

**Untersuchungen zum Einsatz von
Sandbettwabenmatten in Tiefboxen hinsichtlich
Milchleistung, Liegeboxenqualität sowie
verschiedenen Tierwohlparametern bei Milchkühen
im Laufstall**

von Sebastian Stöcker

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Untersuchungen zum Einsatz von
Sandbettwabenmatten in Tiefboxen hinsichtlich
Milchleistung, Liegeboxenqualität sowie
verschiedenen Tierwohlparametern bei Milchkühen
im Laufstall**

von Sebastian Stöcker

aus Gars am Inn

München 2025

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Tierschutz, Ethologie, Tierhygiene und Tierhaltung

Arbeit angefertigt unter der Leitung von:
Priv.-Doz. Dr. Elke Rauch

Angefertigt an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät Nachhaltige Agrar- und Energiesysteme

Mentorin:
Prof. Dr. Dr. Eva Zeiler

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph D.

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Elke Rauch

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Gabriela Knubben

Tag der Promotion: 08. Februar 2025

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Einfluss der Liegeflächengestaltung auf die Tiersauberkeit	3
2.2 Einfluss der Liegeflächengestaltung auf Integumentschäden	5
2.3 Wiederkauverhalten und Bewegungsaktivität von Milchkühen.....	8
2.4 Einfluss der Liegeflächengestaltung auf das Liegeverhalten und die Liegedauer.....	9
2.4.1 Tiefbox	12
2.4.2 Hochbox.....	16
2.4.3 Sandbettwabenmatte LINDA.....	16
2.5 Einfluss des Stallklimas auf das Liegeverhalten.....	19
2.6 Zusammenhang zwischen Milchleistung und Liegedauer	21
2.7 Gesetzliche Grundlagen zur Liegeboxengestaltung	22
3 Tiere, Material und Methode	23
3.1 Boniturbogen	25
3.2 Beschreibung der Untersuchungen	26
3.2.1 Auswahl der Betriebe	26
3.2.2. Aufbau der Betriebe	26
3.2.3 Vorgehensweise der Tierbonitierung	27
3.2.4 SmaXtec Pansenboli-Untersuchungen	32
3.2.5 HOBO®-Liegezeituntersuchungen	33
3.2.6 Klimadatenerfassung	34
3.2.7 MLP-Datenanalyse.....	34
3.3 Statistische Auswertung	35
4 Ergebnisse	36
4.1 Verschmutzungsgrad der Tiere	36
4.1.1 Liegeboxensauberkeit.....	37
4.2 Hautschäden und haarlose Stellen.....	38
4.3 Wiederkauverhalten und Bewegungsaktivität (Smaxtec Untersuchungen).....	39

4.4 Liege- und Steh-/Gehverhalten.....	41
4.5 Klimadaten.....	43
4.6 Milchleistung.....	46
5 Diskussion	47
5.1 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf den Verschmutzungsgrad der Tiere und die Liegeboxensauberkeit.....	47
5.2 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf Hautschäden und haarlose Stellen	49
5.3 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf das Wiederkauverhalten und die Bewegungsaktivität.....	50
5.4 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf das Liege- und Steh-/Gehverhalten	51
5.5 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf die Milchleistung	53
6 Schlussfolgerung	54
7 Zusammenfassung.....	56
8 Summary	58
9 Literaturverzeichnis	60
10 Anhang	66
11 Danksagung.....	71

Abkürzungsverzeichnis

Akmin	Arbeitskraftminuten
AMS	Automatisches Melksystem
CMS	Konventionelles Melksystem
et al.	et alli / und andere
Int	Intervall
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
LKV	Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung Bayern e.V.
MLP	Milchleistungsprüfung
p-Wert	Signifikanzwert
ppm	parts per million
THI	Temperatur Humidität Index
TierSchG	Tierschutzgesetz
TierSchNutzV	Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung
z.B.	zum Beispiel
ZP	Zeitpunkt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systemskizze Einbau Linda Sandbettwabe (Quelle: Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG, Tacherting/OT Emertsham, Deutschland).....	18
Abbildung 2: Einbauvarianten der Linda Sandbettwabe (Quelle: Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG, Tacherting/OT Emertsham, Deutschland).....	18
Abbildung 3: Geographische Verteilung der Betriebe (Google Maps)	23
Abbildung 4: Zeitlicher Untersuchungsablauf (eigene Darstellung; Datum nicht maßstabsgetreu).....	28
Abbildung 5: Definition Boniturparameter Verschmutzungsgrad (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung).....	30
Abbildung 6: Gradeinteilung Boniturparameter Verschmutzungsgrad (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung).....	30
Abbildung 7: Definition Boniturparameter Hautschäden und Haarlose Stellen (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung).....	31
Abbildung 8: Gradeinteilung Boniturparameter Hautschäden und Haarlose Stellen (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung)	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Betriebsdaten vor dem Umbau auf Sandbettwabenmatten, Stand April 2022 (eigene Darstellung)	24
Tabelle 2: Liegeboxenabmessungen der drei teilnehmenden Betriebe im Ø (wandständig). 27	
Tabelle 3: Gradeinteilung der Liegeboxenverschmutzung (eigene Darstellung)	32
Tabelle 4: Intervalldauer der HOBOb®-Liegezeitauswertung (eigene Darstellung) unterteilt nach Intervall und teilnehmenden Betrieb (Intervall 1 = unmittelbar vor dem Umbau; Intervall 2 = 6 Wochen nach dem Umbau; Intervall 3 = Betrieb 1 (41 Wochen nach Umbau), Betrieb 2 (32 Wochen nach Umbau), Betrieb 3 (30 Wochen nach Umbau)).....	33
Tabelle 5: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten - Parameter Verschmutzungsgrad (Grad 0 (keine) bis Grad 2 (stark verschmutzt))	37
Tabelle 6: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten - Wiederkauaktivität und Bewegungsaktivität	40
Tabelle 7: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) der HOBOb® Liege- und Steh-/Gehzeituntersuchungen zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten.....	42
Tabelle 8: Klimadaten der drei teilnehmenden Betriebe (Ø°C = Tagesdurchschnittstemperatur; Ø LF in % = relative Luftfeuchtigkeit/Tag.....	44
Tabelle 9: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) der Milchleistungsergebnisse der Betriebe zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten	46

1 Einleitung

Das Liegeverhalten von Milchkühen hat eine enorme Bedeutung und dient als Maß für deren Wohlbefinden und Komfort (Solano et al., 2016). Ein hoher täglicher Liegeanteil reduziert den Stress der Tiere und trägt zur Erholung und Ruhe bei. Durchschnittliche tägliche Liegezeiten von 10 bis 14 Stunden sorgen zudem für eine Steigerung der Kuhgesundheit, indem Gelenke und Klauen entlastet und dadurch Lahmheiten und Verletzungen vorgebeugt werden (Tucker et al., 2021). Während des Liegevorgangs ist zudem die Euterdurchblutung erhöht und es kommt zu einer gesteigerten Milchbildung. Ein gestörtes Liegeverhalten beeinflusst wiederum die Milchproduktion sowie natürliche Verhaltensmuster wie Wiederkauen und Schlafphasen negativ.

Aus diesen Gründen ist die Gestaltung einer sauberen, weichen und trockenen Liegefläche ausschlaggebend. Dabei muss die Auswahl des Liegesystems individuell und nach Anforderung an den jeweiligen Betrieb angepasst werden.

In der Stichtagszählung vom 3. Mai 2023 wurden in Deutschland in 51.700 Betrieben insgesamt 3,77 Millionen Milchkühe gehalten (Tergast et al., 2023). Im Jahr 2020 zeigte sich die Laufstallhaltung als dominierende Haltungsform in deutschen Milchviehbetrieben. Dabei hielten 65 % der Betriebe ihre Kühe in Laufstallhaltung und 35 % in Anbindehaltung, wobei mit 89 % die meisten Tiere in Laufstallhaltung gehalten wurden (Tergast et al., 2023). Erwartungsgemäß wurde die Mehrzahl der Kühe, die in ganzjähriger Anbindehaltung leben, im Bundesland Bayern in eher kleinen Betriebsstrukturen gehalten. Insgesamt lag der Anteil an Weidezugang in den verschiedenen Haltungssystemen im Jahr 2020 bei 31 % (Tergast et al., 2023).

Die zukunftsfähigste Haltungsform von Milchkühen ist der Liegeboxenlaufstall. Die gängigsten Liegesysteme sind dabei die Hochliegeboxen (Hochboxen) und die Tiefstreuboxen (Tiefboxen). Außerdem gibt es weitere alternative Liegesysteme sowie kombinierte Formen wie zum Beispiel hochverlegte Tiefboxen oder freies Liegen.

Neben dem klassischen Anbindestall sowie dem Boxenlaufstall gibt es weitere alternative Haltungssysteme für Milchkühe, die je nach Anforderung und Struktur der Betriebe sowie der Tiere Anwendung finden können. Dazu zählen zum Einen der Tiefstreu- und Tretmiststall und zum Anderen Kompostierställe. In diesen Haltungssystemen haben die Tiere eine freie und komfortable Wahl der Liegefläche sowie große Bewegungsfreiheit. Aufgrund der großen Einstreumenge sind der tägliche Arbeitsaufwand sowie die jährlichen Materialkosten im Vergleich zu anderen Liegesystemen deutlich höher.

Jedes Liegesystem hat seine Stärken und Schwächen. Bei der Auswahl für ein geeignetes System sind die Anforderungen des Betriebs, die klimatischen Bedingungen, die finanziellen Möglichkeiten, der Arbeitsaufwand sowie das Wohlbefinden der Tiere zu beachten.

In der vorliegenden Arbeit geht es um die Bewertung einer neuartigen Sandbettwabenmatte in einem Feldversuch. Hierbei werden unter anderem mittels landwirtschaftlicher Digitalisierung drei verschiedene Milchviehherden untersucht. Das Ziel dieser Studie bestand darin, erste Erkenntnisse zu liefern, ob und wie ein Umbau von Tiefstreuboxen auf Sandbettwabenmatten das Tierwohl beeinflusst.

Neben den verschiedenen Tierwohlindikatoren werden sowohl Leistungsparameter der Herde als auch Effizienz und Wirtschaftlichkeit für die Betriebe und Landwirte bewertet. Untersuchungen und Studien zu dieser neuen Art von Liegematten sind bisher nicht bekannt. Zahlreiche Publikationen untersuchten jedoch verschiedene Materialien der Einstreu in verschiedenen Liegeboxensystemen.

Zu überprüfende Hypothesen:

- Der Einbau der Sandbettwabenmatten erhöht die Herdenliegezeit im Vergleich zur herkömmlichen Tiefstreu- Strohmatratze
- Unter Verwendung der Sandbettwabenmatten ist die Liegefläche sauber und trocken, die Tiere sind weniger verschmutzt
- Der Einsatz der Sandbettwabenmatten reduziert die Integumentschäden
- Die Verwendung der Sandbettwabenmatte erhöht die Milchleistung

2 Literaturübersicht

2.1 Einfluss der Liegeflächengestaltung auf die Tiersauberkeit

Die Gestaltung der Liegeoberfläche hat einen wichtigen Einfluss auf die Sauberkeit der Tiere. Mangelnde Pflege und schlechte Hygiene im Bereich der Liegeflächen können zu einem Anstieg des Keimdrucks führen, was wiederum zu einer verminderten Tiergesundheit und vermehrten Krankheitsausbrüchen in der Herde führen kann. Als wichtigster Einflussfaktor auf die Gesundheit und das Verhalten der Tiere in der Liegebox, erwies sich daher die Art und Höhe des Einstreu (Fulwider et al., 2007; Gieseke et al., 2020; Ruud et al., 2011).

Im Anbindestall stehen die Kuh- und Stallsauberkeit in direkter Korrelation zueinander, da die Tiere aufgrund der Haltungsform an die jeweilige Liegefläche gebunden sind. Somit stellt der Liegeplatz die Hauptkontaminationsquelle aufgrund der Verschmutzung durch Fäkalien dar. Im Liegeboxenlaufstall beeinflussen zusätzliche Faktoren, wie zum Beispiel das Spaltenliegen, Verunreinigungen der Beine auf den Laufgängen oder die Liegeplatzverschmutzung durch die Klauen, die Verschmutzung der Tiere (Devries et al., 2012; McPherson und Vasseur, 2020; Nielsen et al., 2011). Die Prävalenz von schmutzten Beinen beträgt in Laufställen etwa 13 % und die Prävalenz von schmutzigen Beinen, Euter und Flanken beträgt in Anbindeställen 4,4 bzw. 11 % (Nash et al., 2016; Solano et al., 2015). Ähnliche Ergebnisse lieferten auch die Untersuchungen von Göttl (2022), wobei die Tiere ebenfalls eine geringere bis mittelgradige Verschmutzung am Euter (37 %) sowohl in Anbindehaltung als auch im Laufstall zeigten. Am oberen Hinterbein zeigten Kühe in Anbindehaltung mit 53,6 % eine geringere Verschmutzungsprävalenz als Tiere im Laufstall mit 60 % (Laufstall und Weide) bzw. 74,3 % (Laufstall und Auslauf) (Göttl, 2022). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Verschmutzungen in Laufställen aufgrund der Bewegungsfreiheit der Tiere größer sein können.

Diverse Studien untersuchten die Sauberkeit der Tiere auf verschieden gestalteten Liegeflächen (Fulwider et al., 2007; Ruud et al., 2011). In Bezug auf die Verschmutzung des Euters in Freilaufställen, stellten de Vries et al. (2015) einen Rückgang um die Hälfte und Cook et al. (2016) eine Verminderung um 13 % auf tief eingestreuten Boxen im Gegensatz zu weniger eingestreuten Liegeflächen fest.

In einem Vergleich bei dem Kühe in Lauf- (LS) und Anbindeställen (AS) mit unterschiedlichen Liegeboxenausstattungen gehalten wurden, zeigten die Tiere in Laufställen häufiger verschmutzte Unterschenkel (89 % LS und 26 % AS) sowie verunreinigte Oberschenkel und Flanken (59 % LS und 40 % AS) (Robles et al., 2019). Das Auftreten von verschmutzten Oberschenkeln und Flanken war dabei in Tiefboxen um 14,7 % geringer als bei Tieren, die auf Hochboxen gehalten wurden. Außerdem verzeichneten Betriebe einen tendenziellen Anstieg

von verschmutzten Beinen um 16,2 %, sobald Kalk im Einstreu verwendet wurde. Auch die Einstreuhäufigkeit hatte einen Einfluss auf die Sauberkeit und Hygiene der Euter. So lag die Häufigkeit verschmutzter Euter in Betrieben mit täglich neuer Stroheinstreu um 7,0 % unter den Betrieben, in denen zweitägig neu eingestreut wurde (Robles et al., 2019).

Gieseke et al. (2020) untersuchten den Einfluss der Liegeflächengestaltung hinsichtlich einiger Tierwohlparameter bei Milchkühen. Dabei wurde festgestellt, dass in Laufställen mit unterschiedlichen Liegeoberflächen, die mediane Verteilung von verschmutzten Beinen (55,1 %) und Flanken (68,4 %) höher war als die Verschmutzung der Euter (44,9 %). Tiere auf Gummimatten zeigten eine um 34,2 % höhere Prävalenz an verschmutzten Beinen im Vergleich zu Tieren in Tiefboxenhaltung. Im Gegensatz dazu war die Häufigkeit von verschmutzten Beinen in Betrieben mit einem höheren Nackenriegel um 8,4 % geringer pro 10 cm Erhöhung. Die Verschmutzung der Flanken wurde sowohl durch die Kuh-Liegeplatz-Verhältnisse (+2,9 % pro 10 % Zunahme der Liegeboxengrundfläche) als auch durch die Breite der Liegeboxen beeinflusst. Dabei zeigten Tiere pro 10 cm Zunahme der Liegeboxenbreite eine Verminderung der Prävalenz verschmutzter Flanken um 18,5 %. Ein größerer Abstand des Nackenrohrs zur Bugschwelle führte jedoch zu einem Anstieg von verschmutzten Flanken um 3,1 % pro 10 cm Zunahme. Eine erhöhte Verschmutzung der Euter wurde in Betrieben beobachtet, welche Gummimatten anstelle von Tiefboxen als Liegeflächen verwendeten (+30,5 %). Eine geringere Prävalenz von verschmutzten Eutern wurde bei größeren Liegeflächen festgestellt, wobei eine Zunahme von 10 cm² Liegefläche zu einer Verminderung der Euterverschmutzung um 2,9 % und eine Erhöhung der Nackenschiene um 10 cm ebenfalls zu einer Verminderung der Euterverschmutzung um 7,0 % führte (Gieseke et al., 2020).

In einer Untersuchung zwischen Liegeflächen welche mit recycelten Güllefeststoffen (RGF) oder Stroh eingestreut waren, wurden verschiedene Bakterienkonzentrationen festgestellt. Dabei wurde eine höhere Bakterienkonzentration von *Salmonella spp.* und *L. monocytogenes* in unbenutzten RGF-Liegeflächen (11 % und 30 %) als auf Strohliegeflächen (0 % und 11 %) nachgewiesen (Beauchemin et al., 2022). Ähnliche Ergebnisse lieferte die Analyse der benutzten Liegeflächen. *L. monocytogenes* wurde in 48 % der Proben der RGF-Liegeflächen, jedoch nur in 20 % der Proben der Strohliegeflächen nachgewiesen. Auch die Konzentration von *Salmonella spp.* war auf den benutzten RGF-Liegeflächen mit 15 % höher als auf den Strohliegeflächen mit 2 % (Beauchemin et al., 2022). Dies zeigt eine deutlich geringere Keimbelastung hinsichtlich *L. monocytogenes* und *Salmonella spp.* auf Strohliegeflächen im Vergleich zu Liegeflächen mit Güllefeststoffen.

2.2 Einfluss der Liegeflächengestaltung auf Integumentschäden

Im Liegeboxenlaufstall hat die Gestaltung der Liegebox einen erheblichen Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere. Laut McPherson und Vasseur (2020) ist die Liegefläche zum einen durch die Größe und zum anderen durch die Gestaltung der Liegebox definiert. Dazu zählen die Einstreutiefe, die Einstreuart und der Aufbau des Stallbodens, welche in Kombination für eine komfortable Liegefläche sorgen. Der Einstreutiefe kommt dabei die größte Bedeutung zu, da sie bei entsprechender Höhe unabhängig vom eingestreuten Material, aufgrund hoher Kompressibilität und geringer Abrasivität, den positivsten Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere hat (Campler et al., 2018; McPherson und Vasseur, 2020, 2021; Wechsler et al., 2000).

Die Größe der Liegebox, sowie die Länge der Liegefläche wirken sich ebenfalls auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere aus (Dirksen et al., 2020). So beschreiben Nash et al. (2016) und McPherson und Vasseur (2021) in ihren Studien, dass die Länge des Liegeplatzes in Anbindeställen eine große Rolle bei der Prävalenz und dem Risiko von Verletzungen spielt. Dabei fällt vor allem auf, dass längere Liegeplätze das Auftreten von Sprunggelenks- und Karpalgelenksläsionen sowie Lahmheiten verringern (McPherson und Vasseur, 2020). Ähnliche Ergebnisse dazu zeigten Tiere in einer epidemiologischen Studie von Potterton et al. (2011), wobei die Wahrscheinlichkeit von Sprunggelenksschwellungen in Laufställen mit zunehmender Liegelänge gesunken ist (172 cm – 178 cm, Wahrscheinlichkeit = 1,00 und 179 cm – 184 cm, Wahrscheinlichkeit = 0,56).

