

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Klinische Abteilung für Anästhesiologie und perioperative
Intensivmedizin

(Leitung: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Martina Mosing MANZCVS,
Dipl.ECVAA)

Bestimmung des prä- und postoperativen Liegeverhaltens bei Schafen mittels handelsüblicher Accelerometer

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Stella Sophia Wanjek

Wien, Juni 2025

Erstbegutachterin: Priv.- Doz. Dr.med.vet Ulrike Auer

Zweitbegutachterin: Univ.-Prof. Dr.med.vet Florian Jenner Dipl. ACVS, Dipl. ECVS

Inhaltsverzeichnis

1.	ABSTRACT	
1.1	ABSTRACT (ENGLISH)	
2.	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
2.1	ACCELEROMETER (BESCHLEUNIGUNGSSENSOR)	1
2.2	ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON ACCELEROMETERN BEI SCHAFEN	3
2.3	DAS LIEGEVERHALTEN VON SCHAFEN	4
3.	FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN DER STUDIE	6
3.1	RELEVANZ UND BEITRAG ZUR FORSCHUNG	6
4.	MATERIAL UND METHODE	7
4.1	VERSUCHSTIERE	7
4.2	DER ACCELEROMETER	7
4.3	UNTERSUCHUNGSABLAUF	8
4.4	DATENAUSWERTUNG ACCELEROMETER	8
4.5	VIDEOAUSWERTUNG	10
4.6	LIEGEZEITEN	11
4.7	STATISTIK	11
5.	ERGEBNISSE	12
5.1	VIDEOAUSWERTUNG	12
5.2	LIEGEZEITEN	12
6.	DISKUSSION	14
7.	LITERATURVERZEICHNIS	18
8.	LISTE VON TABELLEN UND DIAGRAMMEN	21

1. Abstract

Ziel dieser Studie war es, das Liegeverhalten von Schafen vor und nach chirurgischen Eingriffen mithilfe eines handelsüblichen triaxialen Accelerometers objektiv zu erfassen und zu analysieren. Acht weibliche Schafe wurden in der Untersuchung eingeschlossen.

Der Sensor wurde am Röhrein der Vorderextremität befestigt und zeichnete über einen Zeitraum von mehreren Tagen Bewegungsdaten im 10-Sekunden-Takt auf. Die Auswertung erfolgte über eine Mittelwertberechnung aus 88 Datensätzen. Zur Validierung der Sensorwerte wurden parallel Videoaufnahmen herangezogen.

Die Übereinstimmung zwischen den vom Accelerometer aufgezeichneten Liegesequenzen und den Videoanalysen lag bei 93,7%. Eine vollständige Fehlklassifikation trat in 6,3% der Fälle auf, während 34,4% der Sequenzen teilweise falsch zugeordnet wurden, vor allem durch Bewegungsartefakte während des Liegens.

Die mittlere Liegedauer pro Sequenz betrug präoperativ 35,66 +/- 24,6 Minuten und postoperativ 26,26 +/- 29,2 Minuten ($p < 0,001$). Die Anzahl der täglichen Liegephasen unterschied sich nicht signifikant, jedoch war die Gesamtliegedauer postoperativ signifikant reduziert. Dieses Muster deutet auf eine veränderte Ruheverteilung infolge postoperativer Unruhe oder Schmerzen hin. Die beobachteten Bewegungsartefakte führten zusätzlich zu erhöhten Fehlklassifikationsraten.

Die Ergebnisse zeigen, dass triaxiale Accelerometer ein geeignetes Instrument zur Erfassung des Liegeverhaltens bei Schafen darstellen. Die Platzierung am Röhrein erwies sich als praktikabel. Künftige Studien sollten kürzere Intervallzeiten und zusätzliche physiologische Parameter einbeziehen, um die Aussagekraft zu erhöhen.

1.1 Abstract (English)

The aim of this study was to objectively record and analyse lying behaviour of sheep before and after surgical interventions using a commercially available triaxial accelerometer. Eight female sheep were included in the investigation. The sensor was attached to the cannon bone of the forelimb and recorded movement data every ten seconds over a period of several days. Data were processed based on averages from 88 raw data points per sequence. Simultaneously, video recordings were used to validate the sensor-based classifications.

The correlation between the recumbent sequences recorded by the accelerometer and the video analysis was 93,7%. A complete misclassification occurred in 6,3% of the cases, while 34,4% of the sequences were partially misclassified, primarily due to movement artefacts during lying position. The mean duration of recumbency per sequence was 35,66 +/- 24,6 minutes preoperatively and 26,26 +/- 29,2 minutes postoperatively ($p < 0,001$). The number of daily recumbency bouts did not differ significantly, however the total lying time was significantly reduced postoperatively, indicating possible restlessness or even pain. Movement-related artefacts further contributed to classification errors.

The findings confirm that triaxial accelerometers are a suitable tool for evaluating lying behaviour in sheep. The placement on the cannon bone was proved to be feasible. Future studies should consider shortening the recording intervals and including additional physiological parameters to enhance data interpretability.

2. Einleitung und Fragestellung

Die kontinuierliche Überwachung des Verhaltens von Nutztieren hat in den letzten Jahren sowohl in der tiermedizinischen Forschung als auch in der praktischen Tierhaltung zunehmend an Bedeutung gewonnen [1]. Eine objektive und quantitative Erfassung von Aktivitätsmustern kann wertvolle Hinweise auf das Wohlbefinden, den Gesundheitszustand und das Schmerzverhalten liefern. Dabei stellen tragbare Sensortechnologien wie triaxiale Accelerometer ein effektives Instrument dar, das es ermöglicht, Bewegungs- und Liegephasen über längere Zeiträume präzise zu dokumentieren. Das Liegeverhalten gilt als ein wichtiger Indikator für das Wohlbefinden bei Schafen und gewährleistet eine frühzeitige Erkennung gesundheitlicher Probleme [1,2].

Triaxiale Accelerometer messen Beschleunigungen entlang drei Raumachsen (X,Y,Z) und erlauben eine differenzierte Analyse von Haltung und Bewegungsverhalten [3,4,5]. Ihre Anwendung reicht von der Verhaltensforschung bei Wildtieren über die Kontrolle von Energieumsatz bis hin zur Überwachung physiologischer Parameter im Rahmen klinischer Studien. In früheren Untersuchungen konnten Accelerometer erfolgreich eingesetzt werden, um spezifische Verhaltensmuster wie Beutefang, Jagdaktivität oder Ruhe- und Stehphasen, zuverlässig zu detektieren [3,5,6,7]. Validierungsstudien unter kontrollierten Bedingungen bestätigten die Eignung dieser Sensoren zur präzisen Verhaltensanalyse [8,9,10]. Auch im Zusammenhang mit der Überwachung trächtiger Mutterschafe konnte gezeigt werden, dass Accelerometer frühzeitig Verhaltensänderungen im Vorfeld der Geburt erfassen können [11].

