



**Untersuchungen zu Auswirkungen der
Zucht auf Kurzschwanzigkeit auf
ausgewählte Reproduktionsparameter
beim Schaf**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Hannah Isabel Hümmelchen

Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über
<http://dnb.ddb.de>

© 2024 by Verlag:

Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft Service GmbH, Gießen

Printed in Germany

ISBN 978-3-86345-745-7

1. Auflage 2024

Verlag:

DVG Service GmbH

An der Alten Post 2

35390 Gießen

Tel.: 0641 984446-0

info@dvg.de

www.dvg.de

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin
Tierklinik für Reproduktionsmedizin und Neugeborenenkunde
Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. Dr. h. c. A. Wehrend

**Untersuchungen zu Auswirkungen der Zucht auf
Kurzschwanzigkeit auf ausgewählte
Reproduktionsparameter beim Schaf**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Hannah Isabel Hümmelchen
Tierärztin aus Bergisch Gladbach

Gießen 2024

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan

Prof. Dr. Dr. Stefan Arnhold

Gutachter:

Prof. Dr. Dr. h.c. Axel Wehrend

Prof. Dr. Sven König

Prof. Dr. Dr. habil. Carlos Hermosilla

Tag der Disputation:

11.11.2024

To Whom It May Concern

**Geduld ist nicht die Fähigkeit zu warten, sondern die
Fähigkeit beim Warten gut gelaunt zu bleiben.**

Verfasser unbekannt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
	2.1 Publikation 1	2
3	Material/Methode	11
	3.1 Publikation 2	11
4	Ergebnisse	21
	4.1 Publikation 3	21
	4.2 Publikation 4	35
5	Diskussion	54
	5.1 Diskussion der Fragestellung	54
	5.2 Diskussion der Methode	58
	5.2.1 Literaturübersicht	58
	5.2.2 Studienpopulation	59
	5.3 Diskussion der Ergebnisse	59
	5.4 Ausblick	63
6	Zusammenfassung	64
7	Summary	66
8	Literaturverzeichnis	68
9	Danksagung	71
10	Selbstständigkeitserklärung	73

Abkürzungsverzeichnis

cm	Zentimeter
et al.	et alii
KA	kurzschwänzige Anpaarung
LA	langschwänzige Anpaarung
P4	Progesteron
r	Korrelationskoeffizient
SMI	Superb Microvascular Imaging

1 Einleitung und Fragestellung

Lange, bewollte Schwänze führen insbesondere unter schlechten Haltungsbedingungen und bei Auftreten von Krankheiten, welche mit Diarrhöe einhergehen, zu einer vermehrten Ansammlung von Kot und Schmutz im perianalen Bereich, was die Entstehung von Wunden und Infektionen in dieser Region fördert. Dies wiederum begünstigt die Einnistung von Fliegenlarven und somit die Entstehung der Wundmyiasis (Wall 2012), welche unbehandelt zum Tod führen kann. Bei weiblichen Schafen können Wunden und Infektionen der Anogenitalregion im peripartalen Zeitraum mit einer Clostridieninfektion einhergehen, welche schwerwiegende Erkrankungsbilder, wie zum Beispiel Tetanus, Scheiden- und Gebärmutterbrand, hervorrufen können (Wieler und Lübke-Becker 2018). Aus diesen Gründen wird das Kürzen der Schwänze nach der Geburt weltweit praktiziert. Eine Alternative stellt die gezielte Zucht auf Kurzschwänzigkeit dar. Um diese in der Schafhaltung einzuführen, müssen Methoden zur exakten Phänotypisierung unter Praxisbedingungen etabliert und potentielle negative Auswirkungen einer Zucht auf Kurzschwänzigkeit auf die Population ausgeschlossen werden.

Ziel dieser Dissertation war es folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Ist die Messung der Schwanzlänge und des Schwanzumfanges unter Feldbedingungen aussagekräftig und praktikabel?
- Eignet sich die ultrasonographische und röntgenologische Untersuchung zur Darstellung der anatomischen Strukturen am Schafschwanz?
- Treten im Rahmen der Zucht auf Kurzschwänzigkeit pathologische Veränderungen des Schwanzes auf?
- Hat die Zucht auf Kurzschwänzigkeit Auswirkungen auf Reproduktionsparameter des Muttertieres und die Lämmerentwicklung?

2 Literaturübersicht

2.1 Publikation 1

Bedeutung der Schwanzlänge beim Schaf und Zucht auf Kurzschwänzigkeit

Hannah Hümmelchen, Henrik Wagner, Sven König, Axel Wehrend

eingereicht: 05.01.2022

akzeptiert: 22.03.2022

Bibliografie

DOI <http://doi.org/10.1055/a-1851-9402>

Tierärztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 2022; 50: 187-194

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart

ISSN 1434-1220

Beschreibung des Eigenanteils:

Studienplanung: A. Wehrend, H. Wagner

Literatursuche und Auswertung: H. Hümmelchen

Manuskripterstellung: H. Hümmelchen

Revision des Manuskriptes: H. Hümmelchen, H. Wagner, S. König

Bedeutung der Schwanzlänge beim Schaf und Zucht auf Kurzschwanzigkeit

Importance of tail length in sheep and the breeding for short tails

Autoren

Hannah Hümmelchen¹, Henrik Wagner¹, Sven König², Axel Wehrend¹

Institute

- 1 Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen
- 2 Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Justus-Liebig-Universität, Gießen

Schlüsselwörter

Schwanzmorphologie, Schwanzkupieren, Vererbung, Tierzucht

Key words

Tail morphology, tail docking, heritability, animal breeding

eingereicht 05.01.2022

akzeptiert 22.03.2022

Bibliografie

Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 2022; 50: 187–194

DOI 10.1055/a-1851-9402

ISSN 1434–1220

© 2022. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Hannah Hümmelchen
Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der
Groß- und Kleintiere
Frankfurter Str. 106
35392 Gießen
Deutschland
Hannah.Huettelchen@vetmed.uni-giessen.de

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Möglichkeit, das Kopieren von Schwänzen bei Schafen in der Zukunft zu vermeiden, stellt die Zucht auf Kurzschwanzigkeit dar. Dies erscheint vielversprechend, da die Urform der Hausschafe, der Mufflon, einen relativ kurzen schmalen Schwanz besitzt. Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass längere Schwänze ein Resultat der Domestikation sind. Ältere Untersuchungen zur Heritabilität der Schwanzlänge beim Hausschaf konnten rasseabhängig Werte von 0,38 bis 0,77 nachweisen. Bei der Zucht auf Kurzschwanzigkeit muss jedoch darauf geachtet werden, dass keine Missbildungen der Wirbelsäule und benachbarter Strukturen auftreten. Bis in diesem Bereich ein Zuchtfortschritt erreicht ist, können durch Managementmaßnahmen die negativen Auswirkungen länger bewollter Schwänze (z. B. Myiasisbefall, Dermatitis) gemindert werden. Dazu gehören die Vermeidung von Durchfällen durch eine ausgewogene wiederkäuergerechte Fütterung, ein betriebsspezifisch angepasstes nachhaltiges Parasitenmanagementprogramm und die gezielte Schur unkupierter Schwänze.

ABSTRACT

Breeding for short tails in sheep may represent a good measure in order to avoid the continuation of tail docking in lambs. Since the ancestor of domestic sheep, the mouflon, has a short, narrow tail, it may be assumed that longer tails are a result of domestication. Previous studies on the heritability of tail length in domestic sheep were able to show values of 0.38 to 0.77, depending on the breed. Breeding for short tails must however ensure the avoidance of spinal malformations and those of neighboring structures. Until breeding progress is achieved, management measures may reduce the negative effects of long and woolly tails (e. g. myiasis, dermatitis). This includes prevention of diarrhea by balanced, ruminant-friendly feeding, a farm-specific and sustainable parasite management program as well as the deliberate shearing of uncut tails.

Einleitung

Lange und bewollte Schwänze waren ein wertvolles Zuchtmerkmal, welches einst für die Wollproduktion von Bedeutung war [1]. Die Vergrößerung der Körperoberfläche führte zu einem erhöhten Wollertrag pro Einzeltier und stellte somit einen wirtschaftlichen Vorteil dar. In den letzten Jahrzehnten verlor die Wollproduktion an Bedeutung, so dass die Nachteile (z. B. Schurkosten, Hygienepro-

bleme bei Durchfall, Verletzungsgefahr) der langen Schwänze von Schafen überwiegen und seither gekürzt werden [1]. Dies erfolgt in der Regel mittels elastischer Gummiringe, welche ohne Betäubung nach dem gültigen Tierschutzgesetz im Einzelfall vom Tierhalter bis zum 8. Lebensjahr angebracht werden dürfen, wenn der Eingriff für die vorgesehene Nutzung des Tieres zu dessen Schutz oder zum Schutz anderer Tiere unerlässlich ist [2].

Da in der heutigen Zeit eine höhere Wertung von Tierwohl und Tierschutz erfolgt, ist diese Form der Schwanzkürzung nicht mehr vertretbar und sollte zukünftig nicht mehr routinemäßig durchgeführt werden [3]. Die verschiedenen chirurgischen Alternativen sind häufig aufgrund der Kosten und des erhöhten Arbeitsaufkommens nur schwer in die praktische Schafhaltung integrierbar. Zudem bedeutet jeder chirurgische Eingriff die Zufügung von Schmerzen und im Rahmen der Wundheilung können Komplikationen auftreten. Daher stellt die Zucht auf Kurzschwanzigkeit eine praktikable Alternative dar.

Anatomischer Aufbau des Schwanzes beim Schaf

Die Wirbelsäule des Schafes besteht aus sieben Halswirbeln, 13 Brustwirbeln, 6 bis 7 Lendenwirbeln, 3 bis 5 Kreuzwirbeln und 3 bis 24 Schwanzwirbeln (► **Abb. 1**). Die Schwanzwirbel, *Vertebrae caudales*, weisen zur Schwanzspitze hin einen zunehmend einfacheren anatomischen Aufbau auf, so dass sich die letzten Wirbel nur noch als konische Knochenzapfen darstellen [4].

Die Muskulatur der Wirbelsäule setzt sich aus zwei Hauptgruppen zusammen. Die Wirbelsäulen-Schwanzmuskeln, welche ihren Ursprung an den Lenden-, Kreuz- und Schwanzwirbeln haben, und die Becken-Schwanzmuskeln, welche am knöchernen Becken entspringen. Die Wirbelsäulen-Schwanzmuskeln können des Weiteren in dorsale und ventrale Muskeln unterteilt werden. Die dorsalen Wirbelsäulen-Schwanzmuskeln dienen als Heber und bei einseitiger Kontraktion als Seitwärtszieher des Schwanzes und die ventralen als Niederzieher sowie ebenfalls als Seitwärtszieher. Die zwei Becken-Schwanzmuskeln, *Musculus coccygeus* und *Musculus levator ani*, stellen die Muskeln des *Diaphragma pelvis*, also die innerste Muskelschicht des Beckenbodens dar. Zusammen mit dem *M. rectococcygeus*, welcher ebenfalls zu den Schwanzmuskeln gezählt werden kann, dienen die Becken-Schwanzmuskeln der Defäkation [5].

Das Rückenmark, welches im Wirbelkanal verläuft, verjüngt sich kaudal im Bereich der Beckenknochen zum *Conus medullaris*. Dieser Konus setzt sich im Bereich der Schwanzwirbelsäule in das *Filum terminale* mit fünf bis acht Schwanznervenpaaren fort und wird insgesamt auch als *Cauda equina* bezeichnet [6].

Der Schwanz wird durch die *Arteriae* und *Venae caudales dorsolaterales*, *caudales mediana* und *caudales ventrolaterales*, welche zwischen den Schwanzwirbelknochen und der Schwanzmuskulatur eingebettet sind, mit Blut versorgt [5]. Der Lymphabfluss aus dem Schwanzbereich erfolgt über das *Lymphocentrum (Lc.) iliosacrale* mit den *Lymphonodi (Lnn.) iliaci mediales*, *Lnn. iliaci laterales*, *Lnn. sacrales*, *Lnn. hypogastrici* und *Lnn. anorectales* sowie über das *Lc. ischiadicum* mit den *Lnn. ischiadici* und dem *Ln. tuberalis*. Die Lymphe aus diesen Lymphzentren passiert in der Regel zunächst die *Lnn. iliaci mediales* und gelangt von dort über den *Truncus lumbalis* zur *Cisterna chyli* [7].

Schwanzmissbildungen

Mögliche Missbildungen des Schwanzes sind eine abnorme Verkürzung der Schwanzwirbelsäule, auch Stummelschwanzigkeit bzw. *Brachyurie*, eine Schwanzlosigkeit, *Anurie*, sowie Verkrümmungen



► **Abb. 1** Becken und Schwanzwirbelsäule eines adulten Schafes, bei dem der Schwanz nicht gekürzt wurde. Quelle: Institut für Veterinär-Anatomie, -Histologie und -Embryologie, Justus-Liebig-Universität Gießen.

► **Fig. 1** Pelvis and caudal spine of an adult sheep in which the tail has not been shortened. Source: Institute of Veterinary Anatomy, Histology and Embryology, Justus-Liebig-University Gießen.

der distalen Schwanzwirbelsäule [8]. Diese treten häufig mit Missbildungen von Anus, Rektum und Urogenitaltrakt in Form des *Kaudo-Rekto-Urogenital-Syndroms* auf. Tritt eine *Anurie* in Verbindung mit dem Fehlen der Augen auf, so spricht man von dem *Anophthalmie-Anurie-Syndrom* [8].

Eine knöcherne Verschmelzung von mindestens 2 Wirbeln wird als *Blockwirbel* bezeichnet [9]. *Keilwirbel* stellen sich als keilförmig zwischen 2 anatomisch korrekt liegende Wirbel eingeschobene knöchernen Strukturen dar [10][11]. Durch die Bildung von Keil- und Blockwirbeln können sogenannte *Knickschwänze* entstehen [12].

In der Sektion einer weißen hornlosen Moorschnucke mit angeborenem kurzen Schwanz konnten Blockwirbelbildungen in allen Abschnitten der Wirbelsäule sowie ein Keilwirbel in der Halswirbelsäule, welcher eine leichte *Skoliose* (seitliche Verkrümmung der Wirbelsäule) verursachte, festgestellt werden. Da exogene Noxen ausgeschlossen werden konnten, wurde von einer genetischen Ursache ausgegangen [13].

Bei einer Untersuchung von 21 *Suffolk-Mischlingslämmer* mit *Spina bifida*, welche zudem mit Schwanzlosigkeit und *Arthrogrypose* auffielen, konnten assoziierte Lähmungen der Hintergliedmaßen sowie ein nach dorsal aufgebogener Schwanz beobachtet werden [14].

In einer westaustralischen Studie wurden 401 missgebildete Lämmer untersucht [15]. 12,2% der missgebildeten ovinen Neonaten wiesen Schwanzdeformationen in Form von Knickschwänzen, *Brachyurie* (Stummelschwanzigkeit), *Polyurie* und *Anurie* (Schwanzlosigkeit) auf. Assoziierte Missbildungen, wie beispielsweise *Arthrogrypose*, *Atresia ani*, *Kyphoskoliose*, *Perosomus elumbis* oder *Spina bifida* traten bei 80% der Lämmer mit Schwanzdeformationen auf.

Durch die Untersuchung eines Falles von 4 *Dorper-Kreuzungen*, welche mit *Spina bifida* geboren wurden und kurze Knickschwänze aufwiesen, wurde vermutet, dass die Entstehung einer *Spina bifida* und assoziierten Missbildungen, wie *Brachyurie* und *Knick-*



► **Abb. 2** Angeborene unterschiedliche Schwanzlängen bei gleichaltrigen Merinolämmern. Quelle: Lehr- und Forschungseinrichtung Oberer Hardthof, Justus-Liebig-Universität Gießen.

► **Fig. 2** Congenitally different tail lengths in merino lambs of the same age. Source: Teaching and Research Institute Oberer Hardthof, Justus-Liebig-University Gießen.

schwänze, im Zusammenhang mit der embryonalen Entwicklung der Schwanzknospe stehen [16].

Bedeutung der Schwanzlänge beim Schaf

Die Funktion und Bedeutung des Schwanzes der verschiedenen Tierarten sind vielfältig. So dient er unter anderem dem Gleichgewicht, der Kommunikation und der Abwehr bzw. Verteidigung [17]. Außerdem übernimmt der Schwanz bei ausreichender Länge eine Schutzfunktion für den Anogenitalbereich [18].

Die Schwanzbewegung ist beim Schaf im Gegensatz zu den Fleischfressern deutlich herabgesetzt. So wird lediglich ein Anheben des Schwanzes bei Gefahr bzw. Flucht und Kot- und Urinabsatz beobachtet. Lämmer zeigen wedelnde Bewegungen des Schwanzes bei der Milchaufnahme und adulte Tiere zum Abwehren von Insekten [17].

Neben den beschriebenen Funktionen besteht auch eine halbungstechnische Bedeutung der Schwanzlänge. So konnte der Vergleich verschiedener Studien zeigen, dass die Schur von Schafen mit längeren Schwänzen unter anderem mit einem erhöhten Zeitaufwand einhergeht [19]. Somit wirkt sich die Länge des Schwanzes auf verschiedene Aspekte der Anatomie und Verhaltensphysiologie sowie des Haltungsmanagements aus.

Heritabilität der Schwanzlänge und Zucht auf Kurzschwanzigkeit beim Schaf

Das Mufflon als ursprünglicher Vorfahre der heutigen Schafrassen verfügt über einen kurzen, dünnen Schwanz, so dass davon ausgegangen werden kann, dass lange Schwänze im Zuge der Domestikation entstanden sind [1]. Entsprechend der Schwanztypen können Schafe in 5 Hauptgruppen – Kurzschwanzschafe, Dünnschwanz-

schafe, Langschwanzschafe, Fettrumpfschafe und Fettschwanzschafe – eingeteilt werden.

Zu der Gruppe der kurzschwänzigen Schafe werden Finnschafe, Romanov, Texel und das Ostfriesische Milchschaaf und zu den dünnschwänzigen Schafen werden Merino und Romney gezählt. Die Gruppe der Fettrumpfschafe, welche einen sehr kurzen Schwanz aufweisen, wird vor allem durch Schafrassen aus Afrika und Zentralasien gebildet. Vertreter der langschwänzigen Schafe stellen vor allem Rassen aus dem Sudan und Eritrea dar. Fettschwanzschafen mit langen, fetten Schwänzen wie die Rassen Awassi und Karakul haben ebenso wie die Fettrumpf- und Langschwanzschafe keine große Bedeutung in Deutschland [20].

Bis heute ist der evolutionäre Hintergrund der Schwanzvariation nicht vollständig geklärt. Es wird davon ausgegangen, dass Schafe mit langen Schwänzen im Zuge der Optimierung des Wollertrages durch die Vergrößerung der bewollten Oberfläche selektiert wurden [1].

Obwohl die Heredität der Schwanzlänge beim Schaf bisher noch nicht ausreichend geklärt ist, gab es bereits einige Anpaarungsversuche verschiedener Schafrassen mit unterschiedlichen Schwanzlängen. Verschiedene Autoren untersuchten zudem die Schwanzlängenvariation innerhalb einer Schafrasse (► **Abb. 2**).

Die Verpaarung von kurzschwänzigen Finnschafen mit langschwänzigen Rassen zeigte, dass die Nachkommen einen zu 33% kürzeren Schwanz aufwiesen als vergleichbare reinrassige Tiere. Zudem konnte herausgefunden werden, dass die Heritabilität für die Schwanzlänge bei Finnschafen 0,77 beträgt [21]. Die Autoren dieser Studie gehen davon aus, dass das Merkmal Schwanzlänge von mehreren Genen beeinflusst wird und die kurzschwänzigen Gene eine gewisse Dominanz aufweisen.

Bei der Anpaarung von Mufflon und Rambouillet Schafen, wobei die Mufflons mit 11 Schwanzwirbeln als kurzschwänzig und die

Rambouillet Schafe mit 18–24 Schwanzwirbeln als langschwänzig gelten, zeigte sich, dass die Nachkommen dieser Verpaarung die mittlere Schwanzlänge der Elterntiere aufwiesen. Es konnte eine Korrelation der Schwanzlänge der Rambouillet Schafe mit der Wollproduktion beobachtet werden. Außerdem zeigte sich, dass die Heritabilität für die Schwanzlänge bei Rambouillet Schafen 0,38 beträgt [1].

Der Vererbungsmechanismus der Schwanzlänge bei Merinoschafen wurde anhand von 2667 Lämmern in einer australischen Studie untersucht. Den Ergebnissen zufolge hat die Schwanzlänge bei Merinoschafen eine Heritabilität von 0,58, ebenso wie die Wirbelsäulenlänge [22]. Dies bedeutet, dass Merinoschafe eine höhere Heritabilität der Schwanzlänge aufweisen als Rambouillet Schafe.

Bei der Verpaarung von 18 kurzschwänzigen Merinoböcken und 21 Merinoböcken mit normaler Schwanzlänge mit Mutterschafen ohne bekannte Kurzschwanzigkeit, wiesen von den 572 Nachkommen der Böcke mit normaler Schwanzlänge kein einziges Tier einen kurzen Schwanz auf. Dagegen wurden von den 612 Nachkommen der kurzschwänzigen Böcke 77 Lämmer mit kurzem Schwanz geboren [23].

Weitere Untersuchungen zum Erbgang der Kurzschwanzigkeit bei Merinolandschafen ergaben, dass die Verpaarung von kurzschwänzigen Mutterschafen und langschwänzigen Böcken 4,0% Lämmer mit kurzen Schwänzen ergab [24]. Eine Verpaarung von kurzschwänzigen Mutterschafen mit Böcken der F1-Generation führte zu 15,0% Lämmern mit kurzen Schwänzen. Es wurde vermutet, dass die Vererbung von einer geringen Anzahl interagierender Gene mit einer Richtungsdominanz der Kurzschwanzigkeitsgene ausgeht.

In einer späteren Publikation beschrieb James [18], dass von 2 unterschiedlichen Wegen der Vererbungen ausgegangen werden kann. Der Hauptvererbungsmechanismus von normalen Phänotypen kurz- und langschwänziger Rassen kann auf ein multigenetisches oder quantitatives Merkmal zurückgeführt werden. Der zweite Vererbungsmechanismus, welcher vor allem bei extrem kurzschwänzigen Rassen zur Merkmalsausprägung führt, beruht auf der besonders großen Auswirkung eines Genes oder mehrerer weniger Gene. Dieser Mechanismus wurde gelegentlich auch in langschwänzigen Rassen beobachtet.

In einer über 50 Jahre entwickelten Zucht der sogenannten No-Tail-Rasse trat ein Letalfaktor „Sidewheeler“ auf. Dieser äußert sich in Form einer unvollständigen bis vollständigen Lähmung der Hinterhand mit progredientem Verlauf dem fortschreitenden Alter des Lammes entsprechend. Genauere Untersuchungen der Schwanzwirbelregion zeigten, dass das Rückenmark kranial und zum Teil lateral der Schwanzwirbel endete. Es wurde vermutet, dass die progrediente Verschlechterung des Zustandes mit einer Kompression der Nerven im Zuge der Muskelentwicklung der Hinterhand einhergeht [25][26].

Wie schnell mit einem Zuchterfolg in Bezug auf die Schwanzlängenverkürzung zu rechnen ist, ist unter anderem abhängig von der Selektionsintensität, der Anzahl der nach der Geburt gemessenen Tiere sowie der ausgewählten Populationsgröße [27].

Für die Rasse Suffolk ist eine maximale genetische Verkürzung um 0,62 cm pro Jahr beschrieben [28]. Dies deutet auf eine Reduktion der Schwanzlänge bei Geburt um 50% innerhalb von ca. 15 Jahren hin [27].

Heritabilität der Schwanzlänge und Zucht auf Kurzschwanzigkeit bei anderen Tierarten

Die Heritabilität der Schwanzlänge mit Korrelationen zu weiteren Merkmalen konnte bereits bei einigen Tierarten festgestellt werden. So ist das T-Gen hauptverantwortlich für die Schwanzlänge und hat Einfluss auf das Auftreten von Wirbeldeformationen [29]. Das T-Gen kodiert für einen Transkriptionsfaktor, welcher besonders während der frühen Embryonalphase, Mesodermentwicklung und Ausdifferenzierung der Corda dorsalis bei allen Wirbeltieren exprimiert wird [29][30]. Das T-Gen hat neben der Beeinflussung der Schwanzlänge gravierende pleiotrope Auswirkungen [31]. Unklar ist, welche pleiotropen Merkmale bei Veränderung der Schwanzlänge ausgeprägt werden.

Mutationen im T-Gen führen zu frühem embryonalen Tod bei Mäusen, veränderter Wirbelform bei Katzen und Kühen [29][32] und zu vermehrter embryonaler Mortalität bei Hunden und Schafen [33][34].

Bei der Manx-Katze gehört die Kurzschwanzigkeit zum gewünschten Phänotyp. Diese ist mit negativen Auswirkungen auf die anatomischen Strukturen im Beckenbereich assoziiert. Manx-Katzen weisen häufig eine Spina bifida, Urin- und Kotinkontinenz sowie Bewegungsstörungen der Hintergliedmaßen auf [33].

Beim Rind tritt die Brachyurie und Anurie isoliert, in Verbindung mit weiteren Defekten als Kaudo-Rekto-Urogenital-Syndrom, als Anophthalmie-Anurie-Syndrom oder als Teil von Missbildungssyndromen anderer Organe auf [8].

Selektionsmethoden

Bei der Zucht auf Kurzschwanzigkeit gibt es, ebenso wie bei der Zucht auf andere Merkmale, mehrere mögliche Vorgehensweisen. Die BLUP-Zuchtwertschätzung stellt dabei die klassische Form der Selektion dar, welche sich bei vielen Tierarten durchgesetzt hat. BLUP steht für Best Linear Unbiased Prediction und beschreibt die beste lineare unverzerrte Vorhersage in einem statistischen Verfahren zur Schätzung von Effekten [35]. Anhand phänotypischer Merkmale, wie z. B. die Schwanzlänge, das Geburtsgewicht und das Geschlecht eines Tieres und/oder seiner Verwandten, kann die genetische Veranlagung, ein bestimmtes Merkmal an seine Nachkommen weiterzugeben, berechnet werden.

Bei der genomischen Selektion bzw. genomisch-unterstützten Zuchtwertschätzung werden zu den Abstammungs- und Leistungsinformationen auch Informationen des Genoms anhand von über dem gesamten Genom verteilten Polymorphismen von einzelnen Nukleotidpositionen (single nucleotide polymorphism = SNP) genutzt, um genauere Informationen über die Vererbungsleistung eines Individuums erhalten zu können. Dies ermöglicht neben einer sichereren Selektion zu einem altersunabhängigen Zeitpunkt auch einen schnelleren Zuchtfortschritt durch die Reduktion des durchschnittlichen Generationsintervalls [35][36].