Die Gestaltung der Liegeboxen beschränkt sich im Liegeboxenlaufstall hauptsächlich auf die Tiefbox und die Hochbox. Beide Arten bieten verschiedene Ausführungen und Einstreiformen. So bildet die Grundlage der Tiefbox in den meisten Fällen eine Stroh-Mist- oder eine Kalk-Stroh-Matratze. Darüber hinaus finden auch andere Einstreumaterialien wie zum Beispiel Strohhäcksel, Sägespäne, Sand oder Gärsubstrate Anwendung. Das Gegenstück zur Tiefbox stellt die Hochbox dar, welche sich über dem Niveau des Laufganges befindet und in der Regel mit einer Gummimatte oder Matratze und zusätzlichem Einstreumaterial ergänzt wird (Andreasen und Forkman, 2012; Gieseke et al., 2020; Ofner-Schröck, 2013).

Ein direktes Feedback zur Qualität der Liegeflächengestaltung geben tierbezogene Haltungsindikatoren, wie Integumentschäden und die Sauberkeit der Tiere. Integumentschäden sind pathologische Veränderungen am Tier, welche durch Interaktionen der Tiere mit der Haltungsumwelt auftreten können und Rückschlüsse auf das Wohlbefinden zulassen. Diese können sich entweder anhand von schmerzhaften Veränderungen wie Kratzer, Schwellungen und Wunden darstellen oder als haarlose Stellen, welche hingegen durch wiederholte Zusammenstöße der Tiere mit der Umgebung hervorgerufen werden (Andreasen und Forkman, 2012; Potterton et al., 2011). Die höchste Verletzungsprävalenz liegt dabei auf den Sprunggelenken, da in diesem Bereich der größte Druck beim

Liegevorgang der Kuh lastet. Am zweithäufigsten sind Verletzungen an den Karpalgelenken. Läsionen in diesem Bereich entstehen vor allem durch den Abliegevorgang aus einer stehenden - in eine liegende Position und können somit ebenfalls in Verbindung mit der Liegeboxenqualität gebracht werden (McPherson und Vasseur, 2020; Wechsler et al., 2000). Die Prävalenz von Integumentschäden am Sprunggelenk bzw. Knie reicht in der aktuellen Literatur von 47 % bzw. 24 % in Laufställen bis 56 % bzw. 42 % in Anbindeställen (Nash et al., 2016; Zaffino Heyerhoff et al., 2014).

Brenninkmeyer et al. (2016) veröffentlichten ebenfalls Untersuchungen über die Verteilung und Lokalisation von Integumentschäden in Liegeboxenlaufställen bezogen auf haarlose Stellen, Kratzer, Wunden und Schwellungen. Dabei wurden 51 % der untersuchten Tiere (n = 2922) in Tiefboxen mit Stroheinstreu und 49 % in Hochboxen gehalten. Die Ausstattung der Hochboxen begrenzte sich auf blanken Beton und Gummimatten, wovon wiederum 29 % mit zusätzlichem Einstreumaterial versehen waren.

Prävalenzen zeigten sich in beiden Systemen, sowohl in Tiefboxen als auch auf Hochboxen, am Karpalgelenk in Form von Schwellungen (83 %) und haarlosen Stellen (48 %). Gefolgt davon waren Veränderungen an den lateralen Tarsalgelenken mit haarlosen Stellen (38 %) und Schwellungen (20 %), sowie haarlosen Stellen am lateralen Fersenbein (20 %). Eine deutlich geringere Prävalenz von Schäden und haarlosen Stellen zeigten die Bereiche der Hüfthöcker (13 %), der Sitzbeinhöcker (12 %) und des Kreuzbeins (11 %) (Brenninkmeyer et al., 2016).

Ergebnisse aus einer Studie von Zaffino Heyerhoff et al. (2014) zeigten die meisten Läsionen an den Tarsalgelenken (47 %), des weiteren Veränderungen an den Karpalgelenken (24 %) und im Nackenbereich (9 %). Die Wahrscheinlichkeit von Sprunggelenksverletzungen war auf Sand ($p = 0,07$) und Beton ($p = 0,44$) geringer als auf Gummimatten ($p = 0,64$), jedoch waren Veränderungen im Bereich der Karpalgelenke auf Beton ($p = 3,19$), größer als auf Gummimatten ($p = 1,02$) und Sand ($p = 0,60$). Auch in dieser Studie waren die Tiere auf verschiedenen Haltungsformen von Tiefboxen und Hochboxen untergebracht.

Ein weiterer Vergleich der Liegeboxenausstattung zwischen mit Gummimatten ausgestatteten Hochboxen und Tiefboxen zeigte eine Verminderung von Integumentschäden von 13,1 % auf Tiefboxen. Eine Verbreiterung der Liegeboxen um 10 cm erhöhte wiederum das Auftreten von schweren Schäden um 8,9 % (Gieseke et al., 2020; Ivemeyer et al., 2009).

In bisherigen Veröffentlichungen wurde viel Augenmerk auf Sprunggelenksveränderungen gelegt. So beschreiben Kester et al. (2014) als Ursache für die Häufigkeit solcher Läsionen, die sehr geringen Fettgewebs- und Muskelschichten zwischen der Haut und den Knochen im Bereich der Sprunggelenke. Die Schwere der Veränderung reicht in ihrer mildesten

Ausprägung von haarlosen Bereichen bis hin zu schweren Stadien wie Schwellungen oder Arthritis.

Potterton et al. (2011) analysierten 76 verschiedene Herden in Liegeboxenlaufställen auf unterschiedlich gestalteten Liegeboxen. Dabei wurden Sprunggelenksveränderungen bezüglich haarloser Stellen, Ulzerationen und Schwellungen von insgesamt 3.691 Kühen untersucht. Insgesamt 91,7 % der untersuchten Tiere zeigten haarlose Stellen, dabei lag die Prävalenz von Ulzerationen mit 13,8 % und Schwellungen mit 25,0 % deutlich darunter. Unabhängig vom Schweregrad der Veränderungen stellte sich als gemeinsamer Risikofaktor für haarlose Stellen und Schwellungen vor allem das Einstreumaterial der Liegebox heraus. Die Autoren stellten zudem fest, dass insbesondere die Liegeboxenabmessungen und das Alter der Gummimatten einen Einfluss auf die Entstehung von haarlosen Bereichen hatten. Das Auftreten von Schwellungen wurde hauptsächlich vom Einstreumaterial und der Einstreutiefe beeinflusst.

Einen weiteren Einfluss auf Veränderungen am Sprunggelenk, zeigte die Verwendung einer Streuschwelle als hintere Begrenzung der Liegebox. So stellten Brenninkmeyer et al. (2013) fest, dass Kühe durch das Vorhandensein einer Streuschwelle 21 % weniger Schäden in diesem Bereich aufwiesen. Durch den Einbau einer solchen Streuschwelle als hintere Boxenbegrenzung steigt der Liegekomfort aufgrund einer höheren Einstreuschicht. Im Vergleich beider Arten der Liegeboxengestaltung erwies sich die Tiefbox gegenüber der Hochbox durch eine Reduktion der Schäden um 19 % als vorteilhafter. Weiterhin zeigten weichere Liegeoberflächen (-17,2 %), längere Liegeflächen (-3,0 % pro 10 cm), sowie mehr Platz unter den seitlichen Liegeboxenbegrenzungen (-3,9 % pro 10 cm) eine niedrigere Prävalenz von Sprunggelenksveränderungen (Brenninkmeyer et al., 2013).

Unterstützend dazu verdeutlichen auch die Untersuchungen von Andreasen und Forkman (2012) ähnliche Ergebnisse bezüglich der Sprunggelenksgesundheit. Dabei wurden die Tiere auf haarlose Stellen und Läsionen untersucht. Während die Tiere auf Gummimatten die meisten haarlosen Stellen (78 %) und Läsionen (37 %) aufwiesen, waren diese auf Sand kaum zu beobachten (12 % haarlose Stellen, 3 % Läsionen). Die Prävalenz von haarlosen Stellen (68 %) und Läsionen (32 %) auf Matratzen nähert sich wiederum der Prävalenz auf den Gummimatten an. Diese Analyse verdeutlicht, dass auch die Oberfläche der Liegebox einen erheblichen Einfluss auf Sprunggelenksveränderungen hat (Andreasen und Forkman, 2012).

2.3 Wiederkauverhalten und Bewegungsaktivität von Milchkühen

Das Wiederkauen zählt neben der Futteraufnahme und dem Liegen zu den wichtigsten täglichen Aktivitäten von Kühen. Bereits Welch et al. (1970) beschrieben das Wiederkauen als den Vorgang, bei dem faserreiches Futter aus dem Pansen wieder ins Maul gelangt, um erneut gekaut, mit Speichel vermischt und anschließend wieder in den Pansen abgeschluckt zu werden.

Die Wiederkauzeit wird von verschiedenen Faktoren wie dem freien und uneingeschränkten Zugang zum Futtertisch sowie der Partikelgröße und Zusammensetzung des Futters beeinflusst (Beauchemin, 2018). Da das Wiederkäuen vom Tier freiwillig gesteuert wird, kann es durch Störungen wie den Melkvorgang oder plötzlich auftretende Ereignisse wie Schmerzen, Angst oder Krankheiten vermindert werden (Lindgren, 2009). Der tägliche Rhythmus des Wiederkauens wird hauptsächlich durch die Fütterungshäufigkeit, die Fütterungszeit und die Zusammensetzung der Rationen bestimmt (Lindgren, 2009). Die Hauptwiederkauzeit liegt zwischen 7 bis 9 Stunden pro Tag und macht damit circa 25 - 35 % eines Tagesintervalls aus (Acatincăi et al., 2010; Welch et al., 1970). Die meisten Rinder zeigen Wiederkauphasen von 30 bis 60 Minuten, verteilt auf etwa 10 bis 17 Perioden pro Tag (Lindgren, 2009). Das Monitoring der Wiederkauaktivität bietet die Möglichkeit der Früherkennung gesundheitlicher Störungen und dient der Optimierung der Herdenfruchtbarkeit (Paudyal, 2021).

Acatincăi et al. (2010) untersuchten das Wiederkauverhalten von Milchkühen in einem Anbindestall im Sommer und Winter. Während der Studie betrug die durchschnittlich gemessene Lufttemperatur im Winter 8,1 °C und im Sommer 28,4 °C.

Die Autoren stellten fest, dass die Tiere während der Wintersaison pro 24 Stunden durchschnittlich 186,35 Minuten (3,10 Stunden) im Stehen und 324,05 Minuten (5,40 Stunden) im Liegen wiederkäuten und demnach das Wiederkauen während der Wintersaison im Liegen bevorzugten. Im Gegensatz dazu bevorzugten die Kühe während der Sommersaison das Wiederkauen im Stehen, mit durchschnittlichen Wiederkauzeiten von 225,35 Minuten (3,75 Stunden) in einer stehenden - und 176,45 Minuten (2,94 Stunden) in einer liegenden Position. Acatincăi et al. (2010) zufolge könnte das häufigere Stehen der Kühe in den Sommermonaten darauf zurückzuführen sein, dass sie bei hohen Temperaturen versuchen, ihre Körpertemperatur zu regulieren, indem sie aufstanden und den Luftstrom zur Kühlung nutzten.

Eine weitere Studie von Mălăncuș und Mălăncuș (2016) untersuchte, ob ein Zusammenhang zwischen einer reduzierten täglichen Wiederkauzeit und erhöhter körperlicher Aktivität einerseits, sowie dem Auftreten von Brunst oder Stoffwechselstörungen bei Milchkühen andererseits besteht.

Von den 168 untersuchten Kühen zeigten 55 Tiere (32,73 %) eine verkürzte tägliche Wiederkauzeit, während bei 57 Kühen (33,92 %) spezifische Anzeichen einer Brunstperiode festgestellt wurden. Insgesamt wiesen 25 Kühe (14,88 %) sowohl eine verkürzte tägliche Wiederkauzeit als auch Anzeichen eines Östrus auf. Es wurde eine hochsignifikante Korrelation zwischen diesen beiden Faktoren festgestellt, mit einem p-Wert von $< 0,05$ (Mălăncuș und Mălăncuș, 2016).

Bezüglich der Korrelation zwischen erhöhter körperlicher Aktivität, die bei 40 Kühen (23,80 %) beobachtet wurde, und dem Vorhandensein von Brunst, die bei 57 Kühen (33,92 %) festgestellt wurde, ergab sich eine statistisch äußerst signifikante Verbindung mit einem p-Wert von $< 0,001$ (Mălăncuș und Mălăncuș, 2016). Eine Kombination aus erhöhter körperlicher Aktivität und Brunst wurde bei insgesamt 23 Kühen (13,69 %) festgestellt. Insgesamt zeigten 37 der 168 in die Studie einbezogenen Milchkühe (22,02 %) einen Zusammenhang zwischen verkürzter täglicher Wiederkauzeit und erhöhter körperlicher Aktivität, was zu einer statistisch signifikanten Korrelation (p-Wert $< 0,001$) zwischen dieser Kombination und dem Auftreten von Brunst führte (Mălăncuș und Mălăncuș, 2016).

2.4 Einfluss der Liegeflächengestaltung auf das Liegeverhalten und die Liegedauer

Ofner-Schröck (2013) beschreibt in ihrer Studie grundlegende Anforderungen an die Liegebox. Dabei sollten sich die Abmessungen der Liegefläche am Durchschnitt der 25 % größten Tiere der Herde orientieren. Die Liegeboxen sollten nach der Formel von Bartussek et al. (2002) hinsichtlich Größe und Kopfraumfreiheit gestaltet werden, um den Tieren einen optimalen Abliege- und Aufstehvorgang zu ermöglichen. Des Weiteren müssen Steuerelemente in korrekter Position angebracht sein, sodass Kollisionen der Tiere mit den Begrenzungen vermieden werden. Eine optimale Liegefläche sollte weich, trocken und rutschfest sein. Die Bugschwelle und der Nackenriegel als vordere Begrenzung sowie die Trennbügel als seitliche Begrenzung sind entscheidende Steuerelemente der Liegebox. Dabei sollte stets darauf geachtet werden, dass die Liegebox über eine entsprechende Länge und Breite verfügt (Ofner-Schröck, 2013). Um einen adäquaten Kopfschwung beim Aufstehvorgang des Rindes zu ermöglichen, sollte ein barrierefreier Kopfraum von mindestens 90 cm (besser 100 cm) zur Verfügung stehen (Haidn und Leicher, 2015). Daraus ergibt sich für Gesamtliegeflächen wandständiger Boxen ein Maß von 280 cm bis 300 cm und für gegenständige Boxen ein Maß von mindestens 250 cm. Die Breite der Boxen sollte dabei mindestens zwischen 120 cm bis 125 cm betragen. Der Abstand zwischen der Liegefläche und dem Nackenband sollte 120 cm bis 130 cm betragen, wobei der Abstand von Streuschwelleninnenkante zum Nackenband

nicht weniger als 170 cm bis 180 cm betragen sollte (Lardy et al., 2021; McPherson und Vasseur, 2020). Auch ein optimales Verhältnis von Kuh zu Liegeplatz (optimal 0,8:1) ist von entscheidender Bedeutung (Ofner-Schröck, 2013; Tucker et al., 2021).

Ein zunehmender täglicher Liegeanteil wirkt sich neben der Steigerung der Wiederkauaktivität und der Steigerung der Euterdurchblutung auch positiv auf die Klauengesundheit aus, da die Klauen der Tiere im Liegen abtrocknen und entlastet werden. Das Liegen ist daher eine der wichtigsten Aktivitäten am Tag, worauf vor allem die Liegeflächengestaltung einen enormen Einfluss hat (McPherson und Vasseur, 2020; Solano et al., 2016; Tucker et al., 2021).

Der Liegevorgang einer Kuh beginnt damit, dass sie eine Liegebox betritt und die Oberfläche olfaktorisch prüft. Nachdem sich das Tier zum Abliegen entschieden hat, wird der Kopf dicht am Boden gehalten und zunächst ein Vorderbein gebeugt. Anschließend senkt sich die Kuh nacheinander auf beide Karpalgelenke ab und legt das Hinterbein der beabsichtigten Liegeseite, nach vorne gerichtet unter den Körper (Tucker et al., 2021). Während des gesamten Abliegevorgangs wird der Kopf dicht am Boden gehalten. Mit nach vorne und unten gestrecktem Kopf senkt die Kuh ihren Körper weiter ab, beugt anschließend beide Hinterbeine und kommt dann über Brust und Bauch auf dem unteren Hinterbein und dem Oberschenkel zum Liegen. Dabei können eine Reihe von verschiedenen Liegepositionen eingenommen werden (Tucker et al., 2021). Die Tiere ruhen entweder auf der Seite oder dem Brustbein, wobei sie die Vorder- und Hinterbeine unter den Körper legen oder austrecken. Der Kopf wird dabei abgelegt oder während des Ruhens aufrecht gehalten und vom Nacken getragen (Haley et al., 2001; Tucker et al., 2007).

Das Liegeverhalten dient als Maß für Komfort und Wohlbefinden von Milchkühen (Solano et al., 2016). Es setzt sich aus verschiedenen Aspekten zusammen, dazu gehören die Gesamtliegezeit, die Anzahl der Abliege- und Aufstehvorgänge sowie die Dauer der jeweiligen Abliegevorgänge zusammen (Cook, 2020). Die tägliche tierindividuelle Liegezeit wird dabei von verschiedenen kuh-, haltungs- und managementbezogenen Faktoren beeinflusst.

Die kuhbezogenen Faktoren setzen sich aus speziellen Vorlieben, Parität, Laktationsstadium, Milchleistung sowie Krankheiten und Verletzungen zusammen (Tucker et al., 2021). So zeigten Tiere mit einer täglichen Liegezeit ≥ 14 h, einer Abliegehäufigkeit von ≤ 5 Mal pro Tag oder einer Liegedauer von ≥ 110 Minuten pro Abliegevorgang, eine um 3,7, 1,7 bzw. 2,5 mal höhere Lahmheitswahrscheinlichkeit (Solano et al., 2016).

Cook et al. (2016) stellten fest, dass die Abliegehäufigkeit bei Kühen in der ersten Laktation ($p < 0.001$) im Gegensatz zu multiparen Kühen ($p > 0,13$) abnimmt. Erst mit Beginn des 8. Trächtigkeitsmonats nahm auch die Abliegehäufigkeit bei multiparen Kühen ab. Einen weiteren Einfluss auf das Liegeverhalten der Kühe hat der Zyklusstand. So fanden Madureira et al. (2015) heraus, dass sich die Liegezeit bei Kalbinnen um bis zu 37 % am Tag der Brunst

vermindert. Mit steigender Milchleistung reduziert sich ebenfalls die tägliche Liegezeit der Tiere, da sie mehr Zeit am Futtertisch verbringen.

Zu den haltungs- und managementbezogenen Faktoren, die das Liegeverhalten beeinflussen, zählen die Gestaltung und der Zugang zur Liegebox, das Tier-Liegeplatz Verhältnis, das Fütterungs- und Melkmanagement sowie Wetter und Stallklima (Cook, 2020; Tucker et al., 2021).