2.1 Accelerometer (Beschleunigungssensor)

Ein Accelerometer ist ein Sensor, der die Beschleunigung eines Objekts in eine oder mehrere Richtungen misst. Die Funktionsweise basiert auf der Erfassung von Trägheitskräften, die auf eine Masse innerhalb des Sensors wirken, wenn sich das Gerät bewegt oder seine Orientierung ändert. Diese Kräfte werden in elektrische Signale umgewandelt. Dabei wird die Veränderung der Geschwindigkeit in einer bestimmten Richtung erfasst, was in der Regel in Form von Gravitationskräften (G-Kräften) angegeben wird. In der Praxis handelt es sich häufig um dreiaxiale Accelerometer, die die Beschleunigung in drei orthogonalen Achsen (X, Y und Z) messen können [3,4]. Die einzelnen Achsen stehen jeweils für unterschiedliche Richtungen

im Raum. Die X-Achse erfasst meist Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen, die Y-Achse Bewegungen zur Seite, während die Z-Achse vertikale Bewegungen nach oben oder unten registriert. Triaxiale Accelerometer detektieren dabei sowohl statische Beschleunigungen, die beispielsweise durch die Erdanziehung entstehen, als auch dynamische Beschleunigungen, die durch aktive Bewegungen verursacht werden. Während statische Komponenten Informationen über Körperlage und Neigungswinkel liefern, ermöglichen dynamische Signale die Interpretation konkreter Aktivitätsmuster [4]. Diese Geräte ermöglichen damit eine umfassendere Analyse der Bewegungsmuster von Tieren [4,9,12].

Die Messdaten werden nach dem NED- Referenzsystem (north, east, down), der Längsachse (X), der Horizontalachse (Y) und der Vertikalachse (Z) zugeordnet [4,8]. Die Information über die Beschleunigung jeder Achse wird vom Logger des Geräts aufgezeichnet und gespeichert.

Im Vergleich zu älteren, zweidimensionalen Geräten, die nur Bewegungen in einer Ebene erkennen, bieten triaxiale Accelerometer einen entscheidenden Vorteil. Durch die Erfassung der Beschleunigung entlang aller drei Raumachsen, wird eine präzise Identifikation von Übergängen, wie zum Beispiel vom Liegen zum Stehen, ermöglicht [3,13]. Eine Studie an Pferden konnte zeigen, dass triaxiale Sensoren bei der Erkennung von Liegephasen signifikante Vorteile gegenüber biaxialen Geräten bieten [3]. Triaxiale Accelerometer sind in der Lage, kleinste Bewegungen zu detektieren und eine kontinuierliche Datenaufzeichnung ermöglicht es dabei, ein detailliertes Bild des Verhaltens der Tiere über einen längeren Zeitraum zu erhalten, ohne die Notwendigkeit einer ständigen direkten Beobachtung [9].

Bestimmte Verhaltensmuster lassen sich anhand der Bewegungssignale eindeutig zuordnen. Fressverhalten wie Grasen äußert sich in regelmäßigen und niederfrequenten Kopfbewegungen mit verstärkter Aktivität auf der X-Achse. Das Wiederkäuen ist durch geringe, regelmäßige Bewegungen gekennzeichnet. Fortbewegung wie Gehen oder Laufen führt zu periodischen, großamplitudigen Signalen auf mehreren Achsen. Im Gegensatz dazu zeigt das Tier in Ruhepositionen wie Stehen oder Liegen nur geringe Veränderungen in der Beschleunigung [14]. Dies ermöglicht eine zuverlässige Identifikation [14].

2.2 Anwendungsmöglichkeiten von Accelerometern bei Schafen

Accelerometer werden mittlerweile vielfältig in der Tierforschung eingesetzt. Neben ihrem Ursprung in der Wildtierökologie zur Analyse von Aktivitätsmustern, Flugverhalten oder Energieverbrauch, gewinnen sie zunehmend an Bedeutung in der Nutztierhaltung [15]. Besonders in der postoperativen Überwachung bieten sie Vorteile, denn sie ermöglichen eine kontinuierliche, objektive Erhebung von Bewegungsdaten und helfen, Verhaltensänderungen frühzeitig zu erkennen, zum Beispiel etwa Änderungen, die auf Schmerzen oder Stress hinweisen können [2,16,17].

„Tri-axial accelerometers are capable of collecting vast amounts of data for locomotion and posture observations; however, interpretation and optimization of the data records remain a challenge.“ [13]

Studien zeigen, dass triaxiale Accelerometer zuverlässig zwischen verschiedenen Verhaltensweisen wie Stehen, Liegen, Gehen oder Wiederkäuen unterscheiden können [4,10,13,18]. Auch die systematische Erfassung von Wiederkäuaktivität bei Schafen wurde inzwischen durch mehrere sensorgestützte Ansätze validiert [14].

Je nach Untersuchungsziel und Fragestellung können Accelerometer an unterschiedlichen Körperstellen angebracht werden. Sensoren am Halsband zeigten in mehreren Studien robuste Ergebnisse bei der Erkennung von Fressverhalten, Ruhephasen und Fortbewegung [10,14]. Am Ohr befestigte Geräte wurden unter anderem von Ledgerwood et al. [18] und Fogarty et al. [11] eingesetzt und gelten als besonders praktisch und wenig invasiv, insbesondere zur Überwachung rund um den Geburtszeitraum. Sensorplatzierungen am Unterkiefer oder Halfter, wie in der Arbeit von Almasi et al [19], ermöglichten eine differenzierte Erkennung von Kaubewegungen und zeigten eine hohe Genauigkeit bei der Unterscheidung zwischen Fressen und Wiederkäuen. Schultergurte, wie sie etwa bei der Studie von Ikurior et al. [9] getestet wurden, haben sich für die Erfassung des Fressverhaltens als ungeeignet erwiesen, da sie Kopfbewegungen nicht zuverlässig erfassen. Die Befestigung an der Gliedmaße wurde in mehreren Studien erfolgreich zur Analyse des Liegeverhaltens genutzt und zeigte eine hohe Validität [3,8,10].

In einer weiteren Studie wurde die Anwendung triaxialer Sensoren bei Pferden untersucht und dabei zeigte sich, dass die Platzierung des Sensors an einer Extremität besonders zuverlässig zur Erkennung von Liegephasen geeignet ist [3]. Vergleichbare Resultate wurden auch bei Schafen beschrieben [10,13]. Daraus resultierend konnte in einer Untersuchung eine Erkennungsgenauigkeit von 94% erreicht werden, als der Sensor am Bein befestigt war [10]. Während die gleiche Analyse bei einer Halsbandplatzierung lediglich eine Genauigkeit von 45% aufwies [10].