Kupieren des Schwanzes

Da die Zucht auf Kurzschwanzigkeit in der praktischen Schafzucht noch nicht etabliert ist, spielt das Kupieren von Schwänzen beim Schaf national und global eine große Rolle. Lange, bewollte

Schwänze führen insbesondere unter extremen Haltungsbedingungen und bei Krankheiten, welche mit Diarrhöe einhergehen, zu einer vermehrten Ansammlung von Kot und Schmutz im perianalen Bereich, was die Entstehung von Wunden und Infektionen im Bereich des Schwanzes und der Anogenitalregion fördert. Dies wiederum begünstigt die Einnistung von Fliegenlarven und somit die Entstehung der Wundmyiasis [37], welche unbehandelt tödliche Folgen für das Einzeltier haben kann. Bei weiblichen Schafen können Wunden und Infektionen der Anogenitalregion im peripartalen Zeitraum mit einer Clostridieninfektion einhergehen, welche schwerwiegende Erkrankungsbilder, wie zum Beispiel Tetanus, Scheiden- und Gebärmutterbrand, hervorrufen können [38][39]. In einer kontrollierten Feldstudie wurden 3000 Lämmer von 7 verschiedenen Farmen mit gekürzten und ungekürzten Schwänzen auf die Effekte des Schwanzkürzens untersucht [40]. Die Ergebnisse zeigen, dass die Inzidenz für einen Schmeißfliegenbefall bei den Lämmern mit ungekürzten Schwänzen signifikant höher ist. Auch das Auftreten von Verschmutzung des Hinterteiles mit Kot konnte vermehrt bei Lämmern mit ungekürzten Schwänzen beobachtet werden und wurde als wichtiger Risikofaktor für den Befall mit Fliegenlarven angesehen.

Neben der Schwanzlänge scheint auch das Ausmaß der Bewolung der Schwanzunterseite sowie der Perianalregion einen Einfluss auf den Kotverschmutzungsgrad und somit der Entstehung einer Myiasis zu haben. Untersuchungen dieses Merkmales konnten zeigen, dass eine genetische Korrelation zur Schwanzlänge besteht [41].

Das Kupieren des Schwanzes soll den Genitalbereich auch bei dünnbreiigem Kot und nassen Witterungsverhältnissen vergleichsweise sauber halten. Dies wiederum führt zu einer verbesserten Hygiene beim Decken und Ablammen sowie bei der Schur und Schlachtung [42].

Eine Untersuchung, welche sich mit dem Zeitaufwand und der Anzahl notwendiger Scherenansätze zur Schur eines Schafes befasste, zeigte einen linearen Anstieg der Scherzeit mit zunehmender Schwanzlänge. Zusätzlich waren bei Schafen mit langen Schwänzen mehr Scherenansätze notwendig als bei kurzschwänzigen Schafen [43].

Langschwänzige Schafe weisen vermehrt Verletzungen durch Tritte und Paniksituationen und langschwänzige Lämmer durch das übereifrige Belegen der Mutter nach der Geburt auf [44].

In Bezug auf das Management liegt ein weiterer Vorteil kurzer Schwänze in der leichteren Zugänglichkeit des Euters für Lämmer und Melker sowie der erleichterten optischen Beurteilung des Euters und Genitale durch den Schäfer, was wiederum die Geburtskontrolle und frühzeitige Erkennung von Krankheiten vereinfachen soll [45]. Außerdem werden ein erleichtertes Deckakt und das reduzierte Risiko von Penisverletzungen durch kurze Schwänze als Vorteile genannt [44].

Somit ist der Hauptgrund für das Kürzen des Schwanzes bei Schafen die Verbesserung der Hygiene im Anogenitalbereich, welche nicht nur für den Deckakt, die Ablammung, Schlachtung und Schur relevant ist [42], sondern vor allem vor der Entstehung einer Myiasis schützen soll.

Auf europäischer Ebene sind schmerzhafte Eingriffe an Tieren, wie das Kupieren der Schwänze beim Schaf nicht eindeutig geregelt. Die Grundlage der jeweiligen nationalen Regelungen beruht

auf EU-Richtlinien, welche nicht wie EU-Verordnungen unmittelbar wirksam sind, sondern erst in das nationale Recht umgesetzt werden müssen. Außerdem bestehen Empfehlungen des Europarates sowie EU-Verordnungen für ökologisch wirtschaftliche Betriebe.

Die Europaratsempfehlungen für das Halten von Schafen verbietet in Artikel 30 „Veränderungen des Phäno- und/oder Genotyps“ Absatz 1 Eingriffe, die mit einem bedeutenden Verlust an Gewebemenge, eine Veränderung von Knochen bewirken oder erhebliche Schmerzen verursachen. In Absatz 2 desselben Artikels wird das Kupieren des Schwanzes beim Schaf als Ausnahme von diesem Verbot genannt [46]. Das Abtrennen des Schwanzes soll chirurgisch unter Betäubung oder mit einer Burdizzo-Zange erfolgen und der Schwanz soll bei Schafböcken den Anus und bei weiblichen Tieren Anus und Vulva bedecken. In einem weiteren Absatz wird das Kürzen des Schwanzes mittels Gummiringes zwar in Abhängigkeit der jeweiligen nationalen Regelung erlaubt, dennoch sollte diese Methode nach Europaratsempfehlung vermieden werden.

In Artikel 18 „Umgang mit Tieren“ Absatz 1 der Durchführungsverordnung der EU-Öko-Verordnung (EG) Nr. 889/2008 wird das routinemäßige Anbringen von Gummiringen an den Schwänzen von Schafen verboten [47]. Es obliegt jedoch der zuständigen Behörde diesen Eingriff aus Sicherheitsgründen oder zur Verbesserung der Gesundheit, des Befindens oder der Hygienebedingungen der Tiere zu genehmigen. Dabei ist jegliches Leid der Tiere durch die Anwendung geeigneter Betäubungs- und/oder Schmerzmittel auf ein Minimum zu begrenzen. Außerdem soll der Eingriff nur im geeigneten Alter und von qualifiziertem Personal durchgeführt werden.

In Deutschland ist das betäubungslose Amputieren des Schwanzes mittels elastischer Gummiringe im Einzelfall bis zu einem Alter von 8 Lebenstagen bei Lämmern laut Tierschutzgesetz § 5 Absatz 3 Satz 4 erlaubt. Abgesehen davon verbietet § 6 des deutschen Tierschutzgesetzes jegliche Amputation von Körperteilen [2]. Dieses Verbot gilt jedoch nicht, wenn das Kürzen des Schwanzes zum Schutz des Tieres oder anderer Tiere unerlässlich ist. Neben diesen rechtlichen Bestimmungen liegen Empfehlungen der DVG-Fachgruppe „Krankheiten kleiner Wiederkäuer“ bezüglich der Schwanzlänge und der sachgemäßen Anwendung des Gummiringes vor. Demnach sollte bei weiblichen Tieren der Schwanz mindestens die Vulva und beim männlichen Tier mindestens den Anus bedecken. Zudem wird empfohlen den Gummiring zwischen 2 Wirbeln aufzusetzen [48]. Das Kupieren des Schwanzes darf in Frankreich ebenfalls bis zum achten Lebenstag erfolgen, jedoch ohne eine genaue Definition der Methode [44]. In Österreich darf der Schwanz von Schafen bis zum 7. Lebenstag durch eine sachkundige Person mit über den Eingriff andauernder Schmerzausschaltung oder durch einen Tierarzt nach wirksamer Betäubung und anschließender Gabe von Schmerzmitteln gekürzt werden. Dazu muss ein Gerät verwendet werden, welches scharf schneidet und gleichzeitig verödet. Die verbleibende Schwanzlänge ist genau geregelt, sodass maximal ein Drittel bzw. bei weiblichen Zuchttieren, im Falle einer tierärztlich bestätigten betrieblichen Notwendigkeit, maximal die Hälfte des Schwanzes amputiert werden darf [49].

In der Schweiz darf dieser Eingriff bei Lämmern bis zum Alter von 7 Tagen nach tierärztlicher Einschätzung ohne Schmerzausschaltung durch fachkundige Personen durchgeführt werden. Dabei muss der Schwanzstummel den After und die Vulva bedecken [50].

In anderen europäischen Ländern wie Niederlande, Schweden, Estland, Norwegen und Finnland ist das Kürzen des Schwanzes bei Schafen verboten. In Estland und Finnland sind die Reglementierungen am strengsten und erlauben das Kupieren nur nach tierärztlicher Indikation. Die anderen genannten Länder erlauben Ausnahmen unter bestimmten Voraussetzungen [44].

Obwohl in historischen Aufzeichnungen verschiedene Praktiken des Schwanzkupierens beschrieben werden, haben sich weltweit hauptsächlich 2 Methoden etabliert. Dazu zählt das Kupieren mittels Gummiringes und die chirurgische Amputation. Beide Vorgehensweisen werden ohne Betäubung durchgeführt [44].

Bei der Gummiring-Methode wird mit Hilfe einer speziellen Kupierzange, dem sogenannten Elastrator, der Gummiring aufgedehnt und um den Schwanz im Bereich zwischen 2 Schwanzwirbeln platziert. Der distal des Gummiringes gelegene Schwanzabschnitt wird folglich von der Blutzufuhr getrennt und stirbt innerhalb von 10 Tagen ab. Der abgestorbene Schwanzabschnitt trennt sich im Bereich des Gummiringes und hinterlässt eine kleine Wunde, welche in der Regel schnell verheilt [51][52]. Diese Methode wird von Schafhaltern in Deutschland routinemäßig durchgeführt.

In schafreichen Ländern wie Australien und Neuseeland wird der Schwanz überwiegend mit einem speziellen Kautereisen chirurgisch amputiert. Der Vorteil der hohen Temperatur des Kautereisens ist, dass Blutgefäße und Nervenenden beim Abtrennen des Schwanzes verödet und somit stärkere Blutungen verhindert werden. Die chirurgische Amputation mittels Skalpell geht mit leichten Blutungen einher und ist beispielsweise in Österreich erlaubt [44].

Bei älteren Lämmern und adulten Schafen darf eine Amputation des Schwanzes nur noch aus medizinischen Gründen und unter Schmerzausschaltung, z. B. in Form einer Epiduralanästhesie, erfolgen [46][52].

Einen direkten Nachteil des Schwanzkupierens stellen die mit diesem Vorgang einhergehenden Schmerzen [53] und schmerzassoziierten Verhaltens- und Körperhaltungsänderungen der Lämmer dar [54].

Der Vergleich verschiedener Studien zeigte, dass alle Schwanzkupiermethoden, insbesondere aber der Gummiring und die chirurgischen Methoden, zu Verhaltensänderungen, die auf akute Schmerzen hinweisen, führen. Zusätzlich wurde der Cortisolanstieg als Stressparameter nach dem Anbringen des Gummiringes und nach dem chirurgischen Kupieren verglichen. Jede Methode führte zu einem Anstieg der Cortisolkonzentration im Vergleich zur Kontrollgruppe [55].

Einen weiteren Nachteil ist die potenzielle Gefahr, dass es von der Amputationswunde ausgehend zu Infektionskrankheiten kommen kann. So zeigte eine Studie aus Süd-Australien, in der 63 287 Schlachtkörper von Lämmern mit gekürzten Schwänzen untersucht wurden, dass eine direkte Korrelation zwischen gekürzten Schwänzen (weniger als 3 Schwanzwirbel) und bakteriellen Arthritiden besteht. Die wichtigsten nachgewiesenen Erreger aus den veränderten Gelenken waren *Erysipelothrix rhusiopathiae* und *Streptococcus* spp. [56].

1931 wurde in Australien erstmals die Praktik des Mulesings für Merinoschafe entwickelt, welche auf die Ausprägung vieler Hautfalten gezüchtet wurden und somit anfälliger für den Befall mit Fliegenmaden sind. Bei dem Mulesing werden Merinoschafen betäubungslos Hautfalten im Anogenitalbereich entfernt [57]. Das

Mulesing soll die Entstehung eines Fliegenmadenbefalls deutlich reduzieren [58]. Jedoch zeigte eine weitere australische Studie, dass das extreme Kürzen der Schwänze auch in Kombination mit dem Mulesing die Verschmutzung mit Kot und damit einhergehend das Auftreten einer Myiasis wiederum begünstigt [59].

Das Kürzen der Schwänze von Lämmern scheint außerdem einen Effekt auf das Auftreten eines Rektumprolapses zu haben, da die Analmuskulatur an den ersten Schwanzwirbeln ansetzt [51]. Dies konnte in einer Studie mit 1227 Lämmern beobachtet werden. Den Lämmern wurden die Schwänze in 3 unterschiedlichen Längen gekürzt: 1) so kurz vor dem Becken wie möglich, 2) mittlere Länge zwischen Becken und Ansatz der Schwanzfalte und 3) am Ansatzpunkt der Schwanzfalte. Die Lämmer mit Schwänzen, welche kurz vor dem Becken kupiert wurden, wiesen eine deutlich höhere Inzidenz für die Entstehung eines Rektumprolapses auf (7,8%) als Lämmer mit der 2. (4,0%) oder 3. (1,8%) Schwanzlängenform. Außerdem waren weibliche Lämmer häufiger betroffen als männliche Tiere [60].

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Derzeit werden in den meisten Schafhaltungen die Schwänze der Lämmer routinemäßig kupiert. Eine Alternative wäre die gezielte Zucht auf kürzere Schwänze, wie sie bei der Stammform der Hausschafe vorgekommen ist. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass sich die Heritabilität der Schwanzlänge beim Schaf in einem Bereich befindet, der dieses Ziel realistisch erscheinen lässt. Auf diesem Weg müssen potenzielle negative Folgen wie Schwanzmissbildungen und Wirbelsäulendeformationen beachtet und vermieden werden. Bis dieses Zuchtziel erreicht ist, kann den Nachteilen längerer Schwänze durch Managementmaßnahmen begegnet werden [61]. So können durch eine ausgewogene wiederkäuergerechte Fütterung und ein betriebsspezifisch angepasstes nachhaltiges Parasitenmanagementprogramm Durchfälle vermieden werden. Zudem führt die gezielte Schur unkupierter Schwänze dazu, dass Verschmutzungen im perianalem Bereich deutlich reduziert werden. Auf Grundlage der aktuellen Rechtslage kann auf tierärztliche Anweisung im Rahmen eines Gesundheitsplans das Kupieren von überlangen (über das Sprunggelenk hängend) Schwänzen bei weiblichen Zuchtlämmern gerechtfertigt sein, solange das Zuchtziel der Kurzschwanzigkeit nicht erreicht ist. Außerdem kann ein Kupieren des Schwanzes bei einer tierärztlichen Indikation wie z. B. Entzündungen im Schwanzbereich durch übermäßiges Belecken bis hin zu Anbeißen durch das Muttertier sowie durch Verletzungen und/oder Quetschungen in Folge von Tritten erforderlich sein.

Interessenkonflikt

Die Autoren bestätigen, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Shelton M. Studies on tail length of Rambouillet and Mouflon sheep. *J Hered* 1977; 68: 128–130. doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a108788
- [2] TierSchG § 5 Absatz 3 Satz 4, § 6: Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist. Im Internet: <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BjNR012770972.html>; Stand: 02.12.2021
- [3] Bundestierärztekammer (BTK): Tierärzte fordern: Mehr Tierschutz in der Nutztierhaltung! Delegierte der Bundestierärztekammer verabschieden Positionspapier. Pressinformation Nr. 16/2017, Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Tierärztekammern e. V. Berlin. Im Internet: <https://www.bundestieraerztekammer.de/presse/archiv/16/2017/tieraerzte-fordern-mehr-tierschutz-in-der-nutztierhaltung/1298>; Stand: 02.12.2021
- [4] Salomon F. Wirbelsäule. Salomon F, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2020: 51–59
- [5] Salomon F. Schwanzmuskeln. Salomon F, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2020: 200–202
- [6] Salomon F. Anatomie des Rückenmarks und der Rückenmarksnerven. Salomon F, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2020: 496–497
- [7] Salomon F. Lymphknoten von Becken und Hintergliedmaße. Salomon F, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2020: 484–486
- [8] Wiesner E, Willer S. Veterinärmedizinische Pathogenetik. 1. Aufl. Jena: Fischer; 1974: 277–278
- [9] Noden DM, De Lahunta A. The embryology of domestic animals: developmental mechanisms and malformation. Baltimore: Williams & Wilkins; 1985: 147
- [10] O’Rahilly R, Müller F. Human embryology and teratology. 3. Aufl. New York: Wiley-Liss; 2001: 368
- [11] Baumgärtner W, Ulrich R. Dysplasien der Wirbelsäule. In: Baumgärtner W, Gruber A, Hrsg. Spezielle Pathologie für die Tiermedizin. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2020; 344–345
- [12] Herzog A. Pareys Lexikon der Syndrome: Erb- und Zuchtkrankheiten der Haus- und Nutztiere. Berlin: Parey; 2001: 30–33
- [13] Kerkmann A, Ganter M, Seibel H et al. Congenital brachyury and vertebral malformations in a White Polled Heath. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 2010; 123: 256–63
- [14] Davies IH. Spina bifida in lambs. *Vet Rec* 1993; 132: 90–91. Doi: 10.1136/vr.132.4.90
- [15] Dennis SM. Congenital tail defects in lambs. *Cornell Vet* 1972; 62: 568–572
- [16] Potter KA, Weston JF, Munday JS et al. Spina bifida with associated malformations of the central nervous system in Dorper-cross sheep. *N Z Vet J* 2010; 58: 315–318. doi: 10.1080/00480169.2010.69763
- [17] Kiley-Worthington M. The tail movements of ungulates, canids and felids with particular reference to their causation and function as displays. *Behavior* 1976; 56: 69–114. doi: 10.1163/156853976X00307
- [18] James PJ. Genetic alternatives to mulesing and tail docking in sheep – a review. *Aust Vet J* 2006; 46: 3. doi: 10.1071/EA05100
- [19] Fisher MW, Gregory NG, Kent JE et al. Justifying the appropriate length for docking lambs tails – a review of the literature. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 2004; 64: 293–296
- [20] Mason IL. Classification and distribution of sheep breeds, Maijala K, Hrsg. Genetic resources of pig, sheep and goat. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V.; 1991: 179–194
- [21] Branford Oltenacu EA, Boylan WJ. Inheritance of tail length in cross-bred Finnsheep. *J Hered* 1974; 65: 331–334. Doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a108543
- [22] Greeff JC, Karlsson LJE, Schlink AC. Inheritance of tail length in Merino sheep. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* 2015; 21: 237–240
- [23] James PJ, Gare DR, Singh AW et al. Studies of the potential for breeding short tail Merinos. *Wool Technology and Sheep Breeding* 1990; 38: 106–111
- [24] James PJ, Ponzone RW, Gare DR et al. Inheritance of short tailedness in south australian merinos, *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* 1991; 9: 404–407
- [25] Wilson JW. Development of the Notail Sheep, *Agricultural Experiment Station Circulars* 1940; 25: 3–22
- [26] Jordan RM. The description of the No-Tail breed of sheep following forty years of breeding, *Proc S D Acad Sci* 1952; 31: 103–104
- [27] Bohte-Wilhelmus DI, De Haas Y, Veerkamp RF, Windig JJ. Genetic selection as alternative to tail docking in Hampshire Down and Clun Forest. *World Congress on Genetic Applied to Livestock Production*. 9. Leipzig 2010; 1–6
- [28] De Haas Y, Veerkamp RF. Selectie op kortere staarten bij Suffolk schapen. Rapport van ASG. Animal Science Group of Wageningen. 2004
- [29] Buckingham KJ, Mcmillin MJ, Brassil MM et al. Multiple mutant T alleles cause haploinsufficiency of brachyury and short tails in Manx cats. *Mamm Genome* 2013; 24: 400–408. Doi: 10.1007/s00335-013-9471-1
- [30] Kispert A, Herrmann BG. Immunohistochemical analysis of the brachyury protein in wild-type and mutant mouse embryos. *Dev Biol* 1994; 161: 179–193. doi: 10.1006/dbio.1994.1019
- [31] Herrmann BG, Labeit S, Poustka A. Cloning of the T gene required in mesoderm formation in the mouse. *Nature* 1990; 343: 617–622. doi: 10.1038/343617a0
- [32] Kromik A, Ulrich R, Kusenda M et al. The mammalian cervical vertebrae blueprint depends on the T (brachyury) gene. *Genetics* 2015; 199: 873–883. doi: 10.1534/genetics.114.169680
- [33] DeForest ME, Basur PK. Malformations and the Manx syndrome in cats. *Can Vet J* 1979; 20: 304–314
- [34] Hytönen MK, Grall A, Hédan B et al. Ancestral T-box mutation is present in many, but not all, short-tailed dog breeds. *J Hered* 2009; 100: 236–240. doi: 10.1093/jhered/esn085
- [35] Willam A, Simianer H. Tierzucht: Züchterische Grundlagen. 2. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer 2017; 186, 284–285
- [36] König S, Simianer H. Genomische Selektion – Grundlagen und Perspektiven in der Michrinderzucht. *Züchtungskunde*. Stuttgart: Eugen Ulmer 2007; 80: 50–60
- [37] Wall R. Ovine cutaneous myiasis: effects on production and control. *Vet Parasitol* 2012; 189: 44–51. doi: 10.1016/j.vetpar.2012.03.031
- [38] Wieler L, Lübke-Becker A. Clostridiosen. Bostedt H, Ganter M, Hiepe T, Hrsg. Klinik der Schaf- und Ziegenkrankheiten. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme 2018: 320–321
- [39] Eck KS. Untersuchung der natürlichen Schwanzlängenvariation beim Merinolandschaf als mögliche Zuchtalternative zur tierschutzrelevanten Praktik des Schwanzkupierens [Dissertation]. München: Ludwig-Maximilian-Universität München; 2020
- [40] French NP, Wall R, Morgan KL. Lamb tail docking: a controlled field study of the effects of tail amputation on health and productivity. *Vet Rec* 1994; 134: 463–467. Doi: 10.1136/vr.134.18.463
- [41] Scobie DR, O’Connell D, Morris CA et al. A preliminary genetic analysis of breech and tail traits with the aim of improving the welfare of sheep. *Aust J Agric Res* 2007; 58: 161–167
- [42] Korn SV. Nicht-kurative Eingriffe bei Schafen und Ziegen. *Züchtungskunde* 2016; 88: 445–455

- [43] Scobie DR, Bray AR, O'Connell D. A breeding goal to improve the welfare of sheep. *Animal Welfare* 1999; 8: 391–406
- [44] Hannemann R, Bauer B, Ganter M et al. Schmerzhaftige Eingriffe beim Schaf – Schwanzkupieren. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 2017; 45: 302–311. doi: 10.15653/TPG-170354
- [45] Germershausen CF. Das Ganze der Schafzucht. Erster Teil. Leipzig: Hinrichs; 1789
- [46] Europaratsempfehlungen für das Halten von Schafen, Artikel 30 „Veränderungen des Phäno- und/oder Genotyps“ Absatz 1–3, angenommen vom Ständigen Ausschuss am 6. November 1992. Im Internet: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Tierschutz/Gutachten-Leitlinien/eu-haltung-schafen.pdf?__blob=publicationFile&v=2; Stand: 02.12.2021
- [47] Durchführungsverordnung Artikel 18 „Umgang mit Tieren“ Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008. Im Internet: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Biologischer-Landbau/889-2008-eg-durchfuehrungsbestimmungen.pdf?__blob=publicationFile&v=2; Stand: 02.12.2021
- [48] Ganter M, Benesch C, Bürstel D et al. Empfehlung für die Haltung von Schafen und Ziegen der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) Fachgruppe Krankheiten kleiner Wiederkäuer. Teil 1 und 2. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 2012; 40: 314–325, 390–396
- [49] THVO Anlage 3 Absatz 2.11 Satz 1: 1. Tierhaltungsverordnung in der Fassung vom 16.11.2021. Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über die Mindestanforderungen für die Haltung von Pferden und Pferdeartigen, Schweinen, Rindern, Schafen, Ziegen, Schalenwild, Lamas, Kaninchen, Hausgeflügel, Straußen und Nutzfischen. Im Internet: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20003820>; Stand: 02.12.2021
- [50] TSchV Art. 15 Abs. 1 und 2 Satz a: Tierschutzverordnung vom 23. April 2008. Der Schweizerische Bundesrat. Gestützt auf das Tierschutzgesetz vom 16. Dezember 2005 und auf Artikel 19 Absatz 1 des Gentechnikgesetzes vom 21. März 2003. Im Internet: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2008/416/de>; Stand: 02.12.2021
- [51] Chiffard H, Reinhardt M. Schwänze kupieren bei Schafen: historische Entwicklung der Verfahren. Verein für Schäfergeschichte e. V. (2016). Im Internet: <http://www.schaefereigeschichte.de/daten/Kupieren.pdf>; Stand: 02.12.2021
- [52] Ganter M. Schwanzkupieren. Bostedt H, Ganter M, Hiepe T, Hrsg. *Klinik der Schaf- und Ziegenkrankheiten*. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2018: 682
- [53] Grant C. Behavioural responses of lambs to common painful husbandry procedures. *Appl Anim Behav Sci* 2004; 87: 255–273. doi: 10.1016/j.applanim.2004.01.011
- [54] Pollard JC, Roos V, Littlejohn RP. Effects of an oral dose of acetyl salicylate at tail docking on the behaviour of lambs aged three to six weeks. *Appl Anim Behav Sci* 2001; 71: 29–42
- [55] Sutherland MA, Tucker CB. The long and short of it: A review of tail docking in farm animals, *Appl Anim Behav Sci* 2011; 135: 179–191
- [56] Lloyd J, Kessell A, Barchia I et al. Docked tail length is a risk factor for bacterial arthritis in lambs, *Small Rumin Res* 2016; 144: 17–22
- [57] Phillips C. A review of mulesing and other methods to control flystrike (cutaneous myiasis) in sheep. *Animal Welfare* 2009; 18: 113–121
- [58] Lee C, Fisher AD. Welfare consequences of mulesing of sheep, *Aust Vet J* 2007; 85: 89–93. doi: 10.1111/j.1751-0813.2007.00114.x
- [59] Watts JE, Luff RL. The importance of the radical mules operation and tail length for the control of breech strike in scouring Merino sheep. *Aust Vet J* 1978; 54: 356–357. doi: 10.1111/j.1751-0813.1978.tb02493.x
- [60] Thomas DL, Waldron DF, Lowe GD et al. Length of docked tail and the incidence of rectal prolapse in lambs. *J Anim Sci* 2003; 81: 2725–2732. doi: 10.2527/2003.81112725x
- [61] Modell- und Demonstrationsvorhaben (MuD) Tierschutz. Die Haltung von unkopierten Schafen, Broschüre, initiiert und gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. umgesetzt durch den Projektträger Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung; 2021

3 Material/Methode

3.1 Publikation 2

Phänotypisierung des Schafschwanzes – Darstellung von Methoden zur Charakterisierung im Rahmen der Zucht auf Kurzschwanzigkeit

Hannah Hümmelchen, Sabine Wenisch, Kerstin Brügemann, Sven König, Henrik Wagner

eingereicht: 09.12.2022

akzeptiert: 27.12.2022

Bibliografie

DOI <http://doi.org/10.1055/a-2007-1483>

Tierärztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 2022; 50: 187-194

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart

ISSN 1434-1220

Beschreibung des Eigenanteils:

Studienplanung: H. Wagner, S. König

Studiendurchführung: H. Hümmelchen, K. Brügemann

Manuskripterstellung: H. Hümmelchen

Revision des Manuskriptes: H. Hümmelchen, H. Wagner, S. König, S. Wenisch

Phänotypisierung des Schafschwanzes – Darstellung von Methoden zur Charakterisierung im Rahmen der Zucht auf Kurzschwänzigkeit

Phenotyping the sheep tail – Presentation of characterization methods in the context of breeding for short-tailedness

Autorinnen/Autoren

Hannah Hümmelchen¹, Sabine Wenisch², Kerstin Brügemann³, Sven König³, Henrik Wagner¹

Institute

- 1 Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen
- 2 Institut für Veterinär-Anatomie, -Histologie und -Embryologie, Justus-Liebig-Universität, Gießen
- 3 Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Justus-Liebig-Universität, Gießen

Schlüsselwörter

Schwanzmorphologie, radiologische Untersuchung, Grauwertanalyse, Perfusionsgeschwindigkeitsmessung

Key words

Tail morphology, radiographic examination, Gray value analysis, Perfusion velocity measurement

eingereicht 09.12.2022

akzeptiert 27.12.2022

Bibliografie

Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 2023; 51: 6–14

DOI 10.1055/a-2007-1483

ISSN 1434-1220

© 2023, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Hannah Hümmelchen
Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der
Groß- und Kleintiere
Frankfurter Str. 106
35392 Gießen
Deutschland
Hannah.Huemmelchen@vetmed.uni-giessen.de

ZUSAMMENFASSUNG

Gegenstand und Ziel Um eine gezielte Zucht auf Kurzschwänzigkeit zu etablieren, müssen initial geeignete Verfahren ge-

funden werden, welche eine Phänotypisierung des Schafschwanzes über die Schwanzlänge hinaus ermöglichen. In dieser Studie wurden neben der Messung von Körpermaßen erstmals weiterführende Untersuchungen wie die Ultrasonografie und die Radiologie an der kaudalen Wirbelsäule von Schafen durchgeführt. Ziel dieser Arbeit war es, die physiologische Variation der Schwanzlängen und -wirbel innerhalb einer Merinolandschafpopulation zu analysieren. Außerdem sollte der Einsatz der sonografischen Grauwertanalyse und Perfusionsmessung am Schafschwanz validiert werden.

