia wurden die Tiere bei auftretender Klinik antibiotisch behandelt (AB; 6 Betriebe) oder mittels oraler Lawsonien-Vakzine geimpft (3 Betriebe). Die vor der Einführung der intramuskulären Impfung vorhandene Klinik unterschied sich ebenfalls zwischen den Betrieben und wurde durch die bestandsbetreuenden Tierärzte diagnostisch aufgearbeitet und beur-

	Universal		N-P-reduziert			stark N-P-reduziert				sehr stark N-P-reduz.			
Technisierung	gering		mittel			hoch				sehr hoch			
Eiweissfutteranteil	sehr hoch		hoch			mittel				gering			
Freie Aminosäuren	gering		mittel			hoch				sehr hoch			
Auswahlinschränkung Futterkomponenten	keine		gering			mittel				hoch			
Phytase	nein		ja			ja				ja			
Gewichtsabschnitt der Mast kg KM	28-40	40-118	28-40	40-70	70-118	28-40	40-65	65-90	90-118	28-40	40-65	65-90	90-118
RP g/kg 88 %TS	175	170	175	170	165	175	165	155	140	165	155	140	135
P g/kg 88 %TS	5,3	5	5	4,5	4,5	4,7	4,5	4,2	4,2	4,4	4,2	4	4

Tab. 1: Mögliche Einsatzbereiche N-/P- definierter Fütterungsverfahren und Gehalte an Rohprotein- (RP) und Phosphor in Standard und N-/P-reduzierten Rationen nach DLG (g/kg uS 88 % TS; 5)

Betrieb	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ferkelherkunft (25-30 kg)	eigen	Zukauf	eigen, gleiche Ferkelherkunft		eigen	Zukauf	Zukauf	Zukauf	Zukauf
Klinische Ausprägung	akut-chronisch	akut	chronisch	chronisch	subklinisch	akut	akut-chronisch	chronisch	chronisch
Maßnahme bislang	AB	orale Impfung			AB				
Impfung Porcilis Lawsonia	Gemischt mit Porcilis®PCV M. hyo		Als Einzelimpfstoff						
Impfung Alter LW/ Gewicht kg	4. LW	4. LW	4. LW	4. LW	ca. 33	ca. 26	ca. 26	ca. 27	ca. 33
Auswertung der Gruppen	zeit-versetzt	zeit-versetzt	zeit-versetzt	zeit-versetzt	zeit-versetzt	zeit-gleich	zeit-versetzt	zeit-versetzt	zeit-versetzt
Tierzahl Vergleichsgruppe	4021	412	40693	15161	962	1983	581	530	600
Tierzahl Impfgruppe	2034	419	11183	4162	962	1533	528	530	600

Tab. 2: Übersicht der Praxisbetriebe mithilfe deren Leistungsdaten die Kalkulationen erstellt wurden

teilt (vgl. Tab. 2). Im Zeitraum zwischen 01.01.2019 und 28.06.2021 wurden insgesamt 86.894 Tiere in die Auswertung einbezogen. Die genaue Methodik und die Ergebnisse der Leistungsauswertung wurden bereits veröffentlicht (12, 13). Auf den Betrieben wurden für die jeweiligen Gruppen Zahl und Gewicht der Tiere bei Ankunft sowie zur Schlachtung als Lebendmasse (LM), die Verluste und vorzeitigen Verkäufe sowie die verbrauchten Futtermengen erfasst. Aus diesen Daten wurden Tageszunahme (TGZ) und Futtermittelnutzung (FMN) kalkuliert und mithilfe der betreuenden Tierarztpraxen der Einsatz von Arzneimitteln ausgewertet. Die Auswertung der Parameter erfolgte deskriptiv und es wurden nur Tiergruppen auf Betriebsebene verglichen (Verwendung von arith-

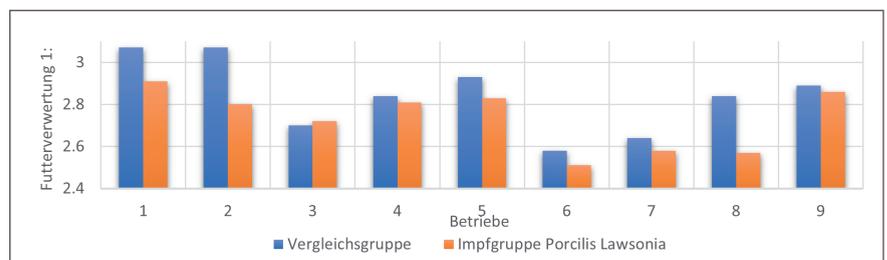


Abb. 1 FVW auf den ausgewerteten Betrieben vor und nach Einführung der Impfung mit Porcilis Lawsonia

metischen Mitteln).

Es konnte in den bisher veröffentlichten Auswertungen der Felddaten (12, 13) gezeigt werden, dass sich mit Einführung der Impfmaßnahme in den beschriebenen Praxisbetrieben die klinischen Probleme verbesserten, im Mittel Tierversuche und vorzeitige Verkäufe reduzierten und weniger antibiotische Be-

handlungen in den Betrieben notwendig waren. Die TGZ und die FVW (vgl. Abb.1) verbesserten sich merklich im Mittel der Betriebe. Die Bandbreite der einzelbetrieblichen Leistungsdaten vor der Einführung der Impfung mit Porcilis Lawsonia reflektierte in etwa das Leistungsniveau in der deutschen Schweineproduktion. Die Tiergruppen wogen im

Wie viele Schweine werden eingestallt?	Betriebsdaten
Mit welchem Gewicht werden die Schweine eingestallt?	Betriebsdaten
Wie viele Schweine werden erzeugt?	Betriebsdaten
Wie hoch ist das durchschnittliche Lebend- Verkaufsgewicht?	Betriebsdaten
Wie hoch ist die Ausschachtung?	Betriebsdaten
Wie viel Kraftfutter wird eingesetzt?	Betriebsdaten
Zu welchem Anteil ist es Importsoja ohne Nachhaltigkeitszertifikat?	12,6 % im Futter
Zu welchem Anteil wird stark N-/P-reduziertes Futter eingesetzt?	0
Wie viel Einstreu wird eingesetzt?	0
Wie viel Grundfutter (z.B. Luzerneheu) wird zugefüttert?	0
Wie hoch ist der Stromverbrauch? (kWh/erzeugtes Schwein)	10 kWh
Zu welchem Anteil wird eigener Photovoltaikstrom oder Ökostrom eingesetzt?	10 % des Stroms
Wie hoch ist der Wärmeverbrauch? (kWh/erzeugtes Schwein)	20 kWh
Zu welchem Anteil stammt die Wärme aus erneuerbaren Energien?	0
Zu welchem Anteil der Mastdauer sind die Tiere auf der Weide?	0
Wie viel Wirtschaftsdünger gelangt direkt in gasdichte Behälter (z.B. Biogasanlage)?	0
Wie viel Wirtschaftsdünger gelangt nach Vorlagerung in gasdichte Behälter (z.B. Biogasanlage)?	0
Zu welchem Anteil wird Ammoniak aus der Luft aufgefangen?	0