Insgesamt trägt der Einsatz von Accelerometern dazu bei, das Verständnis tierischer Aktivitäten zu vertiefen und tierschutzrelevante Entscheidungen zu verbessern.

In Verbindung mit geeigneten Auswertungsverfahren konnten in mehreren Arbeiten Erkennungsraten von über 90% erzielt werden. Auch sensible physiologische Veränderungen, wie etwa Verhaltensänderungen vor der Geburt, lassen sich durch kontinuierliches Monitoring frühzeitig erkennen. [10,11,14]

2.3 Das Liegeverhalten von Schafen

Liegezeiten und die Häufigkeit des Niederlegens gelten als bedeutende Parameter, zur Einschätzung des körperlichen Wohlbefindens und der allgemeinen Gesundheit von Schafen. Besonders bei Wiederkäuern besteht eine enge Verbindung zwischen Liegeverhalten und Verdauungsaktivität, da der Großteil der Wiederkäuzeit im Liegen stattfindet. Diese Position unterstützt die Fermentation im Pansen und trägt wesentlich zur Stoffwechselstabilität bei. Entsprechend ist es in der Tierhaltung relevant, den Tieren ausreichend Liegekomfort und ungestörte Ruhephasen zu ermöglichen. Wird dieses Verhalten unterbrochen oder auffällig verändert, kann das ein Hinweis auf Managementdefizite, Fütterungsprobleme oder gesundheitliche Beeinträchtigung sein. Die rechtzeitige Erkennung solcher Abweichungen erlaubt eine frühzeitige Reaktion auf Stress, Krankheit oder Unwohlsein. [4,8]

Mehrere Studien zeigen, dass die tägliche Liegedauer sowie die Häufigkeit und Struktur der Liegephasen durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden. Dazu zählen insbesondere der Haltungsort (z.B. Stall oder Weide), der Trächtigkeitsstatus, das Alter, die Gruppenzusammensetzung sowie äußere Bedingungen wie Witterung oder Bodenbeschaffenheit. So wurde festgestellt, dass trächtige Schafe, die in Stallhaltung

untergebracht waren, durchschnittlich 13,1 Stunden pro Tag lagen, während Schafe auf der Weide eine mittlere Liegezeit von 11,7 Stunden aufwiesen. Auch die Häufigkeit der Liegephasen zeigt deutliche Unterschiede. Im Stall wurden etwa 25 bis 30 Liegephasen pro Tag registriert, während die Werte von Weidetiere bei etwa 15 bis 25 Phasen lagen. Diese Angaben sind jedoch stets im Kontext der jeweiligen Rahmenbedingungen zu interpretieren, da wie bereits erwähnt Alter, Rasse, Trächtigkeitsstatus oder Wetterbedingungen einen Einfluss haben. [20]

Besonders im Rahmen der Trächtigkeit gewinnt das Liegeverhalten an diagnostischer Relevanz. Studien zeigen, dass Veränderungen im Liegeverhalten häufig frühe Hinweise auf physiologische Belastung, Geburtseinleitung oder krankhafte Prozesse liefern können [11]. So kann eine verlängerte Liegedauer auf eine entspannte und komfortable Umgebung hindeuten, während eine verminderte Liegezeit mit Unbehagen oder Schmerzen assoziiert werden kann [16]. Veränderungen im Liegeverhalten gelten darüber hinaus als sensibles Frühwarnsystem für Störungen des physiologischen Gleichgewichts. Deutlich reduzierte Liegezeiten, sehr kurze oder häufig unterbrochene Ruhephasen können auf Unwohlsein, Stress, Schmerz oder schlechte Haltungsbedingungen hinweisen. Im Zeitraum um die Geburt liefert die Beobachtung der Liegegewohnheiten wichtige Hinweise auf mögliche Komplikationen. Auch in der postoperativen Phase kann ein verändertes Liegeverhalten auf Schmerzen oder Störungen im Heilungsverlauf hinweisen [16].

Die kontinuierliche Überwachung des Liegeverhaltens nach operativen Eingriffen stellt daher einen wesentlichen Bestandteil der veterinärmedizinischen Forschung und Betreuung dar. Eine präzise Beobachtung des Heilungsverlaufs ist essenziell, um mögliche postoperative Komplikationen frühzeitig zu identifizieren. Die Ergebnisse könnten zur Optimierung der postoperativen Betreuung und damit zur Verbesserung des Wohlbefindens der Tiere beitragen.

3. Fragestellung und Hypothesen der Studie

Ziel dieser Arbeit ist es, das Liegeverhalten von Schafen vor und nach operativen Eingriffen mithilfe kommerziell erhältlicher Accelerometer zu untersuchen. Eine zentrale Fragestellung ist die Validierung der Messgenauigkeit des verwendeten Sensorsystems durch einen Abgleich mit synchronisierten Videoaufzeichnungen. Darüber hinaus soll anhand der erfassten Daten geprüft werden, ob sich signifikante Unterschiede in der Dauer und Häufigkeit des Liegens zwischen der prä- und postoperativen Phase nachweisen lassen.

Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei Hypothesen untersucht:

1. Übereinstimmung der Daten:

Die von den Accelerometer aufgezeichneten Liegezeiten stimmen mit den tatsächlichen Liegezeiten überein.

2. Verhaltensunterschiede zwischen prä- und postoperativer Phase:

Die Dauer und Häufigkeit des Niederlegens nach einem operativen Eingriff unterscheiden sich deutlich von der präoperativen Zeit.

3.1 Relevanz und Beitrag zur Forschung

Die Ergebnisse dieser Studie könnten einen wertvollen Beitrag zur aktuellen Forschung auf dem Gebiet der Tierüberwachung leisten. Insbesondere könnten die Erkenntnisse über das Liegeverhalten von Schafen in der prä- und postoperativen Phase dazu beitragen, die postoperative Betreuung von Nutztieren zu verbessern und damit das Wohlbefinden dieser Tiere langfristig zu fördern.

4. Material und Methode

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Beobachtungsstudie, die an der Veterinärmedizinischen Universität Wien durchgeführt worden ist. Im Rahmen von verschiedenen Tierversuchen wurden Schafe in Bezug auf das Liegeverhalten beobachtet.

4.1 Versuchstiere

Acht Schafe aus zwei verschiedenen Tierversuchen (No. 68.205/0062-V/3b/2019 und No. 68.205/0028-II/3b/2014) wurden in diese Studie aufgenommen. Es handelte sich um weibliche Tiere im Alter zwischen 2-4 Jahren und einem Gewicht von 66-99kg. Die Schafe wurden mit Stroh eingestreuten Stallboxen jeweils zu dritt oder zu viert gehalten. Die Schafe hatten uneingeschränkten Wasserzugang und bekamen mehrmals täglich Heu.