Material und Methode Bei 256 Merinolandschafklämmern wurden am ersten oder zweiten Lebenstag die Schwanzlänge und der Schwanzumfang in Zentimetern gemessen. Im Alter von 14 Wochen wurde die kaudale Wirbelsäule dieser Tiere röntgenologisch untersucht. Bei einem Teil der Tiere wurde außerdem eine sonografische Graustufenanalyse und die Messung der Perfusionsgeschwindigkeit der Arteria caudalis mediana durchgeführt.

Ergebnisse Die getestete Messmethode zeigte einen Standardfehler von 0,08 cm und einen Variationskoeffizienten von 0,23 % für die Schwanzlänge bzw. 0,78 % für den Schwanzumfang. Die Tiere wiesen eine mittlere Schwanzlänge von $22,5 \pm 2,32$ cm und einen mittleren Schwanzumfang von $6,53 \pm 0,49$ cm auf. Die mittlere Schwanzwirbelanzahl dieser Population betrug $20,4 \pm 1,6$. Der Einsatz einer mobilen Röntgenanlage eignet sich sehr gut dazu, die kaudale Wirbelsäule bei Schafen darzustellen. Es konnte gezeigt werden, dass die Arteria caudalis mediana sich für die Messung der Perfusionsgeschwindigkeit (cm/s) darstellen lässt und auch die sonografische Graustufenanalyse eine gute Durchführbarkeit aufwies. Der mittlere Grauwert beträgt $19,74 \pm 4,5$ und der Modalwert für die meist aufgefundenen Grauwertpixel $191,53 \pm 120,2$. Die mittlere Perfusionsgeschwindigkeit für die Arteria caudalis mediana beträgt $5,83 \pm 3,04$ cm/s.

Schlussfolgerung Die Ergebnisse zeigen, dass die getesteten Methoden gut für die Charakterisierung des Schafschwanzes geeignet sind. Zum ersten Mal konnten Grauwerte für das Schwanzgewebe und die Perfusionsgeschwindigkeit der Arteria caudalis mediana ermittelt werden.

ABSTRACT

Objective In order to establish targeted breeding for short-tailedness, a suitable method must initially be found that allows phenotyping of the sheep tail beyond tail length. In this study, in addition to assessing body measurements, more advanced studies such as ultrasonography and radiology were performed on the caudal spine of sheep for the first time. The objective of this work was to analyze the physiological variation of tail lengths and vertebrae within a merino sheep population. It also aimed to validate the use of sonographic gray scale analysis and perfusion measurement on the sheep tail.

Material and method Tail length and circumference in centimeters were measured in 256 Merino lambs on the first or second day of life. At 14 weeks of age the caudal spine of these animals was examined radiographically. Sonographic gray scale analysis and measurement of the perfusion velocity of the caudal artery mediana were also performed in a portion of the animals.

Results The tested method of measurement showed a standard error of 0,08 cm and a coefficient of variation of 0,23% for tail length and 0,78% for tail circumference. The animals had a mean tail length of $22,5 \pm 2,32$ cm and a mean tail circumference of $6,53 \pm 0,49$ cm. The mean caudal vertebrae count for this population was $20,4 \pm 1,6$. The use of a mobile radiographic unit is well suited for imaging the caudal spine in sheep. It was demonstrated that the caudal median artery could be imaged for measurement of perfusion velocity (cm/s), and sonographic gray-scale analysis also showed good feasibility. The mean gray scale value is $19,74 \pm 4,5$ and the modal value for the most commonly found gray scale pixels is $191,53 \pm 120,2$. The mean perfusion velocity for the caudal artery mediana is $5,83 \pm 3,04$ cm/s.

Conclusion The results show that the methods presented are well suited for further characterization of the ovine tail. For the first time, gray values for the tail tissue and the perfusion velocity of the caudal artery mediana were determined.

Einleitung

Der Verzicht auf das routinemäßige Schwanzkupieren von Schafen ist aufgrund der Vorgaben des deutschen Tierschutzgesetzes notwendig [1]. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass das Kupieren der Schwänze mit Gummiringen von Lämmern mit Schmerzen einhergeht, welche es zu vermeiden gilt [2, 3]. Die Haltung unkupierter Schafe stellt den Tierhalter vor größere Herausforderungen in Bezug auf die Tierbeobachtung und das Gesundheitsmanagement. Im Vordergrund steht dabei die stärkere Verschmutzung des Anogenitalbereiches, welche insbesondere für den Deckakt, die Ablammung, Schlachtung und Schur ein hygienisches Problem darstellt [4, 5]. Auch ein erhöhtes Risiko eines Fliegenmadenbefalles in Zusammenhang mit langer, feuchter Wolle im Anogenitalbereich und Durchfallerkrankungen ist einer der Gründe, warum das Kupieren der Schwänze beim Schaf national und international noch weit verbreitet ist [4, 6].

Eine Möglichkeit, in Zukunft auf das Schwanzkupieren zu verzichten, ist die Zucht auf Kurzschwänzigkeit [4, 7]. Dazu ist eine exakte Erfassung der Schwanzlänge bzw. der Charakteristika des Schwanzes notwendig.

Die Herdbuchdatenbank OviCap der Vereinigung Deutscher Landes-Schafzuchtverbände e.V. (VDL) und des Bundesverbands Deutscher Ziegenzüchter e.V. (BDZ) bietet eine Möglichkeit die optisch erfasste Schwanzlänge in Beziehung zum Sprunggelenk zu dokumentieren. Dabei wird die Schwanzlänge in über dem Sprunggelenk endend (kurz), auf Höhe des Sprunggelenks endend (mittel) und unterhalb des Sprunggelenks endend (lang) eingeteilt (► **Abb. 1**). Genauere Methoden zur Phänotypisierung wären demnach wünschenswert.

Bisher wurden verschiedene Methoden zur Erfassung der Schwanzlänge beim Schaf in Zentimetern sowie die Verwendung von verschiedenen Korrekturfaktoren für die individuelle Körpergröße beschrieben [7–10]. Zur Beurteilung der Vorteile einer Selektion auf verkürzte Schwänze ist es jedoch notwendig, nicht nur die phänotypische Schwanzlänge isoliert zu betrachten, sondern die Morphologie des Schwanzes umfassend zu evaluieren. Dabei gilt es zu

vermeiden, dass mit der Zucht auf Kurzschwänzigkeit Schmerzen, Leiden und Schäden bei den betroffenen Tieren durch assoziierte Veränderungen wie z. B. Wirbelmissbildungen oder Minderdurchblutung im Schwanzbereich entstehen. Eine auf diese Intention ausgerichtete Phänotypisierung ist bisher noch nicht erfolgt.

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass das T-Gen hauptverantwortlich für die Ausprägung der Schwanzlänge ist, aber auch einen Einfluss auf das Vorkommen von Wirbeldeformationen u. a. bei Katzen und Kühen hat [11–13].

In dieser Veröffentlichung sollen Methoden vorgestellt werden, mit denen die Schwänze von Lämmern objektiv morphologisch charakterisiert werden können. Dazu soll die metrische Messung, die radiologische und die ultrasonografische Darstellung evaluiert werden.

Material und Methode

Tiere und Datenerhebung

Zur Erfassung der phänotypischen Veränderung der Schwanzlänge wurden verschiedene Körpermaße in einer Merinolandschafgruppe des Lehr- und Forschungsgutes Oberer Hardthof der Justus-Liebig-Universität Gießen nach der Geburt erhoben. Im Alter von 14 Wochen wurden ultrasonografische sowie röntgenologische Untersuchungen der Schwanzwirbelsäule durchgeführt. Die Untersuchungen wurden von der zuständigen Tierschutz-Kommission genehmigt (V 54–19c 20 15 h 01 GI 18/14 Nr. G 44/2021).

Die untersuchten Lämmer entstammten einer gezielten Anpaarung entsprechend der dokumentierten Schwanzlänge der Elterntiere mittels Sprung aus der Hand.

Von 256 Lämmern, die zwischen dem 17.01.2022 und 23.02.2022 geboren wurden, erfolgte spätestens am 2. Lebenstag die Vermessung des Schwanzes.

Die Lämmer befanden sich bis zu einem Alter von 4 Tagen in Einzelbuchten gemeinsam mit den dazugehörigen Muttertieren und anschließend in Kleingruppen. Ab der 2. Lebenswoche wurden die



► **Abb. 1** Einteilung der Schafe mit unterschiedlichen Schwanzlängen nach OviCap-Schema. **a** kurz = Schwanzende oberhalb Sprunggelenk, **b** mittel = Schwanzende Höhe Sprunggelenk, **c** lang = Schwanzende unterhalb Sprunggelenk. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

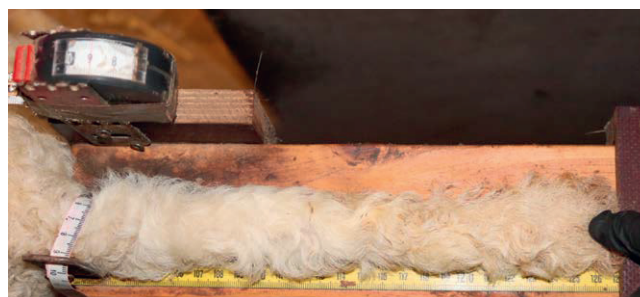
► **Fig. 1** Classification of sheep with different tail lengths according to OviCap scheme. **a** short = tail end above hock joint, **b** medium = tail end height of hock joint, **c** long = tail end below hock joint. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.

Lämmer mit Heu aus eigener Produktion und Kraftfutter der Firma Raiffeisen zugefüttert. Mit der 10. Lebenswoche wurden die Lämmer von ihren Muttertieren abgesetzt.

Die erhobenen Messwerte am Schwanz der Lämmer umfassen die Schwanzlänge ($n = 249$) und den Schwanzumfang ($n = 256$) in Zentimetern. Weiterhin wurden Achsenabweichungen und Verletzungen im Schwanzbereich erfasst. Die Differenz zwischen der Anzahl erfasster Schwanzlängen und -umfänge ist darauf zurückzuführen, dass 7 Lämmer aufgrund von Schwanzverletzungen kurz nach der Geburt kupiert werden mussten.

Mithilfe eines tragbaren Röntgengerätes wurde die Schwanzwirbelsäule von 216 Lämmern im Alter von 14 Wochen röntgenologisch untersucht. Bei 24 Tieren wurde die Perfusionsgeschwindigkeit der Arteria caudalis mediana ermittelt und bei 29 Tieren eine Graustufenanalyse im ventralen Schwanzbereich durchgeführt.

Die Schwanzlänge wurde mithilfe eines auf einer Holzplatte festgeklebten Maßbandes und einem darauf verschiebbaren Holzschieber gemessen. Dazu wurde das Lamm in einer stehenden Position vor das Holzbrett gehalten und der Schwanz auf die Konstruktion aufgelegt (► **Abb. 2**). Mithilfe des Schiebers konnte die Schwanzlänge vom Anus bis zur Schwanzspitze exakt ausgemessen werden.



► **Abb. 2** Messvorrichtung zur Messung der Schwanzlänge und des Schwanzumfangs in Zentimetern bei Lämmern. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

► **Fig. 2** Measuring device for the assessment of the tail length and the tail circumference in centimeters in lambs. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.



► **Abb. 3** Auf der Schwanzunterseite eines Lammes aufgelegte Ultraschall-Linearsonde mit dem Sondenvorderende nach kranial zeigend. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

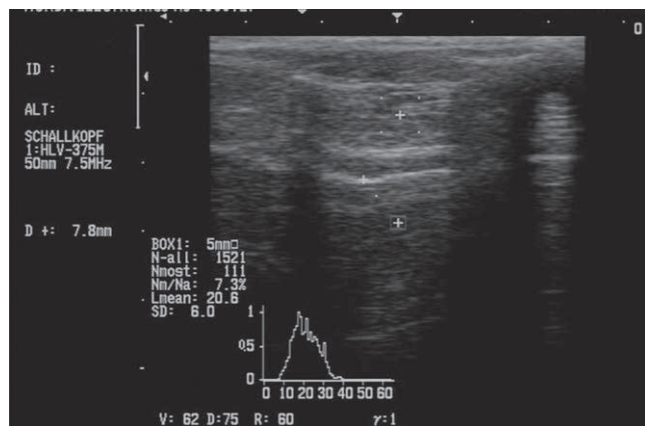
► **Fig. 3** Linear sensor placed on the tail bottom of a lamb with the anterior end of the linear ultrasonic sensor pointing cranially. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.

Die Messung des Schwanzumfangs erfolgte mithilfe eines zu ziehbaren, an derselben Konstruktion befestigten Maßbandes, durch welches der Schwanz gelegt wurde. Gemessen wurde der Schwanzumfang am kranialsten Bereich, kurz vor dem Übergang in das Becken. Von 2 Tieren wurden Wiederholungsmessungen durchgeführt. Dazu wurden die Schwänze der beiden Lämmer am selben Tag 10-mal im Abstand von 5 Minuten ausgemessen. Um eine exakte Wiederholbarkeit gewährleisten zu können, wurden alle Messungen von der gleichen Person durchgeführt.

Die Aufbereitung der Daten und Erstellung von Mittelwerttabellen und Häufigkeitsverteilungen erfolgte mithilfe des Statistikprogrammes SAS OnDemand for Academics (SAS, 2022).

Röntgenologische Untersuchung

Zur Zählung der Schwanzwirbel wurde der Schwanz- und Beckenbereich von 216 Lämmern im Alter von 14 Wochen röntgenologisch untersucht. Dazu wurden die Lämmer in eine auf dem Rücken liegende Position verbracht und von einer Hilfsperson gehalten.



► **Abb. 4** B-Mode-Standbild der Schwanzunterseite eines 14-Wochen alten Lammes mit einem definierten ROI. Das dazugehörige Histogramm und die Ergebnisse der Graustufenanalyse sind in der unteren Bildhälfte eingeblendet. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

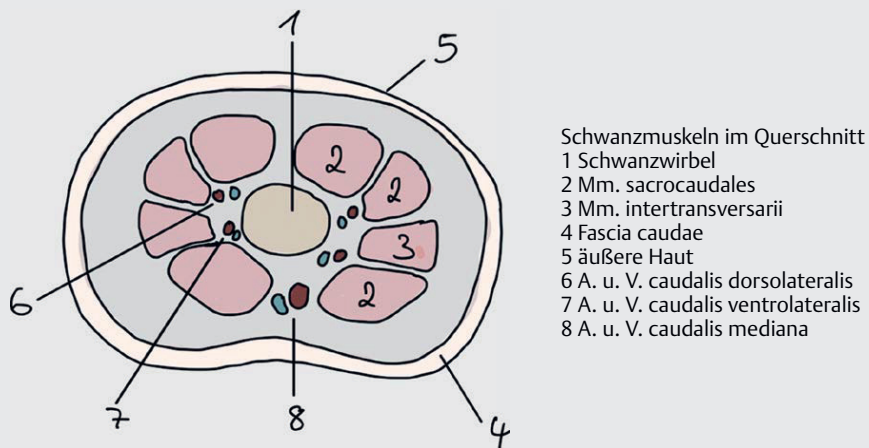
► **Fig. 4** B-mode freeze frame of the tail bottom of a 14-week-old lamb with a defined ROI. The corresponding histogram and the results of the grayscale analysis are shown in the lower half of the image. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.

Mit dem mobilen Röntgengerät Physia GAMMA Light AD 100 | 20 konnten die dorsoventralen Röntgenaufnahmen vor Ort im Stall aufgenommen werden. Da die Schwanzlänge bei manchen Tieren die Detektorplattengröße überstieg, mussten zum Teil 2 Aufnahmen pro Tier angefertigt werden. Um die Überlappung beider Aufnahmen zu kennzeichnen, wurde ein röntgendichter Metalldraht am Schwanz befestigt. Zur Darstellung der Wirbel wurde eine Einstellung von 40 kV und 2,5 mAs angewandt.

Quantitative Graustufenanalyse

Die Graustufenanalyse des Schwanzes von insgesamt 29 Lämmern ist mithilfe des Honda HS-1500 Ultraschallgerätes (Honda Electronics Co., Ltd., Toyohashi Aichi Prefecture, Tokio, 441-3193 Japan) unter Verwendung einer Linearsonde (HLV-375M) mit einer Frequenz von 7,5 MHz durchgeführt worden. Als Kontaktmittel für eine bessere Ankopplung an die Haut sowie zur Schonung der Ultraschallsonde wurde ein Ultraschallgel (CV-Sonic, C + V Pharma-Depot GmbH) verwendet.

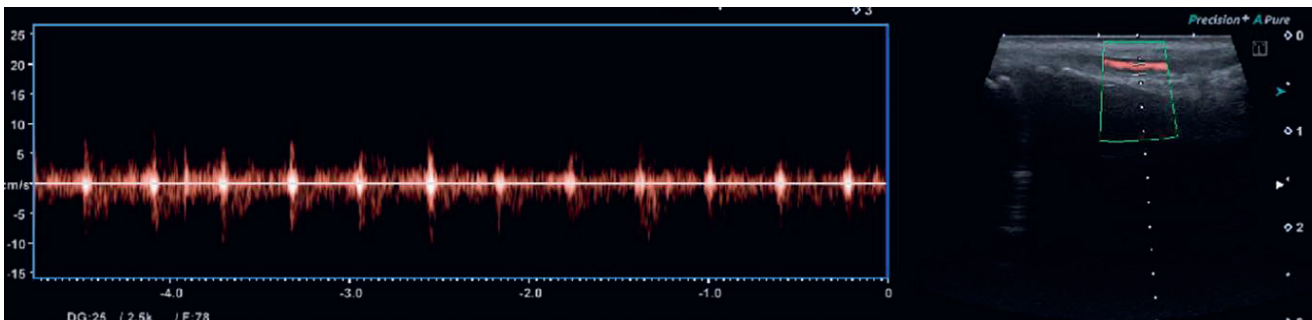
Die Linearsonde wurde in Längsrichtung auf die Schwanzunterseite im unbewollten kranialen Abschnitt mit dem Sondenvorderende nach kranial zeigend aufgelegt (► **Abb. 3**). Dadurch konnte ein B-Mode-Standbild der Schwanzstrukturen erfasst werden. Innerhalb dieses Standbildes wurde eine Region of Interest (ROI) als quadratische Messbox von 5 mm festgelegt und direkt nach der Aufzeichnung vom Ultraschallgerät berechnet. Das Gerät errechnet für die Grundfläche der Boxen eine Grauwertverteilung in Form eines Histogramms. Außerdem werden der Mittelwert dieser Verteilung (Lmean), die Standardabweichung (SD), der Modalwert für die meist aufgefundenen Grauwertpixel (Nmost) und ein Quotient aus Nmost und einem vom Gerät festgesetzten Maximalwert an Grauwertpixeln (Nall) errechnet und auf dem Standbild eingeblendet (► **Abb. 4**).



Schwanzmuskeln im Querschnitt
 1 Schwanzwirbel
 2 Mm. sacrocaudales
 3 Mm. intertransversarii
 4 Fascia caudae
 5 äußere Haut
 6 A. u. V. caudalis dorsolateralis
 7 A. u. V. caudalis ventrolateralis
 8 A. u. V. caudalis mediana

► **Abb. 5** Darstellung der Strukturen im Schwanzbereich im Querschnitt. Quelle: Hannah Hümmelchen.

► **Fig. 5** Illustration of the structures in the tail region in cross-section. Source: Hannah Huemmelchen.



► **Abb. 6** Darstellung der Perfusionsgeschwindigkeit der Arteria caudalis mediana eines 14-Wochen alten Lammes mithilfe des Ultrasonografiegerätes Canon Aplio a-Serie. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

► **Fig. 6** Illustration of the perfusion velocity of the Arteria caudalis mediana of a 14-week-old lamb using the ultrasonography device Canon Aplio a-Serie. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.

Perfusionsgeschwindigkeit

Um die arterielle Versorgung des Schwanzes zu analysieren, wurde die Perfusionsgeschwindigkeit mittels Ultrasonografie der Arteria caudalis mediana, welche in ► **Abb. 5** dargestellt ist, in Zentimeter pro Sekunde (cm/s) am stehenden Lamm gemessen.

Mit einer 22 MHz Hockysticksonde (i22LH8) des stationären Ultrasonografiegerätes Canon Aplio a-Serie und einer speziellen Funktion zur mikrovaskulären Bildgebung (Superb Microvascular Imaging, SMI) konnte die Arteria caudalis mediana bei allen untersuchten Tieren dargestellt und die Perfusionsgeschwindigkeit von dem Gerät selbst ausgemessen werden (► **Abb. 6**). Dazu wurde die Sonde auf die Schwanzunterseite im unbewollten kranialen Abschnitt angelegt. Als Kontaktmittel für eine bessere Ankopplung an die Haut sowie zur Schonung der Ultraschallsonde wurde ein Ultraschallgel (CV-Sonic, C + V Pharma-Depot GmbH) verwendet.

Ergebnisse

Messungen

Die Wiederholungsmessungen der Schwanzlänge und des Schwanzumfanges wiesen eine Standardabweichung von 0,08 cm und einen Variationskoeffizienten von 0,23 % für die Schwanzlänge bzw. 0,78 % für den Schwanzumfang auf. Die Messwerte für alle Tiere sind der ► **Tab. 1** zu entnehmen. Die Schwanzlänge betrug $22,5 \pm 2,32$ cm und der Schwanzumfang $6,53 \pm 0,49$ cm. Die Verteilung der Schwanzlängen ist in ► **Abb. 7** und die des Schwanzumfanges in ► **Abb. 8** dargestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die vorgestellte Methode sehr gut dazu geeignet ist, unter Feldbedingungen die Schwanzlänge und den Schwanzumfang metrisch zu erfassen.

Röntgenologische Untersuchung

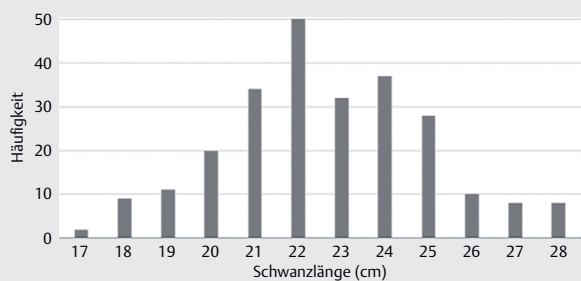
Die mittlere Schwanzwirbelanzahl beträgt $20,4 \pm 1,6$. Die Häufigkeit der Wirbelanzahl ist in ► **Abb. 9** dargestellt.

► **Tab. 1** Ergebnisse der Messungen von 249 Lämmerschwänzen der Rasse Merinolandschaf.

► **Table 1** Results of measurements of 249 lambs' tails of merino sheep.

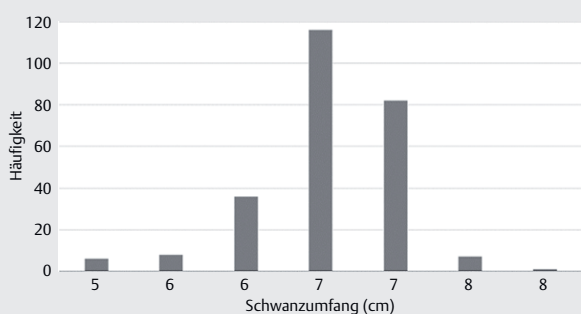
	Tierzahl	Mittelwert (\bar{x})	Standardabweichung	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Range
SL	249	22,55	2,32	17,0	28,2	11,2
SU	256	6,53	0,49	3,4	7,9	4,5

SL = Schwanzlänge, SU = Schwanzumfang;
SL = tail length, SU = tail circumference.



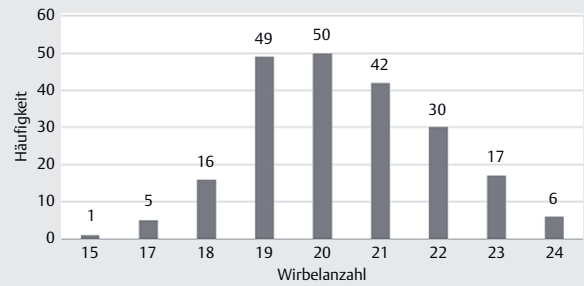
► **Abb. 7** Absolute Häufigkeit der Schwanzlängen (cm) von 249 Merinolandschaf-Lämmern. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

► **Fig. 7** Frequency of tail lengths (cm) of 249 merino lambs. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.



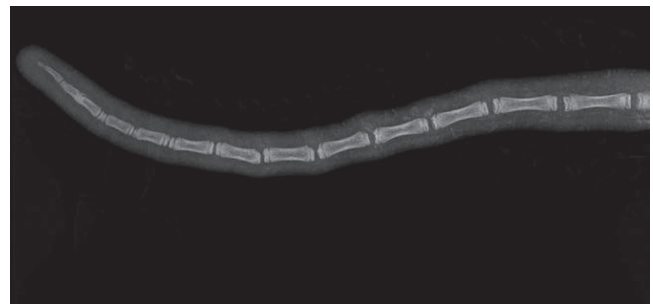
► **Abb. 8** Häufigkeit der Schwanzumfänge (cm) von 256 Merinolandschaf-Lämmern. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

► **Fig. 8** Frequency of tail circumferences (cm) of 256 merino lambs. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.