Tab. 3: Liste der nötigen und eingegebenen Informationen der CO<sub>2</sub>-Bilanz Berechnung in der Schweinemast mittels TEKLa-Programms (üblicherweise: Betriebsdaten aus dem letzten Wirtschaftsjahr; hier: Einzelbetriebsdaten aus den jeweils definierten Zeiträumen)

Mittel ca. 29 kg bei Einstallung und ca. 124 kg bei Ausstallung. Der Zuwachs im Mastbereich betrug über alle Gruppe ca. 96 kg. Mit TGZ zwischen 782 und 1106g befanden sich die Betriebe vor der Einführung der Impfung auf sehr unterschiedlichem Niveau. Betriebe mit geringerer Leistung wiesen auch eine schlechtere FVW auf (Ø aller Betriebe 1 : 2,84; 2,58-3,07). Alle Betriebe bis auf Betrieb 3 konnten bei der FVW eine Verbesserung (Ø 1 : 2,73), die meisten auch eine Verbesserung der TGZ erreichen. Der Futteraufwand konnte um 1 : 0,02 bis 1 : -0,27 beeinflusst werden (Ø 1 : -0,11). Damit wurde die durchschnittliche FVW um 3,79 % verbessert (+0,74—9,52%).

#### N- und P-Bilanz

Anhand der vorhandenen Daten zur FVW konnte auf Grundlage des DLG-Merkblattes 418 „Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen“ (14) die N- und P-Ausscheidung auf Betriebsebene für die Vergleichs- und Impfgruppen ermittelt werden. Dafür wurde das frei verfügbare Programm „Berechnung einer indivi-

duellen Stallbilanz“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK NDS) (15) genutzt. Es wurde mit vier Gesamtrationen mit unterschiedlichen N- und P-Gehalten kalkuliert, um neben den Effekten der Leistung auch die der unterschiedlichen Nährstoffdichte modellhaft betrachten zu können (pro kg Futter uS: „Universalfutter“ RP 17%, P 5,1 g; „N/P reduziert“ RP 16,4%, P 4,6 g; „N/P stark reduziert“ RP 15,4%, P 4,3 g; „N/P sehr stark reduziert RP“ 14,4%, P 4,1 g). Die Daten zur P-Ausscheidung werden üblicherweise in der Bilanzierung als P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ausgegeben (Standard Düngepraxis) aber hier zum vereinfachten Verständnis auf P umgerechnet (P-Anteil P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 43,6%). Bei den aufgeführten Angaben der N-Ausscheidung handelt sich immer um Bruttoangaben (kein Abzug von Stall- und Lagerverlusten).

#### CO<sub>2</sub>-Bilanz

Zur Kalkulation der CO<sub>2</sub>-Bilanz als Maß für die THG-Emissionen wurde das Programm Treibhausgas-Emissions-Kalkulator-Landwirtschaft („TEKLa“) der LWK NDS genutzt (16). Die ist eine Excel-Anwendung mit dem einzelbetriebliche Klimabilanzen für landwirtschaftliche

Betriebe erstellt werden können. Die THG-Emissionen aus der gesamten Produktionskette, auch aus dem vorgelagerten Bereich, werden für das Produktionsverfahren berechnet. TEKLa basiert auf einem deutschlandweit abgestimmten Berechnungsstandard für Klimabilanzierungen in der Landwirtschaft (BEK), welcher gemeinsam mit zehn weiteren wissenschaftlichen Einrichtungen (u.a. Thünen-Institut, Kuratorium für Technik und Bauen in der Landwirtschaft KTBL; 17) über mehrere Jahre entwickelt wurde und laufend aktualisiert wird. Das TEKLa-Programm ist frei verkäuflich und wird von Beratungsorganisationen genutzt. Die Daten hier wurden zusammen mit einer Mitarbeiterin der LWK NDS eingegeben und fachlich überprüft. Im vorliegenden Fall wurde Folgendes zu Grunde gelegt:

- Ergebnisse der Einzelbetriebsdaten über die tierischen Leistungen
- Standardwerte für das Futter aus der Beratungspraxis der LWK NDS, die für alle Betriebe gleichermaßen zu Grunde gelegt wurden, um den Ansatz des Modellcharakter verfolgen zu können. Für die CO<sub>2</sub>-Bilanz wurde lediglich mit

dem „Universalfutter“ gerechnet und keine N- oder P-reduzierte Ration eingesetzt.

- Weitere Umgebungsfaktoren wurden mit praxisüblichen Daten aus der Erfahrung der LWK NDS für alle Betriebe in gleicher Weise berücksichtigt. (vgl. Tab. 3)

## Ergebnisse

### N-Ausscheidung

Die Kalkulation der N-Ausscheidung im Modell war eng mit den entsprechenden Gehalten im Futter aber auch mit der FVW verknüpft (vgl. Abb. 2). Hierbei spielten die Nährstoffgehalte grundsätzlich die entscheidende Rolle. Mit der verbesserten FVW (maximale Reduzierung 1: -0,27; - 9,5 %) konnte bei Annahme einer sehr stark N-reduzierter Ration (RP 14,4 %) eine Absenkung der N-Ausscheidungen um bis zu 15,7 % errechnet werden. (s. Tab. 4) Bei Rechnung mit einem Universalfutter (17% RP) wurden im Betrieb mit ungünstigster FVW (1:3,07) eine N-Ausscheidung von 57g N/kg LM kalkuliert, während mit gleicher Ration nach Einführung der Impfung (FVW 1:2,8) 51 g bilanziert werden würde.

So liegen zwischen den Gruppen mit schlechtester Futtereffizienz bei Kalkulation mit Universalfutter (1:3,07; RP 17%; 57,9g N/kg LM) und dem besten Betrieb mit sehr stark N-reduziertem Futter (1:2,51; RP 14,4%; 32,6g N/kg LM) eine theoretische Einsparung von 25,3g N/kg LM (43 %). Bezieht man diese Menge auf die Zuwachsleistung von 96kg je Schwein, so würden im ungünstigsten Fall 5,6 kg N, im günstigsten Fall 3,2 kg N Ausscheidung pro erzeugtem Masttier ausgeschieden werden.