4.2 der Accelerometer

Zur kontinuierlichen Erfassung des Liegeverhaltens wurde ein dreiachsiger Beschleunigungssensor der Firma Voltcraft (Modell DL-131G) verwendet. Der Sensor basiert auf einem mikro-elektromechanischen System (MEMS), der die Beschleunigung entlang der drei Raumachsen (X,Y,Z) in einem Messbereich von +/- 18 G erfasst [21]. Die Messfrequenz betrug 10Hz, wobei jede Sekunde 10 Rohdatenwerte pro Achse generiert und auf einer integrierten microSD-Karte abgespeichert wurden [21]. Die Stromversorgung erfolgte über eine austauschbare Batterie, die eine Datenerhebung von mehreren Tagen ermöglichte. Zur Befestigung wurde der Accelerometer am linken Vorderbein auf Höhe des Rührbeins mittels Verbands stabil fixiert, ohne das Verhalten der Tiere sichtbar zu beeinflussen. Diese Position wurde gewählt, da das Gerät zum einen gut fixiert werden kann und zum anderen in vorangegangenen Studien sich als geeignet erwiesen hat, um die Änderung der Körperhaltung zuverlässig zu detektieren [3,10,13].



Abb.1: Accelerometer der Firma VOLT CRAFT DL-131G

4.3 Untersuchungsablauf

Die Versuchstiere wurden mit einem dreiachsigen Accelerometer (Votcraft DL-131G) und zur Unterscheidung mit farblichen Halftern ausgestattet. Der Accelerometer wurde zwei Tage vor der geplanten Operation angelegt und bis zum fünften Tag postoperativ belassen. Anschließend wurde der Verband entfernt und die Messungen gestoppt. Die Bewegungsdaten wurden alle 10 Sekunden erfasst und im Gerät gespeichert. Die gespeicherten Daten wurden als CSV-Dateien zur weiteren Analyse auf einen Computer übertragen.

Um die durch den Accelerometer erfassten Daten zu validieren, wurde die Stallbox der Tiere zusätzlich mit einer Kamera (GoPro Hero 4) und einer digitalen Uhr ausgestattet. Die Kamera wurde in einer Ecke, an der Frontseite, in einer Höhe von 2.5 Meter befestigt und die Aufzeichnung erfolgte in Zeitraffermodus mit 2 Bildern pro Sekunde. Die Uhr wurde so angebracht, dass sie am Video gut erkennbar und lesbar war, da die Videos ohne Zeitstempel abgespeichert wurden.

4.4 Datenauswertung Accelerometer

Die CSV-Dateien wurden im Excel extrahiert und anschließend die X-, Y- und Z-Koordinaten der Bewegungsdaten mithilfe speziell entwickelter Formeln in einer Excel-Vorlage ausgewertet.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1391	24-01-2023 09:23:09.000	24-01-2023	09:23	0.38	-1.09	0.22	1.17	0	
1392	24-01-2023 09:23:10.000	24-01-2023	09:23	0.42	-1.08	0.17	1.17	0	
1393	24-01-2023 09:23:11.000	24-01-2023	09:23	0.5	-1.21	-0.2	1.33	0	
1394	24-01-2023 09:23:12.000	24-01-2023	09:23	0.36	-1.05	-0.26	1.14	0	
1395	24-01-2023 09:23:13.000	24-01-2023	09:23	0.34	-1.08	-0.21	1.15	0	
1396	24-01-2023 09:23:14.000	24-01-2023	09:23	0.35	-0.99	-0.37	1.12	0	
1397	24-01-2023 09:23:15.000	24-01-2023	09:23	0.33	-1.18	-0.21	1.24	0	
1398	24-01-2023 09:23:16.000	24-01-2023	09:23	0.34	-1.03	-0.12	1.09	0	
1399	24-01-2023 09:23:17.000	24-01-2023	09:23	0.35	-1.09	-0.35	1.2	0	
1400	24-01-2023 09:23:18.000	24-01-2023	09:23	0.34	-0.99	-0.13	1.05	0	
1401	24-01-2023 09:23:19.000	24-01-2023	09:23	0.41	-1.05	-0.18	1.14	1	LIEGT
1402	24-01-2023 09:23:20.000	24-01-2023	09:23	0.36	-1.1	-0.27	1.19	1	LIEGT
1403	24-01-2023 09:23:21.000	24-01-2023	09:23	0.35	-1.14	-0.3	1.23	1	LIEGT
1404	24-01-2023 09:23:22.000	24-01-2023	09:23	0.38	-1.08	0.15	1.16	1	LIEGT
1405	24-01-2023 09:23:23.000	24-01-2023	09:23	0.37	-1.05	0.18	1.13	1	LIEGT
1406	24-01-2023 09:23:24.000	24-01-2023	09:23	0.4	-1.08	0.23	1.18	1	LIEGT
1407	24-01-2023 09:23:25.000	24-01-2023	09:23	0.36	-1.04	-0.22	1.12	1	LIEGT
1408	24-01-2023 09:23:26.000	24-01-2023	09:23	0.34	-1.11	-0.09	1.17	1	LIEGT

Abb. 2: Beispiel einer Datenaufzeichnung und Extraktion in Excel. 0 = stehen, 1 = liegen

Im ersten Schritt wurde mittels der Formel „=WENN(UND(G2<2;ABS(E2)<0.6);1;0)“ (ausformuliert: „Wenn der Wert in Zelle G1427 kleiner als 2 ist und der Absolutwert des Wertes in Zelle E1427 kleiner als 0,6 ist, dann gib den Wert 1 zurück. Andernfalls gib den Wert 0 zurück.“) jede Messzeile mit 0 bzw. 1 bewertet. Die Spalte G steht für die Vektorsumme und Spalte E für den Y-Wert. Bei einem Wert von $Y < 0,6$ beträgt der Winkel weniger als 52 Grad. In Spalte H wurde die Bewertung 0 (Stehen) und 1 (Liegen) eingetragen.

Im zweiten Schritt wurde mittels der Formel „=WENN(UND(G1434>0.5;MITTELWERT(H1434:H1522)>0.6);"LIEGT";"")“ (ausformuliert: „Wenn der Wert in Zelle G3 größer als 0,5 ist und der Durchschnitt (Mittelwert) der Werte im Bereich H3:H91 größer als 0,6 ist, dann gib den Text ‘LIEGT’ zurück. Andernfalls gib einen leeren Text (nichts) zurück.“) über 88 Zeilen, das bedeutet über einen Zeitraum von 1,5 Minuten, ermittelt, ob das Schaf steht oder liegt. War der Mittelwert der Vektorsumme $> 0,5$ und der Wert in Spalte H $>$ als 0,6 wurde dieser Zeitraum als Liegen gewertet.

Der so ermittelte Startpunkt sowie Endpunkt der Liegezeit wurden mittels Zeitangabe extra ausgewiesen.