Mehrere Studien haben das Liegeverhalten und die Liegedauer in unterschiedlich gestalteten Liegeboxen mit verschiedenen Einstreumaterialien untersucht. So beschreiben Tucker et al. (2021) in ihrer Auswertung verschiedener Literatur variierende Liegezeiten. Dabei zeigten Tiere kürzere Liegezeiten in Systemen mit freien Liegeflächen wie Weide, Gruppenliegebuchten oder besonderen Haltungsformen wie Tiefstreu-, Tretmist- und Kompostställen (9 h/Tag). Deutlich längere Liegezeiten wiesen hingegen Kühe im Anbinde- und Liegeboxenlaufstall auf (10-12 h/Tag). Die durchschnittliche Liegezeit lag bei 11 h/Tag, wobei auf Einzeltierebene erhebliche Unterschiede von 6 h bis 16 h/Tag auffielen. Die Autoren begründen die Ergebnisse damit, dass Tiere in weidebasierten Systemen mehr Zeit im Stehen beim Weidevorgang verbringen, wohingegen die Fresszeiten in Anbinde- oder Laufställen deutlich kürzer sind und die täglichen Liegezeiten somit steigen (Tucker et al., 2021). Eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Liegezeiten spielen auch ungünstige Bedingungen wie zum Beispiel harte, feuchte oder verschmutzte Liegeflächen (Chen et al., 2017; Schütz et al., 2019).

Ähnliche Ergebnisse zeigten die Untersuchungen von Solano et al. (2016), wobei die durchschnittliche tägliche Liegezeit im Liegeboxenlaufstall pro Liegevorgang bei 63 ± 28 min und $10,2 \pm 4,7$ Abliegevorgängen pro Tag lag ($p < 0,001$). Die mittlere Herdenliegezeit variierte dabei zwischen 8,2 h/Tag bis 13,2 h/Tag. Die individuelle Einzeltierliegezeit zeigte Unterschiede zwischen 1,3 h/Tag bis 22,1 h/Tag. Im Vergleich zwischen Hochboxen mit Wasserbetten und mit Sand oder Mist gefüllten Tiefboxen, zeigten die Tiere eine durchschnittliche Tagesliegezeit von 9,7 h/Tag in Hochboxen und 11,3 h/Tag in Tiefboxen sowie eine mediane Liegezeit pro Liegevorgang von 61 min in Hochboxen und 76 min in Tiefboxen ($p > 0,05$). Daraus gehen eine höhere Liegezeit und längere Liegeperioden auf Tiefboxen hervor. Der Einsatz einer Kotschwelle im hinteren Bereich der Liegebox hat ebenfalls Einfluss auf das Ruheverhalten der Tiere. So zeigten Tiere in Liegeboxen mit Kotschwelle bei einer Höhe von über 22 cm und einer Einstreutiefe von über 2 cm, eine Steigerung der durchschnittlichen täglichen Herdenliegezeit um 0,06 h. Auch die Verwendung von Sand im Vergleich zu Holzspänen in der Tiefbox zeigte eine Erhöhung der Liegezeit um 1,44h/Tag (Solano et al., 2016).

In einem Restriktionsversuch wiesen Kühe während eines Zeitraumes von 5 Tagen, eine durchschnittliche tägliche Liegezeit von $4,6 \pm 1,04$ h auf nassen Einstreu, $10,6 \pm 0,25$ h auf verschmutzten Einstreu und $11,7 \pm 0,25$ h auf sauberen Einstreu auf ($p < 0,05$). Bei freier Liegeplatzwahl lagen die Tiere bis zu 98 % auf den sauberen Plätzen, im Vergleich zu verschmutzten und nassen Oberflächen. Dadurch wird deutlich ersichtlich, dass die Präferenz der Tiere bei freier Boxenauswahl, vor allem auf trockenen und sauberen Liegeflächen liegt (Schütz et al., 2019). Diese Erkenntnisse unterstützen auch die Analysen von Chen et al. (2017). Dabei wurden Kühe und Färsen in einem 5-tägigen Versuch auf Böden mit verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten untersucht. In den ersten 24 h zeigten die Kühe und Färsen die geringsten Liegezeiten auf schlammigen Böden mit 3,2 h und 5,8 h und deutlich längere Liegeperioden auf trockenen Böden mit 12,5 h und 12,7 h. Im weiteren Verlauf der Analysen zeigten die Tiere unter schlammigeren Bedingungen geringere Liegezeiten (trocken, schlammig, sehr schlammig = 12,6 h; 11,6 h und 9,0 h/Tag) ($p < 0,001$), weniger Abliegevorgänge (trocken, schlammig, sehr schlammig = 9,7; 7,6 und 5,8/Tag) ($p < 0,001$) und längere Liegezeiten pro Abliegevorgang (trocken, schlammig und sehr schlammig = 88 min; 105 min; 117 min) ($p = 0,002$).

In Ställen mit Tiefstreu und Sandeinstreu stieg die tägliche durchschnittliche Liegezeit, im Vergleich zu Ställen ohne Tief- und Sandeinstreu um 0,8h an. Die Anzahl der Abliegevorgänge nahm ab ($-1,90 \pm 0,63$), während die mediane Liegezeit eines Liegevorganges anstieg ($+15,44 \pm 3,02$ min) (Ito et al., 2014). Hieraus wird deutlich, dass Tiere auf weicheren, weniger abrasiven Liegeoberflächen im Gegensatz zu härteren und abrasiveren Liegeoberflächen, längere Ruhephasen ($+0,8$ h) zeigten. Bei der Verwendung höherer Einstreumengen in den Liegeflächen wird der Einfluss der Abrasivität und der Kompressibilität zunehmend weniger. Das verdeutlicht, dass der größte beeinflussende Faktor in der Liegebox, bezogen auf die Liegezeit und das Wohlbefinden der Tiere, die Menge und Höhe des eingestreuten Materials ist. Nicht vernachlässigt werden darf dabei der Feuchtigkeitsgehalt der Liegebox, welcher einen direkten Einfluss auf die Liegeboxenqualität hat. So verbringen Tiere bei trockenem Einstreumaterial deutlich mehr Zeit im Liegen, als bei feuchten und verschmutzten Liegeflächen (McPherson und Vasseur, 2020).

2.4.1 Tiefbox

Die Tiefbox zeichnet sich durch ihre besondere Bauweise aus. In der Regel besteht der Untergrund der Tiefbox aus einer betonierten Fläche, welche zum Kopfende hin 2 % ansteigt, ähnlich einer Hochbox. Um den nötigen Liegeflächenkomfort zu gewährleisten, wird die Tiefbox jedoch mit einer organischen Matratze eingestreut, wobei unterschiedlichste Materialien zum Einsatz kommen. Dazu zählen neben den am meisten genutzten

Einstreiformen wie zum Beispiel der Stroh-Mist-Matratze und der Kalk-Stroh-Matratze, Hackschnitzel, Sägespäne, Gärsubstrate oder Sand (Manninen et al., 2002; McPherson und Vasseur, 2020; Tuytens, 2005; Wechsler et al., 2000; Zähler et al., 2009).

Zusätzlich zur Art des Einstreumaterials sorgen Liegeboxenbegrenzungen für den nötigen Tierkomfort. Tiefboxen sind mit den nötigen Steuerelementen ausgestattet. Das Nackenrohr ermöglicht das Abliegen im vorgesehenen Liegebereich, sodass eine Verschmutzung der Liegebox verhindert werden soll. Die Bugschwelle dient als vordere Begrenzung der Liegebox und sorgt dafür, dass das Einstreu in der Liegefläche bleibt. Sie sollte abgerundet sein und sich 8 cm bis 10 cm über dem Liegeflächenniveau befinden (Haidn und Leicher, 2015). Ein weiteres wichtiges Element der Tiefbox ist die Streuschwelle, welche eine Höhe von mindestens 20 cm bis 25 cm aufweisen soll. Diese Schwelle sollte am oberen Ende ebenfalls rund sein und dafür sorgen, dass das Einstreu in der Liegefläche bleibt (Lardy et al., 2021; McPherson und Vasseur, 2020).

Die Tiefbox bietet durch ihre Art der Einstreiform einen großen Vorteil gegenüber anderen Liegeflächen. Eine tiefe Einstreuschicht sorgt für eine weiche, trittsichere und rutschfeste Liegefläche, was einen hohen Komfort für die Tiere bedeutet. Bei guter Pflege weist die Tiefbox gegenüber anderen Liegeflächen eine höhere Akzeptanz der Tiere auf. Auch die längeren Liegezeiten in den Tiefboxen tragen zum Tierwohl bei und können zu einer höheren Milchleistung und dadurch einem wirtschaftlichen Vorteil führen. Neben diesen Vorteilen bringt die Tiefbox im Vergleich zur Hochbox auch einige Nachteile mit sich. Der Reinigungsaufwand und der Strohbedarf einer Tiefbox sind höher, was zu höheren Betriebskosten führt. Der Arbeitsaufwand ist grundsätzlich bei Tiefboxen höher als bei Hochboxen. Der tägliche Strohbedarf beträgt bei einer Tiefbox 0,5 kg bis 1 kg. Ungenügend gepflegte und verschmutzte Boxen erhöhen zudem das Risiko einer Mastitis (Haidn und Leicher, 2015; Zähler et al., 2009).

Tiefbox mit Stroh-Mist-Matratze

Den Grundaufbau einer Stroh-Mist-Matratze bildet fester Rinder- oder Pferdemist. Dabei wird der Betonboden im ersten Schritt leicht mit Wasser befeuchtet und anschließend eine gleichmäßige Schicht aus frischem Rinderkot (circa 2 cm) aufgebracht. Anschließend wird die Tiefbox mit einer circa 15 cm hohen Schicht aus frischem, strukturreichem Rinder- oder Pferdemist befüllt und verdichtet. Die Menge an Mist pro Liegebox beträgt etwa 200 kg. Am Ende kann als obere Deckschicht kurz gehäckseltes, leicht angefeuchtetes Stroh verwendet werden, welches ebenfalls festgedrückt und verdichtet wird. Um eine entsprechende Matratzenhöhe zu erreichen, können bis zu 10 kg Stroh in einer Liegebox eingestreut werden. Dabei erweist sich längeres im Vergleich zu kurz gehäckseltem Stroh als vorteilhaft in der

Bildung einer stabilen Matratze. Im Gegensatz dazu ist der Strohaustrag, durch die Verwendung von kurz gehäckseltem Stroh, durch die Tiere geringer (Zähner et al., 2009).

Um in den ersten Wochen eine entsprechend hohe Stroh-Mist-Matratze von etwa 20 cm aufzubauen, ist es notwendig, den anfallenden Kot in der Box zu verteilen und anschließend mehrfach mit Stroh zu überdecken und zu verdichten. Die Verwendung von Kot von Kälbern, erkrankten oder betriebsfremden Tieren sollte aus Infektionsgründen vermieden werden. Das Einstreuintervall der Stroh-Mist-Matratzen liegt bei täglicher Reinigung bei 7 bis 15 Tagen und circa 5 kg Strohbedarf pro Box (Zähner et al., 2009).

Tiefbox mit Kalk-Stroh-Matratze

Eine weitere Möglichkeit der Gestaltung einer Tiefbox ist die Kalk-Stroh-Matratze. Bei dieser Art von Liegeboxengestaltung soll durch die Verwendung von alkalischem Kalk in Verbindung mit Stroh in einem Mischungsverhältnis von 4:1 oder 5:1 und zusätzlich ein bis zwei Anteilen Wasser, eine bakterien- und keimarme Liegefläche geschaffen werden. Für die Neuanlage einer Liegebox werden circa 150-200 kg Kalk-Stroh-Gemisch verwendet. Nach der Verdichtung der Grundmaterialien ist auch bei dieser Matratze eine zusätzliche Deckschicht durch frisches Stroh oder Strohhacksel erforderlich, um direkten Kontakt der Tiere mit dem Kalkgemisch zu vermeiden (Zähner et al., 2009). Die Liegebox sollte, ähnlich der Stroh-Mist-Matratze, täglich vom Kot der Tiere gereinigt und in einem Intervall von drei bis vier Wochen nachgestreut werden. Im Sommer muss darauf geachtet werden, dass die Matratze nicht austrocknet, da diese sonst an Härte zunimmt (Zähner et al., 2009).

In einer Untersuchung von Zähner et al. (2009) ist das Einstreuintervall in Abhängigkeit der Art der Mischung beschrieben. Dabei zeigten Betriebe, welche das Kalk-Stroh-Gemisch mittels Futtermischwagen einstreuten, ein höheres Intervall (21 bis 56 Tage) als Betriebe, die manuelle Mischungen fertigten (1 bis 32 Tage) und somit weniger Arbeitsbelastung. Die Höhe der Matratze variiert je nach Liegebox zwischen 15 bis 40 cm, bei einem durchschnittlichen täglichen Verbrauch pro Tier von 0,1 bis 1,2 kg Kalk und circa 0,3 kg Stroh. Eine höhere Einstreuschicht sorgt dabei stets für eine bessere Liegeboxenqualität. Den größten Vorteil der Kalk-Stroh-Matratze, stellt dabei die hygienische und desinfizierende Wirkung des Kalks dar. Dies wirkt sich positiv auf die Gesundheit der Klauen und des Euters der Tiere aus. Bei unsachgemäßer Liegeboxenpflege wie zum Beispiel einem zu langen Einstreuintervall oder zu wenig Einstreumaterial, kann der Kalk jedoch auch nachteilige Auswirkungen haben und zu trockenen Hautstellen führen sowie Veränderungen in Form von Krusten an den Zitzen hervorrufen (Zähner et al., 2009).

Tiefbox mit Sandeinstreu

Bei dieser Art der Tiefboxengestaltung bietet lose eingefüllter Sand die Grundlage der Liegefläche. Am besten eignet sich dabei Sand mit einem geringen Lehmanteil, da dieser sich mit steigender Feuchtigkeit verfestigen kann und somit eine harte Liegeoberfläche bildet. Als anorganisches Einstreumaterial sorgt Sand für bakterien- und keimarme Liegeflächen. Untersuchungen von Zähler et al. (2009) zeigten, dass der Arbeitsaufwand für Tiefboxen mit Sandeinstreu mit 0,6 Arbeitskraftminuten (AKmin) pro Tier und Tag bei 40 Kühen, unter dem Arbeitszeitbedarf von Stroh-Mist-Matratzen (1,0 AKmin) und Komfortmatten (0,8 AKmin) liegt.

Die Verwendung von Sand als Einstreumaterial in Tiefboxen zeichnet sich aufgrund der Verformbarkeit durch einen hohen Kuhkomfort aus. Durch den Austrag des Sandes aus den Boxen bietet er den Tieren nicht nur in der Liegebox, sondern auch auf den Laufgängen erhöhte Trittsicherheit. Darüber hinaus führt Sand zu einer besseren Hygiene der Liegeflächen und erhöht die Tiersauberkeit im Stall (Zähler et al., 2009). Aufgrund seiner anorganischen Eigenschaften reduziert Sand die Keimbelastung in den Liegeflächen und damit das Risiko von Mastitis. Diese Aussage unterstützen die Ergebnisse von Zdanowicz et al. (2004), indem sie die Bakterienkonzentrationen von Liegeflächen mit Sägemehl und Sandeinstreu verglichen. Dabei war die Konzentration von coliformen Keimen an den Zitzenenden der Kühe bei der Haltung auf Sägemehl zwei Mal höher als auf Sandeinstreu. Auch die Konzentrationen von *Klebsiella spp.* waren auf den Liegeflächen mit Sägemehl sechs Mal höher als auf den Liegeflächen mit Sandeinstreu.

Neben den genannten Vorteilen bringt die Verwendung von Sandeinstreu auch Nachteile mit sich. Der größte Nachteil ist der Austrag des Sandes aus den Liegeflächen, was zum einen für einen hohen täglichen Nachfüllaufwand von 10-15 kg pro Box sorgt und zum anderen zu starken Ablagerungen im Güllekanal führt (Zähler et al., 2009). Sand ist schwerer als Gülle und lagert sich demnach in den Güllekanälen und im Güllelager ab. Durch den Eintrag von Sand in den Güllekanal, steigt die Dichte und das Gewicht der Gülle an, was wiederum zu einer stärkeren Belastung der Gülletechnik führt und somit zu höheren Kosten aufgrund von Materialverschleiß. Der Sand muss schließlich durch aufwendige Separatoren und Waschanlagen von der Gülle getrennt werden. Der größte Teil des gereinigten Sandes kann jedoch recycelt und wieder als Einstreumaterial in den Liegeboxen verwendet werden. Am besten eignet sich daher Sand mit einer nicht zu feinen Körnung, da feiner Sand nicht effektiv von der Gülle aufgetrennt werden kann. Zu grober Sand mit kleinen Steinen kann ebenfalls nachteilig sein und zu einem höheren Verschleiß von Pumpen oder anderen Geräten führen (Zähler et al., 2009).

2.4.2 Hochbox

Eine Hochbox stellt das Gegenteil zur Tiefbox dar. Die Hochbox ist über dem Niveau des Laufgangs positioniert, sodass die Tiere beim Betreten der Liegefläche auf eine Stufe steigen müssen. Die Grundlage der Hochbox bietet in der Regel ein Unterbau aus Beton, welcher für zusätzlichen Liegekomfort mit einer Matte oder Matratze ergänzt werden muss. Bei der Auswahl der Gummimatten sollte vor allem auf Verformbarkeit, Trittsicherheit und Qualität geachtet werden. Die Mindesteindringtiefe auf Gummimatten sollte 5 cm und bei Matratzen 8 cm betragen. Hinsichtlich der Trittsicherheit sollte darauf geachtet werden, dass die Tiere sowohl beim Aufsteh- als auch beim Abliegevorgang einen sicheren und trockenen Stand haben, um nicht wegzurutschen (Lardy et al., 2021).

Die Begrenzungen der Hochbox ähneln denen einer Tiefbox. Im Kopfbereich befindet sich der Nackenriegel, während seitlich starre oder flexible Begrenzungen die Liegefläche von der Nachbarbox abgrenzen. Im Vergleich zur Tiefbox fehlt bei der Hochbox jedoch eine Streuschwelle. Zusätzliches Einstreumaterial hat den Vorteil, entstehende Feuchtigkeit durch Kot und Urin zu binden und so für eine trockene Liegefläche zu sorgen (McPherson und Vasseur, 2020).

Die Hochbox bietet einige Vorteile gegenüber der Tiefbox. Zum einen ist der Arbeitsaufwand mit 0,8 Arbeitskraftminuten (Akmin) pro Tag geringer als bei den meisten Tiefboxen mit 1,0 Akmin pro Tag (Zähner et al., 2009). Zum anderen ist auch der tägliche Einstreubedarf mit 0,2 kg Stroh pro Tier und Tag in der Hochbox im Vergleich zur Tiefbox mit 0,5 – 3 kg pro Tier und Tag geringer (Haidn und Leicher, 2015; Wechsler et al., 2000).

Die Nachteile einer Hochbox sind die höheren Kosten in der Anschaffung. Dazu gehören die begrenzte Haltbarkeit der Matten, das vermehrte Auftreten von Technopathien und Gelenkschäden sowie eine stärkere Tierverschmutzung (Haidn und Leicher, 2015; McPherson und Vasseur, 2020).

2.4.3 Sandbettwabenmatte LINDA

Die LINDA Sandbettwabenmatte ist ein, von der Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG (Tacherting/OT Emertsham, Deutschland), entwickelter Systembaustein zur Erstellung einer trockenen und komfortablen Liegefläche in Tiefboxen für Kühe und Rinder. Die Matten bestehen aus recyceltem PVC-Material und werden nachhaltig produziert. Das Gewicht der Matten beträgt 26 kg und weist folgende Maße auf: Länge 80 cm, Breite 60 cm, Höhe 10 cm.