### P-Ausscheidung

Auch bei der P-Ausscheidung waren Entwicklungen auf vergleichbarem Niveau wie bei der Kalkulation für N zu verzeichnen. Aus den beobachteten biologischen Leistungsdaten bei Impfung resultierte rechnerisch je nach Grad der P-Gehalte der Rationen eine reduzierte P-Ausscheidung von durchschnittlich 5,7–6,4 % (RP 14,4–17 %) mit einer Spannweite von +1,10 bis -17,05 % (s. Tab. 5).

Betrieb	Änderung der FVW 1:	Änderung der FVW %	Rechnerische Änderung der N-Ausscheidung % nach Einsatz der Impfung Porcilis Lawsonia bei verschiedenen RP-Gehalten in den Rationen			
			RP 17,0%	RP 16,4%	RP 15,4%	RP 14,4%
1	-0,16	-5,21	-7,55	-7,68	-7,92	-8,21
2	-0,27	-8,79	-12,59	-12,80	-13,19	-13,68
3	0,02	0,74	0,91	0,93	0,97	1,01
4	-0,03	-1,06	-1,32	-1,34	-1,39	-1,45
5	-0,10	-3,41	-3,60	-3,67	-3,79	-3,95
6	-0,07	-2,71	-5,52	-5,63	-5,86	-6,14
7	-0,06	-2,27	-3,33	-3,40	-3,54	-3,70
8	-0,27	-9,51	-14,30	-14,56	-15,08	-15,71
9	-0,03	-1,04	-1,27	-1,29	-1,34	-1,39

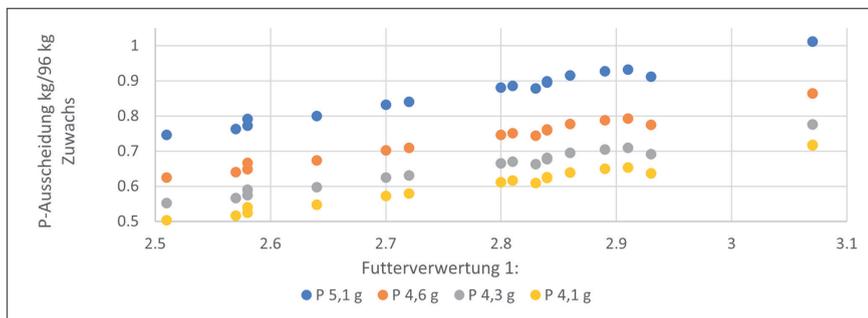
Tab. 4: Kalkulatorischer Einfluss der Veränderung der ermittelten FVW auf den Praxisbetrieben mit Impfung von Porcilis Lawsonia auf die N-Ausscheidung (%) bei unterschiedlichen RP-Gehalten der Futterrationen



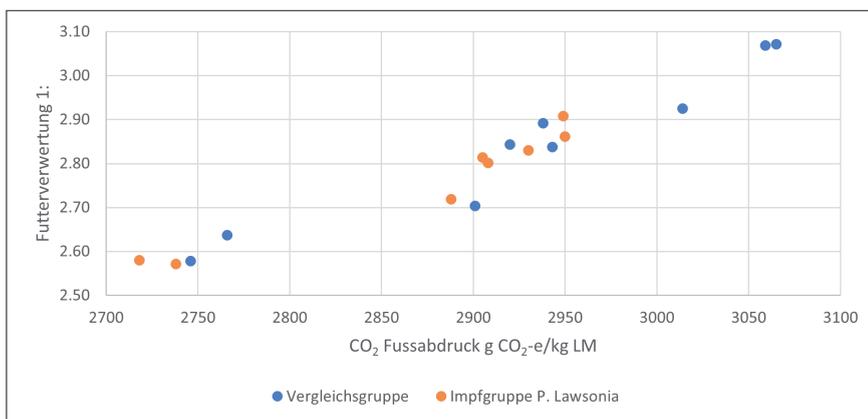
Abb. 2 Berechnete N-Ausscheidung kg/96 kg Zuwachs bei unterschiedlichen N-Gehalten der Rationen (RP 17,0 – 14,4 %) und ermittelte FVW der beobachteten Tiergruppen auf den Praxisbetrieben vor und nach Einführung der Impfung Porcilis Lawsonia. Teilweise überlappen sich Datenpunkte.

Betrieb	Änderung der FVW 1:	Änderung der FVW %	Rechnerische Änderung der P-Ausscheidung in % nach Einsatz der Impfung Porcilis Lawsonia bei verschiedenen P-Gehalten der Rationen			
			P 5,1 g	P 4,6 g	P 4,3 g	P 4,1 g
1	-0,16	-5,21	-7,78	-8,21	-8,55	-8,82
2	-0,27	-8,79	-12,96	-13,68	-14,24	-14,69
3	0,02	0,74	0,95	1,01	1,06	1,10
4	-0,03	-1,06	-1,36	-1,45	-1,52	-1,57
5	-0,10	-3,41	-3,72	-3,95	-4,13	-4,28
6	-0,07	-2,71	-5,72	-6,14	-6,47	-6,74
7	-0,06	-2,27	-3,46	-3,70	-3,90	-4,06
8	-0,27	-9,51	-14,77	-15,71	-16,45	-17,05
9	-0,03	-1,04	-1,31	-1,39	-1,45	-1,50

Tab. 5: Kalkulatorischer Einfluss der Veränderung der ermittelten FVW auf den Praxisbetrieben mit der Impfung Porcilis Lawsonia auf die P-Ausscheidung (%) bei unterschiedlichen P-Gehalten der Rationen (5,1 bis -4,1 g/kg uS)



**Abb. 3** Berechnete P-Ausscheidung kg/96 kg Zuwachs bei unterschiedlichen P-Gehalten der Rationen (5,1 bis 4,1g/kg uS) und ermittelter FVW der beobachteten Tiergruppen auf den Praxisbetrieben vor und nach Einführung der Impfung Porcilis Lawsonia. Teilweise überlappen sich Datenpunkte.



**Abb. 4** CO<sub>2</sub>-Fußabdruck (g CO<sub>2</sub>-e/kg LM) in Abhängigkeit von der FVW (1:). Dargestellt ist der berechnete CO<sub>2</sub>-Fußabdruck vor und nach der Einführung der Porcilis Lawsonia-Impfung in den einzelnen Betrieben (Quelle: TEKLa-Programm, LWK NDS). Teilweise überlappen sich Datenpunkte.