► **Abb. 9** Häufigkeit der Wirbelanzahl der 216 röntgenologisch untersuchten Merinolandschaf-Lämmer. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

► **Fig. 9** Frequency of the vertebrae number of 216 merino lambs examined radiographically. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen.



► **Abb. 10** Ausschnitt einer Röntgenaufnahme der Schwanzwirbelsäule eines Lammes. Quelle: Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

► **Fig. 10** Section of an x-ray of the caudal spine of a lamb. Source: Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die verwendete ambulante Röntgenanlage sehr gut dazu geeignet ist, die Anzahl der Schwanzwirbel zu bestimmen (► **Abb. 10**).

Quantitative Graustufenanalyse und Messung der Perfusionsgeschwindigkeit

Der mittlere Grauwert beträgt $19,74 \pm 4,5$, der Modalwert für die meist aufgefundenen Grauwertpixel (Nmost) beträgt $191,53 \pm 120,2$ und der Quotient aus Nmost und Nall beträgt $8,87 \pm 1,8$ (► **Tab. 2**).

Die mittlere Perfusionsgeschwindigkeit für die Arteria caudalis mediana beträgt $5,83 \pm 3,04$ cm/s (► **Tab. 3**).

Mit Hilfe der Graustufenanalyse lassen sich Gewebecharakteristika objektiv erfassen, die der subjektiven Beurteilung im B-Mode überlegen sind. Zudem lässt sich die Arteria caudalis mediana für die Perfusionsmessung gut darstellen.

► **Tab. 2** Werte der Graustufenanalyse der Schwanzunterseite von 28 Lämmern.► **Table 2** Grayscale analysis of the tail bottom of 28 lambs.

	Mittelwert (\bar{x})	Standardabweichung	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Range
Grauwert lmean	19,74	4,5	8,6	25,9	17,3
Nmost	191,53	120,2	92,0	492,0	400
Nm/Na (%)	8,87	1,8	6,0	13,6	7,6

► **Tab. 3** Ergebnisse der Perfusionsgeschwindigkeitsmessung der Arteria caudalis mediana in cm/s bei 24 Merinolandschafälammern im Alter von 14 Wochen.► **Table 3** Results of perfusion velocity measurement of the caudal median artery in cm/s of 24 merino lambs at the age of 14 weeks.

	Mittelwert (\bar{x})	Standardabweichung	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Range
Perfusionsgeschwindigkeit cm/s	5,83	3,04	2	15	13

Diskussion

Die Zucht auf Kurzschwanzigkeit beim Schaf erfordert eine exakte Phänotypisierung des Schafschwanzes, um zu verhindern, dass bei einer alleinigen Erfassung der Schwanzlänge das Auftreten von Missbildungen begünstigt wird. Aus diesem Grund wurden in der vorgestellten Untersuchung verschiedene Methoden zur Phänotypisierung des Schwanzes an Merinolandschafälammern validiert. Neben der Messung in Zentimetern konnten erstmals ultrasonografische und röntgenologische Untersuchungen durchgeführt werden.

Andere Studien befassten sich bisher ausschließlich mit der metrischen Erfassung der Schwanzlänge und der Korrektur dieser auf die Körpergröße [7–10]. Dazu wurden in der Regel tragbare Holzbretter mit einer seitlichen Scala verwendet. Die in dieser Studie verwendete Konstruktion ermöglicht eine vereinfachte Messung aller untersuchten Parameter, da die Messeinrichtung selbst nicht festgehalten werden muss. So konnten eine hohe Reliabilität der Messungen gewährleistet werden. Um Messfehler zu vermeiden ist es wichtig, dass das Lamm während der Messung ruhig hält und sich in einer aufrechten Position befindet.

Eck [7, 10] überprüfte ebenfalls die Wiederholbarkeit der Messungen und kam zu dem Ergebnis, dass eine hohe Reliabilität bei der Schwanzlängenmessung mit einem Standardfehler von 0,21 cm und einen Varianzkoeffizienten von 0,72 % vorlag. Die Werte sind schlechter als die mit der hier publizierten Methode analysierten. Der Umfang des Schwanzes wurde nicht erfasst.

Die digitale sonografische Graustufenanalyse ist ein Verfahren zur objektiven Darstellung von Geweben und wird unter anderem in der veterinärmedizinischen Reproduktionsmedizin für diagnostische Zwecke eingesetzt. So liegen Untersuchungen zum Einsatz der Graustufenanalyse bei verschiedenen reproduktionsmedizinischen Fragestellungen vor. Beispielsweise finden sich Studien am porcinen Nebenhoden sowie an der Gebärmutter von Sauen [15, 16]. Auch in anderen Bereichen der Veterinärmedizin, wie zum

Beispiel bei der Darstellung von Gewebeeränderungen im Darm von Hunden, wird die Graustufenanalyse angewandt [17].

Die Graustufenanalyse ermöglicht eine objektive Darstellung und Bewertung der Echogenität von Gewebeeränderungen [18] und beruht auf der Annahme, dass Gewebe eine homogene Verteilung innerhalb einer Inhomogenität aufweisen, welche zu gewebespezifischen und messbaren akustischen Signalen führt [19]. Die unterschiedlichen Signale des Gewebes werden in Abhängigkeit zur Intensität in Grauwerten dargestellt, welche im B-Mode von weiß bei höchster Intensität bis schwarz bei fehlendem Signal wiedergegeben werden. Der Schallkopf empfängt diese Echosignale, welche er zuerst in ein elektrisches und anschließend in ein numerisches Signal transferiert. Jedes numerische Signal entspricht einem Grauwert und liefert Informationen über die Grundhelligkeit der Pixel des Ultraschallbildes. Jeder Grauwert eines Pixels wird im Computer in Form von einem Byte gespeichert, welches wiederum aus 8 Bit besteht. Ein Bit kann als numerisches binäres System die Information 0 oder 1 annehmen. Durch die Speicherung eines Pixels in einem Byte, kann der Computer 256 Grauwerte differenzieren. Der Grauwert eines Gewebes hängt somit von der Intensität der Signale ab, welche dazu führen, dass jedes Pixel einen Grauwert zwischen 0 und 256 annimmt [20]. Aus diesen Informationen können wiederum Rückschlüsse auf die Gewebetextur gezogen werden. Um dies zu gewährleisten, können moderne Ultraschallgeräte mehrere hundert Grauwerte unterscheiden. Im Gegensatz dazu steht die subjektive Einschätzung echogener Strukturen durch das menschliche Auge, welches durch seine eingeschränkte Leistungsfähigkeit nur etwa 20 bis 25 verschiedene Grauwerte differenzieren kann [21, 22]. Dies zeigt, dass die Graustufenanalyse eine detailliertere Beurteilung von Geweben erlaubt und somit die Aussagesicherheit deutlich erhöht [19]. Um eine objektive und vergleichbare Beurteilung von Geweben durchführen zu können, ist die Anwendung der Graustufenanalyse daher sinnvoll und notwendig.

In der vorgestellten Untersuchung konnten Gewebecharakteristika aller untersuchten Lämmer mit Hilfe der Graustufenanalyse objektiv erfasst werden. Bisher liegen noch keine Angaben zum Grauwert des Schwanzgewebes von Schafen vor. Somit können die dargestellten Werte als vorläufige Vergleichswerte für zukünftige Untersuchungen gelten, die jedoch an größeren Tierzahlen evaluiert werden müssen.

Die Messung der Perfusionsgeschwindigkeit wurde mithilfe eines Verfahrens zur mikrovaskulären Bildgebung (Superb Microvascular Imaging) durchgeführt. Superb Microvascular Imaging (SMI) ist ein neues Verfahren zur Gefäßdarstellung, welches im Gegensatz zur Farbdoppler-Sonografie die Visualisierung von niedrigen Geschwindigkeiten und mikrovaskulärem Fluss ermöglicht [23, 24]. In der Humanmedizin wird dieses Verfahren unter anderem in der Onkologie zur Beurteilung von neoplastischen Brust- und Leberläsionen angewandt [23, 25]. Veröffentlichungen über den Einsatz der SMI in der Veterinärmedizin liegen bisher nicht vor.

In der vorgestellten Untersuchung konnte die Arteria caudalis mediana bei allen 24 Lämmern gut dargestellt werden. Da das Gefäß einen geringen Durchmesser aufweist, ist es wichtig, dass die Lämmer sich in einer ruhigen Position für die Messung befinden. Nur so kann eine aussagekräftige Messung der Perfusionsgeschwindigkeit erzielt werden.

Eine ähnliche röntgenologische Untersuchung wie die hier vorgestellte, wurde am Schwanzbereich von Hunden durchgeführt [26]. Bisher fehlen in der Literatur systematische Untersuchungen zur radiologischen Darstellung der Schwanzstrukturen von Schafen.

Durch die mobile Röntgenanlage konnten die Röntgenaufnahme der Lämmer schnell und ohne großen Aufwand durchgeführt werden. Da bei einigen Lämmern die Schwanzlänge die Größe der Detektorplatte überstieg, wurden 2 Aufnahmen angefertigt und der sich überschneidende Schwanzabschnitt mit einem Metalldraht markiert. Diese Methode eignet sich sehr gut, um die Bildausschnitte bei der Auswertung zuordnen zu können.

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Die Zucht auf Kurzschwänzigkeit stellt die einzig sinnvolle Alternative zur zootechnischen Maßnahme der Amputation von kaudalen Schwanzwirbeln beim Schaf dar. Jedoch gilt es bei dieser gezielten Zucht auf Kurzschwänzigkeit die Entstehung von Anomalien in der Schwanz- und Beckenwirbelsäule zu vermeiden.

Im Vergleich zu in der Literatur beschriebenen Methoden zur Erfassung von Körpermaßen scheint die Verwendung der hier vorgestellten Messkonstruktion einen Vorteil in Hinblick auf die Praxistauglichkeit und die Verringerung von Messfehlern zu haben. Es konnte außerdem die gute Anwendbarkeit der Ultrasonografie und Radiologie über bereits bekannte Einsatzgebiete hinaus beschrieben werden. Wünschenswert wäre die routinemäßige Ausmessung und Charakterisierung neugeborener Lämmer und eine gezielte Anpaarung der Tiere, welche eine kürzere Schwanzlänge aufweisen. Dies kann einfach an bereits etablierte Maßnahmen nach der Geburt, wie der Gewichtserhebung und dem Setzen von Ohrmarken, angeschlossen werden.

Interessenkonflikt

Die Autoren bestätigen, dass kein Interessenskonflikt besteht.

Literatur

- [1] TierSchG §5 Absatz 3 Satz 4, §6. Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>
- [2] Grant C. Behavioural responses of lambs to common painful husbandry procedures. *Appl Anim Behav Sci* 2004; 87: 255–273. doi:10.1016/j.applanim.2004.01.011
- [3] Kent JE, Molony V, Graham MJ. Comparison of methods for the reduction of acute pain produced by rubber ring castration or tail docking of week-old lambs. *Vet J* 1998; 155: 39–51. doi:10.1016/S1090-0233(98)80033-6
- [4] Hümmelchen H, Wagner H, König S et al. Bedeutung der Schwanzlänge beim Schaf und Zucht auf Kurzschwänzigkeit. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 2022; 50: 187–194. doi:10.1055/a-1851-9402
- [5] Hannemann R, Bauer B, Ganter M et al. Schmerzhaftes Eingriffe beim Schaf – Schwanzkupieren. *Tierarztl Prax Ausg G* 2017; 45: 302–311. doi:10.15653/TPG-170354
- [6] Wall R. Ovine cutaneous myiasis: effects on production and control. *Vet Parasitol* 2012; 189: 44–51. doi:10.1016/j.vetpar.2012.03.031
- [7] Eck KS. Untersuchung der natürlichen Schwanzlängenvariation beim Merinolandschaf als mögliche Zuchtalternative zur tierschutzrelevanten Praktik des Schwanzkupierens [Dissertation]. München: Ludwig-Maximilian-Universität München; 2020
- [8] James PJ, Ponzoni RW, Gare DR, et al. Inheritance of short tailedness in South Australian Merinos. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet*, 1991: 404–407. Im Internet: <http://www.aaabg.org/proceedings/1991/ab91085.pdf>
- [9] Greeff JC, Karlsson LJE, Schlink AC. Inheritance of tail length in Merino sheep. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* 2015; 237–240
- [10] Eck K, Kunz E, Mendel C et al. Morphometric measurements in lambs as a basis for future mapping studies. *Small Rumin Res* 2019; 181: 57–64. doi:10.1016/j.smallrumres.2019.04.007
- [11] Buckingham KJ, McMillin MJ, Brassil MM et al. Multiple mutant T alleles cause haploinsufficiency of Brachyury and short tails in Manx cats. *Mamm Genome* 2013; 24: 400–408. doi:10.1007/s00335-013-9471-1
- [12] Herrmann BG, Labeit S, Poustka A et al. Cloning of the T gene required in mesoderm formation in the mouse. *Nature* 1990; 343: 617–622. doi:10.1038/343617a0
- [13] Kromik A, Ulrich R, Kusenda M et al. The mammalian cervical vertebrae blueprint depends on the T (brachyury) gene. *Genetics* 2015; 199: 873–883. doi:10.1534/genetics.114.169680
- [14] Salomon F-V. Schwanzmuskeln. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. *Anatomie für die Tiermedizin*. 4. Aufl. Georg Thieme Verlag; 2020. doi:10.1055/b-007-168897
- [15] Kauffold J, Kessler M, Richter A et al. B-mode ultrasound and grey-scale analysis of the epididymis in boars, and the relationship to semen parameters. *Reprod Domest Anim* 2011; 46: 108–113. doi:10.1111/j.1439-0531.2010.01602.x
- [16] Kauffold J, von dem Bussche B, Failing K et al. Use of B-mode ultrasound and grey-scale analysis to study uterine echogenicity in the pig. *J Reprod Dev* 2010; 56: 444–448. doi:10.1262/jrd.09-220t
- [17] Gaschen L, Kircher P. Two-dimensional grayscale ultrasound and spectral Doppler waveform evaluation of dogs with chronic enteropathies. *Clin Tech Small Anim Pract* 2007; 22: 122–127. doi:10.1053/j.ctsap.2007.05.006

- [18] Giffin JL, Franks SE, Rodriguez-Sosa JR et al. A study of morphological and haemodynamic determinants of testicular echotexture characteristics in the ram. *Exp Biol Med (Maywood)* 2009; 234: 794–801. doi:10.3181/0812-RM-364
- [19] Gärtner T, Zacharias M, Jenderka KV et al. Geräteunabhängige Ultraschall-Gewebecharakterisierung von Hoden und Prostata. *Radiologe* 1998; 38: 424–433. doi:10.1007/s001170050376
- [20] Oberholzer M, Ostreicher M, Christen H et al. Methods in quantitative image analysis. *Histochem Cell Biol* 1996; 105: 333–355. doi:10.1007/BF01463655
- [21] Lieu D. Ultrasound physics and instrumentation for pathologists. *Arch Pathol Lab Med* 2010; 134: 1541–1556. doi:10.5858/2009-0730-RA.1
- [22] Gebel MJ. Neue Modifikationen und Verfahren der Sonographie und ihre praktische Bedeutung. *Internist (Berl)* 2000; 41: 3–9. doi:10.1007/s001080050001
- [23] Zhan J, Diao X-H, Jin J-M et al. Superb Microvascular Imaging-A new vascular detecting ultrasonographic technique for avascular breast masses: A preliminary study. *Eur J Radiol* 2016; 85: 915–921. doi:10.1016/j.ejrad.2015.12.011
- [24] Artul S, Nseir W, Armaly Z et al. Superb Microvascular Imaging: Added Value and Novel Applications. *J Clin Imaging Sci* 2017; 7: 45. doi:10.4103/jcis.JCIS_79_17
- [25] Lee DH, Lee JY, Han JK. Superb microvascular imaging technology for ultrasound examinations: Initial experiences for hepatic tumors. *Eur J Radiol* 2016; 85: 2090–2095. doi:10.1016/j.ejrad.2016.09.026
- [26] Schawalder P, Dietschi E, Stich H. Kongenitale und erworbene Anomalien im Bereich der Schwanzwirbelsäule beim Hund. *Wien Tierarztl Monatsschr* 2010; 97: 1–18

4 Ergebnisse

4.1 Publikation 3

Frequency and Characterisation of Anomalies and Fractures of the Caudal Spine in Sheep with Undocked Tails

Hannah Hümmelchen, Henrik Wagner, Kerstin Brügemann, Sabine Wenisch, Sven König, Axel Wehrend

eingereicht: 07.03.2023

akzeptiert: 19.04.2023

Bibliografie

DOI <http://doi.org/10.3390/ani13081419>

Animals 2023; 13, 1419

© 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland

Beschreibung des Eigenanteils:

Studienplanung: H. Wagner, S. König

Studiendurchführung: H. Hümmelchen, K. Brügemann

Manuskripterstellung: H. Hümmelchen

Revision des Manuskriptes: H. Hümmelchen, H. Wagner, S. König, S. Wenisch

Article

Frequency and Characterisation of Anomalies and Fractures of the Caudal Spine in Sheep with Undocked Tails

Hannah Hümmelchen ^{1,*}, Henrik Wagner ¹, Kerstin Brügemann ² , Sabine Wenisch ³, Sven König ² 
and Axel Wehrend ¹

¹ Clinic for Obstetrics, Gynaecology and Andrology of Small and Large Animals, Justus-Liebig University of Giessen, 35392 Giessen, Germany

² Institute for Animal Breeding and Domestic Animal Genetics, Justus-Liebig University of Giessen, 35398 Giessen, Germany

³ Institute of Veterinary Anatomy, Histology and Embryology, Justus Liebig University of Giessen, 35392 Giessen, Germany

* Correspondence: hannah.huemmelchen@vetmed.uni-giessen.de

Simple Summary: Due to the widespread practice of tail docking in sheep, no data exist regarding the incidence of caudal spine deformities and injuries in this species. The aim of this study was to describe the type and frequency of tail abnormalities in an undocked Merinoland sheep population using radiographic studies. The findings demonstrated that anomalies of the tail bones (such as fractures and block or wedged vertebrae) were predominantly found in the middle and caudal third of the spine. Additionally, a correlation between the occurrence of vertebral fractures and the tail length and number of vertebrae was observed. No significant differences were found in terms of different litter sizes and sex. These results suggest that the proportion of animals with tail malformations and injuries is relatively high, which should be considered when breeding for short tails in the context of a docking ban.

Abstract: As tails are often docked within the first days of life, studies investigating tail malformations and injuries in sheep do not exist thus far. To address this gap in the literature, this research aimed to analyse the occurrence of vertebral anomalies and fractures in the tail within an undocked Merinoland sheep population. At 14 weeks of age, the caudal spines of 216 undocked Merinoland lambs was radiographically examined, and tail length and circumference were measured. Anomalies were documented and statistical correlation and model calculations were performed. The occurrence of block vertebrae was observed in 12.96% and wedged vertebrae in 8.33% of the sample. Of the animals, 59 (27.31%) exhibited at least one vertebral fracture, which were observed in the middle and caudal third of the tail. A significant correlation was found between the occurrence of fractures and tail length ($r = 0.168$) and number of vertebrae ($r = 0.155$). Conversely, the presence of block and wedged vertebrae was not significantly correlated with tail length, circumference, or number of vertebrae. Only the sex showed significant differences in the probability of axis deviation. These results emphasize the importance of breeding for short tails to avoid fractures.

Keywords: X-ray examination; malformation; block vertebra; wedged vertebra; vertebral fractures



Citation: Hümmelchen, H.; Wagner, H.; Brügemann, K.; Wenisch, S.; König, S.; Wehrend, A. Frequency and Characterisation of Anomalies and Fractures of the Caudal Spine in Sheep with Undocked Tails. *Animals* **2023**, *13*, 1419. <https://doi.org/10.3390/ani13081419>

Academic Editor: Robert Dailey

Received: 7 March 2023

Revised: 2 April 2023

Accepted: 19 April 2023

Published: 21 April 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Despite legal prohibitions across countries, many sheep have their tails docked after birth [1]. At the European level, painful interventions on animals, such as tail docking in sheep, are not clearly regulated. In addition to EU directives, which provide the basis for the respective national regulations, there are also recommendations from the Council of Europe as well as EU regulations for organically managed farms. In the Council of Europe Recommendation for Sheep Husbandry, article 30 paragraph 2 allows tail docking in sheep as an exception to article 30 paragraph 1 [2]. Article 18 “Handling of animals” paragraph 1

of the Implementing Regulation of the EU Organic Regulation (EC) No 889/2008 prohibits the routine application of rubber rings to the tails of sheep. Nevertheless, the competent authority may authorize this intervention for safety reasons or to improve the health, welfare, or hygiene conditions of the animals. However, any suffering of the animals must be minimized by the use of appropriate anaesthetics and/or analgesics [3].

At the national level, there are major differences regarding a ban on tail docking or different conditions under which tail amputation may be performed in sheep [1].

Originally, the ancestors of today's domestic sheep possessed short tails. This is evidenced by the mouflon (the wild form of sheep), which has a short, thin tail [4]. Over the centuries, in the course of domestication, sheep were bred to have longer tails, primarily for economic advantages in wool production owing to increased body surface area and, thus, greater wool yield [4]. This led to the large tail length variance between different sheep breeds. Based on tail type, sheep can be divided into five main groups. Thin-tailed sheep include, for example, Merino and Romney with tails up to the hock or longer. Another group is represented by sheep with fleshy long tails to the fetlocks or longer from Sudan and Eritrea. Nordic short-tailed breeds such as Finn sheep and Romanov are counted among the short-tailed sheep, which also include Texel. Furthermore, two groups of fat-tailed sheep can be divided. These include Awassi, Karakul, and both African and Asian sheep. In Europe, the thin-tailed and short-tailed sheep are of particular importance [5]. In Germany, the Merinoland sheep, with a share of 30%, represents the most common breed of sheep.

As wool production and processing have become considerably less important in recent decades, the negative consequences of longer sheep tails have become evident. Reasons cited for partial amputation include the avoidance of soiling in the anogenital region, which can cause problems during mating, lambing, slaughter, and shearing [1,6]. Furthermore, an increased risk of fly maggot infestation with faeces in the anogenital area has been noted [6,7]. Female sheep are also at increased risk of wound infection with clostridia, which may cause serious disease patterns, such as tetanus, and vaginal and uterine blight [8].

In Australia, the practice of mulesing is carried out in addition to tail amputation to prevent fly maggot infestation [9]. During this procedure, skin folds in the anogenital area of merino sheep are removed without anaesthesia [10]. However, another Australian study showed that the extreme shortening of tails, even in combination with mulesing, again favours the contamination with faeces and, consequently, the occurrence of myiasis [11]. Further disadvantages of the practice of tail docking are known. Firstly, amputation inflicts pain on the animals, which produces pain-associated changes in behaviour and posture [12,13]. An additional study examined 63,287 sheep carcasses in South Australia and found a direct correlation between shortened tails (less than three caudal vertebrae) and the incidence of bacterial arthritides. The major pathogens detected from the altered joints were *Erysipelothrix rhusiopathiae* and *Streptococcus* spp. [14].

Finally, the incidence of potential naturally occurring tail malformations in the population cannot be recorded. As such, there is a risk that these abnormalities, if hereditary, could continue to spread through breeding. Therefore, the aim of this study was to investigate and morphologically describe the occurrence of tail anomalies and fractures in a Merinoland sheep population.

2. Materials and Methods

2.1. Animals and Data Collection

At the age of 14 weeks, 216 undocked Merinoland sheep from the research farm Oberer Hardthof of the Justus Liebig University were examined for the study. Until the age of four days, the lambs were kept in individual pens together with the corresponding Merino ewes and later on in small groups. From the second week of life, the lambs were fed self-produced hay and commercial concentrates. At 10 weeks of age, the lambs were weaned from their dams.

This examination included a radiographic examination of the tail bones and measurement of the length and circumference of the tails. Tail length and circumference, as well as the occurrence of vertebral malformations, fractures, and axial deviations in the tail were recorded. The examinations were approved by the Regional Council of Giessen (V 54—19c 20 15 h 01 GI 18/14 No. G 44/2021).

Metric measurements were carried out using a self-made construction with an integrated measuring tape and X-ray images were obtained with a portable X-ray device (Physia GAMMA Light AD 100|20). For the measurement of the tail, the lamb was held in a standing position and the tail was placed on the construction. Using a slide, the length of the tail could be accurately measured from the anus to the tip of the tail. The measurement of the tail circumference was performed with the help of an adjustable measuring tape attached to the same construction, through which the tail was placed. The tail circumference was measured at the most cranial region, just before the transition to the pelvis. For radiographic examination, the lambs were placed in a recumbent position and held fixed by an assistant. A setting of 40 kV and 2.5 mAs was used to image the vertebrae. Detailed information regarding the measurement methods can be found in Hümmelchen et al. [15].

Axial deviation was defined as any manually irreparable deviation of the tail from the medians (Figure 1). A block vertebra was considered present if the vertebral boundaries of adjacent vertebrae were not clearly visible or were completely fused (Figure 2). Wedge-shaped bony structures present between two vertebrae were recorded as wedged vertebrae (Figure 3). A fracture was noted in any event where a vertebra demonstrated an interruption of bone structure (Figure 4).



Figure 1. Sheep tail with axial deviation.

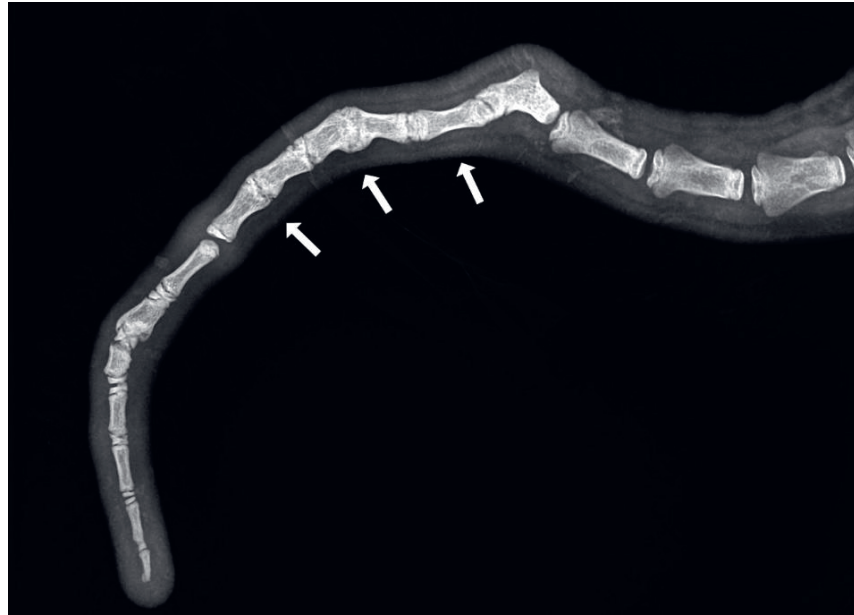


Figure 2. Section of an X-ray of a lamb's tail with multiple block vertebrae.