Durch den wabenförmigen Aufbau der Matten und dem darin eingefüllten Sand soll eine trockene Liegefläche geschaffen werden. Der Sand dient in diesem Fall als

Absorbtiionsmedium für Flüssigkeiten wie Kot und Urin. Die zusätzliche, mindestens 5 cm hohe Einstreuschicht, soll für einen verbesserten Liegekomfort sorgen.

Für die Ausstattung einer einzelnen Tiefbox sind 4 Sandbettwabenmatten nötig. Die Matten werden dabei ausschließlich schwimmend verlegt. Jede Matte verfügt über 24 wabenförmige Öffnungen, welche mit grubenfeuchtem Schlämm- oder ungewaschenem Kabelsand befüllt werden. Die Oberfläche der Waben wird mit circa 3 cm feuchtem Sand überfüllt und anschließend verdichtet werden. Für den nötigen Liegekomfort werden auf die gefestigte Oberfläche zusätzlich noch circa 5 cm Stroheinstreu aus geschnittenem oder gehäckseltem Stroh (10 - 15 cm lang) aufgebracht. Die endgültige Verdichtung erfolgt in den ersten Tagen durch die Tiere selbst (Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG, Tacherting/OT Emertsham, Deutschland).

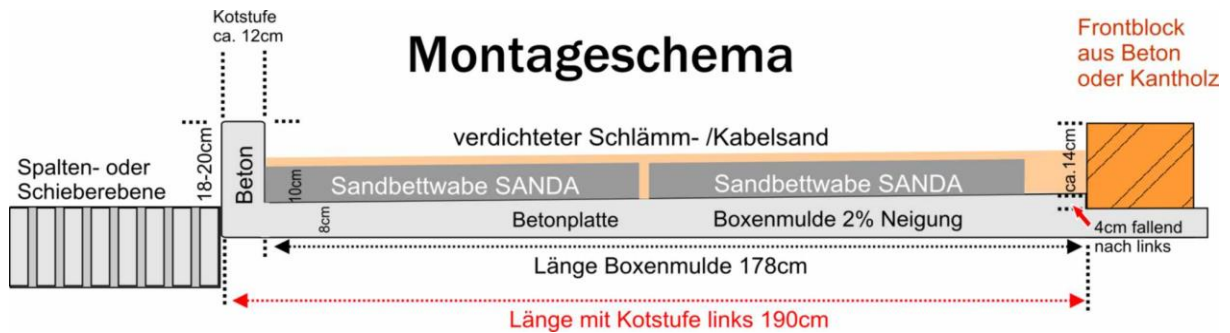


Abbildung 1: Systemskizze Einbau Linda Sandbettwabe (Quelle: Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG, Tacherting/OT Emertsham, Deutschland)

Einlagevarianten

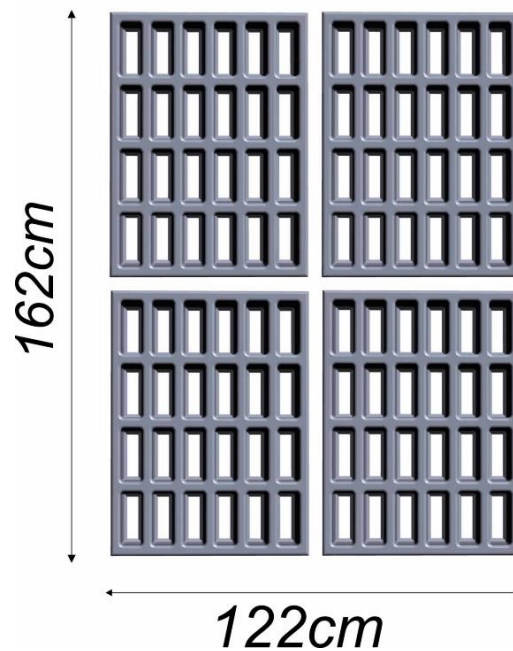


Abbildung 2: Einbauvarianten der Linda Sandbettwabe (Quelle: Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG, Tacherting/OT Emertsham, Deutschland)

2.5 Einfluss des Stallklimas auf das Liegeverhalten

Das Stallklima setzt sich aus verschiedenen klimatischen Faktoren zusammen. Dazu zählen die Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit, Beleuchtung, sowie Konzentrationen aus Schadgasen und Staubpartikeln. Durch die verschiedenen Einflüsse wirkt das Stallklima als komplexer Faktor in der Nutztierhaltung.

In Deutschland und der Europäischen Union ist die Nutztierhaltung hinsichtlich den Anforderungen an das Stallklima durch allgemeine Vorgaben geregelt:

In §2 des TierSchG (2006) wird festgelegt, dass Tierhalter ihre Tiere entsprechend ihrer Art und deren Bedürfnissen „angemessen ernähren, pflegen und verhaltensgerecht unterbringen“ müssen (TierSchG, 2006). Demnach müssen laut §3, Abschnitt 2 die Haltungseinrichtungen „so ausgestattet sein, dass den Tieren, soweit für den Erhalt der Gesundheit erforderlich, ausreichend Schutz vor widrigen Witterungseinflüssen geboten wird und die Tiere, soweit möglich, vor Beutegreifern geschützt werden, wobei es im Fall eines Auslaufes ausreicht, wenn den Nutztieren Möglichkeiten zum Unterstellen geboten werden“ (TierSchNutzTV, 2006). Weiterhin müssen laut §3, Abschnitt 3 die Ställe „erforderlichenfalls ausreichend wärmegeklämmt und so ausgestattet sein, dass Zirkulation, Staubgehalt, Temperatur, relative Feuchte und Gaskonzentration der Luft in einem Bereich gehalten werden, der für die Tiere unschädlich ist“ (TierSchNutzTV, 2006). Ähnlich zu §3 der TierSchNutzTV sind auch in Artikel 11 der EU-Verordnung allgemeine Anforderungen an Rinderställe aufgeführt. Dabei sollten in Ställen „die Innentemperatur, die Luftgeschwindigkeit, die relative Luftfeuchtigkeit, der Gehalt der Luft an toxischen Gasen und Staub und die sonstigen Luftverhältnisse so eingestellt werden, dass sie keine nachteiligen Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden der Tiere haben“ (EU-Verordnung, 1988).

Anders als in Deutschland und den Vorgaben der EU, die in Bezug auf das Stallklima und den Lichtbedarf bei Rindern eher allgemein gehalten sind, gibt es in der Schweiz detailliertere Vorgaben des Bundesamtes für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV), 2009).

Die optimale Lufttemperatur für Milchkühe mit einer durchschnittlichen Milchleistung von 10 - 20 kg Milch pro Tag liegt zwischen 0 und 15 °C, wobei die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 50 – 80 % gehalten werden sollte. Eine optimale Luftbewegung im Stall steht in Abhängigkeit zur Temperatur und der Feuchtigkeit. Daher sind zugfreie Liegeflächen von entscheidender Bedeutung. Die Stallbeleuchtung sollte tagsüber 150 Lux nicht unterschreiten, um den Tieren eine ausreichende visuelle Orientierung zu ermöglichen. Einen weiteren Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere hat die Schadgaskonzentration. Dabei sind vor allem der Kohlenstoffdioxidgehalt (max. 3000 ppm), der Ammoniakgehalt (max. 10 ppm) und der

Schwefelwasserstoffgehalt (max. 0,5 ppm) von wichtiger Bedeutung. Durch die Verwendung verschiedener Einstreumaterialien wie zum Beispiel Stroh oder Kalk entsteht Staub. Die maximal zulässige Gesamtstaubkonzentration für organische Staubpartikel ist jedoch nur in Schweden (max. 10 mg/m³) und Dänemark (max. 3 mg/m³) gesetzlich geregelt (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV), 2009).

Aus der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit, ergibt sich der Temperatur-Humiditäts-Index (THI). Die Funktion des THI berechnet sich durch folgende Formel:

$$THI = (Absolute\ Temperatur\ ^\circ C) + (0,36 * Taupunkt- Temperatur\ ^\circ C) + 41,2$$

Bei einem THI von < 72 geht man von einem beginnenden Hitzestress, reduzierter Futteraufnahme und schlechteren Trächtigkeitsraten der Kühe aus. Bei einem weiteren Anstieg des THI über 78 steigt die Hitzebelastung deutlich an. Es kommt zu einer Reduktion der Milchmenge und zudem zeigen sich erste klinische Anzeichen wie eine Verminderung der Liegezeiten, Erhöhung der Atemfrequenz und vermehrtes Trinkverhalten. Die klinisch deutlichste Symptomatik sowie schweren Hitzestress zeigen Tiere bei einem THI über 82 (Gasteiner, 2014).

In einer Studie von Hut et al. (2022) wurden die Auswirkungen von Hitzestress bei Kühen in Freilaufställen in den Niederlanden untersucht. Ein Teil der Tiere wurde in Betrieben mit einem automatischen Melksystem (AMS) gehalten, der andere Teil in konventionell melkenden Betrieben (CMS). Sowohl laktierende als auch trockenstehende Kühe wurden untersucht.

Die Analysen zeigten bereits ab einer Tagestemperatur von 12 °C und einem mittleren THI von 56 oder mehr deutliche Auswirkungen der Temperatur und des THI auf das Verhalten der Tiere. Die durchschnittliche Liegezeit der laktierenden Kühe in den CMS-Betrieben (612 min/Tag) verringerte sich um 8 min/Tag bei einem Anstieg des THI auf 56 und verringerte sich weiter bei einem Anstieg des THI auf 72 (566 min/Tag). Eine ähnliche Reaktion zeigten die laktierenden Kühe auch in den AMS-Betrieben. Die Tiere wiesen eine durchschnittliche Liegezeit von 688 min/Tag auf. Dieser Wert verminderte sich um 6 min/Tag bei einem Anstieg des THI auf 56 und sank weiter bei einem Anstieg des THI auf 72 (627 min/Tag). Trockenstehende Kühe verbrachten durchschnittlich 664 min/Tag im Liegen. Diese Zahl nahm ab einem THI von 56–60 um 8 min/Tag ab und erreichte 630 min/Tag bei einem THI von 72. Die Ergebnisse zeigen, dass die Tiere ihr Verhalten bereits bei niedrigen Temperaturen und THI-Werten anpassen (Hut et al., 2022).

Bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 1 °C, verbrachten Kühe 6 ± 1,5 min weniger Zeit pro Tag im Liegen und bei einer Erhöhung des THI um 1 Einheit, verringerte sich die tägliche Liegezeit um 3,6 ± 0,9 min (Schütz et al., 2020).

Vergleichende Ergebnisse lieferten auch Mattachini et al. (2017), wobei ebenfalls Tiere auf konventionell melkenden (CMS) - und automatisch melkenden Betrieben (AMS) bei warmen und milden Temperaturen untersucht wurden. Dabei lag der mittlere THI auf der AMS-Farm bei 72,1 und 63,4 in den warmen bzw. milden Perioden, vergleichbare Werte im CMS-Betrieb lagen in den warmen bzw. milden Perioden bei 73,1 und 57,7. Im AMS-Betrieb nahm der Anteil des Liegens während der warmen Periode (47 %) im Vergleich zur milden Periode (54 %) ab, während die Kühe länger standen (28 % und 22 %). Im CMS-Betrieb wie auch im AMS-Betrieb nahm der Prozentsatz der liegenden Kühe (54 % und 62 %) ebenfalls ab, während der Anteil der stehenden Kühe während der wärmeren Periode (21 %) im Vergleich zur milderen Periode (14 %) zunahm.

Nordlund et al. (2019) stellten eine Reduktion der mittleren täglichen Liegezeit von $9,5 \pm 0,4$ h/Tag auf $6,2 \pm 0,4$ h/Tag bei einem Anstieg des THI von 68,5 auf 79,0 fest. Ebenfalls verringerte sich dadurch die mittlere Dauer der Abliegevorgänge von einem Höchstwert von $49,7 \pm 3,6$ min/Tag auf einen niedrigen Wert von $32,8 \pm 2,2$ min/Tag.

2.6 Zusammenhang zwischen Milchleistung und Liegedauer

Im Jahr 2022 betrug die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh im Bundesland Bayern (Deutschland) 8.071 kg Milch (kg Milch pro Jahr). Mit einem Rasseanteil von 77,5 %, zeigten Fleckviehkühe eine mittlere Leistung von 7.984 kg Milch pro Jahr (LKV Bayern, 2022). Im Bundesland Salzburg (Österreich) lag die durchschnittliche Jahresleistung bei 7.276 kg Milch pro Jahr. Dabei hatten die Kühe der Rasse Fleckvieh, einen Anteil von 69,5 % bei einer mittleren Milchleistung von 7.250 kg Milch pro Jahr (LKV Salzburg, 2022). Die tägliche Leistung variiert dabei erheblich zwischen den verschiedenen Rassen, Laktationen und der Genetik des Einzeltieres.

Verschiedene Studien haben den Einfluss der Milchleistung auf das Liegeverhalten der Kühe untersucht. Es stellte sich bei allen Untersuchungen heraus, dass Tiere mit einer höheren täglichen Milchleistung weniger Zeit im Liegen und mehr Zeit mit Fressen am Futtertisch verbringen. Dies ist auf einen höheren Energiebedarf der hochleistenden Tiere zurückzuführen (Cook, 2020; Deming et al., 2013; Stone et al., 2017; Vasseur et al., 2012). Noring et al. (2012) stellten ebenfalls Verhaltensänderungen von Kühen mit hoher Leistung im Anbindestall fest. Die Tiere zeigten trotz freiem Zugang zu den Liegeplätzen verminderte Liegezeiten. Auch die Länge der Abliegevorgänge verkürzte sich bei steigender Milchleistung (Deming et al., 2013).

2.7 Gesetzliche Grundlagen zur Liegeboxengestaltung

Die allgemeinen Mindestanforderungen an die Haltung von Nutztieren sind in Deutschland durch das Tierschutzgesetz geregelt (TierSchG, 2006). In §1 des TierSchG ist zum einen die grundsätzliche Verantwortungspflicht des Menschen gegenüber den Tieren geregelt, um deren „Leben und Wohlbefinden“ zu jedem Zeitpunkt „zu schützen“ und zum anderen das Verbot „einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden“ zuzufügen.

Gemäß §2 des (TierSchG, 2006) muss jeder, der „ein Tier hält, betreut oder zu betreuen hat“, dieses angemessen „ernähren, pflegen und verhaltensgerecht unterbringen“, sowie über die „erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten verfügen“. Zudem „darf die Möglichkeit des Tieres zu artgemäßer Bewegung nicht so eingeschränkt werden, dass ihm dadurch Schmerzen oder vermeidbare Leiden oder Schäden zugefügt werden“ (TierSchG, 2006).

Konkretere Anforderungen an die Haltung, Fütterung, Pflege und Überwachung von Nutztieren sind in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzV, 2006) festgelegt. Dies ist eine Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere. Sie regelt die Haltung von Kälbern, Legehennen, Masthühnern, Schweinen und Kaninchen gemäß EU-Richtlinien. Für Mastrinder, Milchkühen und Puten enthält die TierSchNutzV (2006) jedoch nur allgemeine Anforderungen. Weitere Ziele und Grundsätze zur Haltung von Nutztieren hinsichtlich ökologischer Produktion, sind in der EU-Öko-Basisverordnung (2018) geregelt.

3 Tiere, Material und Methode

Methodisches Konzept

Die Studie hatte das Ziel, die Sandbettwabenmatte (Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG, Tacherting/OT Emertsham, Deutschland), als Alternative zu herkömmlichen Liegesystemen zu bewerten. Dafür wurden drei Betriebe ausgewählt, in denen die Untersuchungen in drei Phasen von April 2022 bis März 2023 durchgeführt wurden. In der ersten Phase wurden die Tiere in den jeweiligen Betrieben im herkömmlichen Haltungssystem untersucht. Im Anschluss erfolgte der Umbau der Liegeboxen auf Sandbettwabenmatten mit zusätzlicher Strohmatratze. Es folgte ein zweiter Boniturzeitpunkt nach sechs Wochen und ein dritter Boniturzeitpunkt nach sechs Monaten nach dem Umbau der Liegeflächen. Alle Bonituren umfassten dabei verschiedene Analysen der laktierenden Milchkuhe, wobei in erster Linie Tiergesundheitsdaten mit Hilfe von Boniturbögen erhoben wurden. Zusätzlich wurden das Liege- und Steh-/Gehverhalten, die Wiederkau- und Bewegungsaktivität sowie die Milchleistung analysiert.

Zwei der Milchviehbetriebe befinden sich im Lungau in Österreich, mit jeweils kleineren Herden von durchschnittlich 25 bis 30 Kühen. Der dritte teilnehmende Betrieb ist mit einem größeren Bestand mit durchschnittlich 60 Kühen im Chiemgau in Deutschland angesiedelt. In allen drei Betrieben wurden die Milchkuhe in Laufställen gehalten, wobei Fleckvieh die Leitrasse war. Die geographische Lage der einzelnen Betriebe ist in nachfolgender Abbildung 3 dargestellt und die wichtigsten Betriebsdaten sind Tabelle 1 zu entnehmen.

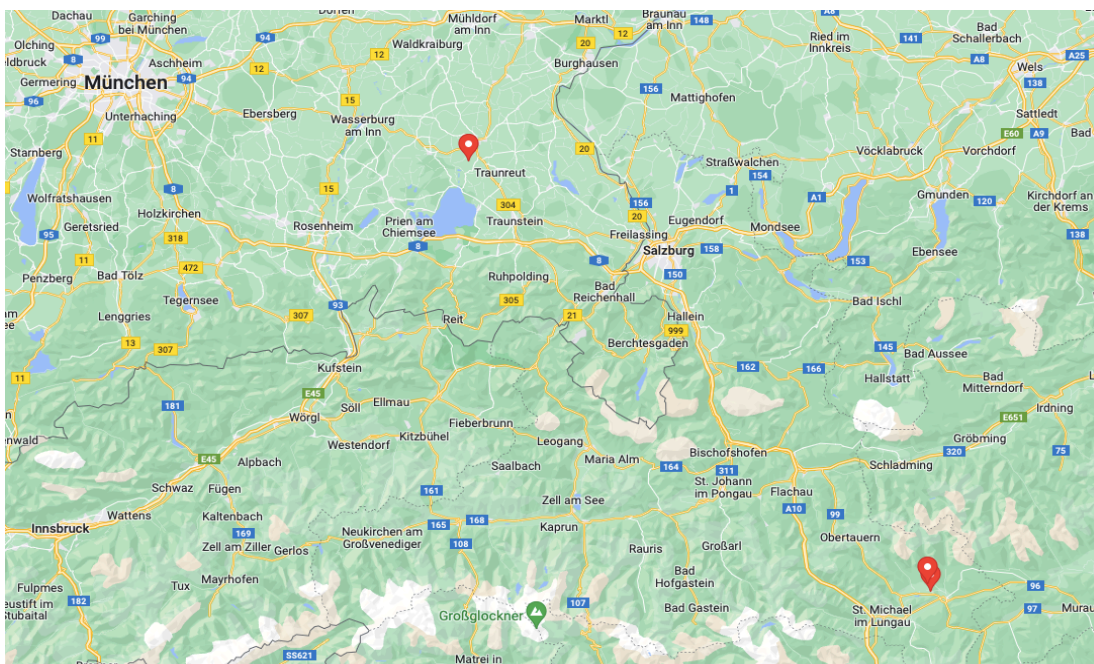


Abbildung 3: Geographische Verteilung der Betriebe (Google Maps)

Tabelle 1: Betriebsdaten vor dem Umbau auf Sandbettwabenmatten, Stand April 2022 (eigene Darstellung)

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Tiere/Herde			
Rasse	Fleckvieh	Fleckvieh	Fleckvieh
Ø Anzahl laktierender Tiere (Jahr 2022)	25 ± 2	30 ± 3	59,5 ± 5
Ø kg Milch	8601	5945	9978
Tier: Liegeplatz Verhältnis	0,86: 1	1,1: 1	1,05: 1
Betrieb			
Land	Österreich	Österreich	Deutschland
Hektar (ha)	17	240	77
Weide	Täglicher Weideauslauf in den Sommermonaten (Mai-September 06:00-17:00 Uhr)	Täglicher Weideauslauf in den Sommermonaten (Mai-September 06:00-17:00)	Keine Weide
Fütterung			
Rationszusammensetzung	Wintermonate Oktober-April: Aufgewertete Mischration (Grassilage, Mais) + Krafftutter; Sommermonate Mai-September: AMR+ Krafftutter + Weide	Ganzjährige TMR (Grassilage, Gerste, Mais, Kartoffel) + Krafftutter; Sommermonate Mai-September: zusätzlich Weide	Ganzjährige TMR (50 % Grassilage 50 % Mais) + Krafftutter an Krafftutterstation und Trog
Melksystem			
Melkstand (CMS)	Fischgräte 1x 7 Melkplätze	Fischgräte 2x 5 Melkplätze	Fischgräte 2x 5 Melkplätze
Liegeflächen			
Einstreumaterial	Stroh geschnitten 10-15 cm + Kalk	Stroh geschnitten 10-15 cm + Kalk	Gepresstes Stroh, geschnitten 4 cm
Einstreuhäufigkeit	Alle 1,5 Tage	Alle 4 Wochen	2 pro Tag
Tierbeobachtungssysteme			
Wiederkauaktivität, Bewegungsaktivität	SmaXtecs Pansenbolus		SmaXtecs Pansenbolus

In dieser Studie wurden die Datenerhebungen sowohl auf Einzeltierebene als auch auf Herdenebene durchgeführt, um detaillierte Erkenntnisse über die Vor- und Nachteile der Sandbettwabenmatten zu gewinnen. Dabei lag der Fokus auf dem Verhalten der Tiere, ihrer Gesundheit und dem Management seitens des Landwirts während des Testzeitraums.