Im Betrieb mit ungünstigster FVW bei höchstem P-Gehalt im Futter (FVW 1: 3,07; 5,1 g P/kg uS) wurde eine Ausscheidung von 10,5g/kg LM oder 1012 g P/96kg Zuwachs errechnet, während es im günstigsten Fall (FVW 1:2,51; P 4,1g/kg uS) 5,2g P/kg LM oder 503,9 g P/Mastschwein mit 96 kg Zuwachs wären (vgl. Abb. 3). Die P-Ausscheidung zwischen diesen beiden extremen Situationen hat sich damit halbiert.

Die mittleren P-Ausscheidungen der Betriebe vor und nach Einführung der Impfung hätten kalkuliert anhand der Ableitung mit P-reduzierter Ration (P 4,6g/kg uS) bei 757g bzw. nach Impfung bei 715g/96 kg Zuwachstier gelegen und damit hat der mittlere Unterschied je Tier 42g P betragen.

#### CO<sub>2</sub>-Bilanz

Anhand der einzelbetrieblichen Leistungsdaten errechnete das TEKLa Programm mit der vorgegebenen Mastmischung (Annahme: 12,6% importiertes Soja-

extraktionschrot) für einen Zuwachs von 96 kg LM im Mittel über alle Betriebe 2891 (2718–3065) g CO<sub>2</sub>-e/kg LM (s. Abb. 4). Davon entfielen in diesem Modell 1594 g (53–58%; 1522–1774 g CO<sub>2</sub>-e/kgLM) allein auf Futter. Bedeutend war auch der Anteil der Ferkelerzeugung mit durchschnittlich 28,2% (817g CO<sub>2</sub>-e/kg LM) am Mastschwein, der mit der Höhe des Einstallgewichtes und dem Futterverbrauch variierte. Dunganfall und Verdauung wurden im Mittel mit 22%, Energieverbrauch mit 2,7% am CO<sub>2</sub>-Fußabdruck berechnet. Aufgrund der Nutzung des organischen Düngers in der Kreislaufwirtschaft wurden dafür wiederum durchschnittlich 233g CO<sub>2</sub>-e/kg LM (8%) gutgeschrieben.

Im Betrieb mit der höchsten erreichten Verbesserung der FVW von 1: -0,27 wurde eine Gesamtverbesserung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes von 182g CO<sub>2</sub>-e/kg LM kalkuliert (Abb. 5), die einer relativen Verbesserung von 6,23% entspricht

(Ø über alle Betriebe 2,5%). Das Modell zeigt, dass Gruppen vor der Impfung durchschnittlich 2928g CO<sub>2</sub>-e/kg LM emittierten, während mit PL-Impfung lediglich 2853g CO<sub>2</sub>-e/kg LM emittiert wurden (Differenz 74,7g CO<sub>2</sub>-e/kg LM; Abb. 4). Zwischen den schlechtesten und besten Betrieben/Mastdurchgängen betrug die Differenz 371g CO<sub>2</sub>-e/kg LM (12,1%).

## Diskussion

Der Erfolg von Impfmaßnahmen wird in der Praxis gemeinsam von Landwirten und Tierärzten zunächst anhand der Verbesserung der klinischen Problematik direkt am Tier und im Tierbestand beurteilt (Morbidität/Mortalität). Wenn zielgerichtet Maßnahmen mit finanziellem und organisatorischem Investment ergriffen werden, sollte darüber hinaus die Beurteilung von Leistungsdaten von Tiergruppen oder zeitlichen Intervallen genutzt werden. Die Anwendung von Sauen- und Mastplanern müsste daher Standard der guten fachlichen Praxis sein. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass es neben Verlustraten und Tageszunahmen oft schwer ist, auch auf guten Betrieben belastbare Daten zur FVW (wichtigster Kostenfaktor) und fast nie zur Homogenität der Tiere zu erhalten, obwohl geeignete Verfahren hierfür praxisreif und verfügbar (18) sind. In den vergangenen Jahren rückten zunehmend die Auswirkungen der Tierhaltung auf Umwelt und Natur in den Fokus von Gesellschaft und Behörden und gelangen so auf die Aufgabenliste von Landwirten und Tierärzten. Beispielhaft zu nennen sind die Antibiotikaminimierungsstrategie und die N- und P-Bilanzierung. In der letzten Dekade wurde für die N- und P-Ausscheidung sehr viel über die Rationsoptimierung bei gleichzeitiger Beibehaltung und sogar Steigerung der tierischen Leistungen erreicht (19). Gleiches gilt für die Antibiotikareduktion beim Schwein z.B. mit der Einführung neuer Impfstoffe seit ca. 2008 (u.a. PCV2: 20; LI: 12, 13). Eine entscheidende, oft unterschätzte Größe bei der zu verbessernden Ressourcennutzung ist die weitere Effizienzsteigerung mit der Optimierung der FVW (21).

## N-Ausscheidung

Das Modell zeigt, dass mit verbesserter FVW (1:-0,11) nach Porcilis Lawsonia-Impfung bei Nutzung des N-reduzierten Futters (RP 16,4%) die N-Ausscheidung im Mittel der Betriebe um je 266 g/Tier reduziert werden könnte, was 5,67% vom Ausgangswert wäre. Bezogen auf ca. 45 Millionen Mastschweine (ca. Anzahl Schlachtung in D erzeugter Schweine ohne Sauen; 22) betrüge das theoretische Einsparpotential durch eine solche, auf alle deutschen Betriebe übertragene Maßnahme (angenommene Verbesserung der FVW 1:-0,11), 11970t N/Jahr. Bei weiterer Absenkung der N-Gehalte der Rationen (auf 14,4%) wären die Einsparungen dementsprechend höher. Die hier errechnete Verbesserung der N-Ausscheidung durch die FVW und Rationsanpassung wurden in ähnlicher Größenordnung auch in anderen Studien bereits belegt (23). Beispielsweise kann die mittlere N-Ausscheidung von Mastschweinen bei Tageszunahme von 850g/Tier von 12,2kg N je Tierplatz und Jahr (Standardfutter) über 11,7kg N (N-reduziertes Futter) auf 10,6kg N je Tierplatz und Jahr (stark N-reduziertes Futter) reduziert werden (4). Emthaus et al. (23) prognostizieren sogar in ihrer rechnerischen Fortschreibung des Trends eine verbesserte FVW von 1:2,65 im Jahr 2030 bei einem RP-Gehalt von 14% in der Mastration und einer N-Ausscheidung von 33,8g/kg LM, d.h. 3244,8g bei 96 kg Zuwachs. Die besten Praxisbetriebe in der vorliegenden Kalkulation zeigten diese Werte jetzt schon. Einschränkungen der Anwendung der N-Reduzierung bestehen für die Erzeugung nach Vorgaben der ökologischen Tierhaltung, da hier der Einsatz der synthetischen Aminosäuren untersagt ist (24), was eine Verbesserung der Futterwertung in diesem Produktionsbereich umso wichtiger machen würde.