Figure 3. Section of an X-ray of a lamb's tail with a wedged vertebra.



Figure 4. Section of an X-ray of a lamb's tail with fractured vertebrae.

2.2. Statistical Analyses

Phenotypic correlations were calculated to investigate the relationships between lamb traits such as tail length ('TL'), tail circumference ('TC'), number of vertebrae ('nvertebrae'),

and the incidence of vertebral lesions. The effect of litter size, sex, the number of times the dam has given birth, the ram, and the tail circumference on the incidence of tail malformations such as wedged vertebrae, block vertebrae, axial deviations, and fractures (binarily coded) was investigated using the following generalized linear models:

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijklmn} / (1 - \pi_{ijklmn})] = \mu + \text{litter size}_i + \text{sex}_j + \text{parity}_k + \text{ram}_l + \text{TCclass}_m + \text{nVclass}_n$$

where π_{ijklmn} = probability of occurrence for wedged vertebrae,

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijkln} / (1 - \pi_{ijkln})] = \mu + \text{litter size}_i + \text{sex}_j + \text{parity}_k + \text{ram}_l + \text{nVclass}_n$$

where π_{ijkln} = probability of occurrence for block vertebrae,

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijklo} / (1 - \pi_{ijklo})] = \mu + \text{litter size}_i + \text{sex}_j + \text{parity}_k + \text{ram}_l + \text{TLclass}_o$$

where π_{ijklo} = probability of occurrence for fractures,

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijklm} / (1 - \pi_{ijklm})] = \mu + \text{litter size}_i + \text{sex}_j + \text{parity}_k + \text{ram}_l + \text{TCclass}_m$$

where π_{ijklm} = probability of occurrence for axial deviation,

μ = the overall mean effect; litter size_i = fixed effect of i th litter size (i = single, twin, triplet); sex_j = fixed effect of j th sex (j = male, female); parity_k = fixed effect of k th parity (k = 1, 2, 3, >3); ram_l = fixed effect of l th ram (l = 1, 2, 3, 4); TCclass_m = fixed effect of m th TCclass (m = <13 cm, 13–14 cm, >14 cm); nVclass_n = fixed effect of n th nVclass (n = < 19, 19–20, >20), TLclass_o = fixed effect of o th TLclass (o = < 38 cm, 38–42 cm, >42 cm).

The model was analysed using the GLIMMIX procedure and corresponding LSMeans were calculated using a logit link function. The statistical programme SAS OnDemand for Academics (SAS, 2022) was used for this purpose. Further influencing factors such as the measuring age (deviation of up to five days) were not considered in the model due to the lack of significance. Only significant tail parameters or tail parameters that improved the model quality were included in the models for the respective characteristic. For this purpose, the effects were selected manually as well as using the variable selection method “forward selection” (procedure GLMSELECT).

3. Results

3.1. Measurements and Radiographic Examination

The 216 lambs comprised 106 (49%) males and 110 (51%) females. Within this group, 31 singles, 82 sets of twins, and 7 sets of triplets were born.

The mean number of tail vertebrae in the Merinoland sheep population was 20.4 (± 1.6) vertebrae. The mean tail length at 14 weeks of life was 41.6 cm (± 4.3 cm) and mean tail circumference measured at the same time was 13.15 cm (± 1.3 cm). In 33 animals (15.28%), an axial deviation of the tail spine was detected. Radiographic examination revealed various spinal lesions, such as fractures (Figure 4), wedged vertebrae (Figure 3), and block vertebrae (Figure 2). In the caudal spine, at least one block vertebra was found in 28 animals (12.96%) and at least one wedged vertebra was detected in 18 animals (8.33%). A total of 59 animals (27.51%) exhibited at least one vertebral fracture within the caudal spine. In 51 of these 59 animals (86.4%), the fracture localisation was limited to the caudal third of the tail. Six animals (10.2%) had fractures in the middle third of the tail and two animals (3.4%) had vertebral fractures in both the middle and caudal third of the tail (Table 1).

Table 1. Fracture frequency and location within the caudal spine of lambs.

Fracture Localisation in Thirds of the Caudal Spine	Absolute Frequency	Percentage of Total Population (%)	Percentage of Animals with Fractures (%)
No fracture	165	76.39	0.00
Caudal third	51	23.61	86.40
Middle third	6	2.78	10.20
Cranial third	0	0.00	0.00
Caudal and middle third	2	0.93	3.40

Block vertebrae manifested primarily in the caudal and/or middle third of the tail (Table 2) and wedged vertebrae were exclusively in the caudal third of the tail (Table 3). Axial deviations in turn showed up in the caudal and/or middle third of the tail (Table 4).

Table 2. Frequency and localisation of block vertebrae within the caudal spine of lambs.

Localisation of Block Vertebrae in Thirds of the Caudal Spine	Absolute Frequency	Percentage of Total Population (%)	Percentage of Animals with Block Vertebrae (%)
No block vertebrae	188	87.04	0.00
Caudal third	14	6.41	50.00
Middle third	13	6.02	46.43
Cranial third	0	0.00	0.00
Caudal and middle third	1	0.46	3.57

Table 3. Frequency and localisation of wedged vertebrae within the caudal spine of lambs.

Localisation of Wedged Vertebrae in Thirds of the Caudal Spine	Absolute Frequency	Percentage of Total Population (%)	Percentage of Animals with Wedged Vertebrae (%)
No wedged vertebrae	198	91.67	0.00
Caudal third	18	8.33	100.00
Middle third	0	0.00	0.00
Cranial third	0	0.00	0.00
Caudal and middle third	0	0.00	0.00

Table 4. Frequency and localisation of axial deviations within the caudal spine of lambs.

Localisation of Axial Deviation in Thirds of the Caudal Spine	Absolute Frequency	Percentage of Total Population (%)	Percentage of Animals with Axial Deviation (%)
No axis deviation	183	84.72	0.00
Caudal third	24	11.11	72.73
Middle third	9	4.17	27.27
Cranial third	0	0.00	0.00
Caudal and middle third	0	0.00	0.00

3.2. Correlation of the Studied Parameters

To investigate the correlation between tail length ('TL'), tail circumference ('TC'), vertebral number ('nvertebrae'), and tail vertebral changes such as wedged vertebrae, block vertebrae, and axis deviation, these variables were correlated with one another. The results are presented in Table 5.

Table 5. Pearson correlation of tail length (‘TL’), tail circumference (‘TC’), number of vertebrae (‘nvertebrae’), occurrence of fractures, block and wedged vertebrae, and axis deviations in lambs. The Pearson correlation coefficient, the *p*-value, and the number of observations are reported.

	TC	TL	Fracture	Wedged Vertebrae	Block Vertebrae	Axis Deviation
nvertebrae	−0.05 0.47 216	0.63 <0.0001 216	0.16 0.02 216	0.10 0.14 216	0.04 0.52 216	0.09 0.17 216
TC		0.26 <0.0001 216	0.03 0.62 216	−0.03 0.62 216	0.02 0.72 216	0.19 0.00 216
TL			0.17 0.01 216	0.03 0.68 216	−0.04 0.60 216	0.04 0.53 216
Fracture				0.07 0.28 256	−0.04 0.49 256	0.07 0.24 256
Wedged vertebrae					0.15 0.02 256	0.08 0.20 256
Block vertebrae						0.13 0.03 256

Pearson correlation coefficients yielded significant positive correlations between tail length and vertebral number ($r = 0.63$) (see also graphical representation in Figure 5), as well as tail length and tail circumference ($r = 0.26$; $p < 0.0001$). Conversely, no significant correlation was found between tail circumference and vertebral number ($r = -0.05$).

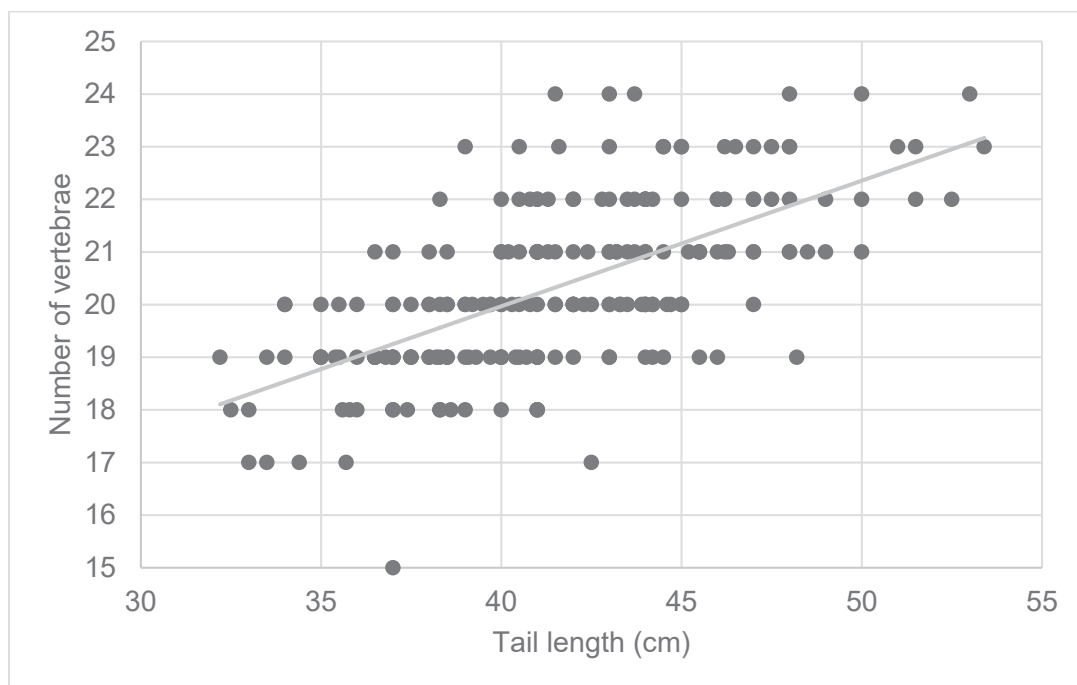


Figure 5. Symmetrical matrix representation for variables of tail length (cm) and number of vertebrae of lambs. The grey line represents the regression and was calculated as follows: $y = 0.2387x + 10.419$.

As shown in Table 5, the incidence of fractures of the caudal spine was significantly correlated with tail length ($r = 0.17$) and vertebral number ($r = 0.16$), but not with tail circumference ($r = 0.03$).

The presence of wedged vertebrae was not significantly correlated with tail length ($r = 0.03$), tail circumference ($r = -0.03$), or number of vertebrae ($r = 0.10$), nor was the occurrence of block vertebrae (TL: $r = -0.04$, TC: $r = 0.03$, nvertebrae: $r = 0.04$). However, a significant correlation was demonstrated between the presence of wedged and block vertebrae ($r = 0.15$). Furthermore, axis deviations were significantly correlated with tail circumference ($r = 0.19$) and the occurrence of block vertebrae ($r = 0.13$). The other variables were not found to correlate with the occurrence of axis deviations.

The occurrence of block vertebrae did not seem to be influenced by the different effects tested (litter size, sex, number of previous lambings, ram, number of vertebrae) (Table 6). The parity and the number of vertebrae seemed to have a tendency for influence and the tail circumference showed a significant impact on the occurrence of wedged vertebrae. For the occurrence of fractures, a significant association with the tail length and the ram was found. The fact that tail circumference was significant in the axis deviation model with a p -value of 0.01 confirms the moderate correlation from the correlation analysis in Table 5 and suggests that animals with a larger tail circumference are more likely to exhibit axis deviations. Apart from this, a significant difference between female and male animals for the occurrence of axis deviations could be determined. The calculated p -values of the model effects are shown in Table 6.

Table 6. p -values of the global F-test for the model effects on the probability of occurrence of the four features wedged vertebrae, block vertebrae, fracture, and axis deviation.

Effect	Wedged Vertebrae	Block Vertebrae	Fracture	Axis Deviation
Litter size	0.97	0.23	0.38	0.93
Sex	0.52	0.85	0.74	0.04
Parity	0.06	0.58	0.58	0.14
Ram	0.85	0.44	0.06	0.29
TCclass ¹	0.03	-	-	0.01
nVclass ²	0.09	0.19	-	-
TLclass ³	-	-	0.06	-

¹ Tail circumference categories (<13 cm, 13–14 cm, >14 cm). ² Number of vertebrae categories (<19, 19–20, >20).

³ Tail length categories (<38 cm, 38–42 cm, >42 cm).

The probability of the presence of wedged vertebrae, block vertebrae, and fractures in the tail area did not significantly differ between litter sizes (Table 7) and sex (Table 8). However, more fractures were observed when multiple lambs were birthed. The probability of the occurrence of tail axis deviations did not show any significant difference for litter size, but it did for sex (Tables 7 and 8). Thus, with a probability of 11.8%, axis deviations occurred more frequently in female lambs than in male lambs (5.1%).

Table 7. LSMeans for the probability of occurrence of wedged vertebrae, block vertebrae, fractures, and axial deviations in the tail region of lambs by litter size. Significant differences ($p < 0.05$) are marked with different superscript letters.

Litter Size	Wedged Vertebrae	Block Vertebrae	Fractures	Axial Deviation
Single	5.6% ^a	25.5% ^a	14.3% ^a	6.7% ^a
Twin	6.9% ^a	11.6% ^a	25.2% ^a	7.5% ^a
Triplet	7.9% ^a	14.8% ^a	23.8% ^a	9.2% ^a

Table 8. LSM means for the probability of occurrence of wedged vertebrae, block vertebrae, fractures, and axial deviations in the tail region of lambs by sex. Significant differences ($p < 0.05$) are marked with different superscript letters.

Sex	Wedged Vertebrae	Block Vertebrae	Fractures	Axial Deviation
Male	8.0% ^a	17.0% ^a	21.5% ^a	5.1% ^a
Female	5.7% ^a	16.0% ^a	19.7% ^a	11.8% ^b

With regard to the occurrence of vertebral fractures, ram 1 differed significantly with 8.9% from the other three rams that were used, which had a probability of 22.9% and 33.6%. It was also shown that lambs with tails longer than 43 cm were up to twice as likely (31.7%) to have tail fractures as lambs with shorter tails (15.0–17.6%).

Lambs with a tail circumference greater than 14 cm were significantly more likely to have axis deviations than lambs with a smaller tail circumference (3.8–6.8%), showing a probability of 17.3%. In contrast, the occurrence of wedged vertebrae showed a significantly higher probability for lambs with an intermediate tail circumference (17.3%) than for lambs with thinner (4.7%) or thicker tails (3.5%).

4. Discussion

The study and morphological description of vertebral anomalies in the tail region, some of which result in visible tail abnormalities, represent an important step in the phenotyping of the caudal spine of sheep. Until now, such malformations could not be systematically recorded because tails were routinely docked, rendering assessment of tail abnormalities impossible. Due to increasingly stringent regulations of painful procedures on animals in Germany [16], breeding for short tails has become an important goal. In order to prevent the development of malformations in targeted breeding, the frequency and extent of vertebral anomalies in the tail region of sheep must be considered.

Using 2,667 lambs, the heritability mechanism of tail length was investigated in an Australian study. According to the results, tail length in Merino sheep had a heritability of 0.58 [17]. Oberpenning et al. also obtained a similar result with a direct heritability of 0.60 ± 0.08 for tail length. This high heritability for tail length suggests the possibility of producing a short-tailed sheep population within a few generations [18].

During a study on tail length in sheep, the so-called NoTail breed emerged, which exhibited a lethal factor called “sidewheeler”. Compression of the spinal cord nerves in the tail area led to increasing paralysis of the hindquarters in the tailless lambs during the rearing phase [19,20].

Several other studies have shown that the T gene is mainly responsible for tail length and influences the occurrence of vertebral deformities [21]. Mutations in the T gene cause early embryonic death in mice, altered vertebral shape in cats and cows [21,22], and increased embryonic mortality in dogs and sheep [23,24]. Radiographic examination of the caudal spine is suitable for visualizing any vertebral changes in sheep in the course of breeding for short-tailedness [15]. Such examinations can be performed under field conditions and are suitable for examining a large number of animals.

At present, there exists a dearth of literature investigating the radiological presentation of sheep tail structures, as well as studies documenting the occurrence of tail malformations. However, a study by Shelton [4] conducted radiographic and pathological examinations on three mouflons and Rambouillet sheep. Eleven caudal vertebrae were described in the mouflons and 18–24 in the Rambouillet sheep. Other authors described 3–24 tail vertebrae in sheep [25]. A radiographic study similar to our research was performed on the tail region of dogs [26], which also demonstrated tail malformations such as wedged and block vertebrae. The block and wedged vertebrae in the tail region of dogs were associated with vertebral anomalies in the cervical, thoracic, and lumbar spine. The authors of this study assumed that these types of vertebral malformations are anchored in a very early phase of embryonic development. When selecting suitable breeding animals, it should also be

considered that the vertebral column and associated malformations develop from the same germ layer as the urinary tract [26]. These correlations could not be investigated in this study because no radiographic images of the cervical, thoracic, or lumbar spine of the animals were taken. This aspect should be considered in future research.

Since the lambs examined in the present study were not radiographically examined until 14 weeks of age, it was not possible to assess which abnormalities were congenital and which developed in the course of rearing. It can be assumed that fractures of the vertebrae arise from trauma, as per previous description of tread injuries in the tail area of undocked animals [1]. Whether these fractures result in ankyloses in the form of block vertebrae cannot be assessed at present due to the lack of radiographs during the development phase. As such, future imaging studies of lambs during the first weeks of life are necessary to further develop our understanding of the origin of lamb tail malformations.

In principle, block vertebrae are formed by the fusion of two adjacent vertebrae [27,28]. This fusion, which bridges the intervertebral gap, can lead to an axial deviation of the tail in the form of a kink [26,29]. However, other factors may also result in a kinked tail. In this study, for example, in addition to block vertebrae, associated separations in the intervertebral fissure and vertebral fractures were observed in connection with an axial deviation in the caudal spine. This complicates the phenotypic assessment of the caudal spine to the extent that no precise statement can be made about the presence of malformations without radiographic examination. This, in turn, may lead to axis deviations being incorrectly attributed to acquired malformations (such as vertebral fractures or cohesive separations), and a malformation being disregarded as the cause.

Another vertebral malformation that was frequently observed in this study was wedged vertebrae. This is a wedge-shaped bony vertebral structure that is inserted between two anatomically correct vertebrae [27,30]. It is not yet known to what extent vertebral anomalies (such as block and wedged vertebrae) affect the physiological function of the spinal cord. In order to assess the impairment of the spinal cord (for example, due to compression), magnetic resonance imaging (MRI) would be necessary, as X-rays only allow for one-dimensional imaging and are more suitable for showing bony structures.

This study demonstrated that the occurrence of block and wedged vertebrae correlate with each other and that block vertebrae in the tail area often occur in conjunction with axis deviations. Additionally, block and wedged vertebrae, as well as axis deviations, manifested primarily in the middle and/or caudal third of the tail. It was also found that the occurrence of block vertebrae does not seem to be significantly related to tail length, tail circumference, or vertebral number. This suggests that the development of such abnormalities is likely to be influenced by other factors, such as genetics. To investigate this, following generations of the animals with block vertebrae should be examined. In addition, even more animals should be bonitized to be able to collect a larger amount of data. In contrast, wedged vertebrae appeared to be significantly affected by tail circumference and showed a tendency to influence of the number of vertebrae. As our results showed a significant higher risk for lambs with an intermediate tail circumference, further studies on different sheep breeds should verify if this occurrence is breed specific.

Tail length and vertebral number seemed to be related to the development of vertebral fractures. As mentioned, it was shown that lambs with tails longer than 43 cm were twice as likely to have tail fractures as lambs with shorter tails. Therefore, it can be assumed that animals with longer tails are at increased risk of vertebral fractures. This represents, for the first time, a new argument for breeding for short tails and should not be neglected, especially regarding the importance of animal welfare and protection. A similar problem with long tails is known in hunting dogs. For many years, the tails of hunting dogs were docked due to injuries during hunting. However, a rethink is currently taking place there as well, since dogs need their tails for communication [31,32].

Thus far, the seminal reason cited for the intervention of docking lambs' tails is to improve hygiene in the anogenital area. This is not only relevant for mating, lambing, slaughter, and shearing, but fundamentally for protection against the development of

myiasis [1,33–35]. However, various studies have shown that the amputation of the caudal vertebrae in lambs causes significant pain reactions, which are indicated both by increased cortisol levels and by altered behaviour [12,13].

This study also showed that lambs with a larger tail circumference were significantly more likely to have axis deviations than lambs with a smaller tail circumference. Some studies have analysed the tail circumference of fat-tailed sheep and related it to the fat percentage of the carcass [36,37]. However, associations regarding tail abnormalities have not been examined thus far. In addition, female lambs were significantly more likely to exhibit axis deviations. This should be taken into account when selecting female offspring.

A zootechnical study of the correlation between tail length and body traits in Merinoland lambs indicated that lambs with long and woolly tails have an increased risk of contamination with dirt and dust. This is associated with impaired body weight development via increased susceptibility to infection. Based on this, the authors assumed a lower susceptibility to disease for short-tailed Merinoland bred ewes [18]. For this study 2.803 tail lengths records, 13.042 body weight records, 1.556 weaning weight records, and 3.986 post weaning weight records were analysed, which were documented over a 27-year period.

Most vertebral fractures are found in the caudal tail region, suggesting that the caudal region of the tail bones is more vulnerable to traumatic insults. In line with the goal of promoting animal welfare by not docking lambs' tails, the occurrence of tail abnormalities and vertebral fractures should be critically assessed. It can be assumed that any vertebral fracture, tissue crushing, and/or contextual separation in the intervertebral region will result in pain, suffering, and damage. Often, these injuries remain largely unnoticed and are only discovered, for example, during tail shearing. Therefore, close animal observation is essential when keeping undocked sheep, not only when counteracting the development of a fly maggot infestation.

5. Conclusions

In order to better understand the development of deformities in the caudal spine in sheep and their clinical relevance, further investigations should be carried out at different developmental phases. In addition, acquired axial deviations, which are caused by vertebral fractures (among other things), should be considered a potential cause of pain. Furthermore, this study showed that females and animals with an increased tail circumference predominantly exhibited axis deviations. This should be considered when selecting potential breeding animals. Additionally, the proven ram effect on the occurrence of vertebral abnormalities should be considered.

Author Contributions: H.H. collected the animal data. H.H. and K.B. performed the statistical analysis and interpreted the results. H.H. and A.W. wrote the first version of the manuscript. A.W., K.B., H.W. and S.K. conceived and oversaw the study, and also contributed to the design and interpretation of the results. S.W. helped to interpret the deformities. All co-authors contributed to the final manuscript revisions. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The study was conducted and supported in the framework of the collaborative DFG (German Research Foundation) project “A comparative functional genomic approach to unravel the genetic and genomic architecture of tail length in pigs and sheep based on a unified selection experiment design”, WE6061/3-1 450678943.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board of Regional Council Giessen (V 54—19c 20 15 h 01 GI 18/14 Nr. G 44/2021, 29 September 2021).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are openly available in JLUpub at doi: <http://dx.doi.org/10.22029/jlupub-15650>.

Acknowledgments: A special thanks goes to Anja Henning and Stefan Mandler from the Lehr- und Forschungsgut Oberer Hardthof of the Justus-Liebig-University of Giessen for their commitment during the project and the valuable exchange. We thank Leigh-Ann Behrendt for the translation of this manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Hannemann, R.; Bauer, B.; Ganter, M.; Strobel, H. Painful procedures in sheep—Tail docking. *Tierärztliche Prax. Ausg. G Großtiere Nutztiere* **2017**, *45*, 302–311. [CrossRef]
- Europaratsempfehlungen für das Halten von Schafen, Artikel 30 “Veränderungen des Phäno- und/oder Genotyps“ Absatz 1–3, Angenommen vom Ständigen Ausschuss am 6 November 1992. Available online: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Tierschutz/Gutachten-Leitlinien/eu-haltung-schafen.html (accessed on 7 March 2023).
- Durchführungsverordnung Artikel 18 “Umgang Mit Tieren“ Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 889/2008. 2008. Available online: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Biologischer-Landbau/889-2008-eg-durchfuehrungsbestimmungen.pdf?__blob=publicationFile (accessed on 7 March 2023).
- Shelton, M. Studies on tail length of Rambouillet and Mouflon sheep. *J. Hered.* **1977**, *68*, 128–130. [CrossRef] [PubMed]
- Porter, V.; Alderson, L.; Hall, S.J.G.; Sponenberg, D.P. *Mason’s World Encyclopedia of Livestock Breeds and Breeding*, 2nd ed.; CABI Publishing: Wallingford, UK, 2016.
- Hümmelchen, H.; Wagner, H.; König, S.; Wehrend, A. Importance of tail length in sheep and the breeding for short tails. *Tierarztl Prax Ausg G Großtiere Nutztiere* **2022**, *50*, 187–194. [CrossRef] [PubMed]
- Wall, R. Ovine cutaneous myiasis: Effects on production and control. *Veter Parasitol.* **2012**, *189*, 44–51. [CrossRef]
- Bostedt, H.; Ganter, M.; Hiepe, T. *Klinik der Schaf- und Ziegenkrankheiten*; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, Germany, 2019; ISBN 9783132422810.
- Lee, C.; Fisher, A.D. Welfare consequences of mulesing of sheep. *Aust. Veter J.* **2007**, *85*, 89–93. [CrossRef]
- Phillips, C.J.C. A review of mulesing and other methods to control flystrike (*Cutaneous myiasis*) in sheep. *Anim. Welf.* **2009**, *18*, 113–121. [CrossRef]
- Watts, J.E.; Luff, R.L. The importance of the radical mules operation and tail length for the control of breech strike in scouring merino sheep. *Aust. Veter J.* **1978**, *54*, 356–357. [CrossRef]
- Grant, C. Behavioural responses of lambs to common painful husbandry procedures. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2004**, *87*, 255–273. [CrossRef]
- Pollard, J.C.; Roos, V.; Littlejohn, R.P. Effects of an oral dose of acetyl salicylate at tail docking on the behaviour of lambs aged three to six weeks. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2001**, *71*, 29–42. [CrossRef]
- Lloyd, J.; Kessell, A.; Barchia, I.; Schröder, J.; Rutley, D. Docked tail length is a risk factor for bacterial arthritis in lambs. *Small Rumin. Res.* **2016**, *144*, 17–22. [CrossRef]
- Hümmelchen, H.; Wenisch, S.; Brügemann, K.; König, S.; Wagner, H.W. Phenotyping the Sheep Tail—Presentation of Methods for Characterization in the Context of Breeding for Short-Tailedness. *Tierärztliche Prax. Ausg. G Großtiere Nutztiere* **2023**, *51*, 6–14. [CrossRef]
- Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das Zuletzt Durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10 August 2021 (BGBl. I S. 3436) Geändert Worden Ist. Available online: <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html> (accessed on 28 December 2022).
- Greeff, J.C.; Karlsson, L.J.E.; Schlink, A.C. Inheritance of tail length in Merino sheep. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed Genet.* **2015**, *21*, 237–240.
- Oberpenning, J.; Bohlouli, M.; Engel, P.; Hümmelchen, H.; Wagner, H.; Wehrend, A.; König, S. Multiple-trait and structural equation modelling approaches to infer genetic relationships between tail length and weight traits in Merinoland sheep. *J. Anim. Breed. Genet.* **2022**, *140*, 132–143. [CrossRef]
- Jordan, R.M. The description of the No-Tail breed of sheep following forty years of breeding. *Proc. South Dak. Acad. Sci.* **1952**, *31*, 103–104.
- Wilson, J.W. Development of the Notail Sheep. *Agric. Exp. Stn. Circ.* **1940**, *25*, 3–22.
- Buckingham, K.J.; McMillin, M.J.; Brassil, M.M.; Shively, K.M.; Magnaye, K.M.; Cortes, A.; Weinmann, A.S.; Lyons, L.A.; Bamshad, M.J. Multiple mutant T alleles cause haploinsufficiency of Brachyury and short tails in Manx cats. *Mamm. Genome* **2013**, *24*, 400–408. [CrossRef]
- Kromik, A.; Ulrich, R.; Kusenda, M.; Tipold, A.; Stein, V.M.; Hellige, M.; Dziallas, P.; Hadlich, F.; Widmann, P.; Goldammer, T.; et al. The Mammalian Cervical Vertebrae Blueprint Depends on the *T (brachyury)* Gene. *Genetics* **2015**, *199*, 873–883. [CrossRef]
- DeForest, M.E.; Basrur, P.K. Malformations and the Manx syndrome in cats. *Can. Veter J.* **1979**, *20*, 304–314.
- Hytönen, M.K.; Grall, A.; Hédan, B.; Dréano, S.; Seguin, S.J.; Delattre, D.; Thomas, A.; Galibert, F.; Paulin, L.; Lohi, H.; et al. Ancestral T-Box Mutation Is Present in Many, but Not All, Short-Tailed Dog Breeds. *J. Hered.* **2009**, *100*, 236–240. [CrossRef]
- Salomon, F.-V.; Geyer, H.; Gille, U. *Anatomie für die Tiermedizin*; Enke Verlag: Stuttgart, Germany, 2015; ISBN 9783830412885.