Die Beobachtungen auf Einzeltierebene umfassten eigenständige Bonitierungen aller laktierenden Milchkühe im Laufstall, davon ausgeschlossen wurden trockenstehende Tiere sowie unter tierärztlicher Behandlung stehende Tiere. Dabei wurden der Verschmutzungsgrad der Tiere und das Vorhandensein von Hautschäden und haarlosen Stellen an unterschiedlichen Körperstellen dokumentiert.

Weitere Untersuchungen umfassten die Aufzeichnungen des Liegeverhaltens von bis zu 10 Tieren der Herde mit Hilfe von Lagesensoren (HOBO® Pendant G, Onset, Bourne, USA) über einen Zeitraum von 10 bis 20 Tagen. Diese Messungen fanden in jedem Betrieb vor dem Umbau der Liegeflächen sowie sechs Wochen und frühestens sechs Monate nach dem Umbau statt. Während des gesamten Beobachtungszeitraumes konnten die Daten aus dem betriebseigenen Tiergesundheitsmonitoringsystem ausgewertet werden. Diese Daten umfassten die Wiederkauaktivität und die Bewegungsaktivität. Am Ende wurden kranke Tiere aus den Beobachtungen retrospektivisch ausgeschlossen.

Die Analysen auf Herdenebene beinhalteten die Auswertung der Milchleistungsdaten hinsichtlich der Entwicklung der durchschnittlichen kg Milch sowie die Bewertung der Liegeboxensauberkeit. Die Milchleistungsdaten wurden dabei über einen Zeitraum von 3 Monaten (1 Monat vor Umbau, 2 Monate nach Umbau) analysiert und ausgewertet.

Die Beurteilung der Liegeboxensauberkeit erfolgte am Ende einer jeden Tierbonitur, ohne dass diese vorher vom Landwirt frisch eingestreut wurden.

Die detaillierten Beschreibungen der einzelnen Versuche werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer dargestellt.

3.1 Boniturbogen

Für die Untersuchungen der Tiere wurde zu Beginn ein Boniturbogen erstellt. Der KTBL-Leitfaden von Brinkmann et al. (2020), diente dabei als Referenz für die Auswahl der Parameter. Hierin sind spezielle tierbezogene Indikatoren zur Eigenkontrolle durch den Landwirt aufgestellt.

Der Boniturbogen enthält Betriebsdaten wie Anzahl der laktierenden Kühe, Datum und Uhrzeit, um die spezifischen Informationen zu jedem untersuchten Betrieb festzuhalten. Zusätzlich wurden Einzeltierdaten wie Kuhnummer, Kuhname, Ohrmarkennummer, Transpondernummer

und Laktationstage erfasst, um später die eindeutige Identifizierung der Tiere zu ermöglichen. Die zu bonitierenden Parameter wurden an jedem laktierenden Einzeltier der Herde durchgeführt. Dazu gehören die Verschmutzung der Tiere und Hautschäden bzw. haarlose Stellen. Jeder Parameter wurde in verschiedene Schweregrade unterteilt (siehe Abbildungen 5 bis 8), um eine differenzierte Bewertung durchführen zu können. Der Parameter Hautschäden und haarlose Stellen wurde ohne jegliche Unterscheidung zwischen Hautschäden und haarlosen Stellen als ein Parameter betrachtet und ausgewertet.

Darüber hinaus beinhaltet der Boniturbogen auch die Dokumentation des Verschmutzungsgrades der Liegeboxen. Der Boniturbogen ist in Anhang 1 zu finden.

3.2 Beschreibung der Untersuchungen

3.2.1 Auswahl der Betriebe

Folgende Kriterien waren für die Teilnahme Voraussetzung:

- Laufstallhaltung mit Tiefboxen
- Ganzjährig asaisonale Abkalbungen
- Mindestkuhzahl von 25 Kühen im Jahresmittel
- Bereitschaft der Landwirte zur Umrüstung aller Tiefboxen des Betriebes auf Sandbettwabenmatten
- Einverständniserklärung zur Einsicht der Betriebsdaten (Zugriff auf SmaXtec Daten, MLP Daten)
- automatisiertes Tiergesundheitsmonitoring (SmaXtecs Pansenboli)

3.2.2. Aufbau der Betriebe

An der Studie nahmen drei Betriebe teil, welche alle als Haltungssystem einen Liegeboxenlaufstall verwenden. Als Einstreumaterial dient eine Stroh-Mist Matratze. Die Betriebe 2 und 3 verfügen über einen ganzjährig frei zugänglichen Auslauf ohne Überdachung. Die Stallgebäude in beiden Betrieben sind vollständig überdacht. Im Gegensatz dazu verfügt das Stallgebäude von Betrieb 1 über ein mehrhäusiges System, das den Tieren jederzeit ausreichend Frischluft und Licht bietet. Zusätzlich haben die Betriebe 1 und 2 in den Sommermonaten (Mai bis September), je nach Witterung, Zugang zu einer Ganztagesweide, zwischen 6:00 Uhr bis 17:00 Uhr, in der Nähe der Stallgebäude. Der Aufbau und die Einteilung der einzelnen Ställe sowie die Grundflächen sind im Anhang 2 dargestellt. Die Liegeflächen sind in allen drei Betrieben in Form von Tiefboxen angelegt. Dabei weisen die Ställe sowohl

wandständige - als auch gegenständige Liegeboxen auf. Alle Ställe verfügen neben dem Fressbereich und Futtertisch über Tränken, Kraftfutterstationen und Kuhbürsten. Die genauen Maße der Tiefboxen sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 2: Liegeboxenabmessungen der drei teilnehmenden Betriebe im Ø (wandständig)

	Liegeboxenabmessungen	
Betrieb 1	Liegelänge (Kotschwelle bis Bugschwelle)	166 cm
	Gesamtliegeboxenlänge	> 240 cm
	Liegeboxenbreite	120 cm
Betrieb 2	Liegelänge (Kotschwelle bis Bugschwelle)	185 cm
	Gesamtliegeboxenlänge	> 240 cm
	Liegeboxenbreite	125 cm
Betrieb 3	Liegelänge (Kotschwelle bis Bugschwelle)	185 cm
	Gesamtliegeboxenlänge	> 230 cm
	Liegeboxenbreite	115 cm

3.2.3 Vorgehensweise der Tierbonitierung

Die Bonitierungen erfolgten in allen drei Betrieben nach dem gleichen Vorgehen. Dabei wurde der Zeitpunkt der Untersuchungen jeweils drei Stunden nach Futtervorlage in der Zeit zwischen 9:00 bis 11:00 Uhr gewählt. Insgesamt wurden im Verlauf der Studie in jedem Betrieb drei Bonitierungen durchgeführt. Die erste Bonitur fand direkt zu Beobachtungsbeginn, vor dem Umbau der Tiefboxen auf die Sandbettwabenmatten statt, um den Ausgangszustand der Herde zu erfassen. Die zweite Bonitur erfolgte sechs Wochen nach dem Umbau, um kurzfristige Veränderungen zu beobachten. Die ersten beiden Bonituren wurden in den Sommermonaten zwischen Mai und August 2022 durchgeführt. Auf allen drei Betrieben erfolgte eine weitere dritte Bonitur nach einem Zeitraum von sechs Monaten nach dem Umbau im Januar bis März 2023.

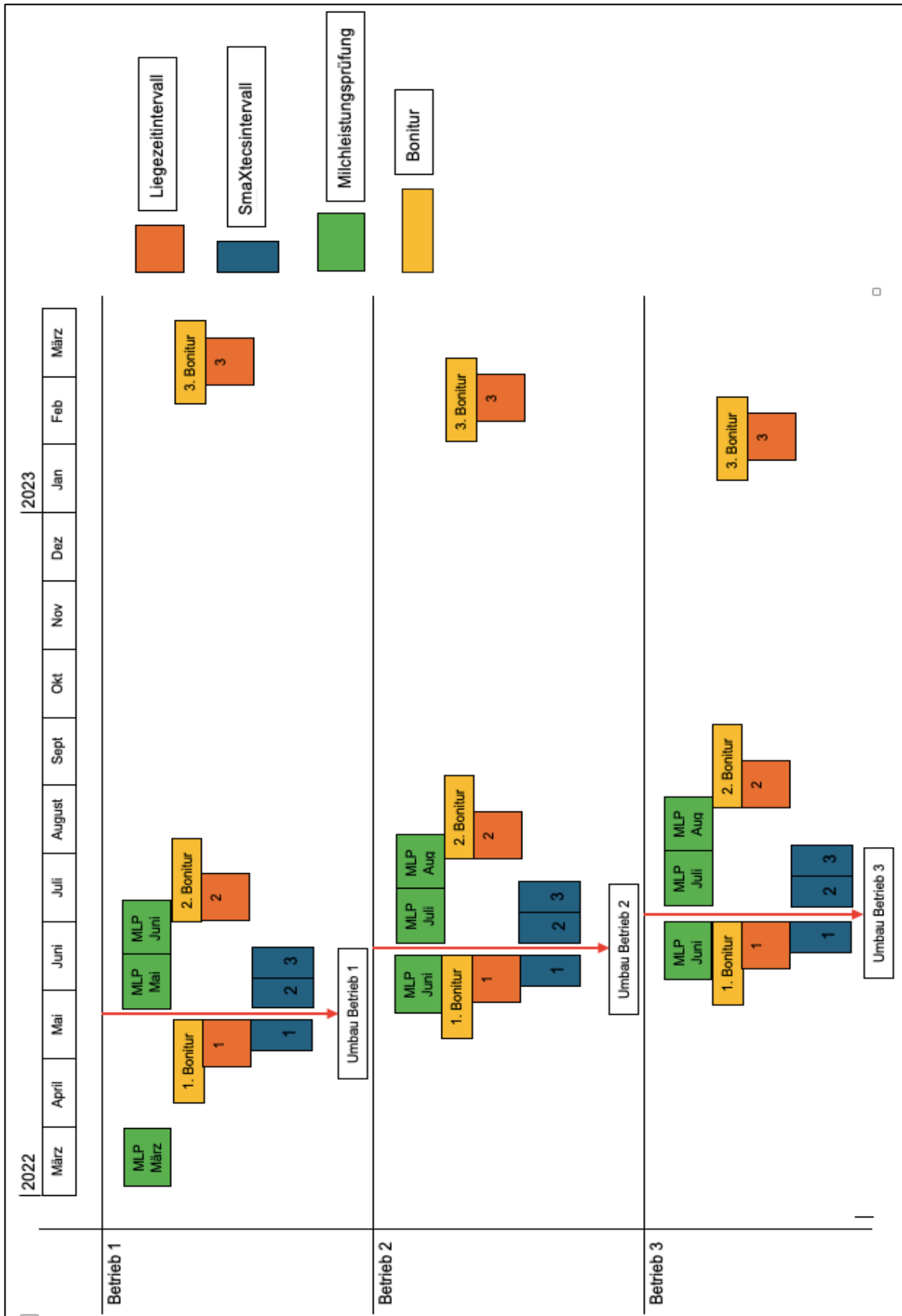


Abbildung 4: Zeitlicher Untersuchungsablauf (eigene Darstellung; Datum nicht maßstabsgetreu)

Die Bonitur der Einzeltiere erfolgte systematisch und in geordneter Reihenfolge. Dazu wurden alle Tiere zeitgleich im Fressgitter für 30 Minuten fixiert. Die Bonitur umfasste insgesamt Daten von 100 Kühen, wobei circa jeweils 25 Tiere in den beiden österreichischen Betrieben 1 und 2 mit Laufstallhaltung sowie Zugang zu einer Sommerweide und circa 60 Kühe im deutschen Betrieb 3 mit Laufstall ohne Weidezugang gehalten wurden. Insgesamt wurden somit 1000 Körperstellen (100 Kühe mit jeweils 5 Regionen pro Seite) hinsichtlich Verschmutzung und 800 Körperstellen (100 Kühe mit jeweils 4 Regionen pro Seite) hinsichtlich Hautschäden und haarlosen Stellen analysiert. In den folgenden Abbildungen 5 bis 8 sind die Boniturparameter und Gradeinteilungen genauer dargestellt:


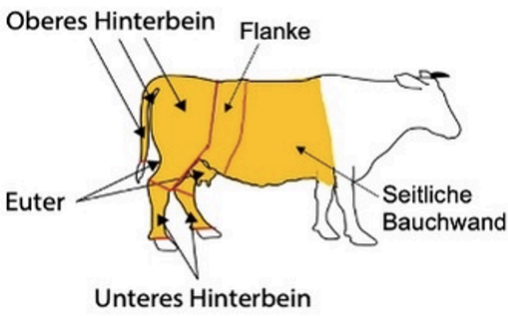
Bonitur	Beschreibung	Beispielfotos
<p>Ver- schmut- zung der Tiere</p>	<p>Verschmutzungen = Nässe, Verfärbungen, Verklebungen, Kotanhaftungen</p> <p><i>Unteres Hinterbein beidseits</i> (vom Kronsaum bis inklusive des Sprunggelenks, Außen- und Innenseite; statt der Innenseite des zugewandten Beines kann auch die Innenseite des gegenüberliegenden Beines betrachtet werden)</p> <p><i>Oberes Hinterbein beidseits</i> (oberhalb des Sprunggelenks, inklusive Schwanz, ohne Schwanzquaste, ohne Euter)</p> <p><i>Euter</i> (inklusive des halben Euterspiegels der zu beurteilenden Seite von hinten) getrennt beurteilt</p> <p><i>Flanken beidseits</i></p> <p><i>Seitliche Bauchwand beidseits</i></p>	<p>Handtellergröße Einstufung</p>  <p>(Quelle: Welfare Quality®)</p>  <p>(Quelle: Welfare Quality®, verändert)</p>

Abbildung 5: Definition Boniturparameter Verschmutzungsgrad (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung)

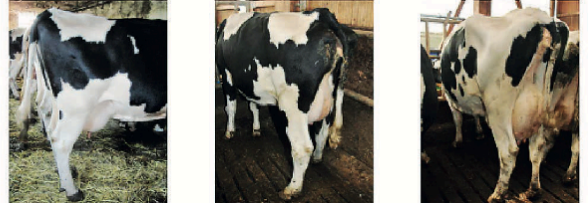


<p>Grad 0</p>	<p>Saubere Tiere</p> <p>Keine Nässe, Verfärbungen, Verklebungen, Kotanhaftungen</p>	
<p>Grad 1</p>	<p>Geringgradig verschmutzte Tiere</p> <p>Je Körperregion in der Summe maximal handtellergröße Verschmutzungen</p>	
<p>Grad 2</p>	<p>Hochgradig verschmutzte Tiere</p> <p>Je Körperregion in der Summe mindestens 2 handtellergröße Verschmutzungen</p>	

Abbildung 6: Gradeinteilung Boniturparameter Verschmutzungsgrad (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung)

<p>Hautschäden und Haarlose Stellen</p>	<p>Veränderungen von Haut- und Haarkleid auf der Hautoberfläche</p> <p><i>Unteres Hinterbein beidseits</i> (vom Kronsaum bis inklusive des Sprunggelenks, Außen- und Innenseite; statt der Innenseite des zugewandten Beines kann auch die Innenseite des gegenüberliegenden Beines betrachtet werden)</p> <p><i>Oberes Hinterbein beidseits</i> (oberhalb des Sprunggelenks)</p> <p><i>Vorderbein bis Ellbogen beidseits</i></p> <p><i>Ventrales Drittel des Rumpfes</i></p>	
<p>Grad 0</p>	<p>Keine Hautschäden & haarlose Stellen (unter 2cm 10Cent-Stück)</p>	

Abbildung 7: Definition Boniturparameter Hautschäden und Haarlose Stellen (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung)

<p>Grad 1</p>	<p>Geringgradig Hautschäden und haarlose Stellen (über 2cm 10Cent-Stück bis 5cm Durchmesser)</p> <p>oder</p> <p>Bis 5 Stellen am Körper</p>	
<p>Grad 2</p>	<p>Hochgradig Hautschäden und haarlose Stellen (über 5cm Durchmesser)</p> <p>oder</p> <p>Über 5 Stellen am Körper</p>	 <p>Achtung! Immer diagnostisch von Parasiten abgrenzen, nur Haltungsschäden aufzeichnen</p>

Abbildung 8: Gradeinteilung Boniturparameter Hautschäden und Haarlose Stellen (KTBL-Leitfaden Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind, (Brinkmann et al., 2020), Bilder eigene Darstellung)

Am Ende einer jeden Bonitur wurde der Verschmutzungsgrad der Liegeboxen anhand der Verschmutzungsgrade 0 bis 2 beurteilt. Tabelle 2 zeigt die Einteilung der Verschmutzungsgrade der Liegeflächen:

Tabelle 3: Gradeinteilung der Liegeboxenverschmutzung (eigene Darstellung)

Grad 0	sauber, nicht verschmutzt und ohne Verunreinigungen
Grad 1	leicht verschmutzt, geringradig Kot im hinteren Drittel oder andere Verunreinigungen
Grad 2	stark verschmutzt, Verunreinigungen über ganze Liegefläche verteilt

Alle Daten, die während der Bonitur erhoben wurden, wurden manuell in den Boniturbogen eingetragen und anschließend digitalisiert.