Timecode	Datum	Uhrzeit	X-Wert	Y-Wert	Z-Wert	Vector S	-Y	Bewertung	Startzeiten	Stopz
24-01-2023 09:23:52.000	24-01-2023	09:23	-1.04	0.37	0.64	1.28	1			
24-01-2023 09:23:53.000	24-01-2023	09:23	-1.19	0.46	0.8	1.51	1	LIEGT	24-01-2023 09:23:53.00	
24-01-2023 09:23:56.000	24-01-2023	09:23	-1.27	0.19	0.5	1.38	1	LIEGT		
24-01-2023 09:23:57.000	24-01-2023	09:23	-1.26	0.24	0.49	1.38	1	LIEGT		
24-01-2023 09:23:58.000	24-01-2023	09:23	-1.2	-0.28	0.53	1.34	1	LIEGT		
24-01-2023 09:23:59.000	24-01-2023	09:23	-1.18	0.24	0.44	1.29	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:00.000	24-01-2023	09:24	-1.32	0.24	0.39	1.4	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:01.000	24-01-2023	09:24	-1.24	-0.23	0.61	1.4	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:02.000	24-01-2023	09:24	-1.06	0.18	0.45	1.16	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:03.000	24-01-2023	09:24	-1.06	0.17	0.48	1.18	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:04.000	24-01-2023	09:24	-1.04	0.24	0.4	1.14	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:05.000	24-01-2023	09:24	-1.18	0.13	0.4	1.25	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:06.000	24-01-2023	09:24	-1.04	0.12	0.34	1.1	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:07.000	24-01-2023	09:24	-1.1	0.1	0.34	1.16	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:08.000	24-01-2023	09:24	-1.1	0.09	0.39	1.17	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:09.000	24-01-2023	09:24	-1.1	0.17	0.43	1.2	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:10.000	24-01-2023	09:24	-1.12	0.18	0.41	1.21	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:11.000	24-01-2023	09:24	-1.04	0.12	0.43	1.13	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:12.000	24-01-2023	09:24	-1.12	0.21	0.36	1.2	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:13.000	24-01-2023	09:24	-1.08	0.12	0.32	1.14	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:14.000	24-01-2023	09:24	-1.14	0.43	0.37	1.28	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:15.000	24-01-2023	09:24	-1.12	0.26	0.43	1.23	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:16.000	24-01-2023	09:24	-1.09	-0.14	0.37	1.16	1	LIEGT		
24-01-2023 09:24:17.000	24-01-2023	09:24	-1.08	0.17	0.4	1.16	1	LIEGT		

Abb. 3: Beispiel der Auswertung; Ein Wert von 1 bedeutet, dass der Mittelwert in Spalte H über die folgenden 88 Zeilen, entspricht einen Zeitraum von 90 Sekunden, größer als 0,6 war. In

diesem Fall wurde die erste Zeile der Sequenz als „Liegen“ klassifiziert. Lag der Mittelwert hingegen unter 0,6, blieb das Feld leer und die Sequenz wurde als „Stehen“ interpretiert.

4.5 Videoauswertung

Bei der Untersuchung, ob die vom Accelerometer aufgezeichneten Liegezeiten mit den auf den Videos erkennbaren Liegezeiten übereinstimmen, wurden jene Zeiträume zur Auswertung herangezogen, in denen eine visuelle Auswertung der Videoaufnahmen möglich war. Da es nachts und in den frühen Morgenstunden häufig unzureichende Lichtverhältnisse gab, konnten diese Zeitfenster nicht beurteilt werden und wurden daher aus der Analyse ausgeschlossen. Die ermittelten Liegezeiten aus der Exceltabelle wurden anhand der mitaufgezeichneten Uhr in den Videos überprüft und die Liegezeiten als richtig oder falsch identifiziert.

Dazu wurde ein Bewertungsschlüssel erstellt:

F0 = vollständige Übereinstimmung, die Zeiten und Liegephasen der Auswertungsformel decken sich vollständig mit den visuell bestimmten Zeiten aus der Videoanalyse. Abweichungen der Anfangs- bzw. Endzeit von weniger als zwei Minute wurden als richtig eingestuft.

F1 = völlig falsch, auf dem Video ist das Schaf liegend zu sehen, die Daten des Accelerometers identifizieren diese Zeit als Stehen bzw. das Schaf steht und der Accelerometer identifiziert diesen Zeitraum als liegend. Die Anfangs- und Endzeiten der Liegephasen stimmen nicht überein.

F1A = falsch, Proband steht während der Liegephase auf und legt sich unmittelbar (1-3 Minuten) später wieder hin. Dieser Zeitraum wird von der Auswertungsformel nicht als Stehen bewertet bzw. nicht als Unterbrechung der Liegephase. Die Anfangs- und Endzeiten der Liegephasen stimmen jedoch überein.

F1B = falsch, aufgrund von Bewegungsartefakten während des Liegens wird diese Phase als Stehen und nicht als liegend erfasst. Ein Grund hierfür ist zum Beispiel das Bewegen einer Extremität in der Liegephase. Die Anfangs- und Endzeiten der Liegephasen stimmen mit der Zeit im Video überein, jedoch wird die Sequenz durch kurze fälschlich, als Stehen interpretierte, sehr kurze Phasen unterbrochen.

Die Anzahl von richtig (0) und falsch (1) bzw. der Unterkategorien wurden pro Schaf ausgezählt.

4.6 Liegezeiten

Für die Auswertung wurden 24 Stunden am Tag vor der Operation und am Tag nach der Operation ausgewählt. Hier wurde der gesamte Tag in die Analyse einbezogen, das bedeutet, auch die Stunden an denen die Schafe nicht oder nur unzureichend im Video zu sehen waren. Aus den Anfangs- und Endzeiten der Liegephasen wurde die Liegedauer pro Sequenz berechnet. Daraus wiederum wurde die Summe aller Liegezeiten pro Tag (prä- und postoperativ) und die Anzahl der Liegesequenzen in diesen Zeitraum ermittelt.

4.7 Statistik

Die Daten werden mittels deskriptiver Statistik dargestellt. Die mittlere Liegedauer pro Liegesequenz, die Gesamtliegedauer pro 24 Stunden werden als Mittelwert und Standardabweichung angegeben. Die Zahl der Liegesequenzen als Summer aller Liegesequenzen pro 24 Stunden. Die Werte werden pro Schaf und als Mittelwert aller Schafe jeweils für die präoperative und postoperative Phase angegeben.

Die Liegezeiten präoperativ wurden mit den Liegezeiten postoperativ mittels Student-test auf ihren signifikanten Unterschied getestet. Ein p-Wert von $<0,05$ wird als signifikant unterschiedlich angenommen.

5. Ergebnisse

Insgesamt wurden acht Schafe videografisch erfasst, wobei 495 Liegeperioden identifiziert wurden. Davon 150 in der präoperativen und 345 postoperativen Phase.