## P-Ausscheidung

Bezöge man die errechnete Verringerung der P-Ausscheidung von 47 g/Tier durch Verbesserung der FVW (1:-0,11) auf den Gesamtbestand der in Deutschland erzeugten und geschlachteten ca. 45 Millionen Mastschweine, so entspräche das einer Einsparung von 2115 t

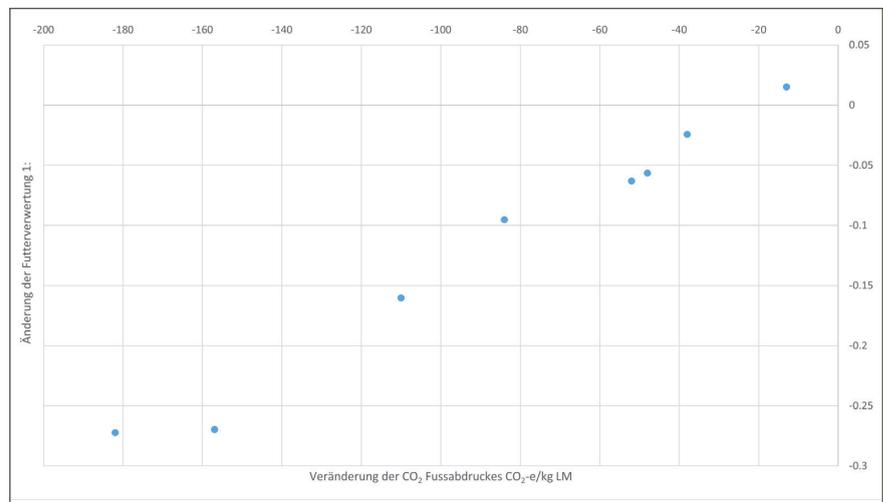


Abb. 5 Änderungen in der FVW (1:) und Kalkulation der Änderung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes (g CO<sub>2</sub>-e/kg LM; TEKLa Programm, LWK NDS) der Praxisbetriebe. Teilweise überlappen sich Datenpunkte.

P/Jahr. Da für die P-Bilanzierung die regionale Bedeutung speziell hervorzuheben ist, dürfte dies vor allem für Betriebe mit Mastschweinehaltung in sehr viehdichten Regionen wie z.B. Weser-Ems oder Westfalen von besonderem Interesse sein. Die P-Reduzierung in den Rationen hat aber auch ihre Grenzen. So stellte Rieger (25) fest: „Aus Tierschutzgründen sollte daher ein Fütterungskonzept, das keinen mineralischen Phosphor im Mischfutter vorsieht, allenfalls in der Endmast, nicht jedoch bei jüngeren Tieren Anwendung finden. In Anbetracht der ökonomischen Auswirkungen einer längeren Mastdauer sowie einer Beeinträchtigung der Tiergesundheit in einem Bestand durch Behandlungskosten einerseits, aber auch durch die mangelnde Verwertung von Schlachtkörpern (Frakturen/schwere Lahmheiten führen zu „Untauglichkeit“) sollte eine zu knappe P-Versorgung von wachsenden Schweinen dringend vermieden werden“. Da der Einsatz von Phytase in der ökologischen Schweinefütterung nicht zulässig ist (24; Grundlage der P-Reduzierung s. Tab. 1), ist in diesen Betrieben die Optimierung der FVW als Maßnahme zur verminderten P-Ausscheidung besonders hervorzuheben.

## CO<sub>2</sub> Bilanz

Die Beziehung zwischen der FVW und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist als eng zu betrachten. Anhand der vorliegenden

Kalkulation kann geschätzt werden, dass die durch die Impfung erreichte Verbesserung der FVW in den beobachteten Betrieben (1:-0,11), zu einer durchschnittlichen kalkulatorischen Verringerung von 74,7g CO<sub>2</sub>-e/kg LM geführt hat (7,17kg CO<sub>2</sub>-e/96kg LM). Eine andere Schätzung mit dem Programm Feedprint (niederländisches Programm mit anderem Parameterstandard; 26) kam sogar auf höhere Werte im Gesamt CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von 4336g CO<sub>2</sub>-e/kg LM. Die Werte für das Mastfutter lagen mit 1072 – 1373g CO<sub>2</sub>-e/kg LM wie auch die Schätzung der Einsparung mit 42,9 g CO<sub>2</sub>-e/kg LM (bei FVW 1:-0,10) auf niedrigerem Niveau. Dies demonstriert, dass in der Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Bilanzen noch gewisse Unterschiede zwischen den Modellen zu beobachten sind, sich dennoch die grundsätzliche Aussage zur Bedeutung der FVW auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in beiden Modellen bestätigen lässt. Der Vergleich des vorliegenden Modells mit weiteren verfügbaren Kalkulationsmodellen (27, 28, 29) könnte sicherlich weitere interessante Aspekte eröffnen, Weiterentwicklungen der Programme und ihres Einsatzes sind zu erwarten und notwendig. Auch die stark vereinfachte Festsetzung der Umgebungsfaktoren (Erfahrungswerte der Beratungspraxis LWK NDS), wie sie für die vorliegende Kalkulation vorgenommen wurde, kann kritisch im Hinblick auf den

Gesamtwert und einige relative Aussagen gesehen werden. Insgesamt bleibt jedoch festzuhalten, dass diese bei der absoluten Betrachtung der Effekte der FVW auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eine untergeordnete Rolle spielen.

Zur besseren Einordnung der kalkulierten Ergebnisse des Modells: nach Daten von Statista werden 3,2 kg CO<sub>2</sub>-e/kg LM bei der Erzeugung von Schweinefleisch (30) benötigt, was, verglichen mit dem Fleisch anderer für die Humanernährung wichtiger Tierarten, der günstigste Wert ist. Werden alle Schritte, die das Erzeugnis von der Produktion bis zum Verkauf durchläuft, berücksichtigt, so steigt der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf 4,6 kg CO<sub>2</sub>-e/kg Lebensmittel bei konventionellem und 5,2 kg CO<sub>2</sub>-e/kg Lebensmittel bei Schweinefleisch, welches nach den Vorgaben der ökologischen Tierhaltung erzeugt wird (31).