26. Schawalder, P.; Dietschi, E.; Stich, H. Congenital and acquired malformations of coccygeal vertebrae in dogs. *Wien Tierarztl Mon.* **2010**, *97*, 185–202.
27. Baumgärtner, W. *Dysplasien der Wirbelsäule. Spezielle Pathologie für die Tiermedizin*, 2nd ed.; Baumgärtner, W., Gruber, A.D., Eds.; Thieme: Stuttgart, Germany, 2020; pp. 344–345, ISBN 978-3-13-242861-4.
28. Noden, D.M.; de Lahunta, A. *The Embryology of Domestic Animals: Developmental Mechanisms and Malformations*; Williams & Wilkins: Baltimore, MD, USA, 1985; p. 147, ISBN 0683065459.
29. Herzog, A. *Pareys Lexikon der Syndrome: Erb- und Zuchtkrankheiten der Haus- und Nutztiere: Mit 63 Tabellen*; Parey: Berlin, Germany, 2001; ISBN 3826332377.
30. O’Rahilly, R.R.; Müller, F. *Human Embryology & Teratology*, 3rd ed.; Wiley-Liss: New York, NY, USA, 2001; ISBN 0471382256.
31. Sinmez, C.C.; Yigit, A.; Aslim, G. Tail docking and ear cropping in dogs: A short review of laws and welfare aspects in the Europe and Turkey. *Ital. J. Anim. Sci.* **2017**, *16*, 431–437. [[CrossRef](#)]
32. Leaver, S.D.A.; Reimchen, T. Behavioural responses of *Canis familiaris* to different tail lengths of a remotely-controlled life-size dog replica. *Behaviour* **2008**, *145*, 377–390. [[CrossRef](#)]
33. Korn, S.V. Non-curative interventions in sheep and goats. *Züchtungskunde* **2016**, *88*, 445–455.
34. Germershausen, C.F. *Das Ganze der Schafzucht*; Hinrichs: Leipzig, Germany, 1790.
35. Scobie, D.R.; Bray, A.R.; O’Connell, D. A Breeding Goal to Improve the Welfare of Sheep. *Anim. Welf.* **1999**, *8*, 391–406. [[CrossRef](#)]
36. Safdarian, M.; Zamiri, M.J.; Hashemi, M.; Noorolah, H. Relationships of fat-tail dimensions with fat-tail weight and carcass characteristics at different slaughter weights of Torki-Ghashghaii sheep. *Meat Sci.* **2008**, *80*, 686–689. [[CrossRef](#)]
37. Zhang, T.; Gao, H.; Sahana, G.; Zan, Y.; Fan, H.; Liu, J.; Shi, L.; Wang, H.; Du, L.; Wang, L.; et al. Genome-wide association studies revealed candidate genes for tail fat deposition and body size in the Hulun Buir sheep. *J. Anim. Breed. Genet.* **2019**, *136*, 362–370. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

4.2 Publikation 4

Effects of breeding for short-tailedness in sheep on parameters of reproduction and lamb development

Hannah Hümmelchen, Henrik Wagner, Kerstin Brügemann, Sven König, Axel Wehrend

eingereicht: 01.08.2023

Zeitschrift: Veterinary Medicine and Science

revidierte Version eingereicht

Beschreibung des Eigenanteils:

Studienplanung: A. Wehrend, H. Wagner, S. König

Studiendurchführung: H. Hümmelchen, K. Brügemann

Manuskripterstellung: H. Hümmelchen

Revision des Manuskriptes: H. Hümmelchen, A. Wehrend, H. Wagner, S. König

Effects of breeding for short-tailedness in sheep on parameters of reproduction and lamb development

Abstract

Background: Sheep's tail docking is a widespread practice, which is banned or critical discussed in some countries to improve animal welfare.

Objective: The aim was to determine the influence of breeding for short-tailedness (ST) or long-tailedness (LT) in sheep on the development of reproduction parameters and lamb performance.

Method: 149 ewes were mated with four rams according to tail length. Pregnancy and pregnancy loss rates were calculated. During pregnancy, the progesterone levels (P4) of the ewes were measured. Weight and length of the 254 lambs were recorded up to 14 weeks of life. Litter size, placenta weight, sex, stillbirths, vitality, morbidity and mortality of the lambs were also documented.

Results: No significant differences were found for P4 and placental weight for the two mating groups (ST, LT). Although the pregnancy rate for ST was slightly lower (75.71%) than for LT (87.34%), there was only a low significant difference ($p = 0.07$). The sex distribution was 61 (48.80%) male and 64 (51.20%) female lambs in the ST group and 67 (51.94%) male and 62 (48.06%) female lambs in the LT group. The twinning rate was not significantly different (ST 75.20%; LT 75.97%), and no significant difference was found in average body length and vitality of the lambs. However, LT lambs showed better weight gains that were marginally significant ($p = 0.09$).

Conclusion: This study found no evidence that reproductive parameters or lamb performance were affected by selective breeding based on tail length.

Keywords: litter size, pregnancy, sheep, tail

Introduction

Because long, woolly tails lead to increased accumulation of faeces and dirt in the perianal area (especially in cases of diarrhoea due to nutrition or disease), amputation of the caudal spine is common practice in the husbandry of long-tailed (LT) sheep breeds (1). A tail shortened by docking is intended to counteract excessive faecal soiling and, consequently, the development of sores and infections in the tail and

anogenital region (1, 2). The primary objective is to prevent the nesting of fly larvae and resulting wound myiasis (3), which may have fatal consequences for animals if left untreated. Furthermore, sheep with longer tails have been demonstrated to be more prone to fractures of the caudal spine (4).

Various studies indicate that amputation of the caudal spine causes pain and pain-associated behavioural changes in lambs (5, 6). Conversely, it has been shown that long, undocked tails are at increased risk of injury (4). Therefore, breeding for short tails (ST) is an alternative to amputation; it preserves the advantages of a shorter tail while preventing the pain associated with the procedure (7). For these reasons, potential negative consequences associated with breeding for short-tailedness (such as deformities associated with the shortening of the tail) must be investigated. The effects may involve the area of the anus and rectum or may be associated with more distant regions of the body, such as caudo-rectal genitourinary syndrome and anophthalmia-anuria syndrome in cattle (8). A classic example of a negative trait associated with short-tailedness involves the Manx cat. Due to a significant shortening of the caudal spine in these cats, anatomical changes of the pelvic structures occur, which are often associated with urinary and faecal incontinence as well as restricted mobility of the hind limbs (9, 10). Deformities associated with tail length have also been observed in dogs (11, 12). These malformations are attributed to a mutation in the T-gene, which appears to be primarily responsible for the expression of tail length (13). A recent study demonstrates a potential influence of the HOXB6, HOXB8, and HOXB13 genes on tail length, with the HOXB13 gene thought to exert the greatest effect (14).

There have been various studies on the heritability of tail length in sheep; in addition, a so-called 'NoTail' breed was created in the course of one study. However, this breed exhibited a lethal factor, 'sidewheeler', which was characterised by compression of the spinal cord nerves in the tail area, leading to increasing paralysis of the hindquarters during the rearing phase of lambs (15, 16).

The aim of this study was to investigate the effect of selective breeding of LT and ST breeding pairs on the course of pregnancy as well as vitality and development of lambs until weaning.

Materials and Methods

Ewes

In order to assess the effects of breeding on short-tailedness, selective breeding of a Merino sheep population was carried out by dividing the sheep into two groups. Specific data for group allocation can be found in Oberpenning et al. (17). At the time of the experiment, the breeding pairs were located at the XXX. 149 ewes were divided into either an ST (n = 70) or LT (n = 79) group. Rams (n = 4) were also divided into ST (rams 1 and 2) and LT (rams 3 and 4) groups according to tail length. Breeding was conducted according to tail length, such that LT ewes were mated with an LT ram and ST ewes with an ST ram (Tab. 1). After in-hand breeding in August and September 2021, ewes were examined on the 35th and 70th day of gestation. The following data were collected: progesterone concentration in blood in ng/ml, pregnancy status, pregnancy rate and pregnancy losses. After birth, 40 placentae were weighed.

Pregnancy examination on the 35th and 70th day of gestation was performed transabdominally on the right side in the wool-free inguinal region with the Honda HS-1600 ultrasound scanner (Honda Electronics Co., Ltd., Toyohashi Aichi Prefecture, Tokyo, 441-3193 Japan) using a convex probe (HCS-736M) and a frequency of 7.5 MHz. An ultrasound gel (CV-Sonic, C+V Pharma-Depot GmbH, Versmold, 33775 Germany) was used for all ultrasonographic examinations.

Progesterone concentration was determined from blood samples using the mini Vidas device (bioMérieux, Marcy l'Etoile, 69280 France), which works according to the ELFA test principle (Enzyme Linked Fluorescent Assay).

The placentae (n = 40) were cleaned and weighed using a digital table scale (Kerbl, Albert Kerbl GmbH, Buchbach, 84428 Germany). Only complete placentae that were found immediately after birth were weighed.

Pregnancy rate is defined as the number of ewes that did not show oestrus symptoms again after the first pairing. Animals that showed renewed oestrus symptoms after mating were paired with the same ram a second time. The number of pregnancy losses includes the number of ewes which, after a positive pregnancy examination on the 35th day of gestation, were no longer pregnant at the repeated pregnancy examination on the 70th day of gestation or at the expected date of birth.

Lambs

Of 254 lambs born between 17/01/2022 and 23/02/2022 at the XXX, the first examination of the parameters described below was carried out on the second day of life at the latest: body weight (kg), body length (cm), sex and litter size. Within the first 48 hours after birth, the vitality of the lambs was documented. Body weight and length were recorded weekly until six weeks of age, then again at 10 and 14 weeks.

Body weight of the lambs was determined up to a weight of 15 kg using a digital table scale (Kerbl, Albert Kerbl GmbH, Buchbach, 84428 Germany) and thereafter using a digital sheep scale (Patura KG, Laudenbach, 63925 Germany). Body length was measured in centimetres using a roll-up measuring tape, which was attached to a homemade device and could be extended cranially. The lambs' hindquarters were held against a wooden bar to which the tape measure was attached, and the tape measure was extended to the transition from the neck to the back area. More detailed information about the measuring method can be found in Hümmlchen et al. (18).

A lamb was classified as vital if it showed undisturbed behaviour, normal condition, and regular milk consumption. A lamb was classified as sub-vital if it did not drink independently in the first 48 hours after birth or showed signs of illness, such as weakness, diarrhoea, increased body temperature or respiratory distress. Daily visual inspection of the lambs was carried out by a vet. From these observations, morbidity and mortality were defined as binary (0/1) coded traits for the first week of life and for the entire observation period (up to 14 weeks).

Statistics

Various statistical models were used to investigate the effects of selective breeding on the different pregnancy parameters as well as lamb development.

The effect of selective breeding and other fixed effects on linear traits for ewes (progesterone concentrations, placenta weight) and lambs (body weight and body length at birth and in week 14, daily body weight and body length gain) were calculated using linear mixed models.

Binary traits (stillbirth, mortality within the first week of life, mortality from the second week of life, morbidity over the entire study period, and sub-vitality) were corrected for the two breeding groups and other influencing factors using a generalised linear model. The procedure GLIMMIX of the statistical programme SAS OnDemand for Academics (SAS, 2023) was used for this purpose. For binary traits, the LSmeans for the respective probabilities of occurrence were transformed using a logit link function.

Ewe traits were analysed using the following models:

$$y_{ijklm} = \mu + \text{litter size}_i + \text{selective breeding}_j + \text{parity}_k + \text{day of gestation}_l + \text{ewe}_m + e_{ijklm}$$

where y_{ijklm} = observations for progesterone concentrations (P4-Model 1)

$$y_{ijklm} = \mu + \text{litter size}_i + \text{parity}_k + \text{selective breeding}_j * \text{day of gestation}_l + \text{ewe}_m + e_{ijklm}$$

where y_{ijklm} = observations for progesterone concentrations (P4-Model 2)

$$y_{ijk} = \mu + \text{litter size}_i + \text{selective breeding}_j + \text{parity}_k + e_{ijk}$$

where y_{ijk} = observations for placenta weight

and μ = the overall mean effect; litter size_i = fixed effect of ith litter size (i = single, twin, triplet); selective breeding_j = fixed effect of jth selective breeding group (j = short tailed ram + short tailed ewe, long tailed ram + long tailed ewe); parity_k = fixed effect of kth parity (k = 1, 2, 3, >3); day of gestation_l = fixed effect of lth pregnancy stage (l = 35th day of pregnancy, 70th day of pregnancy); ewe_m = random effect of mth ewe (m = 1 – 149); e_{ijklm} = random residual effect

For the fertility traits pregnancy rate and pregnancy loss rate, a chi-square test was carried out to compare the two matings.

Lamb traits were analysed using the following models:

$$y_{ijkl} = \mu + \text{litter size}_i * \text{selective breeding}_j + \text{parity}_k + \text{sex}_l + e_{ijkl}$$

where y_{ijkl} = observations for body weight and body length at birth and in week 14

$$y_{ijklmn} = \mu + \text{litter size}_i + \text{selective breeding}_j + \text{parity}_k + \text{sex}_l + \text{age}_m + \text{lamb}_n + e_{ijklmn}$$

where y_{ijklmn} = observations for daily body weight and body length gain

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijklmn} / (1 - \pi_{ijklmn})] = \mu + \text{litter size}_i + \text{selective breeding}_j + \text{parity}_k + \text{sex}_l$$

where π_{ijklm} = probability of occurrence for stillbirth, mortality within first week of age, mortality within 2nd – 14th week of age, morbidity for the whole period, sub-vitality within 48 hours p.p.

and μ = the overall mean effect; litter size_i = fixed effect of ith litter size (i = single, twin, triplet; for body weight and length only 2 categories single and multiple); selective breeding_j = fixed effect of jth selective breeding group (j = short tailed ram + short tailed ewe, long tailed ram + long tailed ewe); parity_k = fixed effect of kth parity (k = 1, 2, 3, >3); sex_l = fixed effect of lth sex (l = female, male); age_m = fixed effect of mth age (1st – 6th week of age, 10th + 14th week of age); lamb_n = random effect of nth lamb (n = 1 – 254)

Results

Ewes

The frequency of mating between ST and LT breeding pairs is shown in Table 1.

The pregnancy rate after the first mating was 75.71% (n = 53) for the ST group and 87.34% (n = 69) for the LT group. A total of 27 animals (18.12%) showed oestrus symptoms after the first mating. The pregnancy loss rate of the ST group (5.71%; n = 4) was slightly higher than that of the LT (3.80%; n = 3). The pregnancy rate shows only a small significant difference (p = 0.07), while the pregnancy loss rate does not differ significantly between the two mating groups (p = 0.58). The gestation period of 150.07 ± 1.00 days in the ST group did not differ from the gestation period of 149.80 ± 1.23 days in the LT group.

The influence of various factors on progesterone concentration (P4) during pregnancy is shown in Table 2.

Selective breeding or the number of previous lambings did not influence P4. The interaction of selective breeding and gestation length was also not significant (p = 0.18). Nevertheless, LT ewes demonstrated a higher P4 value than ST on both gestation days (Fig. 1).

The LSmeans of P4 across groups was $7.44 \text{ ng/ml} \pm 0.20$ on the 35th day and $7.75 \text{ ng/ml} \pm 0.20$ on the 70th day of gestation. The difference between the two time points was significant. For pregnant ewes from the ST group, the P4 value on the 35th day was $7.32 \text{ ng/ml} \pm 0.25$, while those from the LT group was $7.56 \text{ ng/ml} \pm 0.24$. On the 70th day of gestation, mean P4 in the ST group was $7.39 \text{ ng/ml} \pm 0.25$ and in the LT group was $7.84 \text{ ng/ml} \pm 0.24$ (Fig. 1).

Significant differences in the P4 value were found for litter size. Accordingly, triplets with a P4 of $9.05 \pm 0.49 \text{ ng/ml}$ demonstrated the highest concentration (singletons: $6.45 \pm 0.22 \text{ ng/ml}$, twins: $7.28 \pm 0.15 \text{ ng/ml}$) (Fig. 2).

As shown in Table 2, the number of previous lambings significantly influenced the placenta weight. A significant effect on placenta weight was not found for litter size or selective breeding. The LSmeans for placenta weight were 0.55 kg for the ST group and 0.44 kg for the LT group.

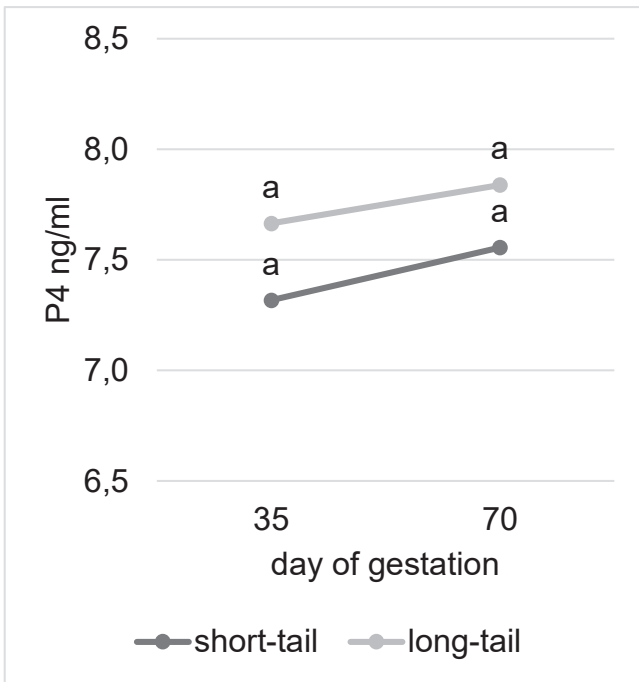


Figure 1. LSmeans of progesterone concentration (P4) on day 35 and day 70 of gestation in the two groups (short-tailed, long-tailed). The interaction of gestation day and breeding group is not significant ($p < 0.05$) for the gestation day, as well as in the pregnancy progression.

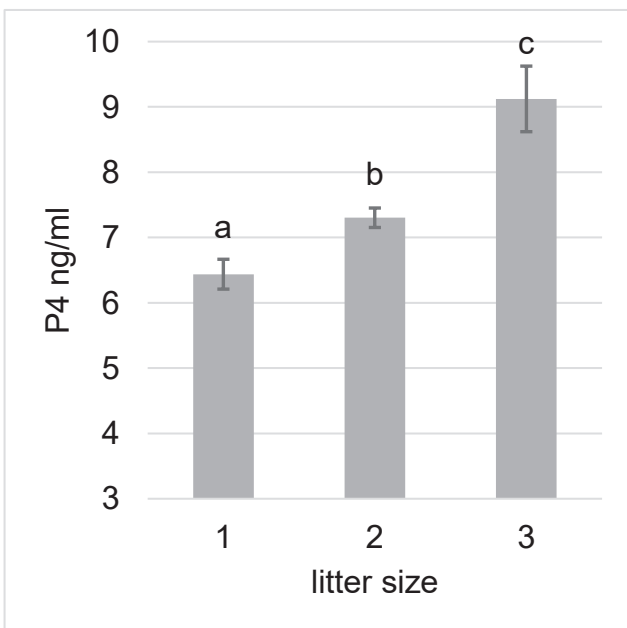


Figure 2. LSmeans of progesterone concentration (P4) for different litter sizes. Significant differences ($p < 0.05$) are marked with different letters.

Lambs

ST breeding produced 61 male (48.80%) and 64 female (51.20%) lambs. These comprised 13 singletons (10.40%), 94 lambs from a twin pregnancy (75.20%), and 18 lambs from a triplet pregnancy (14.40%). There were 67 male (51.94%) and 62 female (48.06%) lambs in the LT group. Of these lambs, 25 were singletons (19.38%), 98 lambs were from a twin pregnancy (75.97%), and 6 lambs (4.65 %) were born as triplets.

A total of 14 lambs were stillborn, nine lambs died within the first week of life and six other lambs died later. Eight lambs required veterinary treatment during the study period. The diseases included diarrhoea ($n = 5$), which was attributed to coccidia based on the result of a faecal sample examination. In addition, umbilical inflammation ($n = 1$), pneumonia ($n = 1$) and arthritis ($n = 1$) were documented.

The probability of stillbirth, mortality or susceptibility to disease in relation to selective breeding, as determined by the threshold model, is shown in Table 3. While the probability of stillbirth was 4.52% for the LT group, a probability of only 2.36% was determined for the ST group (Table 4). In contrast, ST lambs had a higher probability of mortality from the second week of life (0.09%) than LT lambs (0.02%). The probability of disease for the entire study period was 0.22% for ST lambs and 0.00% for LT lambs. Nevertheless, none of these parameters shows a significant difference between the two groups.

As shown in Table 3, the average growth rate of body length was not significantly related to litter size, sex, selective breeding, age of the lambs or number of previous lambings of the ewes. In contrast, the average weight development of the lambs demonstrated a significant influence by litter size, sex, number of previous lambings of the ewes and age of the lambs. Selective breeding showed a marginally significant influence on daily weight gain.

Sex of the lambs significantly affected the probability of stillbirth ($p = 0.01$), as 8.20% of male lambs were stillborn versus 1.26% of female lambs. All other fixed effects tested, such as number of previous lambs and litter size, had no significant effect on the number of stillbirths and susceptibility to increased mortality and morbidity. Although the raw data showed a clustered occurrence of disease cases in lambs from short-tailed selective breeding, no significant effect was found for the selective

breeding in the model. Since the model corrects for clustering in certain effect levels, the difference between LSmeans was not significant.

The probability that a lamb was sub-vital showed no significant difference in terms of sex, number of previous lambings or selective breeding (Table 3). There was a significant relationship between sub-vitality and litter size ($p = 0.0008$). The probability of a lamb from triplets being sub-vital was highest, at 1.49% (singleton: 0.00 %; twin: 0.93%).

Apart from a significantly different probability of stillbirths, sex was not significantly associated with any other parameter. This also applies to litter size, for which a significant effect was found only for probability of sub-viability.

LSmeans of birth weight of singleton lambs in the ST group was 6.59 ± 0.22 kg; for the combined group of multiple lambs (≥ 2 lambs) this was 5.10 ± 0.08 kg. The average birth weight of singletons of the LT group was 6.43 ± 0.16 kg, and that for multiples was 5.24 ± 0.08 kg. At the last measurement in the 14th week of life, ST singletons had an average body weight of 47.23 ± 1.65 kg; for multiples the value is 41.62 ± 0.60 kg. LT singletons had an average weight of 49.56 ± 1.15 kg and multiples were 43.33 ± 0.57 kg at this time. The LSmeans for the body weights of the different groups of lambs are shown in Table 5. At 14 weeks, LT multiple lambs reached significantly higher average weights than ST lambs. For the measurement at birth and at 14 weeks, significant differences for litter size could be found, independent of group.

LSmeans of daily weight gain over the entire study period were 0.41 ± 0.02 kg per day for ST singletons and 0.36 ± 0.01 kg for ST multiples. LT singletons gained an average 0.44 ± 0.01 kg per day and LT multiples gained 0.37 ± 0.01 kg.

The LSmeans for body length of singletons in the ST group was 34.82 ± 0.61 cm at birth. Multiples (≥ 2 lambs) in the ST group had a significantly different body length of 31.90 ± 0.23 cm at birth. The body length of singleton lambs in the LT group was 36.64 ± 0.45 cm; average body length of multiple lambs in the LT group was 32.46 ± 0.22 cm. At the last measurement in the 14th week of life, ST singletons had an average body length of 64.78 ± 1.16 cm and multiples were 62.73 ± 0.42 cm. At this time, LT singletons showed an average body length of 66.40 ± 0.81 cm and LT multiples were 63.41 ± 0.40 cm. LSmeans for the body lengths of the different groups are shown in Table 5. These results demonstrate that singleton lambs were significantly larger than

multiple lambs at the time of birth and at 14 weeks. Even though the LT lambs predominantly had higher average body lengths, only a slightly significant difference could be found for singletons compared to ST lambs (Table 5).

The LSmeans for the growth rate of body length over the whole study period was 0.37 ± 0.29 cm per day for the ST group and 0.38 ± 0.30 cm per day for the LT group.

Discussion

In the context of implementing a breeding value for targeted breeding for short-tailedness in sheep, it is necessary to investigate possible negative effects on reproductive performance and lamb rearing of short-tailed ewes.

The aim of this study was to determine whether there are differences in reproductive parameters and the lamb performance for the two groups (ST, LT).

A slightly higher pregnancy rate was found for long-tailed ewes (87.34%) compared to short-tailed ewes (75.71%). The difference was only marginally significant ($p = 0.007$).

Both pairings had a physiological gestation period for sheep of 150 ± 2 days (19).

In addition, progesterone was measured as a further parameter of the endocrine function of the placenta during pregnancy (19). It was found that selective breeding did not cause significant differences in P4. Only time of measurement during pregnancy and litter size was significantly associated with progesterone levels. Previous studies have also demonstrated that progesterone level increases significantly with the number of foetuses and the duration of gestation (20-22). This is explained by the fact that there are more placental tissue, that synthesized P4 in a multiple pregnancy than in a singleton pregnancy (20, 23) and that the placenta replaces the ovaries as the source of progesterone synthesis in sheep during progressive pregnancy (24). Both groups of ewes were within the physiological lambing rate of 150-200% for Merino sheep (25).