5.1 Videoauswertung

Der Vergleich, zwischen den durch den Accelerometer identifizierten Liegesequenzen und der mittels Videoanalyse kontrollierten Sequenzen ergab eine absolute Fehlinterpretation (F1) in 31 Fällen, was einem Anteil von 6,3% entspricht. Die höchste Fehlerquote weist das Schaf Nr. 5 auf.

In 93,7% der Fälle wurden Anfangs- und Endzeiten der Liegephasen korrekt erkannt. Davon entfielen 278 Werte (56,2%) auf eine vollständig korrekte Zuordnung (F0), bei der sowohl die Zeitpunkte als auch die Verhaltenszustände zutreffend klassifiziert wurden.

Sechzehn Fälle (3,2%) zeigten kurzzeitiges Aufstehen mit unmittelbar anschließendem Niederlegen (F1A). Diese Unterbrechungen wurden vom Auswertungsalgorithmus nicht als eigenständige Stehphase erkannt und dadurch wurde die Liegephase als durchgehend identifiziert.

In 170 Fällen (F1B), das entspricht 34,4%, kam es zu teilweisen Fehlklassifikationen infolge von Bewegungsartefakten, da die jeweiligen Extremitäten während einer Liegephase bewegt wurden. Obwohl hierbei Anfangs- und Endzeitpunkte korrekt erkannt wurden, wurde die Liegesequenz unterbrochen und daher fälschlicherweise als Stehen interpretiert. 6,9% von 34,4% wurden als teilweise inkorrekt klassifiziert. Insgesamt entfielen damit 36,7% der Sequenzen auf die Kategorien F1A und F1B, auf Fälle mit teilweiser Fehlklassifikation bei formal korrekt erkannten Zeitpunkten.

5.2 Liegezeiten

Für die Auswertung der Liegezeiten konnten sechs Schafe analysiert werden, bei denen die Aufzeichnungen jeweils 24 Stunden pro Tag prä- und postoperativ zur Verfügung standen.

Am Tag vor der Operation lag die durchschnittliche Liegedauer bei 35,66 +/- 24,6 Minuten (Median: 33,5 (0-124) Minuten). Am Tag 1 postoperativ (n=345) verringerte sich die durchschnittliche Liegedauer auf 26,26 +/- 29,2 Minuten (Median: 15 (0-180) Minuten). Die durchschnittliche Liegedauer pro Liegephase war signifikant ($p > 0,00062$) länger im präoperativen Zeitraum.

Die Anzahl der Liegephasen prä- und postoperativ waren mit 22 +/- 6 präoperativ und postoperativ 21 +/- 19 nicht signifikant unterschiedlich ($p < 0,8759$). Die Gesamtliegedauer war mit 858 +/- 112 Minuten präoperativ signifikant länger als am Tag 1 postoperativ mit 618 +/- 227 Minuten ($p < 0,0438$) (siehe Tab. 1).

Schaf	Zeitraum	Anzahl der Liegephasen pro Tag	Durchschnittliche Liegezeit Pro Sequenz in Minuten	Gesamtliegedauer pro Tag in Minuten
Nr. 1	prä	20	46.9 +/- 3.2	938
Nr. 1	post Tag 1	15	39.4 +/- 7.1	686
Nr. 2	prä	27	32.2 +/- 4.6	775
Nr. 2	post Tag 1	14	35.5 +/- 3.9	831
Nr. 3	prä	13	47.1 +/- 5.5	1001
Nr. 3	post Tag 1	14	35.7 +/- 6.4	797
Nr. 4	prä	26	35.6 +/- 4.8	926
Nr. 4	post Tag 1	61	16.1 +/- 3.1	584
Nr. 5	prä	28	37.1 +/- 4.7	796
Nr. 5	post Tag 1	12	39.6 +/- 3.9	614
Nr. 6	prä	19	37,9 +/- 4.8	712
Nr. 6	Post Tag 1	13	15.3 +/- 3.2	199

Tab. 1: Ergebnisse der Analyse des Liegeverhaltens von sechs Schafen die über jeweils 24 Stunden am Tag vor der Operation (prä) und am Tag nach der Operation (post OP Tag 1) mittels Accelerometer, der am Vorderbein angebracht wurde, gemessen wurden.

6. Diskussion

Die verwendeten triaxialen Accelerometer zeigten in dieser Untersuchung eine grundsätzlich gute Eignung zur Erfassung des Liegeverhaltens von Schafen. In Kombination mit einer systematischen Datenaufbereitung und klar definierter Schwellenwerte konnten verlässliche Aussagen über Liegezeiten getroffen werden. Die Sensoren erfassten Bewegungen entlang aller drei Raumachsen und ermöglichten somit eine differenzierte Bewertung von Liege- und Stehphasen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit bisherigen Studien, die die Validität solcher Systeme bei Pferden, Kühen und Schafen bestätigten konnten [3,8,10].

Die technische Umsetzung erfolgte über einen am Röhrein angebrachten Sensor, der alle zehn Sekunden Bewegungsdaten aufzeichnete. Die anschließende Auswertung mithilfe einer Excel-Formel zur Detektion der Liegephasen erwies sich als praktikabel, wobei bestimmte Einschränkungen deutlich wurden.

In der Analyse zeigte sich, dass trotz insgesamt guter Klassifikationsleistung des Systems eine gewisse Fehlerquote besteht. Insgesamt wurden 6,3% der Liegephasen vollständig falsch erkannt (F1), während 93,7% (F0, F1A, F1B) korrekt oder zumindest in Bezug auf Anfangs- und Endzeiten der Liegezeiten zutreffend erfasst wurden. Davon entfielen 37,6% auf Sequenzen mit teilweisen Erkennungsfehlern (F1A, F1B), bei denen zwar die Zeitpunkte der Anfangs- und Endzeiten der Liegephase korrekt identifiziert wurden, jedoch Abweichungen in der inhaltlichen Bewertung vorlagen.

Ein möglicher Grund hierfür liegt in der Struktur der angewandten Auswertungsformel. Zur Bewertung, ob das Schaf liegt oder steht, wurde jeweils der Mittelwert über 90 Sekunden herangezogen (genau beschrieben: MW von Zeile 1-90, MW von Zeile 2-91...). Obwohl dieses Verfahren kurzfristige Schwankungen effektiv glättet, kann es dazu führen, dass auch einzelne Bewegungen innerhalb einer Liegephase, etwa das Strecken einer Gliedmaße oder das Umlegen von Brustbauch- in Seitenlage, das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Solche Bewegungen können ausreichen, um den Schwellenwert von 0,6 zu überschreiten und die gesamte Phase irrtümlich als Stehen zu klassifizieren. Somit entstehen Fehlklassifikationen, obwohl das Tier im beobachteten Zeitraum überwiegend gelegen hat. Ein weiterer Einfluss könnte die Positionierung des Sensors sein. Bei einem der Tiere (Schaf Nr. 5) wurde eine besonders hohe Fehlerquote festgestellt, was auf ein mögliches Verrutschen des Verbandes und somit auf eine veränderte Sensorlage hindeutet.