3.2.4 SmaXtec Pansenboli-Untersuchungen

Der Zeitraum der Datenaufzeichnung der Pansenboli Sensoren (SmaXtec, Graz, Österreich) erstreckte sich über einen Zeitraum von sechs Wochen. Zwei Wochen während Intervall 1 (vor dem Umbau), zwei Wochen während Intervall 2 (Woche 1 und 2 nach Umbau) und nochmals zwei Wochen während Intervall 3 (Woche 3 und 4 nach Umbau). Dieser Zeitrahmen ermöglichte dadurch eine umfassende Analyse des ursprünglichen Herdenverhaltens sowie der anschließenden Anpassung der Tiere an die neuen Liegeflächen.

Mit Hilfe von gespeicherten Datenaufzeichnungen der Firma SmaXtec konnten sowohl die Wiederkau- als auch Bewegungsaktivität von allen mit Pansenboli ausgestatteten Tieren analysiert werden. Die Pansenboli speicherten dabei Daten der Bewegungsaktivität in Form einer dimensionslosen Einheit von 0 - 100, der Körperinnentemperatur in Grad Celsius und der Wiederkauaktivität in Sekunden pro Tag, in 10 - minütigen Abständen pro Tier/Tag. Um die Datenauswertung zu vereinfachen, wurden zunächst bei allen 10 - minütigen Auswertungen Tagesmittelwerte für jedes Tier gebildet und anschließend ein Mittelwert aller Tiere pro Intervall bzw. Auswertungszeitraum. Die Wiederkauaktivität wurde zur besseren Veranschaulichung in Minuten pro Tag umgerechnet.

Im Bolus wird die Bewegung mit einem 3-Achsen-Beschleunigungssensor gemessen. Die aufgezeichneten Rohdaten werden dann durch verschiedene Signalverarbeitungen weiter bearbeitet, um die Bewegung des Tieres genau zu beschreiben und zusätzliche Einflüsse auf die Beschleunigung zu reduzieren. Die Bewegung wird anhand von 10-minütigen Intervallen auf einen festen Wertebereich von 0 bis 100 skaliert. Da der Wert der Bewegungsaktivität durch die Verarbeitung und Aggregation der Beschleunigungsdaten entsteht, besitzt er keine

physikalische Einheit. Nachfolgend sind typische Wertebereiche des Aktivitätsindex genauer dargestellt (Abweichungen sind in Einzelfällen möglich) (Quelle: SmaXtec, Graz, Österreich):

- Keine bis geringe Bewegungsaktivität (z.B. Tier bewegt sich nicht): Aktivitätsindex 0 - 3
- Tier in Bewegung: Aktivitätsindex > 3
- Tiere in Brunst: Aktivitätsindex ≥ 8 (stark abhängig von lokalen Gegebenheiten wie Haltungsform, Stallbedingungen, etc.)
- Tiere beim Austrieb: Anstiege des Aktivitätsindex > 80 kurzzeitig möglich

3.2.5 HOBO®-Liegezeituntersuchungen

Für die repräsentative Untersuchung des Liege- und Steh-/Gehverhaltens der Kühe wurden Lagesensoren (HOBO® Pendant G, Onset, Bourne, USA) genutzt. Die Lagesensoren wurden dafür jeweils am linken Hinterbein der Tiere, distal des Tarsalgelenks, mit Hilfe eines Verbands fixiert.

Das Ziel der Analyse war es einen Vergleich über die Liegezeiten, bezogen auf die unterschiedliche Art der Liegeboxengestaltung, zu erhalten. Insgesamt wurden drei Untersuchungsintervalle pro Betrieb durchgeführt. Dabei erfolgte die Auswertung von Intervall 1 bei allen drei Betrieben unmittelbar vor dem Umbau der Liegeboxen. Um sowohl kurzfristige als auch langfristige Anpassungen bzw. Veränderungen des Liege- und Steh-/Gehverhaltens zu erkennen, fanden die Intervalle 2 und 3 bei jedem Betrieb sechs Wochen nach Umbau (kurzfristige Anpassung) bzw. mindestens sechs Monate nach Umbau (langfristige Anpassung) statt (Tabelle 4). Die Dauer der einzelnen Intervalle war aufgrund von terminlichen Absprachen mit den Landwirten und der begrenzten Verfügbarkeit der Datenlogger jeweils unterschiedlich. Die Zeiträume der Intervalle sind in nachfolgender Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: Intervalldauer der HOBO®-Liegezeitauswertung (eigene Darstellung) unterteilt nach Intervall und teilnehmenden Betrieb (Intervall 1 = unmittelbar vor dem Umbau; Intervall 2 = 6 Wochen nach dem Umbau; Intervall 3 = Betrieb 1 (41 Wochen nach Umbau), Betrieb 2 (32 Wochen nach Umbau), Betrieb 3 (30 Wochen nach Umbau))

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Intervall 1	20 Tage	13 Tage	17 Tage
Intervall 2	15 Tage	21 Tage	14 Tage
Intervall 3	17 Tage	15 Tage	14 Tage

Die Datenlogger zeichneten die Liegezeiten und die Steh-/Gehzeiten der Tiere mit Hilfe eines Beschleunigungssensors anhand einer dreidimensionalen Achse auf. Anschließend wurde ein Softwareprogramm (HOBOWare®, SmaXtec, Graz, Österreich) zur Auslesung der Daten genutzt und diese dann in Form von Microsoft Excel Tabellen anschaulich dargestellt.

Jeder Datenlogger erzeugte während des Auswertungszeitraums alle 30 Sekunden einen neuen Messwert pro Tier, welcher im Anschluss zu einem Tagesmittelwert zusammengefasst wurde. Um die statistische Auswertung der Daten zu vereinfachen, wurde anschließend aus den Tagesdurchschnittswerten der einzelnen Tiere ein Mittelwert pro Intervall und Betrieb erstellt.

Alle drei Betriebe wurden der Reihe nach untersucht, da für diese Auswertung nur maximal 10 Lagesensoren zur Verfügung standen. Für die Auswertung des Liege- und Steh-/Gehverhaltens wurden in jedem Betrieb maximal 10 tragende, laktierende Milchkühe ausgewählt, welche das Liege- und Steh-/Gehverhalten der Herde repräsentativ widerspiegeln. Dabei wurde zu Beginn eines jeden Auswertungsintervalls darauf geachtet, dass die Tiere weder unter tierärztlicher Behandlung stehen noch Lahmheiten zeigten. Alle Kühe, die während des Auswertungsintervalls erkrankten, wurden von der Auswertung ausgeschlossen.

3.2.6 Klimadatenerfassung

Um mögliche Aussagen über einen Einfluss der Temperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit dem Liegeverhalten treffen zu können, wurden in dieser Studie Klimadaten von betriebsnahen Klimastationen erfasst. Bei allen drei Betrieben wurden die tägliche Durchschnittstemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit parallel zu den Auswertungszeiträumen der HOBOWare®-Liegezeitanalysen dokumentiert. Bei allen erhobenen Werten handelt es sich um Außenwerte der Klimastationen. Für den deutschen Betrieb diente dabei die Wetterstation Trostberg als Datenquelle und für die beiden österreichischen Betriebe diente die Wetterstation St. Michael im Lungau als Datenquelle.

3.2.7 MLP-Datenanalyse

Im Rahmen der Studie wurden die monatlichen Milchleistungsdaten der Betriebe analysiert, um die Auswirkungen einer Veränderung der Aufstallungsform auf die Milchleistung und die Eutergesundheit der Herde zu untersuchen. Hierbei wurden die monatlichen Milchleistungsdaten miteinander verglichen und parallel zum Auswertungszeitraum der SmaXtec Messungen (im Monat vor und in den beiden Monaten nach dem Umbau auf Sandbettwabenmatten) ausgewertet. Bei der Analyse wurde die monatlich durchschnittliche

Milchleistung ausgewertet. Demnach wurden für jeden Betrieb drei monatliche Milchleistungsprüfungen des LKV Bayern sowie des LKV Salzburg ausgewertet.

3.3 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten liefern einen Vergleich zwischen der Nutzung der Liegeboxen als herkömmliche Tiefbox ohne Verwendung von Sandbettwabenmatten und nach Einbau und Verwendung der Sandbettwabenmatten. Für die statistische Datenaufbereitung und -auswertung wurden die Programme IBM®SPSS (Version 24 für Microsoft Windows) sowie Microsoft Excel genutzt. Bei der statistischen Auswertung wurden die Ergebnisse hinsichtlich statistischer Signifikanz geprüft, dabei lag das Signifikanzniveau bei 5 % ($p < 0,05$).

Alle in dieser Studie erhobenen Daten lagen als ordinalskalierte Werte vor und wurden mit Hilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für gepaarte Stichproben auf statistische Signifikanz in drei verschiedenen Zeiträumen geprüft.

Bei der Auswertung der Tierbonitur (Verschmutzungsgrad der Tiere, Hautschäden und haarlose Stellen, Liegeboxensauberkeit) wurden die Werte von drei Zeitpunkten miteinander verglichen. Der erste Zeitpunkt war unmittelbar vor dem Umbau der Tiefboxen, der zweite Zeitpunkt sechs Wochen nach Umbau und der dritte Zeitpunkt etwa sechs Monate nach Umbau.

Die Auswertungen zur Wiederkau- und Bewegungsaktivität wurden über jeweils einen Zeitraum von zwei Wochen während Intervall 1 (vor dem Umbau), zwei Wochen während Intervall 2 (Woche 1 und 2 nach Umbau) und nochmals zwei Wochen während Intervall 3 (Woche 3 und 4 nach Umbau) miteinander verglichen. Dabei lieferten die Datenaufzeichnungen pro Tier im 10 - minütigem Abstand einen Wert, sodass es nötig war Mittelwerte zu bilden. Für die statistische Auswertung wurden die Mittelwerte von jeweils circa 10 Tieren in den drei verschiedenen Zeiträumen miteinander verglichen.

Auf gleiche Art und Weise wurden die Daten der Liege- und Steh-/Gehzeituntersuchungen anhand von Mittelwerten vereinfacht und anschließend auf statistische Signifikanz geprüft.

Bei den Daten der monatlichen Milchleistungsprüfung wurden die originalen Werte der einzelnen Tiere im jeweiligen Betrieb im Monat vor dem Umbau mit den Werten in den beiden Monaten nach dem Umbau verglichen.

4 Ergebnisse

In der vorliegenden Studie wurden tierbezogene Daten für eine Analyse über die Auswirkungen von Sandbettwabenmatten in Tiefstreuboxen erhoben. Dabei wurden der Verschmutzungsgrad und das Vorhandensein von Hautschäden und haarlosen Stellen bei laktierenden Milchkühen in Laufställen in drei verschiedenen Betrieben analysiert. Zur Erfassung der Daten diente ein Boniturbogen (siehe Anhang 2). Weiterhin wurden die Wiederkau- und Bewegungsaktivität, das Liege- und Steh-/Gehverhalten sowie die Milchleistung und die Liegeboxensauberkeit im Vorher-Nachher Vergleich ausgewertet.

4.1 Verschmutzungsgrad der Tiere

Es wurden 100 Milchkühe bonitiert. Nahezu alle Tiere wiesen Verschmutzungen an den unteren und oberen Hinterbeinen auf (siehe Tabelle 5), während die seitliche Bauchwand verhältnismäßig sauber war.

Betrachtet man die Sauberkeit der Tiere vor bzw. nach dem Einbau der Sandbettwaben so wurde auf allen drei Betrieben eine Verschlechterung der Sauberkeit beobachtet, wobei bei zwei Betrieben v.a. direkt nach dem Umbau eine signifikante Verschlechterung der Sauberkeit festgestellt wurde ($p < 0,05$) und bei einem Betrieb die Sauberkeit etwas später nachließ (siehe Tabelle 5).

Im Vorher-Nachher Vergleich der Verschmutzungsgrade fiel bei Betrieb 1 nur ein signifikanter Unterschied beim Parameter unteres Hinterbein auf ($p < 0,05$). Demnach verschlechterte sich die Sauberkeit am unteren Hinterbein von 1,32 zum Zeitpunkt 1 (vor Umbau der Tiefboxen auf Sandbettwaben) auf 1,90 zum Zeitpunkt 2 (sechs Wochen nach Umbau der Tiefboxen auf Sandbettwaben) bzw. 1,61 zum Zeitpunkt 3 (sechs Monate nach Umbau der Tiefboxen auf Sandbettwaben). Bei Betrieb 2 war ein ähnlicher Anstieg der Verschmutzung der Tiere zwischen den Boniturzeitpunkten 1 und 2 signifikant auffällig ($p < 0,05$). So zeigten vor allem die Parameter oberes Hinterbein, Euter und Flanken einen Anstieg des Verschmutzungsgrades (siehe Tabelle 5). Die Tiere in Betrieb 3 wiesen ebenfalls einen höheren Verschmutzungsgrad zum Zeitpunkt 2 und 3 auf. Der Mittelwert des Parameters oberes Hinterbein stieg von 0,93 (Zeitpunkt 1) auf 1,29 (Zeitpunkt 2) bzw. 1,12 (Zeitpunkt 3). Die Verschmutzung des Euters stieg von 0,13 (Zeitraum 1) auf 0,29 (Zeitraum 2) bzw. 0,45 (Zeitraum 3). Weitere Werte sind in nachfolgender Tabelle 5 aufgeführt:

Tabelle 5: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten - Parameter Verschmutzungsgrad (Grad 0 (keine) bis Grad 2 (stark verschmutzt))

Zeitpunkt 1 = Vor Umbau der Tiefstreuboxen auf Sandbettwabenmatten, Zeitpunkt 2 = sechs Wochen nach Umbau der Tiefstreuboxen auf Sandbettwabenmatten, Zeitpunkt 3 = sechs Monate nach Umbau der Tiefstreuboxen auf Sandbettwabenmatten

Mittelwerte und p-Werte	Zeitpunkt (ZP) (n = Anzahl Tiere)	unteres Hinterbein	oberes Hinterbein	Euter	Flanke	seitl. Bauchwand
Betrieb 1 Mittelwerte	1 (n = 25)	1,32 ($\pm 0,51$)	1,32 ($\pm 0,61$)	0,44 ($\pm 0,64$)	0,50 ($\pm 0,64$)	0,28 ($\pm 0,53$)
	2 (n = 25)	1,90 ($\pm 0,30$)	1,64 ($\pm 0,48$)	0,64 ($\pm 0,79$)	0,64 ($\pm 0,62$)	0,42 ($\pm 0,72$)
	3 (n = 18)	1,61 ($\pm 0,49$)	1,61 ($\pm 0,59$)	1,08 ($\pm 0,72$)	0,67 ($\pm 0,62$)	0,17 ($\pm 0,37$)
p-Werte	ZP1-ZP2	0,000	0,004	0,076	0,238	0,235
	ZP1-ZP3	0,012	0,102	0,000	0,146	0,087
Betrieb 2 Mittelwerte	1 (n = 27)	1,96 ($\pm 0,19$)	1,69 ($\pm 0,50$)	0,70 ($\pm 0,68$)	0,76 ($\pm 0,82$)	0,67 ($\pm 0,77$)
	2 (n = 25)	1,98 ($\pm 0,14$)	1,90 ($\pm 0,30$)	1,08 ($\pm 0,66$)	1,02 ($\pm 0,76$)	0,90 ($\pm 0,81$)
	3 (n = 22)	1,52 ($\pm 0,50$)	1,66 ($\pm 0,47$)	0,75 ($\pm 0,64$)	0,70 ($\pm 0,76$)	0,61 ($\pm 0,75$)
p-Werte	ZP1-ZP2	0,317	0,012	0,005	0,007	0,056
	ZP1-ZP3	0,000	0,405	0,847	0,77	1,000
Betrieb 3 Mittelwerte	1 (n = 57)	1,15 ($\pm 0,38$)	0,93 ($\pm 0,70$)	0,13 ($\pm 0,39$)	0,33 ($\pm 0,57$)	0,21 ($\pm 0,52$)
	2 (n = 50)	1,56 ($\pm 0,50$)	1,29 ($\pm 0,65$)	0,29 ($\pm 0,52$)	0,36 ($\pm 0,50$)	0,15 ($\pm 0,36$)
	3 (n = 39)	1,14 ($\pm 0,38$)	1,12 ($\pm 0,53$)	0,45 ($\pm 0,55$)	0,23 ($\pm 0,42$)	0,14 ($\pm 0,35$)
p-Werte	ZP1-ZP2	0,000	0,000	0,003	0,664	0,2
	ZP1-ZP3	0,819	0,05	0,000	0,344	0,44

ZP = Zeitpunkt

4.1.1 Liegeboxensauberkeit

Die Auswertung der Liegeboxensauberkeit erfolgte bei allen drei Betrieben parallel zur Bonitur der Tiere in den drei aufeinanderfolgenden Zeiträumen, vor dem Umbau, sechs Wochen nach dem Umbau sowie mindestens sechs Monate nach dem Umbau der Liegeboxen. Auffällig war bei allen drei Betrieben eine Verbesserung der Liegeboxensauberkeit zwischen dem ersten Untersuchungszeitpunkt und dem zweiten bzw. dritten Untersuchungszeitpunkt. Der Verschmutzungsgrad der Liegeboxen verringerte sich bei Betrieb 1 von 1,00 (Zeitpunkt 1) auf

0,25 (Zeitpunkt 2) bzw. 0,14 (Zeitpunkt 3). In Betrieb 2 verringerte sich der Verschmutzungsgrad ebenfalls von 1,85 (Zeitpunkt 1) auf 0,93 (Zeitpunkt 2). Zum dritten Untersuchungszeitpunkt stieg der Verschmutzungsgrad wieder auf 1,11 an. Bei Betrieb 3 verringerte sich der Verschmutzungsgrad ähnlich wie bei Betrieb 1 von 1,11 (Zeitpunkt 1) auf 0,84 (Zeitpunkt 2) bis 0,70 (Zeitpunkt 3).

4.2 Hautschäden und haarlose Stellen

Die Ergebnisse der Analyse in Hinblick auf Hautschäden bzw. haarlose Stellen zeigten nur eine geringe Prävalenz. So wird deutlich, dass Irritationen vor allem an den distalen Abschnitten der Gliedmaßen auftreten. Veränderungen in Form von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen, zeigten sich in den Bereichen des unteren Hinterbeins mit 20,7% (119 von 576 Körperregionen mit Grad 1 oder 2) und an den Vorderbeinen bis zum Ellbogen mit 28,1% (162 von 576 Körperregionen mit Grad 1 oder 2).

Im Betrieb 1 zeigte die statistische Auswertung im Verlauf des Umbaus der Liegeboxen keine signifikanten Unterschiede. Lediglich bei den Betrieben 2 und 3 war ein signifikanter Mittelwertanstieg vom Ausgangszustand (vor Umbau) zum Boniturzeitpunkt 3 (sechs Monate nach Umbau) erkennbar.

So erhöhte sich die Prävalenz von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen am unteren Hinterbein bei Betrieb 2 von Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2 um zwei Hinterbeine mit Grad 1 und ein Hinterbein mit Grad 2 (Steigerung von beiden Graden um 100 %) und von Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 3 um zwei Hinterbeine mit Grad 1 (Steigerung von beiden Graden um 77,78 %). Die Prävalenz von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen am Vorderbein bis Ellbogen, erhöhte sich von Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 3 um fünf Vorderbeine mit Grad 1 (Steigerung von beiden Graden um 107,69 %).