Versucht man das gesamte Potential der Verbesserung der FVW beim Mastschwein auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu beschreiben, so ist festzuhalten, dass sich trotz der laufenden Verbesserungen der FVW in Deutschland in den letzten 20 Jahren (BRS: 2000 1:2,98; 2020 1:2,77) (23, 32), die aktuellen Werte auf einem Plateau zwischen 2,77 und 2,87 befinden und nicht weiter gerichtet verbessert werden konnten (FVW: VzF Auswertung: 2020: 1:2,82; 2021 1:2,85; 2022 1:2,87; BRS: 2020 1:2,77; 2022 1:2,80) (23, 32, 33). Gerade bei den weiterhin zu erwartenden dynamischen Veränderungen in der Schweinemast (z.B. Gewichte Zu- und Verkauf, Managementoptimierungen mit Einzeltieridentifikation/-monitoring, Fortschritte in Tiergesundheit und Futterqualität, genetische Entwicklungen, Stallbau etc.) wird man keinen endgültig optimalen Wert der FVW von Mastschweinen festlegen können (23). Versucht man dennoch eine Einordnung der Werte, so ist anzunehmen, dass aktuell die mittlere FVW in der Schweinemast bei ca. 1:2,80 liegt und nach eigenen Schätzungen ein möglicher temporärer Zielbereich bei ca. 1:2,50 liegen könnte. Damit läge das mittlere absolute Verbesserungspotential der FVW bei ca. 1:-0,30. Die nach Einführung der Law-

sonia-Impfung in den von uns ausgewerteten Betrieben beobachtete Verbesserung der FVW von 1: -0,11 entspricht einer Ausschöpfung von 37 % dieses theoretischen Potentials. Unter Hinzuziehung der ehemaligen Sektorziele (6) könnte man im Bereich Schwein annehmen, dass analog zum Sektor Landwirtschaft insgesamt die Vorgabe zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz von ca. 10 % bis 2030 anzuwenden gewesen wäre. Die dargestellte mittlere Verbesserung der FVW durch die Lawsonienimpfung um 1: -0,11 würde kalkulatorisch eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Bilanz von 2,5 % bewirken, womit bereits ein Viertel der benötigten Einsparungen zur Erreichung des 10 %-Zieles abgedeckt wäre. Dies könnte gerade auch für Unternehmen und Beratungsorganisationen, die sich für eine Verbesserungen der CO<sub>2</sub>-Bilanz in der Schweinehaltung engagieren von großem Interesse sein, um Landwirten eine Perspektive im Hinblick auf eine klimaschonende, zukunftsorientierte Produktion zu eröffnen (34, 17).

Neben der hier vorgestellten Maßnahme kommen im Bestand auch andere in Frage, deren Potential zur Verbesserung der Klimabilanz eingeordnet werden muss: Das Management von Kot und Harn (35) sowie die Futterherkunft, hier insbesondere die des Sojaanteiles, haben die wahrscheinlich höchste Bedeutung (36). Direkt nach Haltung und Futterherkunft folgt nach jetziger Einschätzung das Potential der FVW, welches anhand der verbesserten Darmgesundheit dargestellt werden konnte. In dem Aspekt der Futterherkunft schneiden ökologisch wirtschaftende Betriebe vor allem aufgrund der geringer anfallenden Transportwege besser ab, wohingegen das Management von Emissionen aus Kot und Harn oft nachteilig sein dürften. Dieser Aspekt wird aber auch beim anstehenden Umbau der konventionellen Schweinehaltung mit den Vorgaben der neuen Haltungformen eine ernstzunehmende Herausforderung werden (37).

Der Vorteil der effizienteren FVW durch eine verbesserte Darmgesundheit mit der Lawsonien-Impfung für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist, dass die Problematik

zuverlässig diagnostiziert, die Maßnahme schnell implementiert und ihr Erfolg bei klinischer Verfolgung und Datenpflege pragmatisch überprüft werden kann. Auch im Bereich der ökologischen Erzeugung bestehen keine Einschränkungen beim Einsatz der Impfung (24). Des Weiteren ist der Erreger nahezu in allen Betrieben verbreitet und aufgrund seines oft subklinischen Auftretens von erheblich unterschätzter Bedeutung. Zudem führt die Impfung sogar in den allermeisten beobachteten Fällen zu einer nennenswert höheren Profitabilität (12, 13). Damit ist sie außerordentlich geeignet, als einfache und kurzfristige Maßnahme eingeführt zu werden, die keine weiteren Investitionen in Infrastrukturen, Stallbau oder umfangreiche Änderungen im Management, in den Lieferbeziehungen des Futtermittelbezugs oder im Ackerbau erfordert oder zu ökonomischen Nachteilen führt, wie sie in anderen Bereichen anfallen könnten.

## Zusammenfassung

.....

In 9 Mastbetrieben in Deutschland wurde nach der Diagnosestellung des weit verbreiteten Erregers *Lawsonia intracellularis* der intramuskuläre oder intradermale Impfstoff Porcilis®Lawsonia bzw. Porcilis®Lawsonia ID eingesetzt und eine Auswertung von Leistungsdaten vorgenommen. Durch die Impfung gelang es den Betrieben, Gesundheit und Leistung relevant zu verbessern und den Einsatz von antibiotischen Behandlungen erheblich zu reduzieren. Mit den erhobenen Leistungsdaten (im Mittel verbesserte Futterverwertung von 1: -0,11) wurde unter Annahme von Standardfütterationen die Effizienz der Ressourcennutzung von N und P sowie der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck modellhaft mit Software-Programmen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen kalkuliert. Es ergaben sich erhebliche Reduktionspotentiale für die N- und P-Ausscheidungen (bis 16 bzw. 17%) bei Einsatz von Porcilis®Lawsonia bzw. Porcilis®Lawsonia ID sowie eine relevante rechnerische Verringerung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes (bis 6,23%). Dabei kann die vorgestellte Maßnahme als betriebliche Einzelmaßnahme gesehen werden.

Ihr ökologisches Potential verstärkt sich in Verbindung mit der Optimierung des Wirtschaftsdüngermanagements und der Rationsgestaltung des Futters für die Gesamtbilanz erheblich. Diese Kombination an Maßnahmen kann die geforderten Entwicklungen der Schweineproduktion im Bereich Nachhaltigkeit (N, P, CO<sub>2</sub>, Antibiotikaverbrauch) in erheblichem Umfang positiv beeinflussen. Somit bestände auch ohne weiteren Bestandsabbau die Perspektive zur Erreichung relevanter Umweltziele im Bereich Landwirtschaft. Die intramuskuläre oder intradermale Impfung gegen *Lawsonia intracellularis* leistet einen Beitrag zur Verbesserung der Nachhaltigkeit, der Umweltverträglichkeit und der Zukunftsfähigkeit der Schweineproduktion in Deutschland.