Im Vergleich zu einer Studie von Ledgerwood et al. [18], in der das Liegeverhalten von Milchkühen mittels Accelerometer validiert wurde, lag die Spezifität bei 99%, bezogen auf die Erkennung von Stehphasen [18]. Diese hohe Genauigkeit wurde durch ein Messintervall von 30 Sekunden und der Einsatz spezifischer Filtertechniken erreicht.

Dieser Vergleich verdeutlicht, dass selbst bei fortschrittlich entwickelten Systemen die Genauigkeit der Ergebnisse stark davon abhängt, wie gut die Auswertungsmethoden angepasst wurden. Gleichzeitig bringt eine Verkürzung des Aufzeichnungsintervalls eigene Herausforderungen mit sich. Kurze, verhaltensuntypische Bewegungen können stärker gewichtet und als eigenständige Phasen fehlinterpretiert werden. Zudem verringert sich die Speicherdauer des Sensors, was zu häufigerem Wechseln der Aufzeichnungseinheit führen kann. In einer Arbeit von Decandia et al. [22] wird ein Aufzeichnungsintervall zwischen 30 und 60 Sekunden als optimal für die Erfassung von Grasen, Wiederkäuen und anderen Aktivitäten beschrieben.

Eine vergleichbare Studie von Radeski und Ilieski [13] kam zu dem Ergebnis, dass triaxiale Accelerometer das Liegen von Schafen mit einer sehr hohen Genauigkeit von 99,5% erkennen können. Grundlage war eine systematische Auswertung von Beschleunigungsmustern in drei-Sekunden-Epochen bei einer Abtastrate von 33 Messwerten pro Sekunde. Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Arbeit ein Auswertungsintervall gewählt, bei dem alle zehn Sekunden ein Wert abgespeichert und anschließend über 1,5 Minuten gemittelt wurde. Trotz dieser starken Glättung zeigte sich eine vergleichsweise hohe Fehlerquote infolge von Bewegungsartefakten (F1B). Dies verdeutlicht, dass auch bei langen Intervallen Fehlklassifikationen auftreten können, wenn die eingesetzte Auswertungsformel sensibel auf Bewegungsabweichungen reagiert. Während Radeski und Ilieski keine explizite Unterscheidung verschiedener Fehlkatgorien vornahmen, wurden in der vorliegenden Arbeit Bewegungsartefakte gezielt über die Analyse der Videos ausgewertet. Ein direkter Vergleich der Fehlerraten ist daher nur eingeschränkt möglich. Hinzu kommt, dass der verwendete Sensor in dieser Arbeit am Röhrbein befestigt wurde und dadurch anfällig für Bewegungen der Gliedmaßen ist, sich aber trotzdem gut als Detektion von Liegephasen erwiesen hat. Kopf- oder Halsplatzierungen wären für andere Verhaltensweisen wie z.B. das Wiederkäuen besser geeignet [9].

Ein zentrales Ergebnis der Studie war die signifikante Veränderung der mittleren Liegedauer im postoperativen Zeitraum. Die mittlere Liegedauer pro Sequenz reduzierte sich im Vergleich

zum präoperativen Zustand. Während die Tiere vor der Operation im Schnitt 35,66 Minuten pro Liegephasen lagen, waren es postoperativ nur 26,26 Minuten ($p=0,00062$). Dieses Ergebnis erscheint unerwartet, da aufgrund postoperativer Schmerzen oder eines allgemeinen Unwohlseins eigentlich von einer erhöhten Ruhezeit der Tiere ausgegangen werden könnte. Die Beobachtung, dass Schafe postoperativ insgesamt kürzere jedoch häufigere Liegephasen zeigen, könnte auf eine vermehrte Unruhe, Schmerzen oder generelles Unwohlsein unmittelbar nach der Operation hindeuten, wodurch die Tiere nicht in einer Position über längere Zeit verweilen konnten. Diese Interpretation ist im Einklang mit bisherigen Studien die postoperative Verhaltensänderungen durch Schmerz und Stress beschreiben [2,16,17]. Gleichzeitig zeigt sich jedoch eine erhebliche individuelle Variation. Während einige Schafe deutliche Unterschiede in der Dauer der einzelnen Liegesequenzen zeigten, war dies bei anderen Tieren nicht so deutlich. Dies kann damit begründet werden, dass nicht alle Schafe einer Gruppe am selben Tag operiert wurden und zum Beispiel ein frisch operiertes Schaf sich an den Liegehasen der anderen Tiere orientiert hat.

Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, dass individuelle Unterschiede zwischen den Schafen, etwa im Hinblick auf Schmerzempfindlichkeit, Stressreaktionen oder habituelle Verhaltensweisen auch eine große Rolle spielen können. Begleitend zur Verkürzung der einzelnen Liegephasen wurde postoperativ eine deutliche Zunahme der Liegesequenzen beobachtet. Alle Schafe erhielten auf Grund des Versuchsaufbaus postoperativ als Schmerzmittel Morphin. Das könnte zu einer vermehrten Unruhe geführt haben und die Tiere veranlasst haben öfters aufzustehen. Dies könnte auch eine Erklärung sein, warum die Tiere während einer Liegephase die Position häufig veränderten und es dadurch zu einer höheren Fehlerquote gekommen ist.

Im Vergleich mit bestehenden Studien bewegen sich die gemessenen Gesamtliegezeiten im erwarteten Bereich. Untersuchungen an gesunden Schafen auf der Weide berichten von Liegezeiten zwischen sechs und acht Stunden pro Tag [9]. Damit liegen die in dieser Arbeit gemessenen präoperativen Werte im physiologischen Rahmen.

Zusammenfassend zeigt diese Arbeit, dass sich das Liegeverhalten von Schafen nach einem chirurgischen Eingriff signifikant ändert, weniger in der absoluten Liegezeit, sondern viel mehr in der Struktur der Ruhephasen. Accelerometer erwiesen sich dabei als zuverlässiges Messinstrument, wenngleich eine gewisse Fehlerquote zu berücksichtigen ist. Die beobachteten Bewegungsartefakte verdeutlichen die Notwendigkeit weiterer methodischer