Bei Betrieb 3 zeigten zum ersten Boniturzeitpunkt ($n = 57$) 25 untere Hinterbeine Veränderungen mit Grad 1. Beim dritten Boniturzeitpunkt fielen Veränderungen bei 21 unteren Hinterbeinen mit Grad 1 und bei 3 unteren Hinterbeinen mit Grad 2 auf (Steigerung von beiden Graden um 59,09 %). Am Vorderbein bis Ellbogen wurden bei 45 Beinen Veränderungen mit Grad 1 zum Zeitpunkt 1 ($n = 57$) festgestellt, wobei zum Zeitraum 3 insgesamt nur 21 Vorderbeine mit Hautschäden bzw. haarlosen Stellen von Grad 1 und drei Vorderbeine mit Grad 2 auffielen ($n = 39$) (Steigerung von beiden Graden um 25,64 %). Die Anzahl der bonitierten Tiere verringerte sich vom ersten - zum dritten Boniturzeitpunkt um 18 Tiere.

4.3 Wiederkauverhalten und Bewegungsaktivität (Smaxtec Untersuchungen)

Insgesamt wurden 41 laktierende Milchkühe über einen Zeitraum von 6 Wochen mit Hilfe von SmaXtecs Pansenboli hinsichtlich der Entwicklung der Wiederkau- (Minuten/Tag) und Bewegungsaktivität (0-100, dimensionslose Einheit) analysiert. Dabei wurden 10 Tiere in Betrieb 1 und 31 Tiere in Betrieb 3 analysiert. Aufgrund einer zu geringen Anzahl an Pansenboli wurden die Daten aus Betrieb 2 für die Auswertung nicht berücksichtigt. In Betrieb 1 lag die mittlere Wiederkauaktivität vor dem Umbau bei rund 546 Minuten/Tier und Tag, sie sank unmittelbar nach dem Umbau auf 471 Minuten/Tier und Tag ab und erreichte nach 3 bis 4 Wochen wieder das Ausgangsniveau (537 Minuten/Tier und Tag). Während die Wiederkauaktivität durch den Umbau sank, stieg die Bewegungsaktivität der Tiere in Betrieb 1 signifikant an (siehe Tabelle 6).

Während in Betrieb 3 keine signifikanten Unterschiede im Wiederkauverhalten festgestellt werden konnten, sank unmittelbar nach dem Umbau die Bewegungsaktivität signifikant ab.

Tabelle 6: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten - Wiederkauaktivität und Bewegungsaktivität

Intervall 1 = Woche 2 bis 1 vor Umbau, Intervall 2 = Woche 1 bis 2 nach Umbau, Intervall 3 = Woche 3 bis 4 nach Umbau

Mittelwerte und p-Werte	Intervall (n = Anzahl Tiere)	Wiederkauaktivität Min/Tag	Bewegungsaktivität ¹ 0 - 100
Betrieb 1 Mittelwerte	1 (n = 10)	546	5,3
	2 (n = 10)	471	8,1
	3 (n = 10)	537	6,25
p-Werte	Int1-Int2	0,05	0,05
	Int1-Int3	0,059	0,05
	Int2-Int3	0,05	0,05
Betrieb 2 Mittelwerte	Daten aus Betrieb 2 nicht berücksichtigt aufgrund einer zu geringen Anzahl an Tieren mit Pansenboli		
Betrieb 3 Mittelwerte	1 (n = 31)	535	6,2
	2 (n = 31)	540	6,0
	3 (n = 31)	540	6,3
p-Werte	Int1-Int2	0,104	0,014
	Int1-Int3	0,063	0,518
	Int2-Int3	0,814	< 0,001

¹ Wert aus SmaXtecs – dimensionslose Einheit (0-100)

4.4 Liege- und Steh-/Gehverhalten

Für die Auswertung des Liege- und Steh-/Gehverhaltens standen insgesamt 10 Lagesensoren (HOBO® Pendant G, Onset, Bourne, USA) zur Verfügung. Aufgrund nicht einkalkulierbarer Veränderungen des Gesundheitszustandes wie zum Beispiel Verletzungen oder Lahmheiten der teilnehmenden Tiere sowie Verluste der Lagesensoren, mussten manche Probanden aus der Analyse ausgeschlossen werden und wurden nicht in die Auswertung der Ergebnisse einbezogen. Demzufolge variierte die Anzahl in jedem Untersuchungszeitraum um ein bis zwei Tiere. Um den Ausgangszustand der Herde zu ermitteln, wurden die Liege- und Steh-/Gehzeitanalysen zunächst für einen Zeitraum von 10 bis 20 Tagen (Intervall 1, siehe Tabelle 4 Unterpunkt 3.2.5) vor dem Umbau der Liegeflächen durchgeführt. Der zweite Auswertungszeitraum erfolgte bei allen drei Betrieben sechs Wochen nach dem Umbau (Intervall 2, siehe Tabelle 4 Unterpunkt 3.2.5). Ein dritter Durchgang erfolgte auf allen drei Betrieben für weitere 10 bis 20 Tage, frühestens sechs Monate nach dem Umbau (Intervall 3, siehe Tabelle 4 Unterpunkt 3.2.5). Während der Studie gab es sowohl Zu- als auch Abgänge, sodass in den Untersuchungszeiträumen unterschiedliche Tiere mit Lagesensoren analysiert wurden. Bei den Betrieben 1 und 3 nahmen jeweils 4 Kühe, bei Betrieb 2 insgesamt 6 Kühe, an allen drei Untersuchungsdurchgängen teil.

Insgesamt fiel auf, dass die Tiere in Betrieb 1 und 2 mit einer Herdengröße von circa 25 Tieren, bei allen drei Untersuchungszeiträumen einen größeren täglichen Steh-/Gehanteil als Liegeanteil aufwiesen, dies zeigte sich demnach auch bei den Werten der Liege- und Steh-/Gehperioden sowie dem prozentualen Liege- und Steh-/Gehverhalten (siehe Tabelle 7).

In Betrieb 3 zeigten die Tiere bei einer Herdengröße von circa 60 laktierenden Milchkühen, vor dem Umbau der Liegeboxen eine tägliche Anzahl von 10,75 Liegeperioden und 10,84 Steh-/Gehperioden bei einem Liegeanteil von 46,44 % bzw. Steh-/Gehanteil von 53,56 %. Im Gegensatz zu Betrieb 1, zeigten die Tiere in Betrieb 3 nach dem Umbau eine signifikante Steigerung der täglichen Liegezeit um 80 Minuten sowie einen signifikanten Abfall der täglichen Steh-/Gehzeit um 91 Minuten ($p < 0,05$) (siehe Tabelle 7).

Sechs Monate nach dem Umbau der Liegeboxen verringerte sich die Anzahl der täglichen Liege- und Steh-/Gehperioden signifikant auf 9,78 bzw. 9,82 bei einem gestiegenen prozentualen täglichen Liegeanteil von 50,58 % (+4,14 %) ($p < 0,05$). Der Anstieg der prozentualen Liegedauer zeigt wiederum einen Abfall der prozentualen Steh-/Gehdauer auf 49,42 % (-4,14 %) sechs Monate nach dem Umbau ($p < 0,05$) (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) der HOB0® Liege- und Steh-/Gehzeituntersuchungen zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten

Mittelwerte und p-Werte	Intervall (Int) (n = Anzahl Tiere)	Dauer Liegen Min/Tag	Dauer Stehen/Gehen Min/Tag	Anzahl Liegeperioden/Tag	Anzahl Steh-/Gehperioden/Tag	Dauer Liegen in %	Dauer Stehen/Gehen in %
Betrieb 1 Mittelwerte	1 (n = 9)	648 ($\pm 0,05$)	789 ($\pm 0,05$)	10,24 ($\pm 1,69$)	10,54 ($\pm 1,68$)	45,08 ($\pm 5,38$)	54,92 ($\pm 5,38$)
	2 (n = 9)	571 ($\pm 0,06$)	863 ($\pm 0,06$)	8,13 ($\pm 1,03$)	8,75 ($\pm 1,11$)	39,85 ($\pm 5,61$)	60,15 ($\pm 5,61$)
	3 (n = 10)	690 ($\pm 0,03$)	729 ($\pm 0,03$)	11,90 ($\pm 1,31$)	12,55 ($\pm 1,41$)	48,71 ($\pm 3,19$)	51,29 ($\pm 3,19$)
p-Werte	Int1- Int2	0,012	0,008	0,008	0,549	0,008	0,008
	Int1- Int3	0,260	0,110	0,038	0,028	0,173	0,173
Betrieb 2 Mittelwerte	1 (n = 9)	692 ($\pm 0,06$)	747 ($\pm 0,06$)	8,99 ($\pm 1,79$)	9,49 ($\pm 1,95$)	48,07 ($\pm 5,96$)	51,93 ($\pm 5,96$)
	2 (n = 10)	661 ($\pm 0,09$)	760 ($\pm 0,09$)	9,91 ($\pm 4,27$)	9,92 ($\pm 4,19$)	47,07 ($\pm 8,87$)	52,93 ($\pm 8,87$)
	3 (n = 9)	690 ($\pm 0,07$)	746 ($\pm 0,07$)	9,65 ($\pm 2,18$)	9,19 ($\pm 2,25$)	48,07 ($\pm 7,31$)	51,93 ($\pm 7,31$)
p-Werte	Int1- Int2	0,441	0,594	0,767	0,953	0,954	0,954
	Int1- Int3	0,859	1,000	0,515	0,953	0,953	0,953
Betrieb 3 Mittelwerte	1 (n = 10)	661 ($\pm 0,06$)	762 ($\pm 0,06$)	10,75 ($\pm 1,46$)	10,84 ($\pm 1,30$)	46,44 ($\pm 5,93$)	53,56 ($\pm 5,93$)
	2 (n = 10)	741 ($\pm 0,05$)	671 ($\pm 0,05$)	10,22 ($\pm 1,08$)	10,31 ($\pm 1,10$)	52,51 ($\pm 5,36$)	47,49 ($\pm 5,36$)
	3 (n = 10)	713 ($\pm 0,06$)	694 ($\pm 0,06$)	9,78 ($\pm 1,50$)	9,82 ($\pm 1,50$)	50,58 ($\pm 6,58$)	49,42 ($\pm 6,58$)
p-Werte	Int1- Int2	0,028	0,017	0,386	0,386	0,028	0,017
	Int1- Int3	0,285	0,169	0,005	0,005	0,005	0,005

Int = Intervall

4.5 Klimadaten

Die Auswertung der Klimadaten erfolgte mit Hilfe der Wetterstationen Trostberg (Bayern, Deutschland) und der Wetterstation St. Michael im Lungau (Salzburg, Österreich), parallel zu den Auswertungsintervallen der HOBO® Liege- und Steh-/Gehzeitauswertungen (siehe Tabelle 4 Unterpunkt 3.2.5). Da die beiden österreichischen Betriebe nur circa einen Kilometer voneinander entfernt liegen, wurden für beide Betriebe die gleichen Wetterdaten herangezogen.

Während der Auswertung des Intervall 1 in den Monaten April bis Mai vor dem Umbau, wurden Tagesdurchschnittstemperaturen von 12 °C (Betrieb 1), 17 °C (Betrieb 2) bis 21 °C (Betrieb 3) bei einer relativen Luftfeuchtigkeit/Tag von 68 % (Betrieb 3), 73 % (Betrieb 2) bis 74 % (Betrieb 1) aufgezeichnet. Im darauffolgenden Auswertungsintervall 2 in den Monaten Juni bis August wurden Tagesdurchschnittstemperaturen von 19 °C (Betrieb 1 und Betrieb 2) bis 20 °C (Betrieb 3) bei einer relativen Luftfeuchtigkeit/Tag von 70 % (Betrieb 3), 72 % (Betrieb 2) bis 79 % (Betrieb 1) gemessen. Das dritte Auswertungsintervall fand mindestens sechs Monate nach dem Umbau, in den Wintermonaten Januar bis März statt, wodurch niedrigere Tagesdurchschnittstemperaturen von 0 °C (Betrieb 3), 4 °C (Betrieb 2) bis 5 °C (Betrieb 1) bei einer relativen Luftfeuchtigkeit/Tag von 74 % (Betrieb 1), 78% (Betrieb 2) bis 84 % (Betrieb 3) gemessen wurden. Die genauen Tagesdurchschnittstemperaturen der einzelnen Betriebe, sowie die jeweilige relative Luftfeuchtigkeit/Tag sind in nachfolgender Tabelle 8 aufgeführt:

Tabelle 8: Klimadaten der drei teilnehmenden Betriebe ($\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$ = Tagesdurchschnittstemperatur;
 $\bar{\theta}$ LF in % = relative Luftfeuchtigkeit/Tag

Intervall 1: Monate April bis Mai 2022; Intervall 2: Monate Juni bis August 2022; Intervall 3:
 Monate Januar bis März 2023; alle gemessenen Werte sind Außenwerte der Wetterstationen

Betrieb 1						
Tag	Intervall 1		Intervall 2		Intervall 3	
	April-Mai		Juni-Juli		Februar-März	
	$\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}$ LF %	$\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}$ LF %	$\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}$ LF %
1	8	82	22	76	3	72
2	9	81	23	77	3	83
3	9	80	21	78	3	80
4	8	79	20	81	4	73
5	9	74	22	89	5	59
6	10	62	16	84	5	64
7	9	71	15	92	7	66
8	10	80	20	80	11	70
9	11	74	22	76	8	74
10	12	68	20	75	7	76
11	12	71	19	76	8	71
12	14	86	18	74	9	64
13	13	87	14	80	9	80
14	13	88	15	82	8	75
15	14	80	16	71	5	84
16	15	73			-2	82
17	16	60			-1	78
18	19	58				
19	19	61				
20	17	63				
Betrieb 2						
Tag	Intervall 1		Intervall 2		Intervall 3	
	Juni		August		Februar	
	$\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}$ LF %	$\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}$ LF %	$\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}$ LF %
1	15	68	22	71	-2	80
2	17	71	21	74	1	81
3	17	72	23	71	3	82
4	20	70	24	70	4	83
5	21	69	26	68	5	76
6	22	68	18	90	3	74
7	18	71	18	73	3	68
8	16	94	17	70	4	67
9	16	80	18	68	7	64
10	13	87	17	67	9	76

11	14	72	16	64	7	81
12	17	67	17	66	3	69
13	19	64	17	68	4	86
14			18	75	6	87
15			19	81	4	89
16			18	61		
17			20	64		
18			22	69		
19			23	73		
20			16	91		
21			17	84		
Betrieb 3						
Tag	Intervall 1		Intervall 2		Intervall 3	
	Juni		August		Januar-Februar	
	Ø °C	Ø LF %	Ø °C	Ø LF %	Ø °C	Ø LF %
1	18	56	19	58	0	97
2	20	57	21	56	-1	95
3	20	69	21	59	-2	90
4	20	59	22	57	-2	92
5	23	48	24	49	-2	91
6	26	51	21	69	-2	87
7	23	67	18	88	-1	81
8	18	61	16	96	2	72
9	20	81	18	81	4	72
10	22	74	17	73	3	87
11	19	79	18	66	5	76
12	19	72	19	72	2	83
13	22	65	20	78	0	75
14	23	69	21	75	-3	80
15	18	87				
16	18	90				
17	21	76				

Ø°C = Tagesdurchschnittstemperatur; Ø LF in % = relative Luftfeuchtigkeit/Tag

4.6 Milchleistung

Die Ergebnisse der Milchleistung wurden jeweils im Monat vor dem Umbau und in den beiden Monaten nach dem Umbau der Liegeboxen ausgewertet. Insgesamt verringerte sich die Milchleistung in Betrieb 1 und 3 signifikant bei zunehmenden Laktationstagen der Kühe ($p < 0,05$; siehe Anhang 3).

Tabelle 9: Mittelwerte und p-Werte ($p < 0,05$) der Milchleistungsergebnisse der Betriebe zum Vorher-Nachher Vergleich des Umbaus auf Sandbettwabenmatten

MLP - Datenauswertung	Monat Probemelkung	Anzahl der Tiere	Ø Milchleistung in kg/Tier	Ø Laktationstage
Betrieb 1 Mittelwerte	März	25	33,7	93,4
	Mai	25	31,0	128,2
	Juni	26	28,1	162,7
p-Werte	Mai - März	-	< 0,001	-
	Juni - März	-	< 0,001	-
	Juni - Mai	-	0,003	-
Betrieb 2 Mittelwerte	Juni	29	19,9	236,7
	Juli	28	20,7	231,5
	August	22	18,7	247,6
p-Werte	Juli - Juni	-	0,251	-
	August - Juni	-	0,116	-
	August - Juli	-	0,16	-
Betrieb 3 Mittelwerte	Juni	58	33,7	159,6
	Juli	55	32,7	164,8
	August	59	31,2	171,7
p-Werte	Juli - Juni	-	0,003	-
	August - Juni	-	< 0,001	-
	August - Juli	-	< 0,001	-

5 Diskussion

Die Tiergesundheit und das Wohlergehen von Kühen ist ein wichtiger Faktor in der Milchviehhaltung, wobei die Liegefläche und deren Gestaltung einen erheblichen Einfluss hat (McPherson und Vasseur, 2020). Im modernen Liegeboxenlaufstall verbringen laktierende Milchkühe circa die Hälfte des Tages in der Liegebox (Tucker et al., 2021). Um die Haltungsbedingungen stetig zu verbessern, wurde in dieser Studie analysiert, ob die Verwendung einer zusätzlichen Sandbettwabenmatte in einer herkömmlichen Tiefbox, zur Steigerung der Tiergesundheit und Hygiene im Liegeboxenlaufstall beiträgt.

5.1 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf den Verschmutzungsgrad der Tiere und die Liegeboxensauberkeit

Die Auswertung der Sauberkeit der Tiere zeigte einen hohen Verschmutzungsgrad im Bereich der unteren und oberen Hinterbeine sowohl vor als auch nach dem Umbau der Liegeflächen. Diese Beobachtung deckt sich mit Studien von Göttl (2022) und Robles et al. (2019) wobei Tiere in Laufstallhaltung eine geringere Sauberkeit im Bereich der Hintergliedmaße gegenüber Tieren in Anbindehaltung aufweisen.

Nach den Aussagen von McPherson und Vasseur (2020) wiederum, haben Tiere im Anbindestall keine Wahl des Liegeplatzes und sind trotz möglicher Kontaminationen gezwungen sich abzulegen. Bei einem Kuh- /Liegeplatzverhältnis von maximal 1:1 haben Kühe in Laufstallhaltung jedoch die Möglichkeit andere, saubere Liegeflächen aufzusuchen.

Der in dieser Studie beobachtete erhöhte Verschmutzungsgrad der Laufstalltiere, vor allem von Zeitpunkt 1 (vor Umbau) zu Zeitpunkt 2 (sechs Wochen nach Umbau), kann durch eine schlechtere Akzeptanz der Liegeboxen und dem damit einhergehenden erhöhten Stehanteil nach dem Umbau erklärt werden. Längere Steh- und Liegezeiten auf verunreinigten Laufgängen können ebenfalls das Risiko von Verunreinigungen, vor allem im Bereich der unteren Beine erhöhen (Devries et al., 2012; Nielsen et al., 2011).

Überraschenderweise fiel auf, dass sich die Sauberkeit der Tiere nach dem Umbau der Liegeflächen auf Sandbettwaben in allen drei Betrieben verschlechterte. Signifikante Veränderungen zeigten sich vorwiegend in den Regionen am unteren und oberen Hinterbein sowie am Euter. Der Verschmutzungsgrad der Tiere verschlechterte sich vom Ausgangszustand vor dem Umbau der Liegeflächen sowohl zum zweiten Boniturzeitpunkt, sechs Wochen nach dem Umbau (Mai bis Juli), als auch zum dritten Boniturzeitpunkt sechs Monate nach dem Umbau (Februar bis März).