### Summary

After the diagnosis of the widespread pathogen *Lawsonia intracellularis*, the intramuscular or intradermal vaccine Porcilis®Lawsonia or Porcilis®Lawsonia ID was used in 9 fattening farms in Germany and an evaluation of performance data was carried out. Vaccination enabled farms to significantly improve health and performance and significantly reduce the use of antibiotic treatments. With the collected performance data (on average improved feed conversion of 1:-0.11), the efficiency of the resource use of N, P and the CO<sub>2</sub> footprint was calculated as a model with software programs from the Lower Saxony Chamber of Agriculture, assuming standard feed rations. There was considerable potential for reducing nutrient excretion (N and P; up to 16 and 17%) when using Porcilis®Lawsonia or Porcilis®LawsoniaID, as well as a relevant calculated reduction in the CO<sub>2</sub> footprint (up to 6.23%). The measure presented can be seen as an individual operational measure. Their ecological potential increases significantly in connection with the optimization of manure management and the ration design of the feed for the overall balance. This combination of measures can have a significant positive impact on the requi-

red developments in pig production in the area of sustainability (N, P, carbon footprint, use of antibiotics). Thus, even without further destocking, there is a prospect of achieving relevant environmental goals in the agricultural sector. The intramuscular or intradermal vaccination against *Lawsonia intracellularis* contributes to improving the sustainability, environmental compatibility and future viability of pig production in Germany.

### Take home message

- Mit dem Einsatz der Impfungen Porcilis®Lawsonia/Porcilis®Lawsonia ID konnten in ausgewerteten Betrieben klinische Verbesserungen und höhere Leistungsparameter wie die Futtermittelverwertung beobachtet werden.
- In Kalkulationen mit Beratungsprogrammen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zur N- und P-Ausscheidung sowie dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck konnte mit der verbesserten Futtermittelverwertung errechnet werden, dass deren Emissionen nennenswert vermindert werden können.
- Die Unterstützung der Darmgesundheit kann damit einen relevanten Beitrag zur Nachhaltigkeit der Schweineproduktion leisten.

### Danksagung

Ein besonderer Dank gilt an die Landwirtschaftskammer Niedersachsen und hier in besonderer Weise an Friederike Gerken für die Unterstützung in der TEKLa-Nutzung sowie die konstruktive Diskussion.

### Conflict of interest

Die Autoren Dr. Robert Tabeling, Dr. Friederike von und zur Mühlen und Dr. Christine Renken sind Mitarbeiter der Firma MSD Tiergesundheit.

Über den Autor



#### Dr. Robert Tabeling

Intervet Deutschland GmbH,  
ein Unternehmen der MSD-Tiergesundheit,  
Feldstraße 1a, 85716 Unterschleißheim,  
friederike.muehlen@msd.de  
robert.tabeling@msd.de

1989–1994: Studium der Tiermedizin,  
Tierärztliche Hochschule Hannover

1995–1999: Assistenzzeiten und Promotion

1999–2002: wissenschaftlicher Mitarbeiter  
im Institut für Tierernährung der  
Tierärztlichen Hochschule Hannover

2003–2013: Veterinärgesellschaft im BHZP,  
Regionaltierarzt, später Leiter

Seit 2013: Fachberatung, später strategisches  
Management Schwein Intervet Deutschland  
GmbH MSD

Fachtierarztanerkennungen: 2002: Fachtierarzt  
für Tierernährung und Diätetik; 2006: Fachtier-  
arzt für Schweine; 2010: Diplomate ECPHM