Optimierungen. Eine mögliche Verbesserung bestünde in einer Verkürzung der Aufzeichnungsintervalle von derzeit zehn auf eine Sekunde. Dadurch können mehr Datenpunkte erfasst und der Mittelwert präziser berechnet werden. Ergänzend wäre zu prüfen, ob das aktuell verwendete Beurteilungsintervall von 90 Sekunden ebenfalls verkürzt werden kann. Gleichzeitig stellt sich jedoch die Frage, wie genau ein Sensor tatsächlich messen muss, solange Anfangs- und Endzeitpunkte einer Liegephase zuverlässig erkannt werden. Ergänzende Messungen wie etwa Schmerz-Score, Cortisolspiegel oder Herzfrequenz, könnten helfen, die erhobenen Daten besser auszuwerten und zu interpretieren.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Pichlbauer B, Chapa Gonzalez JM, Bobal M, Guse C, Iwersen M, Drillich M. Evaluation of different sensor systems for classifying the behaviour of dairy cows on pasture. *Sensors* (Basel). 2024;24(23):7739.doi:10.3390/s24237739.
- [2] Olson ME, Ralston B, Burwash L, Matheson-Bird H, Allan ND. Efficacy of oral meloxicam suspension for prevention of pain and inflammation following band and surgical castration in calves. *BMC Vet Res*. 2016;12:102. doi:10.1186/s12917-016-0742-0.
- [3] DuBois C, Zakrajsek E, Haley DB, Merkies K. Validation of triaxial accelerometers to measure the lying behaviour of adult domestic horses. *Anim*. 2015;9(1):110-114. doi:10.1017/S1751731114002150.
- [4] Chapa JM, Maschat K, Iwersen M, Baumgartner J, Drillich M. Accelerometer systems as tools for health and welfare assessment in cattle and pigs – A review. *Anim Res Rev*. 2020;21(1):13-25.doi:10.1017/S1466252320000067.
- [5] Volpov BL, Hoskins AJ, Battaile BC, Viviant M, Wheatley KE, Marshall GJ, et al. Identification of prey captures in Australian fur seals (*Arctocephalus pusillus doriferus*) using head-mounted accelerometers: field validation with animal-borne video cameras. *PLoS One*. 2015;10(6):e0128789. doi: 10.1371/journal.pone.0128789.
- [6] Shepard EL, Wilson RP, Quintana F, Laich AG, Liebsch N, Albareda DA, et al. Identification of animal movement patterns using tri-axial accelerometry. *Endanger Species Res*. 2008;10:47–60. doi: 10.3354/esr00084.
- [7] Whitney NM, Pratt HL Jr, Pratt TC, Carrier JC. Identifying shark mating behaviour using three-dimensional acceleration loggers. *Endanger Species Res*. 2010;10:71–82. doi: 10.3354/esr00242.
- [8] Simmler M, Brouwer SP. Triact package for R: analyzing the lying behaviour of cows from accelerometer data. *PeerJ*. 2024 Feb 28;12:e17036. doi: 10.7717/peerj.17036.

- [9] Ikurior SJ, Marquetoux N, Leu ST, Corner-Thomas RA, Scott I, Pomroy WE. What Are Sheep Doing? Tri-Axial Accelerometer Sensor Data Identify the Diel Activity Pattern of Ewe Lambs on Pasture. *Sensors (Basel)*. 2021 Oct 13;21(20):6816. doi: 10.3390/s21206816.
- [10] Barwick J, Lamb D, Dobos R, Schneider D, Welch M, Trotter M. Predicting lameness in sheep activity using tri-axial acceleration signals. *Animals*. 2018;8(1):12. doi:10.3390/ani8010012.
- [11] Fogarty ES, Swain DL, Cronin GM, Moraes LE, Trotter MG. Behavioural predictors of lambing using accelerometers. *Appl Anim Behav Sci*. 2020;227:104996. doi:10.1016/j.applanim.2020.104996.
- [12] Scheibe KM, Gromann C. Application testing of a new three-dimensional acceleration measuring system with wireless data transfer (WAS) for behavior analysis. *Behav Res Methods*. 2006 Aug;38(3):427-33. doi: 10.3758/BF03192796.
- [13] Radeski M, Ilieski V. Gait and posture discrimination in sheep using a tri-axial accelerometer. *Vet Ital*. 2017;53(2):175-182.
- [14] Schneidewind SJ, Al Merestani MR, Schmidt S, Schmidt T, Thöne-Reineke C, Wiegand M. Rumination detection in sheep: a systematic review of sensor-based approaches. *Animals (Basel)*. 2023;13(3):353. doi:10.3390/ani13030353.
- [15] Brown DD, Kays R, Wikelski M, Wilson R, Klimley AP. Observing the unwatchable through acceleration logging of animal behavior. *Anim Biotelemetry*. 2013;1:20. doi:10.1186/2050-3385-1-20.
- [16] Pfundstein S. Evaluation einer Multiparameter-Schmerzskala zur Beurteilung von postoperativen Schmerzen bei Schafen [Dissertation]. Zürich: Universität Zürich; 2014.
- [17] Theurer ME, White BJ, Coetzee JF, Edwards LN, Mosher RA, Cull CA. Assessment of behavioral changes associated with oral meloxicam administration at time of dehorning in

calves using a remote triangulation device and accelerometers. BMC Vet Res. 2012;8:48.
doi: 10.1186/1746-6148-8-48.

[18] Ledgerwood DN, Winckler C, Tucker CB. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. J. Dairy Sci. 2010;93(11):5129-39.

[19] Almasi F, Nguyen H, Heydarian D, Sohi R, Nikbin S, Jenvey CJ, et al. Quantification of behavioural variation among sheep grazing on pasture using accelerometer sensors. Anim Prod Sci. 2022;62(15):1527-1538.

[20] Williams M, Davis C, Jones DL, Williams H. Lying behaviour of housed and outdoor-managed pregnant sheep. Applied Animal Behaviour Science. 2021;236:105253.
doi:10.1016/j.applanim.2021.105253.

[21] Voltcraft. DL-131G Vibration and Acceleration 18G Data Logger [Internet]. Rapid Electronics; [cited 2025 May 10]. Available from: <https://www.rapidonline.com/voltcraft-dl-131g-vibration-and-acceleration-18g-data-logger-55-3908>

[22] Decandia M, Giovanetti V, Molle G, Acciaro M, Mameli M, Cabiddu A, et al. The effect of different time epoch settings on the classification of sheep behaviour using tri-axial accelerometry. Small Rumin Res. 2021;204:106561.doi:10.1016/j.smallrumres.2021.106561.

8. Liste von Tabellen und Diagrammen

Abb. 1: Accelerometer der Firma VOLTcraft

Abb. 2: Beispiel einer Datenaufzeichnung und Extraktion in Excel

Abb. 3: Beispiel der Auswertung; 1 bedeutet, dass der Mittelwert in Spalte H über den 88 folgenden Zeilen, entspricht 90 Sekunden, größer als 0,6 war. Die (erste) Messzeile wurde als Liegen bewertet, war der Mittelwert $< 0,6$ über 88 Zeilen blieb das Feld leer und die Interpretation war, dass das Schaf steht

Tab. 1: Ergebnisse der Analyse des Liegeverhaltens von sechs Schafen die über jeweils 24 Stunden am Tag vor der Operation (prä) und am Tag nach der Operation (post tag 1) mittels Accelerometer, der am Vorderbein angebracht wurden