The lack of significant differences in reproduction parameters suggests that the fertility of ewes is not influenced by selective breeding (ST, LT).

A comparison of the lambs from the two groups showed that selective breeding had no significant influence on body length development and only a marginally significant influence on body weight development. The interaction of selective breeding and litter size was significant for body length and body weight at birth and at 14 weeks of age. Thus, a higher average body weight at 14 weeks was recorded for lambs of long-tailed

breeding pairs. However, this led to statistically significant differences only in the case of multiples. This leads to the assumption that naturally long-tailed animals may demonstrate better weight gain. Whether this development continues with further shortening of the tail in the next generations in the course of breeding selection must be further investigated.

A previous genetic study about the relationship between tail length and body weight (14) indicated that lambs with longer tails have more favourable genes for positive weight development. This advantage is relativized by the fact that a long tail can lead to a higher susceptibility of disease, for example increasing the risk of infection in the event of diarrhoea and the risk of fractures (4, 17). It is not expected that selection for shorter tails will have a significant impact on body weight development, as there are only minor adverse effects on weight (17).

As expected, this study found that male lambs had both a significantly higher body weight and a significantly greater body length than females at birth and at 14 weeks. A higher birth weight of male lambs compared to females has been established in other studies (26, 27). Larger body weight and body length in singletons compared to multiples has also been described elsewhere (28, 29).

The statistical analysis of parameters of lamb performance, such as the stillbirths and the susceptibility to lamb losses did not reveal any significant influences by selective breeding in the model calculation. This is of great importance, especially with regard to a successful rearing rate, which is essential for sheep farmers. A nationwide study on the profitability of sheep farming in Germany (2020) demonstrated that over 90% of the revenue from sheep farming is generated through lamb marketing (30).

In this study, few significant differences were observed between the two groups. As such, no negative aspects of breeding for short tails can be identified at this time. As other studies have demonstrated negative aspects of an undocked sheep tail, such as increased incidence of tail vertebrae fractures and tail malformations (3), the selection of suitable breeding animals with naturally shorter tails in sheep breeding should be further pursued.

Conclusions

Since a heritability of about 0.60 was determined for tail length (17, 31), breeding for short tails in a few generations seems promising. It is assumed that breeding for short-

tailedness will be widely accepted in society (14), since the mouflon, as a wild form of sheep, has a short, thin tail, just like the ancestors of today's sheep (1, 32).

The present study shows that breeding for short-tailedness in Merino sheep is not expected to have a negative influence on reproductive parameters, neonatal vitality and physical development of lambs up to the 14th week of life.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Shelton, M. Studies on tail length of Rambouillet and Mouflon sheep. *J. Hered.* **1977**, *68*, 128-130. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a108788>.
2. Sutherland, M.A.; Tucker, C.B. The long and short of it: A review of tail docking in farm animals. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2011**, *135*, 179-191. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.10.015>
3. Wall, R. Ovine cutaneous myiasis: Effects on production and control. *Veter Parasitol.* **2012**, *189*, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.031>
4. Hümmelchen, H., Wagner, H., Brügemann, K., Wenisch, S., König, S., Wehrend, A. Frequency and characterisation of anomalies and fractures of the caudal spine in sheep with undocked tails. *Animals* **2023**, *13*, 1419. <https://doi.org/10.3390/ani13081419>
5. Grant, C. Behavioural responses of lambs to common painful husbandry procedures. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2004**, *87*, 255-273. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.011>.
6. Pollard, J.C.; Roos, V.; Littlejohn, R.P. Effects of an oral dose of acetyl salicylate at tail docking on the behaviour of lambs aged three to six weeks. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2001**, *71*, 29-42. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(00\)00170-2](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(00)00170-2).
7. Hümmelchen, H.; Wagner, H.; König, S.; Wehrend, A. Importance of tail length in sheep and the breeding for short tails. *Tierarztl Prax Ausg G Großtiere Nutztiere* **2022**, *50*, 187-194. <https://doi.org/10.1055/a-1851-9402>.
8. Wiesner, E., Willer, S. *Veterinary Pathogenetics*. Fischer: Jena, Germany, 1974.
9. DeForest, M.E.; Basrur, P.K. Malformations and the Manx syndrome in cats. *Can. Veter J.* **1979**, *20*, 304-314.
10. Robinson, R. Expressivity of the Manx gene in cats. *J. Hered.* **1993**, *84*, 170-172. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a111311>
11. Hytönen, M.K.; Grall, A.; Hédan, B.; Dréano, S.; Seguin, S.J.; Delattre, D.; Thomas, A.; Galibert, F.; Paulin, L.; Lohi, H.; et al. Ancestral T-Box Mutation Is Present in Many, but Not All, Short-Tailed Dog Breeds. *J. Hered.* **2009**, *100*, 236-240. <https://doi.org/10.1093/jhered/esn085>.
12. Indrebø, A., Langeland, M., Juul, H.M., Skogmo, H.K., Rengmark, A.H., Lingaas, F. A study of inherited short tail and taillessness in Pembroke Welsh

- corgi. *J Small Anim Pract* **2008**, *49*, 220-224. <https://doi:10.1111/j.1748-5827.2007.00435.x>
13. Buckingham, K.J.; McMillin, M.J.; Brassil, M.M.; Shively, K.M.; Magnaye, K.M.; Cortes, A.; Weinmann, A.S.; Lyons, L.A.; Bamshad, M.J. Multiple mutant T alleles cause haploinsufficiency of brachyury and short tails in Manx cats. *Mamm. Genome* **2013**, *24*, 400-408. <https://doi.org/10.1007/s00335-013-9471-1>.
 14. Lagler, D.K., Hannemann, E., Eck, K., Klawatsch, J., Seichter, D., Russ, I., Mendel, C., Lühken, G., Krebs, S., Blum, H., Upadhyay, M., Medugorac, I. Fine-mapping and identification of candidate causal genes for tail length in the Merinoland sheep breed. *Commun Biol* **2022**, *5*, 918. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03854-3>
 15. Wilson, J.W. Development of the Notail Sheep. *Agric. Exp. Stn. Circ.* **1940**, *25*, 3-22.
 16. Jordan, R.M. The description of the No-Tail breed of sheep following forty years of breeding. *Proc. S. D. Acad. Sci.* **1952**, *31*, 103-104.
 17. Oberpenning, J.; Bohlouli, M.; Engel, P.; Hümmelchen, H.; Wagner, H.; Wehrend, A.; König, S. Multiple-trait and structural equation modelling approaches to infer genetic relationships between tail length and weight traits in Merinoland sheep. *J. Anim. Breed. Genet.* **2022**, *140*, 132-143. <https://doi.org/10.1111/jbg.12752>.
 18. Hümmelchen, H.; Wenisch, S.; Brügemann, K.; König, S.; Wagner, H.W. Phenotyping the Sheep Tail-Presentation of Methods for Characterization in the Context of Breeding for Short-Tailedness. *Tierarztl Prax Ausg G Großtiere Nutztiere* **2023**, *51*, 6-14.
 19. Bostedt, H.; Ganter, M.; Hiepe, T. *Klinik der Schaf- und Ziegenkrankheiten*; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, Germany, 2019; ISBN 9783132422810.
 20. Pasciu, V., Nieddu, M., Baralla, E., Porcu, C., Sotgiu, F., Berlinguer, F. Measurement of progesterone in sheep using a commercial ELISA kit for human plasma. *J Vet Diagn Invest* **2022**, *3*, 90-93. <https://doi:10.1177/10406387211043513>
 21. Boscós, C.M., Samartzi, F.C., Lymberopoulos, A.G., Stefanakis, A., Belibasaki, S. Assessment of progesterone concentration using enzyme immunoassay, for

- early pregnancy diagnosis in sheep and goats. *Reprod Domest Anim* **2003**, *38*, 170-174. <https://doi:10.1046/j.1439-0531.2003.00407.x>
22. Gür, S., Türk, G., Demirci, E., Yüce, A., Sönmez, M., Ozer, S., Aksu, E. Effect of pregnancy and foetal number on diameter of corpus luteum, maternal progesterone concentration and oxidant/antioxidant balance in ewes. *Reprod Domest Anim* **2011**, *46*, 289-295. <https://doi:10.1111/j.1439-0531.2010.01660.x>
23. Karen, A., Kovács, P., Beckers, J.F., Szenci, O. Pregnancy Diagnosis in Sheep: Review of the Most Practical Methods. *Acta Vet. Brno* **2001**, *70*, 115-126. <https://doi:10.2754/avb200170020115>
24. Silver, M. Placental progestagens in the sheep and horse and the changes leading to parturition. *Exp Clin Endocrinol* **1994**, *102*, 203-11. <https://doi:10.1055/s-0029-1211284>
25. Bellof, G.; Granz, S. *Tierproduktion*; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, Germany, 2018. doi:10.1055/b-006-161626
26. Von Senden genannt Haverkamp, H., Brandt, H.R., Erhardt, G. Variation in tail length in Merinoland sheep as a basis for breeding activities at the Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e. V. und der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaften e.V., Berlin, Germany, 2015.
27. Bohte-Wilhelmus, D.I., de Haas, Y., Windig, J.J., Veerkamp, R.F. Genetic Selection as Alternative to Tail Docking in Hampshire Down and Clun Forest at the 9th World Congress on Genetically Applied to Livestock Production (WCGALP), Leipzig, Germany, 2010.
28. Washaya, S., Ngorio, U., Mudzengi, C.P. Effects of the breeding season, birth type and sex on growth and reproductive performances of sheep breeds. *Trop Anim Health Prod* **2023**, *55*, 188. <https://doi:10.1007/s11250-023-03575-7>
29. Eck, K., Kunz, E., Mendel, C., Lühken, G., Medugorac, I. Morphometric measurements in lambs as a basis for future mapping studies. *Small Rumin. Res.* **2019**, *181*, 57-64. <https://doi:10.1016/j.smallrumres.2019.04.007>
30. Korn, S.V. Non-curative interventions in sheep and goats. *Breeding Science* **2016**, *88*, 445-455.
31. Greeff, J.C., Karlsson, L. J. E., Schlink, A.C. Inheritance of tail length in Merino sheep. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* **2015**, *21*, 237–240.
32. James, P.J., Gare, D.R., Singh, A.W., Ancell, P.M. Studies of the potential for breeding short tail merinos. *Wool. Technol. Sheep Breed.*, **1991**, *38*, 106-111

Tables

Table 1. Mating distribution presented as absolute frequencies and percentages of the two groups: short-tailed (ST) and long-tailed (LT). Mean (M) and standard deviation (SD) of ewe tail length are shown in brackets.

	Ram 1, ST	Ram 2, ST	Ram 3, LT	Ram 4, LT	Total
Ewe, ST (M: 21.69 cm, SD: 1.65 cm)	33 22.15%	37 24.83%	0 0.00%	0 0.00%	70 46.98%
Ewe, LT (M: 24.98 cm, SD: 1.93 cm)	0 0.00%	0 0.00%	40 26.85%	39 26.17%	79 53.02%
Total	33 22.15%	37 24.83%	40 26.85%	39 26.17%	149 100.00%

Table 2. P-values from the global F-test of the fixed effects on progesterone (P4-Model 1) and placenta weight. P4-Model 2 shows the results of the model with the interaction “gestation day*selective breeding”.

Effect	P4-Model 1	P4-Model 2	Placenta weight
Day of gestation	0.04	-	-
Parity	0.08	0.08	0.02
Litter size	<0.0001	<0.0001	0.15
Selective breeding	0.38	-	0.24
Selective breeding* day of gestation	-	0.18	-

Table 3. P-values from the global F-test of the fixed effects on body length (BL) and body weight (BW) at birth and at the 14th week of life (LW), number of stillbirths, mortality probability within the 1st LW and from the 2nd LW, he morbidity probability over the entire experimental period as well as daily body length development (BLD) and body weight development (BWD) over the entire experimental period.

Features	Influencing factors					
	Parity	Litter size	Sex	Selective breeding	Age	Litter size *selective breeding
BL Birth	0.009	-	0.0581	-	-	<0.0001
BL_14th LW	0.47	-	<0.0001	-	-	0.0009
BW_Birth	0.0002	-	0.0024	-	-	<0.0001
BW_14th LW	0.0109	-	<.0001	-	-	<0.0001
BLD	0.34	0.82	0.49	0.91	<0.0001	-
BWD	0.02	<0.0001	0.0003	0.09	<0.0001	-
Stillbirths	0.33	0.35	0.01	0.27	-	-
Mortality probability ≤ 1st LW	0.85	0.39	0.60	1.00	-	-
Mortality probability > 1st LW	0.98	0.98	0.89	0.11	-	-
Susceptibility to disease	0.77	0.98	0.89	0.98	-	-
Sub-vitality	0.28	0.0008	0.58	0.87	-	-

Table 4. Probability of stillbirths, probability of mortality within the first week of life (LW) and from the second LW onwards, as well as probability of disease over the entire experimental period for short-tailed (ST) and long-tailed (LT) selective breeding.

	ST	LT
Stillbirths	2.30% ^a	4.52% ^a
Mortality probability ≤ 1. LW	0.24% ^a	0.24% ^a
Mortality probability > 1. LW	0.09% ^a	0.02% ^a
Probability of disease	0.22% ^a	0.00% ^a

Table 5. LSmeans for body length (BL, in cm) and body weight (BW, in kg) of lambs from the short-tailed (ST) and long-tailed (LT) pairings, separated into singletons and multiples. Significant differences ($p < 0.05$) are marked with different letters. Standard errors are shown in brackets.

	BW		BL	
	Birth	14th LW	Birth	14th LW
Singleton, ST	6.59 ^a (0.22)	47.23 ^a (1.65)	34.82 ^a (0.61)	64.78 ^{ab} (1.16)
Multiple, ST	5.10 ^b (0.08)	41.62 ^c (0.60)	31.90 ^b (0.23)	62.73 ^b (0.42)
Singleton, LT	6.43 ^a (0.16)	49.56 ^a (1.15)	34.64 ^a (0.45)	66.40 ^a (0.81)
Multiple, LT	5.24 ^b (0.08)	43.33 ^b (0.57)	32.46 ^b (0.22)	63.41 ^b (0.40)

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Fragestellungen

Die Amputation der kaudalen Wirbelsäule stellt weltweit eine gängige Praxis in der Haltung langschwänziger Schafrassen dar. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass die Amputation der kaudalen Schwanzwirbel bei Lämmern deutliche Schmerzreaktionen hervorruft, welche einerseits durch erhöhte Kortisol-Werte (Lester et al. 1996) und andererseits durch ein verändertes Verhalten verifiziert wurden (Grant 2004, Pollard et al. 2001). Aufgrund des steigenden gesellschaftlichen Drucks und der zunehmenden Verschärfung der rechtlichen Situation in der Tierhaltung, ist die Etablierung einer Alternative zu dem routinemäßigen Schwanzkupieren beim Schaf unerlässlich. Dies gilt insbesondere für langschwänzige Schafrassen, wie z.B. das Merinolandschaf, welches weltweit eine bedeutende Rolle spielt. Einige Länder haben das Kupieren der Schwänze bei Schafen deutlich eingeschränkt. In Deutschland beschränkt das Tierschutzgesetz §5 Absatz 3 Satz 4 die betäubungslose Amputation des Schwanzes bei Lämmern mittels elastischer Gummiringe auf ein Alter von bis zu acht Lebenstagen und in Verbindung mit §6 Absatz 3 auf Einzelfälle, falls der Eingriff für die vorgesehene Nutzung des Tieres, zu dessen Schutz oder zum Schutz anderer Tiere unerlässlich ist (Deutsches Tierschutzgesetz 2021). Abgesehen davon verbietet §6 des deutschen Tierschutzgesetzes jegliche Amputation von Körperteilen. Da lange, bewollte Schwänze jedoch insbesondere bei ernährungs- oder krankheitsbedingten Durchfällen, zu einer vermehrten Ansammlung von Kot und Schmutz im perianalen Bereich führen (Shelton 1977), stellte das Kupieren des Schafschwanzes bisher vor allem eine prophylaktische Maßnahme dar. So soll durch den kurzen Schwanz einer übermäßigen Kotverschmutzung und somit der Entstehung von Wunden und Infektionen im Bereich des Schwanzes und der Anogenitalregion entgegengewirkt werden (Shelton 1977). Im Vordergrund steht dabei die Verhinderung der Einnistung von Fliegenlarven und die daraus folgende Wundmyiasis, welche unbehandelt tödliche Folgen für das Einzeltier haben kann (Wall 2012).

Um eine gezielte Zucht auf kürzere Schwänze in der Schafzucht zu etablieren, muss als Voraussetzung die Schwanzlänge bei Schafen routinemäßig erfasst werden.

Eine im Jahr 2020 veröffentlichte Studie befasste sich bereits mit der Messung der Schwanzlänge mithilfe verschiedener Techniken sowie dem optimalen Messzeitpunkt

(Eck et al. 2019). Die Autoren konnten eine hohe Reliabilität bei der Schwanzlängenmessung mit einem Standardfehler von 0,21 cm und einen Varianzkoeffizienten von 0,72 % feststellen. Der beste Messzeitpunkt liegt laut den Untersuchungsergebnissen in der fünften Lebenswoche, da zu diesem Zeitpunkt der niedrigste Variationskoeffizient festgestellt werden konnte. Außerdem beginnen die Lämmer zu diesem Zeitpunkt aufrecht und still zu stehen. Nachteilig ist, dass die Lämmer für die Messung extra gefangen werden müssen. Eine frühere Messung, am besten innerhalb der ersten Lebensstage, könnte mit zootecnischen Maßnahmen am neonatalen Lamm, wie z.B. der Nabeldesinfektion oder der Kennzeichnung mittels Ohrmarken, assoziiert werden, sodass der zusätzliche Arbeitsschritt des Einfangens wegfallen würde.

Die Herdbuchdatenbank OviCap der Vereinigung Deutscher Landesschaftzuchtverbände e. V. (VDL) und des Bundesverbands Deutscher Ziegenzüchter e. V. (BDZ) stellt eine deutlich vereinfachte Methode zur Schwanzlängenbeurteilung beim Schaf zur Verfügung. Nach dem OviCap-Schema wird die Schwanzlänge in über dem Sprunggelenk endend (kurz), auf Höhe des Sprunggelenkes endend (mittel) und unterhalb des Sprunggelenkes endend (lang) eingeteilt. Dieses Schema bietet nur eine grobe Einschätzung, welche jedoch auch ohne das Tier anfassen zu müssen, durchgeführt werden kann. Es liegt folglich keine etablierte Methode zur Schwanzmessung vor, welche exakte Daten am ersten Lebenstag liefert.

Bisher fehlen in der Literatur systematische Untersuchungen zur radiologischen Darstellung der Schwanzstrukturen von Schafen. Diese Untersuchungsmethode wurde bereits bei anderen Tierarten zur Darstellung von Wirbelveränderungen etabliert. So konnten durch eine röntgenologische Untersuchung am Schwanzbereich von jungen Hunden verschiedene Anomalien der Schwanzwirbelsäule wie Keil- und Blockwirbel dargestellt und klassifiziert werden (Schawalder et al. 2010). Diese Studie zeigt, dass bestimmte Anomalien durch die klinische Untersuchung nicht erfasst werden können, sondern sich nur im Röntgenbild darstellen.

Um möglichst größere Tierzahlen im Betrieb zu erfassen, wurde im Rahmen dieser Arbeit der Einsatz eines mobilen Röntgengerätes getestet. Zudem ist das Auszählen der Wirbelkörper und die eindeutige Identifizierung von pathologischen

Wirbelveränderungen ebenso wie die Erfassung von Gewebeschäden makroskopisch nicht möglich.

Die Ultrasonographie ist ein vielseitig einsetzbares, nicht-invasives Verfahren, welches sofort verfügbare visuelle Informationen unter anderem über gutartige und bösartige Prozesse in der Haut und Unterhaut liefert und in vielen Fachrichtungen der Humanmedizin angewandt wird (Dill-Müller und Maschke 2007). Neben der klassischen B-Mode Sonographie kann zusätzlich eine Gewebeuntersuchung mithilfe der Graustufenanalyse durchgeführt werden. Da das menschliche Auge lediglich 25 Grautöne unterscheiden kann (Gebel 2000, Lieu 2010), ermöglicht die Graustufenanalyse eine umfangreiche, objektive Darstellung von Geweben und wird in der Veterinärmedizin unter anderem in der Reproduktionsmedizin (Kauffold et al. 2010, Kauffold et al. 2011) sowie in der Kleintierinternistik (Gaschen und Kircher 2007) für diagnostische Zwecke eingesetzt. Da bisher keine Daten zur in-vivo-Gewebecharakterisierung im Schwanzbereich bei Schafen vorliegen, war es Aufgabe die Grauwertanalyse in dieser Körperregion beim Schaf zu etablieren.

Weiterhin wurde in der vorgestellten Studie die Darstellbarkeit der *Arteria caudalis mediana* bei Schaflämmern untersucht. Die Perfusionsgeschwindigkeitsmessung mithilfe eines Verfahrens zur mikrovaskulären Bildgebung (Superb Microvascular Imaging = SMI) ist ein neues Verfahren zur Gefäßdarstellung, welches die Visualisierung von niedrigen Geschwindigkeiten und mikrovaskulärem Fluss ermöglicht (Artul et al. 2017, Zhan et al. 2016). Dieses Verfahrens wird in der Humanmedizin unter anderem in der Onkologie zur Beurteilung von neoplastischen Brust- und Leberläsionen angewandt (Lee et al. 2016, Zhan et al. 2016). In dieser Studie wurde das SMI zum ersten Mal beim Schaf evaluiert. Dazu wurde die *Arteria caudalis mediana* bei 24 Lämmern untersucht.

Diese Untersuchungen zur Charakterisierung der kaudalen Wirbelsäule beim Schaf im Rahmen einer gezielten Zucht auf Kurzschwanzigkeit sind sinnvoll und notwendig, da verschiedene Missbildungen des Schwanzbereiches bei mehreren Tierarten bekannt und mit der Kurzschwanzigkeit assoziiert sind. Dazu zählen die abnorme Verkürzung der Schwanzwirbelsäule (Brachyurie), die Schwanzlosigkeit (Anurie) sowie die Verkrümmungen der distalen Schwanzwirbelsäule (Wiesner und Willer 1974). Bekannte komplexere Missbildungen sind das Kaudo-Rekto-Urogenital-Syndrom und das Anophthalmie-Anurie-Syndrom beim Rind (Wiesner und Willer 1974). Die Manx-

Katze stellt ein klassisches Beispiel einer mit Kurzschwanzigkeit assoziierten negativen Merkmalsausprägung dar. Die deutliche Verkürzung der Schwanzwirbelsäule und damit einhergehende anatomische Veränderung der Beckenstrukturen, führt bei betroffenen Katzen zu Urin- und Kotinkontinenz sowie einer eingeschränkten Bewegungsfähigkeit der Hintergliedmaßen (DeForest und Basur 1979, Robinson 1993). Auch bei Hunden sind mit der Schwanzlänge assoziierte Missbildungen beobachtet worden (Hytönen et al. 2009, Indrebø et al. 2008).

Um diese potentiellen Missbildungen der Schwanzwirbelsäule ebenso wie eine Minderdurchblutung des Schwanzbereiches bei der Zucht auf Kurzschwanzigkeit zu vermeiden, ist es notwendig, die Morphologie des Schwanzes umfassend im Rahmen der Etablierung eines Zuchtprogrammes auf Kurzschwanzigkeit zu evaluieren.

Die in dieser Studie berücksichtigte Auswirkung der Zucht auf Kurzschwanzigkeit auf Reproduktionsparameter wurde in den anderen Studien nicht behandelt. Um diese Lücke in der Literatur zu schließen, wurde die Trächtigkeitsrate, die Trächtigkeitsverlustrate sowie die Progesteronkonzentration am 35. Und 70. Trächtigkeitstag der Muttertiere der beiden unterschiedlichen Schwanzlängen-Anpaarungen (KA, LA) untersucht. Zusätzlich wurde von 40 Plazenten das Gewicht erfasst. Um die Aufzuchtleistung der beiden Anpaarungen zu vergleichen, wurde bei den Lämmern die Totgeburtenrate, die Sterblichkeitswahrscheinlichkeit innerhalb der ersten und ab der zweiten Lebenswoche, die Krankheitsanfälligkeit sowie die Vitalität beurteilt. Eine erfolgreiche Aufzuchtsrate ist für Schafhalter von großer Bedeutung, da ein Großteil des Erlöses kommerzieller Schafhaltung über die Lammvermarktung erfolgt (Korn 2020). Um die Zucht auf Kurzschwanzigkeit in der deutschen Schafhaltung zu etablieren, darf diese nicht zu einer verminderten Reproduktionsleistung der Elterntiere oder zu einer verminderten Aufzuchtsrate der Lämmer führen.

5.2 Diskussion der Methode

5.2.1 Literaturübersicht

Die Grundlage der Literaturübersicht ist eine im Jahr 2022 publizierte Veröffentlichung, welche die zu diesem Zeitpunkt zugängliche Literatur beschreibt, wertet und zusammenfasst. Drei weitere Publikationen, welche die Thematik ebenfalls ansprechen, wurden seitdem veröffentlicht.

Eine im letzten Jahr veröffentlichte Studie analysierte die natürliche Schwanzlängenvariation im Merinolandschaf und diente der Identifizierung kausaler Allele, welche für das Auftreten eines kurzschwänzigen Phänotyps innerhalb langschwänziger Schafrassen verantwortlich sind (Lagler et al. 2022). Die Autoren konnten einen potenziellen Einfluss der Gene HOXB6, HOXB8 und HOXB13 auf die Schwanzlänge zeigen, wobei das Gen HOXB13 den wahrscheinlich größten Effekt aufweist.

Eine weitere Studie untersuchte den Zusammenhang genetischer und phänotypischer Parameter, wie die Schwanzlänge bei der Geburt, das Geburtsgewicht, das Absetzgewicht und das Schlachtgewicht bei Merinolandschafälammern (Oberpenning et al. 2022). In dieser Untersuchung wurde eine direkte Heritabilität für die Schwanzlänge von $0,60 \pm 0,08$ errechnet. Dies stellt das Potenzial einer genetischen Reduzierung der Schwanzlänge innerhalb weniger Generationen heraus. Die Autoren stellten die Theorie auf, dass Lämmer mit langen bewollten Schwänzen ein erhöhtes Risiko für durch Verunreinigungen hervorgerufene Infektionen haben, welche die Körpergewichtsentwicklung beeinträchtigen können.