- Leip, A., G. Billen, J. Garnier, B. Grizzetti, L. Lassaletta, S. Reis, D. Simpson, M. A. Sutton, W. de Vries, F. Weiss u. H. Westhoek (2015): Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 10, 1-13
- Schindler, D. W., R. E. Hecky, D. L. Finlay, M. P. Stainton, B. R. Parker, M. J. Paterson, K. G. Beaty, M. Lyngm, S. E. M. Kasian (2008): Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 11254-11258
- Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen; [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_v\\_2017/](https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/); Abrufdatum 10.07.2023
- Umweltbundesamt: Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern: Gute Fachliche Praxis; [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021\\_fb\\_ammoniakemissionen\\_in\\_landwirtschaft\\_mindern\\_final\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021_fb_ammoniakemissionen_in_landwirtschaft_mindern_final_bf.pdf); Abrufdatum 10.07.2023
- Weber, M (2021): N- und P-reduzierte Fütterung als Voraussetzung zukünftiger Schweinehaltung, Vortrag Mitteldeutscher Schweinetag 11.11.2021, Halle
- Thünen Institut: Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft; <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/treibhausgasemissionen-aus-der-landwirtschaft>; Abrufdatum 10.07.2023
- Bundes-Klimaschutzgesetz: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>; Abrufdatum 10.07.2023
- Bundesregierung: Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramm: Ein Plan fürs Klima; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klimaschutz-gesetz-2197410>; Abrufdatum 12.07.2023
- Arnold, M., A. Crienen, H. Swam, S. v. Berg, R. Jolie, H. Nathues (2019): Prevalence of *Lawsonia intracellularis* in pig herds in different European countries. *Porcine Health Management* 5:31
- Vannucci FA., C.J. Gebhart, S. McOrist (2019): Proliferative Enteropathy. In: Zimmermann JJ, Karkker LA, Ramirez A, Schwartz KJ, Stevenson GW, Zhang J, Herausgeber. *Diseases of Swine*. 11. Edition New York: John Wiley & Sons, Inc., S. 898-911
- Jacobs, A.A.C., F. Harks, L. Hazenberg, M.J.H. Hoesjmakers, T. Nell, S. Pel, R.P.A.M. Segers (2019): Efficacy of a novel inactivated *Lawsonia intracellularis* vaccine in pigs against experimental infection and under field conditions. *Vaccine* 37 (15), 2149-2157
- v.u.z.Mühlen F., F. Pfeiffer, P. Schmidt, K. v.Brehm, K. Busen, C. Renken, J. Vogels, R. Tabeling (2021): Praxisdaten zu Klinik und Leistung von Porcilis® *Lawsonia* geimpften Tieren in deutschen Betrieben. *Tierärztl. Umschau* 2:28-37
- Niederding C., F. v.u.z.Mühlen, R. Tabeling, C. Renken (2022): Praktische Beobachtungen zum Einsatz einer intradermalen *Lawsonia* Impfung. *Tierärztl. Umschau* 3:16-24
- DLG: DLG-Merkblatt 418: Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen. URL: [https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt\\_418.pdf](https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_418.pdf); Abrufdatum 10.07.2023
- LWK NDS: Berechnung einer individuellen Stallbilanz; [https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/news/33749\\_Berechnung\\_einer\\_individuellen\\_Stallbilanz](https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/news/33749_Berechnung_einer_individuellen_Stallbilanz); Abrufdatum 10.07.2023
- LWK NDS: Landwirtschaftskammer erstellt einzelbetriebliche Klimabilanzen; [https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/30009\\_Landwirtschaftskammer\\_erstellt\\_einzelbetriebliche\\_Klimabilanzen](https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/30009_Landwirtschaftskammer_erstellt_einzelbetriebliche_Klimabilanzen); Abrufdatum 10.07.2023
- KTBL: Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft; [https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/Allgemei-nes/Download/BEK/Handbuch.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemei-nes/Download/BEK/Handbuch.pdf); Abrufdatum 10.07.2023
- LeeO, der digitale Schweinepass – Rückverfolgbarkeit je Einzeltier von Geburt bis Verzehr; <https://www.msd-tiergesundheits.de/tierarten/schwein/leeo/> ; Abrufdatum 10.07.2023
- Waldeyer, H. G.: Gut füttern mit wenig Phosphor; [https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/gut-fuettern-mit-wenig-phosphor-12603722.html?utm\\_campaign=start&utm\\_source=wochenblatt&utm\\_medium=referral](https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/gut-fuettern-mit-wenig-phosphor-12603722.html?utm_campaign=start&utm_source=wochenblatt&utm_medium=referral); Abrufdatum 10.07.2023
- Dommelen van I, N. Wertenbroek (2011): Reduction of antibiotics after implementing PCV2 vaccination on 460 sow Dutch pigfarm; [https://www.researchgate.net/publication/326967645\\_Reduction\\_of\\_antibiotics\\_after\\_implementing\\_PCV2\\_vaccination\\_on\\_460\\_sow\\_Dutch\\_pigfarm](https://www.researchgate.net/publication/326967645_Reduction_of_antibiotics_after_implementing_PCV2_vaccination_on_460_sow_Dutch_pigfarm); Abrufdatum 12.07.2023
- Schneider, St. und W. Preißinger (2022): Schweinefütterung: Futterverluste reduzieren, <https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/tierhaltung/schweinefuetterung-futterverluste-reduzieren-568513>; Abrufdatum 10.07.2023
- Statista (2023): Anzahl der Schweineschlachtungen in Deutschland in den Jahren 1993 bis 2022; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459142/umfrage/schweineschlachtungen-in-deutschland/>; Abrufdatum 10.07.2023
- Emthaus, C., G. Riewenherm, P. Rösmann, A. Hesecker, M. Binder, R. Blesser, P. Radewahn (2021): Retrospektive Betrachtung der Fütterungs- und Futtertrends und der damit verbundene positive Entwicklungsverlauf der Stickstoffeffizienz in der Schweinemast der Jahre 2000 bis 2020 mit rechnerischer Fortschreibung des Trends bis ins Jahr 2030\*\*; [https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/2021\\_06\\_21\\_DVT-Ad-hoc-Gruppe\\_Schwein\\_FINAL-a.pdf](https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/2021_06_21_DVT-Ad-hoc-Gruppe_Schwein_FINAL-a.pdf); Abrufdatum 10.07.2023
- EG-ÖKO-BASISVERORDNUNG VERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007; [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Biologischer-Landbau/834-2007-eg-oeko-basis-vo.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Biologischer-Landbau/834-2007-eg-oeko-basis-vo.pdf?__blob=publicationFile&v=2); Abrufdatum 26.07.2023
- Rieger H. (2017): Untersuchungen zum Einfluss einer unterschiedlichen Phosphorversorgung auf die Entwicklung und Mineralisation verschiedener Knochen wachsender Schweine, Diss TiHo Hannover; [https://elib.tiho-hannover.de/receive/etd\\_mods\\_00000160](https://elib.tiho-hannover.de/receive/etd_mods_00000160)
- v.u.z.Mühlen F, S. Hartmann, T. Martin, M. Kandert, R. Tabeling (2021): Impfen von Schweinen gegen *Lawsonia* - Effekte der Futterverwertung auf die Bilanz von N- und P-Ausscheidung sowie CO<sub>2</sub>-Fußabdruck 59. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V., 12.10.2021, Web-Konferenz
- CFA: Cool Farm Tool; <https://coolfarmtool.org/>; Abrufdatum 10.07.2023
- BASF: Climate Smart Farming; <https://agriculture.basf.com/global/en/sustainable-agriculture/climate-smart-farming.html>; Abrufdatum 10.07.2023
- Bodensee-Stiftung: LIFE AgriClimateChange, Mehr Klimaschutz in der Landwirtschaft; <https://www.bodensee-stiftung.org/life-agriclimatechange/>; Abrufdatum 10.07.2023
- Statista (2020): So klimaschädlich sind Rind, Geflügel und Schwein; <https://de.statista.com/infografik/20578/treibhausgasemissionen-bei-der-konventionellen-fleischproduktion/>; Abrufdatum 10.07.2023
- Statista (2023): Ökologischer Fußabdruck von Fleisch, Fisch und Fleischalternativen in Deutschland im Jahr 2019; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1197941/umfrage/co2-fussabdruck-von-fleisch-fisch-und-fleischalternativen-in-deutschland/>; Abrufdatum 10.07.2023
- BUNDESVERBAND RIND UND SCHWEIN (2022): Feld-daten - Schweinemast (Wirtschaftsjahr 2021/2022); <https://erzeugerring.info/db/Menu/Auswertungen/Schweinemast.php>; Abrufdatum 10.07.2023
- VzF Jahresberichte 2020-2022: Ökonomische Leistungen, Futterverwertung und Futterkosten
- Landwirte gehen den Klimaweg, DANISH CROWN; <https://www.danishcrown.com/de-de/nachhaltigkeit/vom-feld-bis-auf-den-tisch/landwirtschaft/landwirte-gehen-den-klimaweg/>; Abrufdatum 26.07.2023
- Dämmgen U., W. Liermann, V. Böschen, A. Berk, S. Dänicke (2016): Der Einfluss der Futterkonfektionierung bei Mastschweinen und Broilern auf die Emission von Treibhausgasen und Ammoniak – Betrachtung der gesamten Produktionskette Landbauforsch, *Appl Agric Forestry Res* 1 (66) 45-70
- Wilke, V., J. Gickel, C. Visscher (2023): Monitoring of Performance-Based Environmental Impacts of Substituting Soybean Meal with Rapeseed Meal in the Rye-Based Diet of Weaned Pigs. *Sustainability* 2023, 15, 2210, <https://doi.org/10.3390/su15032210>; Abrufdatum 10.07.2023
- BMEL - Tierhaltungskennzeichnung - Weg frei: Die Tierhaltungskennzeichnung kommt; <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/tierhaltungskennzeichnung/tierhaltungskennzeichnung.html>; Abrufdatum 26.07.2023