Eine 2023 veröffentlichte Studie aus Australien untersuchte die Übereinstimmung von zwei Beobachtern sowie die Wiederholungsprüfung von drei verschiedenen Methoden zur Messung der Schwanzlänge von 99 mittels Gummiring kupierten Merinoschafen (Woodruff et al. 2023). Da in Australien das Kupieren bei Schafen erlaubt ist, gibt es verschiedene Empfehlungen für die Länge des Schwanzes, welche jedoch kein einheitliches Maß verwenden. Um eine fehlerhafte Interpretation der Empfehlungen und ein folglich zu kurz gekürzter Schafschwanz zu verhindern, zielten die Autoren dieser Studie auf die Standardisierung einer Methode zur Beurteilung der durch das Kupieren zu erreichende Schwanzlänge ab. Dazu wurde die verbleibende Schwanzlänge nach dem Kupiervorgang anhand der Vulvaabdeckung, der Länge in Millimetern und durch die ertastete Anzahl an Zwischenwirbelräumen beurteilt. Für die

Beurteilung der Länge in Millimetern und der Bedeckung der Vulva konnten zuverlässigere Ergebnisse erreicht werden, als für das Abtasten der Gelenke. Die Autoren konnten zeigen, dass die beiden zuverlässigeren Methoden einen Vergleich mit der empfohlenen Schwanzkupierlänge ermöglichen. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Überwachung der Schwanzlänge in Betrieben, um sicherzustellen, dass die Praxis des Schwanzkupierens zu einem angemessenen Schutz der Vulva für die gesamte Lebensdauer der Schafe führt.

5.2.2 Studienpopulation

Um eine größtmögliche Repräsentativität gewährleisten zu können, ist eine ausreichend große Studienpopulation in wissenschaftlichen Untersuchungen von großer Bedeutung. In der vorgestellten Studie wurden 149 Muttertiere und 256 Lämmer der Rasse Merinolandschaf untersucht. Als Versuchstiere wurde eine Merinolandschafpopulation ausgewählt, da das Merinoschaf die häufigste Schafrasse in Deutschland darstellt (Rahmann 2007). Außerdem verfügt diese Tierart über einen langen, bewollten Schwanz. An der Lehr- und Forschungseinrichtung Oberer Hardthof werden bereits seit mehreren Jahrzehnten die Schwanzlängen der Lämmer bei Geburt erfasst. Aus diesen Daten wurden Zuchtwerte für die Elterntiere errechnet, sodass eine gezielte Anpaarung kurz- bzw. langschwänziger Tiere durchgeführt werden konnte. Diese gezielte Anpaarung war wichtig, um eine Aussagekraft über die Auswirkung der gezielten Selektion kurz- und langschwänziger Elterntiere tätigen zu können.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

Da die Ergebnisse bereits ausführlich in den jeweiligen Veröffentlichungen diskutiert wurden, wird im Folgenden nur auf einzelne wesentliche Aspekte eingegangen.

Im Rahmen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die phänotypische Beurteilung der Schwanzlänge und des Schwanzumfanges schon am ersten Lebenstag mithilfe einer selbstgebauten Messkonstruktion gut durchführbar und reproduzierbar ist. Die Wiederholungsmessungen in dieser Studie wiesen eine Standardabweichung von 0,08 cm und einen Variationskoeffizienten von 0,23 % für die Schwanzlänge bzw. 0,78 % für den Schwanzumfang auf. Damit wurden bessere Werte erzielt als in der Studie

von Eck et al. (2019). Die hohe Reliabilität der Messungen in dieser Studie ist auf die vereinfachte Messung aller untersuchten Parameter zurückzuführen, welche durch die Messeinrichtung, die selbst nicht festgehalten werden muss, gewährleistet wird.

Die röntgenologische Untersuchung mithilfe einer mobilen Röntgenanlage ermöglichte die Darstellung und Beurteilung der Schwanzwirbelsäule beim Schaf vor Ort im Praxisbetrieb. Dadurch konnte den Lämmern der Transportweg und der mit dem Transport verbundene Stress zu einer Untersuchungsstelle erspart werden. Da die Zählung der zu ertastenden Wirbelgelenke in einer Studie unzuverlässiger ist, als die Messung der Schwanzlänge in Zentimetern (Woodruff et al. 2023), stellt die röntgenologische Darstellung eine Möglichkeit zur exakten Zählung der Schwanzwirbel dar. Außerdem konnte gezeigt werden, dass durch die röntgenologische Untersuchung verschiedene pathologische Veränderungen der Schwanzwirbelsäule darstellbar sind, welche rein phänotypisch nicht erfassbar waren. Erstmals konnte eine Häufigkeit für das Auftreten von pathologischen Schwanzwirbelveränderungen beim Schaf festgehalten werden. Es konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem Auftreten von Wirbelfrakturen und der Schwanzlänge und der Wirbelanzahl festgestellt werden. Im Gegensatz dazu wies das Auftreten von Block- und Keilwirbeln keinen signifikanten Zusammenhang zur Schwanzlänge, dem Schwanzumfang oder der Wirbelanzahl auf. Wichtig zu beachten ist, dass diese Untersuchungen nur an einer Schafrasse in einem Betrieb durchgeführt wurden. Um aussagekräftige Daten über das Auftreten von Schwanzwirbelmissbildungen beim Schaf generell zu erhalten, sollten weitere Untersuchungen bei verschiedenen Schafrassen erfolgen. Es kann jedoch die Hypothese aufgestellt werden, dass mit steigender Schwanzlänge, die Gefahr von Wirbelfrakturen wächst. Dies stellt einen weiteren Aspekt dar, welcher den Vorteil einer Zucht auf Kurzschwänzigkeit unterstreicht, unabhängig von der Vermeidung von Verunreinigungen im perianalen Bereich und damit einhergehenden Sekundärkomplikationen.

Die in dieser Studie vorgestellte Messung der Perfusionsgeschwindigkeit der *Arteria caudalis mediana* lässt sich gut am fixierten Schaflamm durchführen. Aufgrund des geringen Durchmessers des Gefäßes, ist es wichtig, dass die Lämmer sich in einer ruhigen Position für die Messung befinden, um aussagekräftige Werte der Perfusionsgeschwindigkeit zu erzielen. Mithilfe dieser Technik kann die Durchblutung des Schwanzbereichs beim Schaf gut dargestellt werden und sie ermöglicht somit die

Feststellung einer potentiellen Minderdurchblutung im Rahmen der Zucht auf Kurzschwanzigkeit.

Weiterhin konnten Gewebecharakteristika mit Hilfe der Graustufenanalyse objektiv erfasst werden. Da bisher keine Angaben zum Grauwert des Schwanzgewebes von Schafen vorliegen, können die in dieser Studie ermittelten Werte als vorläufige Vergleichswerte für zukünftige Untersuchungen gelten. Dies kann das frühzeitige Erkennen von Gewebeveränderungen im Schwanzbereich während der Kurzschwanzigkeitszucht erleichtern, da die objektive Graustufenanalyse der subjektiven Wahrnehmung durch das menschliche Auge weit überlegen ist (Gärtner et al. 1998).

Die Auswirkungen der gezielten Zucht auf Kurzschwanzigkeit wurden anhand einer gezielten Anpaarung kurz- und langschwänziger Elterntiere eine Merinolandschaf-Population untersucht. Neben der Errechnung der Trächtigkeitsrate und der Trächtigkeitsverlustrate, wurde die Progesteronkonzentration im Blut der Muttertiere am 35. und 70. Trächtigkeitstag gemessen. Bei den Nachkommen dieser Anpaarung wurden Wurfgröße, Geschlecht, Totgeburten sowie Vitalität, Morbidität und Mortalität dokumentiert. In der statistischen Berechnung konnte lediglich für die Trächtigkeitsrate ein geringer signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Die Ursache für dieses Ergebnis ist zum jetzigen Zeitpunkt unklar, da für die anderen reproduktionsmedizinischen Parametern keine Unterschiede gefunden werden konnten.

Die weiterhin untersuchte Körpergewichts- und Körperlängenzunahme der Lämmer, führte zu keinen signifikanten Unterschieden hinsichtlich des durchschnittlichen Körperlängenwachstums. In Hinblick auf das Körpergewicht weisen die Lämmer aus der langschwänzigen Anpaarung jedoch marginal signifikant bessere tägliche Gewichtszunahmen auf als die Lämmer der kurzschwänzigen Anpaarung. Eine Untersuchung zur genetischen Auswertung der Beziehung von Schwanzlänge und Körpergewicht konnte ebenfalls feststellen, dass Lämmer mit längeren Schwänzen günstigere Gene für eine positive Gewichtsentwicklung aufweisen (Lagler et al. 2022). Zu beachten sind jedoch negative rekursive Beziehungen auf der phänotypischen Ebene, welche durch zusätzliche externe Risikofaktoren wie Schwanzinfektionen hervorgerufen werden können und somit die Gewichtsentwicklung langschwänziger Tiere beeinträchtigen (Oberpenning et al. 2022). Oberpenning et al. (2022) gehen von

keiner signifikanten Beeinträchtigung der Körpergewichtsentwicklung durch die Selektion auf kürzere Schwänze aus, da nur geringe nachteilige Auswirkungen auf das Gewicht bestehen.

Dass die Länge des Schwanzes unabhängig von den schon dargestellten negativen Aspekten auch zu vermehrten Schwanzverletzungen bzw. -anomalien führen kann, wurde in Publikation 3 gezeigt. Insgesamt 59 (27,31 %) der untersuchten Tiere wiesen mindestens eine Wirbelfraktur auf, welche ausschließlich im mittleren und kaudalen Drittel des Schwanzes beobachtet wurde. Statistisch konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem Auftreten von Wirbelfrakturen und der Schwanzlänge sowie der Anzahl der Wirbel festgestellt werden.

5.4 Ausblick

Um die Zucht auf Kurzschwanzigkeit weiter voranzutreiben, ist die Messung der Schwanzlänge aller Lämmer einer Population notwendig. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Messung am neonatalen Lamm sowohl praktikabel als auch reliabel ist. Weitere Verfahren zur Charakterisierung der kaudalen Wirbelsäule des Schafes, wie die ultrasonographische und röntgenologische Darstellung, wurden evaluiert und haben sich als geeignet erwiesen, um eine weitergehende Phänotypisierung zu erreichen. Dies ist wichtig, da pathologische Veränderungen der Schwanzwirbelsäule beim Schaf bisher nicht untersucht bzw. erfasst wurden und erstmals Ergebnisse zum Auftreten von Schwanzwirbelanomalien wie Wirbelfrakturen, Block- und Keilwirbeln vorliegen. Es konnte gezeigt werden, dass eine gezielte Anpaarung kurzschwänziger Elterntiere nicht mit negativen Auswirkungen auf Reproduktionsparameter sowie die Lämmeraufzucht assoziiert ist. Weitere Studien sind sinnvoll und notwendig, um die Auswirkung auf die folgenden Generationen zu untersuchen.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, potentielle negative Auswirkungen einer gezielten Zucht auf Kurzschwanzigkeit auf verschiedene Reproduktionsparameter beim Schaf zu untersuchen sowie die Phänotypisierung des Schafschwanzes mithilfe verschiedener Methoden zu etablieren. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden unter Berücksichtigung verschiedener Fragestellungen in drei unterschiedlichen Publikationen dargestellt.

In der ersten methodischen Studie wurde die Messung der Schwanzlänge und des Schwanzumfanges von 256 Merinolandschaf-Lämmern innerhalb der ersten Lebensstage dargestellt. Im Alter von 14 Wochen wurde bei 216 Lämmern die kaudale Wirbelsäule röntgenologisch dargestellt und die Anzahl der Schwanzwirbel ermittelt. Bei einem Teil der Tiere wurde zudem eine sonographische Graustufenanalyse und die Messung der Perfusionsgeschwindigkeit der *Arteria caudalis mediana* durchgeführt.

Die zweite Studie behandelt pathologische Veränderungen der Schwanzwirbelsäule, welche mithilfe der röntgenologischen Untersuchung von 216 Lämmern in der 14. Lebenswoche dargestellt werden konnten.

In der dritten Studie wurden potentielle Zusammenhänge einer gezielten Zucht auf Kurzschwanzigkeit mit dem Verlauf der Trächtigkeit und der Entwicklung der Lämmer über einen Zeitraum von 14 Wochen *post natum* analysiert. Dazu wurde während der Trächtigkeit der Progesteronwert der Muttertiere gemessen und die Trächtigkeitsrate und die Trächtigkeitsverlustrate errechnet. Weiterhin erfolgte der Vergleich der Gewichte der Nachgeburt bei 40 Tieren. Bei den 254 Lämmern wurden bis zur sechsten Lebenswoche wöchentlich sowie in der 10. und 14. Lebenswoche das Körpergewicht sowie die Körperlänge erhoben. Weiterhin wurden Wurfgröße, Geschlecht, Totgeburten sowie Vitalität, Morbidität und Mortalität der Lämmer dokumentiert.

Folgende relevante Ergebnisse konnten erzielt werden:

- Die erste Studie zeigt, dass die Verwendung der entwickelten Messkonstruktion einen Vorteil in Hinblick auf die Praxisauglichkeit und die Verringerung von Messfehlern im Vergleich zu schon beschriebener Methoden hat. Es konnte außerdem die gute Anwendbarkeit der Ultrasonographie und Radiologie zur

Darstellung der Strukturen der kaudalen Wirbelsäule beim Schaf festgestellt werden.

- In der zweiten Studie konnte erstmals das Auftreten von Schwanzwirbelanomalien in einer großen Population beim Schaf dargestellt werden. Die Häufigkeit liegt für das Auftreten von Blockwirbeln bei 12,9 %, für Keilwirbel bei 8,3 % und für Wirbelfrakturen bei 27,3 %. Die Wirbelfrakturen beschränkten sich auf das mittlere und letzte Drittel des Schwanzes. Die signifikante Korrelation für das Auftreten von Frakturen und der Schwanzlänge ($r = 0,168$) und der Wirbelanzahl ($r = 0,155$) zeigt die Bedeutung der Zucht auf Kurzschwänzigkeit.
- Im Rahmen der dritten Studie konnte festgestellt werden, dass keine signifikanten Unterschiede für die Reproduktionsleistung kurz- und langschwänziger Muttertiere vorliegt. Lediglich für die Trächtigkeitsrate wurde ein geringer signifikanter Unterschied ($p = 0,07$) festgestellt. Es konnte außerdem kein signifikanter Unterschied für das durchschnittliche Körperlängenwachstum der Lämmer festgestellt werden, obwohl die langschwänzigen Lämmer marginal bessere tägliche Gewichtszunahmen aufwiesen. Die Anzahl der Totgeburten, die Vitalität, die Morbidität und die Mortalität der Lämmer wurden in dieser Studie nicht von der Anpaarung beeinflusst.

Es konnte anhand der vorliegenden Untersuchungen festgestellt werden, dass die Schwanzlängenmessung praktikabel ist, pathologische Veränderungen der Schwanzwirbelsäule bei unkupierten Tieren auftreten und die gezielte Anpaarung kurzschwänziger Elterntiere zu diesem Zeitpunkt nicht zu schweren negativen Auswirkungen auf die Reproduktionsleistung und die Lämmeraufzucht führen.

7 Summary

The aim of this study was to investigate the potential negative effects of selective breeding for short-tailedness on various reproductive parameters in sheep and to establish the phenotyping of the sheep's tail using different methods. The results of the study were presented in three different publications, taking different questions into account.

In the first study, the measurement of tail length and tail circumference of 256 Merinoland sheep lambs within the first days of life was presented. At 14 weeks of age, the caudal spine of 216 lambs was radiographed and the number of tail vertebrae was determined. In some of the animals, a sonographic grayscale analysis and measurement of the perfusion velocity of the median caudal artery were also performed.

The second study deals with pathological changes in the caudal spine, which were visualized by radiographic examination of 216 lambs at 14 weeks of age.

In the third study, potential correlations between selective breeding for short-tailedness and the course of pregnancy and the development of the lambs over a period of 14 weeks *post natum* were analyzed. For this purpose, the progesterone level of the dams was measured during pregnancy and the pregnancy rate and pregnancy loss rate were calculated. Furthermore, the weights of the afterbirth of 40 animals were compared. The body weight and body length of the 254 lambs were measured weekly up to the sixth week of life and at the 10th and 14th week of life. Furthermore, litter size, sex, stillbirths as well as vitality, morbidity and mortality of the lambs were documented.

The following relevant results were achieved:

- The first study shows that the use of the developed measurement design has an advantage in terms of practicality and reduction of measurement errors compared to previously described methods. In addition, the applicability of ultrasonography and radiology to visualize the structures of the caudal spine in sheep could be established.
- In the second study, the occurrence of caudal vertebral anomalies in a large population of sheep could be reported for the first time. The incidence of block vertebrae was found to be 12.9 %, wedge vertebrae 8.3 % and vertebral

fractures 27.3 %. Vertebral fractures were limited to the middle and last third of the tail. The significant correlation for the occurrence of fractures and tail length ($r = 0.168$) and the number of vertebrae ($r = 0.155$) shows the importance of breeding for short tails.

- In the third study, it was found that there were no significant differences in the reproductive performance of short- and long-tailed dams. Only the pregnancy rate showed a small significant difference ($p = 0.07$). Furthermore, no significant difference was found for the average body length growth of the lambs, although the long-tailed lambs showed marginally better daily weight gains. The number of stillbirths, vitality, morbidity and mortality of the lambs were not affected by mating in this study.

On the basis of the present investigations, it could be verified that tail length measurement is practicable, that pathological changes in the caudal spine occur in undocked animals and that the selective mating of short-tailed animals at this stage does not lead to serious negative effects on reproductive performance and lamb rearing.

8 Literaturverzeichnis

- Artul S, Nseir W, Armaly Z, Soudack M. 2017. Superb Microvascular Imaging: Added Value and Novel Applications. *Journal of Clinical Imaging Science*, 7: 45. DOI 10.4103/jcis.JCIS_79_17.
- DeForest, M. E., Basrur, P. K. 1979. Malformations and the Manx syndrome in cats. *Canadian Veterinary Journal*, (20): 304–314.
- Dill-Müller D, Maschke J. 2007. Ultrasonography in dermatology. *Journal of the German Society of Dermatology*, 5 (8): 689–707. DOI 10.1111/j.1610-0387.2007.06453.x.
- Eck K, Kunz E, Mendel C, Lühken G, Medugorac I. 2019. Morphometric measurements in lambs as a basis for future mapping studies. *Small Ruminant Research*, 181: 57–64. DOI 10.1016/j.smallrumres.2019.04.007.
- Gärtner T, Zacharias M, Jenderka KV, Heynemann H, Cobet U. 1998. Geräteunabhängige Ultraschall-Gewebecharakterisierung von Hoden und Prostata. *Der Radiologe*, 38 (5): 424–433. DOI 10.1007/s001170050376.
- Gaschen L, Kircher P. 2007. Two-dimensional grayscale ultrasound and spectral Doppler waveform evaluation of dogs with chronic enteropathies. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 22 (3): 122–127. DOI 10.1053/j.ctsap.2007.05.006.
- Gebel MJ. 2000. Neue Modifikationen und Verfahren der Sonographie und ihre praktische Bedeutung. *Der Internist*, 41 (1): 3–9. DOI 10.1007/s001080050001.
- Grant C. 2004. Behavioural responses of lambs to common painful husbandry procedures. *Applied Animal Behaviour Science*, 87 (3-4): 255–273. DOI 10.1016/j.applanim.2004.01.011.
- Hytönen MK, Grall A, Hédan B, Dréano S, Seguin SJ, Delattre D, Thomas A, Galibert F, Paulin L, Lohi H, Sainio K, André C. 2009. Ancestral T-box mutation is present in many, but not all, short-tailed dog breeds. *Journal of Heredity*, 100 (2): 236–240. DOI 10.1093/jhered/esn085.
- Indrebø A, Langeland M, Juul HM, Skogmo HK, Rengmark AH, Lingaas F. 2008. A study of inherited short tail and taillessness in Pembroke Welsh corgi. *Journal of small animal practice*, 49 (5): 220–224. DOI 10.1111/j.1748-5827.2007.00435.x.
- Kauffold J, Bussche B von dem, Failing K, Wehrend A, Wendt M. 2010. Use of B-mode ultrasound and grey-scale analysis to study uterine echogenicity in the pig.

- Journal of Reproduction and Development, 56 (4): 444–448. DOI 10.1262/jrd.09-220t.
- Kauffold J, Kessler M, Richter A, Beynon N, Wehrend A. 2011. B-mode ultrasound and grey-scale analysis of the epididymis in boars, and the relationship to semen parameters. *Reproduction in Domestic Animals*, 46 (1): 108–113. DOI 10.1111/j.1439-0531.2010.01602.x.
- Korn S. 2020. <https://www.nutztierhaltung.de/schaf/oekonomie/keine-schaefererei-ist-wie-die-andere/>, 14.
- Lagler DK, Hannemann E, Eck K, Klawatsch J, Seichter D, Russ I, Mendel C, Lühken G, Krebs S, Blum H, Upadhyay M, Medugorac I. 2022. Fine-mapping and identification of candidate causal genes for tail length in the Merinolandschaf breed. *Communications Biology*, 5 (1): 918. DOI 10.1038/s42003-022-03854-3.
- Lee DH, Lee JY, Han JK. 2016. Superb microvascular imaging technology for ultrasound examinations: Initial experiences for hepatic tumors. *European Journal of Radiology*, 85 (11): 2090–2095. DOI 10.1016/j.ejrad.2016.09.026.
- Lester SJ, Mellor DJ, Holmes RJ, Ward RN, Stafford KJ. 1996. Behavioural and cortisol responses of lambs to castration and tailing using different methods. *New Zealand Veterinary Journal*, 44 (2): 45–54. DOI 10.1080/00480169.1996.35933.
- Lieu D. 2010. Ultrasound physics and instrumentation for pathologists. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 134 (10): 1541–1556. DOI 10.5858/2009-0730-RA.1.
- Oberpenning J, Bohlouli M, Engel P, Hümmelchen H, Wagner H, Wehrend A, König S. 2022. Multiple-trait and structural equation modelling approaches to infer genetic relationships between tail length and weight traits in Merinolandschaf sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. DOI 10.1111/jbg.12752.
- Pollard JC, Roos V, Littlejohn RP. 2001. Effects of an oral dose of acetyl salicylate at tail docking on the behaviour of lambs aged three to six weeks. *Applied Animal Behaviour Science*, 71 (1): 29–42. DOI 10.1016/s0168-1591(00)00170-2.
- Rahmann G. 2007. *Ökologische Schaf- und Ziegenhaltung: 100 Fragen und Antworten für die Praxis*. Braunschweig.
- Robinson R. 1993. Expressivity of the Manx gene in cats. *Journal of Heredity*, 84 (3): 170–172. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a111311.

- Schawalder P, Dietschi E, Stich H. 2010. Kongenitale und erworbene Anomalien im Bereich der Schwanzwirbelsäule beim Hund. Wiener Tierärztliche Monatsschrift, 97: 1–18.
- Shelton M. 1977. Studies on tail length of Rambouillet and Mouflon sheep. Journal of Heredity, 68 (2): 128–130. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a108788.
- TierSchG § 6 Absatz 3: Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist. Im Internet: Zugriff am 16. Juli 2024 unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>
- Wall R. 2012. Ovine cutaneous myiasis: effects on production and control. Veterinary parasitology, 189 (1): 44–51. DOI 10.1016/j.vetpar.2012.03.031.
- Wiesner E, Willer S. 1974. Veterinärmedizinische Pathogenetik. Erste. Auflage. Jena: Fischer.
- Woodruff M, Munoz C, Coleman G, Doyle R, Barber S. 2023. Measuring Sheep Tails: A Preliminary Study Using Length (Mm), Vulva Cover Assessment, and Number of Tail Joints. Animals, 13 (6). DOI 10.3390/ani13060963.
- Zhan J, Diao X-H, Jin J-M, Chen L, Chen Y. 2016. Superb Microvascular Imaging-A new vascular detecting ultrasonographic technique for avascular breast masses: A preliminary study. European Journal of Radiology, 85 (5): 915–921. DOI 10.1016/j.ejrad.2015.12.011.

9 Danksagung

Ich möchte gerne meine aufrichtige Dankbarkeit und Wertschätzung all jenen Personen gegenüber zum Ausdruck bringen, die mich während meiner Dissertation unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. h.c. Axel Wehrend für die Möglichkeit diese äußerst praxisorientierte Doktorarbeit anfertigen zu dürfen. Durch die angenehm direkte und unkomplizierte Zusammenarbeit, die stets respektvoll erfolgte, wurden meine Erwartungen an das wissenschaftliche Arbeiten weit übertroffen. Darüber hinaus möchte ich mich ausdrücklich für seine Geduld bei der Überarbeitung meiner ersten Publikationen sowie im Umgang mit meinem manchmal ungeduldigen Wesen bedanken.

Ich danke auch Herrn Dr. Henrik Wagner, der mich durch seine fachliche Expertise mit wertvollen Ratschlägen und konstruktivem Feedback weit über die Anfertigung dieser Dissertation hinaus unterstützt hat. Durch die stets offene Tür und das Interesse an meinen Anliegen herrschte eine Atmosphäre des Vertrauens und der Zusammenarbeit, die es mir ermöglicht hat, mich sowohl beruflich als auch persönlich weiterzuentwickeln.

Mein herzlicher Dank gebührt außerdem Dr. Kerstin Brüggemann für ihre unermüdliche Geduld und Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Mit dieser Danksagung möchte ich weiterhin Anja Henning und Stefan Mandler meine Dankbarkeit für die bedeutende Rolle, die sie in meiner akademischen und persönlichen Entwicklung gespielt haben, aussprechen. Ihre Leidenschaft und Hingabe für die Schafhaltung haben mich stets inspiriert und ermutigt. Ihre fachliche und praktische Kompetenz und Ihre Bereitschaft, Ihr Wissen zu teilen, haben meine Zeit auf dem Hardthof bereichert und mir geholfen, mich sehr schnell in diese Tierart zu verlieben.

Ich möchte mich ebenso bei meinen Freundinnen Franziska Hessing und Michelle Matthäi bedanken, die mich ermutigt haben, wenn die Herausforderungen überwältigend schienen, und die mit ihrer (fachlichen) Unterstützung und ihrem

Verständnis dazu beigetragen haben, dass ich meine Ziele erreichen konnte. Ich bin unendlich dankbar, dass ich euch an meiner Seite habe.

Des Weiteren möchte ich mich bei Julia Blad-Stahl für die Analyse der Laborparameter, Florian Jesberg und Juliane Bach für ihren großartigen Einsatz bei den röntgenologischen und ultrasonographischen Untersuchungen der Lämmer und den Mitarbeitern der Lehr- und Forschungseinrichtung Oberer Hardthof für die Hilfe bei den Messungen vor Ort bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Frank und Michaela Hümmelchen, meinen Schwestern Zoe und Nelli Hümmelchen, meinem Partner in Crime Philipp Pohlscheid und meinen Großeltern Eckulf und Renate Müller für ihre bedingungslose Liebe, ihre Unterstützung und ihre Ermutigung und dafür, dass sie mir in allen Phasen meines Lebens unermüdlich zur Seite stehen.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an alle weiteren Personen, die mich mit ihrer Unterstützung auf diesem Weg begleitet haben.

10 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich:

„Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Hannah Hümmelchen



ISBN: 978-3-86345-745-7



Verlag der DVG Service GmbH

An der Alten Post 2 • 35390 Gießen

Tel.: 0641 984446-0 • Fax: 0641 984446-25

E-Mail: info@dvg.de • Web: www.dvg.de