Mögliche Gründe für die Verschlechterung der Sauberkeit können neben den verringerten Liegezeiten unmittelbar nach dem Umbau und somit mehr Stehzeiten auf den verunreinigten Spalten auch eine verminderte Einstreumenge der Liegeflächen aufgrund der Sandbettwabenmatten sein. Die Höhe des Einstreumaterials und das Pflegeintervall der Liegeflächen sind entscheidende Risikofaktoren für die Kuhsauberkeit (Fulwider et al., 2007; Ruud et al., 2011). Dies konnten auch Gieseke et al. (2020) in ihrer Studie bestätigen, wobei sie bei Gummimatten ohne Einstreumaterial im Vergleich zu Tiefstreuboxen eine um 34,2% bzw. 30,5% höhere Verschmutzung der Beine sowie des Euters feststellten.

Des Weiteren kann bei täglichem Weidezugang wie in den Betrieben 1 und 2 zwischen Mai bis September durch den flüssigeren Weidekot die Verschmutzung der Laufgänge und damit auch jene der Liegeboxen zunehmen. Entgegen dieser Aussage zeigten die Ergebnisse von Nielsen et al. (2011) jedoch ein höheres Verschmutzungsrisiko bei Herden ohne Weidezugang aufgrund der eingeschränkten Liegeplatzwahl. Den Tieren in Betrieb 3 stand lediglich ein kleiner, nicht überdachter Auslauf zur Verfügung, somit kann hier eine mögliche Beeinflussung durch Weidezugang ausgeschlossen werden.

Überraschenderweise widerspricht die Auswertung der Liegeboxensauberkeit den Entwicklungen des Verschmutzungsgrades der Kühe. Im Verlauf der Analysen zeigte sich in allen 3 Betrieben eine Verbesserung der Sauberkeit der Liegeflächen, bei einer gleichzeitigen Verschlechterung der Tiersauberkeit. Aufgrund des Einsatzes der Sandbettwabenmatten in den Tiefboxen und der damit einhergehenden Verringerung der Einstreuschicht, sowie weniger Muldenbildung durch die Tiere, sind Verunreinigungen in Form von Kot leichter und schneller zu entfernen. Weiterhin kann für eine Verbesserung der Liegeboxensauberkeit auch ein höheres Einstreuintervall durch die Landwirte ursächlich sein, da die Tiere aufgrund der lockeren Einstreu vermehrt Material aus den Liegeflächen austragen. Demnach kann ein Grund für die gleichzeitige Verbesserung der Liegeboxensauberkeit, bei einer Verschlechterung der Tiersauberkeit in der verminderten Nutzung der Liegeflächen gefunden werden. Eine vermehrte Verschmutzung der Tiere durch verunreinigte Liegeflächen ist grundsätzlich eher auszuschließen, da sich die Liegeboxensauberkeit im Verlauf der Studie bei nahezu allen drei Betrieben verbessert hat.

Aufgrund einer ähnlichen Verschlechterung der Mittelwerte des Verschmutzungsgrades der Tiere zum Boniturzeitpunkt 2 und 3, sind jahreszeitlich bedingte äußere Einflüsse, wie Feuchtigkeit und Regen ebenfalls auszuschließen, da die zweite Bonitur in den trockenen Sommermonaten von Mai bis Juli stattgefunden hat. Die dritte Bonitur fand wiederum in den feuchten Wintermonaten von Januar bis März statt.

Die Strohmatratze verringert sich durch die Verwendung der Sandbettwabe um deren Höhe (10cm), demnach kann nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund der deutlich geringeren Einstreutiefe ein ähnlicher Effekt wie bei der Nutzung von Gummimatten auftritt (Gieseke et al., 2020). Die Ergebnisse der Verschmutzungsgrade der Tiere stehen somit in einem Widerspruch gegenüber der Verbesserung der Liegeflächensauberkeit.

5.2 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf Hautschäden und haarlose Stellen

Erwartungsgemäß zeigten die Tiere in dieser Studie eine eher geringe Prävalenz von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen im Vergleich zum Parameter Verschmutzungsgrad. Es fiel jedoch auf, dass Irritationen vor allem an den distalen Gliedmaßen im Bereich der unteren Hinterbeine und der Vorderbeine bis zum Ellbogen lokalisiert wurden. Im Gegensatz dazu waren kaum Hautschäden bzw. haarlose Stellen am oberen Hinterbein und ventralem Rumpfdrittel festzustellen. Der Grund für die Lokalisation der Irritationen ist mit großer Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass in den Bereichen der unteren Hinter- und Vorderbeine der größte Druck beim Aufsteh- und Abliegevorgang entsteht.

In der Summe aller drei Bonituruntersuchungen in den drei teilnehmenden Betrieben zeigten insgesamt 20,7% der Tiere Hautschäden bzw. haarlose Stellen am unteren Hinterbein und 28,1% am Vorderbein bis Ellbogen. Diese Ergebnisse decken sich mit den Aussagen einiger anderer Studien.

So reicht die Prävalenz von Integumentschäden am Sprunggelenk in der aktuellen Literatur von 47% in Laufställen bis 56% in Anbindeställen (Nash et al., 2016; Zaffino Heyerhoff et al., 2014). Auch im Bereich der Karpalgelenke fanden Brenninkmeyer et al. (2016) sowohl auf Tiefboxen als auch auf Hochboxen Veränderungen in Form von Schwellungen (48%) und haarlosen Stellen (83%). Daraus wird deutlich, dass Irritationen in Form von Hautschäden, haarlosen Stellen oder auch Verletzungen vor allem an den distalen Gliedmaßen auftreten, da die Tiere in diesem Bereich stets Kontakt mit der Liegeoberfläche beim Liegevorgang haben. Eine vermehrte Empfindlichkeit zeigen hierbei die Bereiche des Sprung- und Karpalgelenks aufgrund des direkt unter der Haut liegenden Knochens und somit ausbleibender Polsterung durch Muskulatur oder Fettgewebe.

Die Ergebnisse zeigten nur in den Betrieben 2 und 3 signifikante Veränderungen bei den Körperregionen unteres Hinterbein und Vorderbein bis Ellbogen. Dabei war auffällig, dass sich die Prävalenz von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen vom Boniturzeitpunkt 1 zum Boniturzeitpunkt 3, sechs Monate nach dem Umbau der Liegeflächen, signifikant

verschlechterte. Zusätzlich zeigte sich bereits vom ersten zum zweiten Boniturzeitpunkt ein kurzfristiger, signifikanter Anstieg bei Betrieb 2 im Bereich des unteren Hinterbeins.

Dieser erkennbare Anstieg von Hautschäden und haarlosen Stellen, kann damit begründet werden, dass aufgrund der Höhe der Sandbettwaben, weniger Einstreumaterial in den Liegeboxen nach dem Umbau vorhanden ist und die Tiere vermehrt direkten Kontakt zur PVC-Oberfläche der Sandbettwabenmatte haben. Diese Vermutung wird durch Erkenntnisse aus einer Studie von Gieseke et al. (2020) gestützt, worin Tiere eine um 13,1% verminderte Prävalenz von Integumentschäden in Tiefboxen im Vergleich zu Hochboxen mit Gummimatten aufwiesen. Auch in der Studie von Brenninkmeyer et al. (2013) zeigten Tiere auf weicheren Liegeoberflächen eine um 17,2% verminderte Prävalenz von Integumentschäden.

Sowohl Potterton et al. (2011) als auch Ivemeyer et al. (2009) beschreiben, dass das Auftreten von Integumentschäden und Irritationen in Abhängigkeit mit der Gestaltung und Beschaffenheit des Einstreumaterials und der Einstreutiefe stehen. Aufgrund der oben genannten Ergebnisse ist davon auszugehen, dass sich die Qualität der Liegeflächen durch den Umbau hinsichtlich Einstreumenge, Weichheit und Komfort nicht verbessert hat und ein vermehrtes Auftreten von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen bedingt.

Um eine Verminderung von Irritationen an den distalen Gliedmaßen zu erreichen, ist darüber nachzudenken, zukünftige Sandbettwabenliegeflächen mit einer höheren Strohmatratze einzustreuen.

5.3 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf das Wiederkauverhalten und die Bewegungsaktivität

Die Auswertungen der SmaXtecs Pansenboli Analysen umfassten die Betriebe 1 und 3. Aufgrund einer zu geringen Anzahl an Kühen, welche mit Pansenboli ausgestattet waren, wurde Betrieb 2 aus den Analysen ausgeschlossen. Die Ergebnisse zeigten bei Betrieb 1 einen signifikanten Anstieg der Bewegungsaktivität sowie einen Abfall der Wiederkauaktivität unmittelbar nach dem Umbau der Liegeflächen. Bei Betrieb 3 waren hingegen keine nennenswerten Veränderungen auffällig.

Die Wiederkauaktivität wird von verschiedenen Faktoren wie zum Beispiel Umwelteinflüssen, Gesundheitszustand, Brunstzyklus oder auch Stress beeinflusst (Lindgren, 2009; Mălăncuș und Mălăncuș, 2016). In verschiedenen Studien wurden Einflüsse, welche die Wiederkau- und Bewegungsaktivität beeinflussen untersucht. So stellte Lindgren (2009) fest, dass das Wiederkauen vom Tier freiwillig kontrolliert und aufgrund von Störungen wie z.B. während des Melkvorgangs unterbrochen wird. Außerdem führen unerwartete Ereignisse wie

Schmerzzustände, Stress, Hunger, Angst oder Krankheiten ebenfalls zu einer Verkürzung der Wiederkauaktivität (Acatincăi et al., 2010). Die Parameter Wiederkauaktivität und Bewegungsaktivität stehen in enger Beziehung zueinander, sodass eine Steigerung der Bewegungsaktivität mit einer Verminderung der Wiederkauaktivität einhergeht (Mălăncuș und Mălăncuș, 2016). Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die Tiere aufgrund der Störung durch den Liegeflächenumbau eine Verminderung der Wiederkauaktivität und Steigerung der Bewegungsaktivität zeigten. Unterstützend dazu decken sich diese Ergebnisse mit den verminderten Liege- und gestiegenen Steh-/ Gehzeiten der Tiere sechs Wochen nach dem Umbau.

In dieser Studie zeigten die Tiere durchschnittliche Wiederkauzeiten von 471 Minuten/Tier und Tag bis maximal 546 Minuten/Tier und Tag. Ähnliche Wiederkauzeiten zwischen 420 bis 540 Minuten/Tier und Tag sind in anderen Studien beschrieben (Acatincăi et al., 2010; Welch et al., 1970).

Ein möglicher Zusammenhang mit dem Weideaustrieb kann bei Betrieb 1 in allen drei Analysezeiträumen ausgeschlossen werden, da die Tiere aufgrund von Witterungsbedingungen erst im Folgemonat Weidezugang hatten.

Die Ergebnisse der beiden Betriebe lassen vermuten, dass die festgestellten kurzzeitigen Veränderungen der Wiederkau- und Bewegungsaktivität in den beiden ersten Wochen nach dem Umbau der Liegeflächen, aufgrund von Stress durch die Umbaumaßnahmen hervorgerufen wurden. Bereits nach sechs Monaten haben sich die Werte der Wiederkau- und Bewegungsaktivität wieder an die Ausgangswerte von vor dem Umbau angenähert. Aufgrund der nur kurzzeitigen Veränderungen der Werte ist demnach davon auszugehen, dass die Verwendungen der Sandbettwabenmatten nur einen geringen bis vernachlässigbaren Einfluss auf die Wiederkau- und Bewegungsaktivität von Milchkühen hat.

5.4 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf das Liege- und Steh-/Gehverhalten

Das Liege- und Steh-/Gehverhalten der Milchkühe zeigte in den drei teilnehmenden Betrieben zum Teil erhebliche Unterschiede in drei aufeinanderfolgenden Intervallen. Überraschenderweise fiel lediglich bei den beiden österreichischen Betrieben 1 und 2 mit einer durchschnittlichen Herdengröße von 25 Tieren, ein grundsätzlich höherer täglicher Steh-/Geh- als Liegeanteil über den gesamten Auswertungszeitraum hinweg auf. Eine mögliche Ursache in diesem Verhalten kann in der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit vermutet werden. In den Betrieben 1 und 2 lagen die Tagesdurchschnittstemperaturen in den beiden ersten Intervallen (Sommer) zwischen 12 - 19 Grad Celsius, bei einer

durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 72 - 79 % bzw. 4 - 5 Grad Celsius und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 74 - 78 % im dritten Auswertungsintervall (Winter) (Meteoblue, 2022).

Einige Studien untersuchten das Liegeverhalten laktierender Milchkühe bei steigenden Temperaturen und steigendem THI. Die optimale Lufttemperatur für laktierende Milchkühe liegt dabei zwischen 4 bis 15 Grad Celsius bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 50 - 80 % (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV), 2009). Die Autoren Hut et al. (2022); Mattachini et al. (2017); Nordlund et al. (2019); Schütz et al. (2020) stellten jedoch fest, dass die Tiere bereits ab einer Tagesdurchschnittstemperatur von 12 Grad Celsius und einem mittleren THI von 56 deutliche Veränderungen in ihrem Liegeverhalten zeigen. So verringerte sich die Liegezeit von Kühen um $6 \pm 1,5$ min pro Tag bei einem Temperaturanstieg von 1 Grad Celsius (Schütz et al., 2020).

Aus diesen Erkenntnissen kann man schlussfolgern, dass die täglichen Liege- und Steh-/Gehzeiten von den klimatischen Bedingungen beeinflusst werden. Zum einen ist davon auszugehen, dass die höheren Tagesdurchschnittstemperaturen zwischen 12 - 19 Grad Celsius (Intervall 1 und 2) sowie eine relative Luftfeuchtigkeit von stets über 72 % (Intervall 1 bis 3), sowohl bei Betrieb 1 als auch bei Betrieb 2, längere tägliche Stehzeiten hervorgerufen haben. Zum anderen gibt der Anstieg der täglichen Liegedauer bzw. der Abfall der täglichen Geh-/Stehdauer von Intervall 2 zu Intervall 3 (Betrieb 1 und 2), einen Hinweis darauf, dass die Tiere bei wärmeren Temperaturen vermehrt Stehen und bei kälteren Temperaturen vermehrt Liegen. Diese Aussage wird durch die Studie von Acatincăi et al. (2010) gestützt, indem sie herausfanden, dass Kühe bei höheren Temperaturen vermehrt stehen, um ihre Körpertemperatur mit Hilfe eines kühlen Luftstroms zu regulieren.

Zusätzlich können bei Betrieb 2 längere tägliche Steh-/Gehzeiten durch den Weidebetrieb in den Monaten Mai bis September bedingt sein. Diese Erkenntnis unterstützen auch die Auswertungen von Tucker et al. (2021). Sie fanden heraus, dass Tiere in Systemen mit freien Liegeflächen wie Weide, geringere Liegezeiten (9 h/Tag) hatten als Tiere in reiner Laufstallhaltung (10-12 h/Tag). Dies wird damit begründet, dass Weidetiere längere Fresszeiten als Tiere im Stall, aufgrund einer langsameren Futteraufnahme auf der Weide zeigen. Angesichts der Tatsache, dass die Steh-/Gehzeit in allen drei Auswertungszeiträumen sowohl vor, während und auch nach der Weidesaison deutlich über der Liegezeit lag, kann in diesem Fall jedoch davon ausgegangen werden, dass der Weidezugang nur einen geringen, bis keinen Einfluss hatte.

Bei Betrieb 1 war ein signifikanter Abfall der täglichen Liegedauer bzw. Anstieg der Steh-/Gehdauer von Intervall 1 zu Intervall 2 erkennbar. Diese Veränderung ist mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auf die Störung bzw. Veränderung der Liegeboxen aufgrund des Umbaus

zurückzuführen, da die tägliche Liegedauer langfristig nach dem Umbau (Intervall 3) angestiegen ist. Diese Beobachtung wird durch eine Steigerung des täglichen Liegeanteils um circa 3,6 % bestätigt.

Ähnlich zu den Entwicklungen in Betrieb 1, wiesen auch die Tiere in Betrieb 3 eine langfristige Steigerung der Liegezeit auf, jedoch verringerte sich die Anzahl der täglichen Liege- und Steh-/Gehperioden signifikant. Dies kann einerseits ein Hinweis auf ein Vermeidungsverhalten der Kühe sein, indem sie typischerweise weniger Liege- und Steh-/Gehperioden bei gleicher bzw. steigender Liegedauer in Minuten/Tag aufweisen und andererseits auch eine Anpassung an die neu gestalteten Liegeflächen aufgrund der langfristig gestiegenen täglichen Liegedauer von Intervall 1 zu Intervall 3 zeigen.

5.5 Einfluss der Sandbettwabenmatten auf die Milchleistung

Die Auswertung der monatlichen Milchleistungsergebnisse zeigt bei den Betrieben 1 und 3 einen kontinuierlichen und signifikanten Rückgang der durchschnittlichen täglichen Herdenmilchleistung vom Monat vor dem Umbau zu den beiden Monaten nach dem Umbau. Des Weiteren ist bei beiden Betrieben ein Anstieg der durchschnittlichen Laktationstage der Gesamtherde auffällig. Unabhängig von äußeren Einflüssen oder zusätzlich einwirkenden Faktoren ist davon auszugehen, dass die durchschnittliche Herdenmilchleistung bei steigenden Laktationstagen grundsätzlich abnimmt.

Aufgrund des Feldversuchs und den damit einhergehenden zusätzlichen äußeren Einflüssen sowie nur schwer einkalkulierbarer Faktoren, wie zum Beispiel Futterwechsel, Temperaturschwankungen oder Stress, lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Umbau der Liegeflächen auf Sandbettwaben und den Auswirkungen auf die Herdenmilchleistung feststellen.

6 Schlussfolgerung

Bei der Analyse einer neuartigen Sandbettwabenmatte zur Verwendung in herkömmlichen Tiefstreuboxen, um die Milchviehhaltung in Bezug auf Milchleistung, die Qualität der Liegeboxen sowie verschiedenen Tierwohlparameter zu untersuchen, traten sehr differenzierte Ergebnisse auf.

Die Erwartungen, dass die Sandbettwaben für eine Steigerung der Herdenliegezeit sorgen, können nur bedingt bestätigt werden. Die Betriebe 1 und 2 zeigten unabhängig vom Umbauzustand der Liegeflächen einen durchweg höheren Steh-/Geh- als Liegeanteil während des Auswertungszeitraums, wohingegen die Tiere in den Betrieben 1 und 3 eine langfristige Steigerung der täglichen Liegezeit von Intervall 1 (vor Umbau) zu Intervall 3 (mind. sechs Monate nach Umbau) um circa 6,5 % (Betrieb 1) bzw. 7,9 % (Betrieb 3) aufwiesen.

Überraschenderweise liegt bei Hypothese 2 ein deutlicher Widerspruch vor. Die Annahme, dass die Sandbettwaben für sauberere Liegeflächen und demnach auch für eine Verbesserung der Tiersauberkeit bzw. des Tierwohls sorgen muss widerlegt werden, da die Liegeflächen im Verlauf der Auswertung zwar durchweg sauberer und trockener wurden, jedoch zeigten die Tiere in allen 3 Betrieben eine Zunahme des Verschmutzungsgrades nach dem Umbau, vor allem im Bereich der distalen Gliedmaßenabschnitte. Die Verschlechterung der Tiersauberkeit kann somit aufgrund des Widerspruchs nicht auf den Pflegezustand der Liegeoberfläche zurückgeführt werden und ist unabhängig davon zu beurteilen. Ursachen für die Verschlechterung der Tiersauberkeit können häufigeres Liegen auf Spaltenböden oder längere Stehzeiten auf verschmutzten Laufgängen sein, wodurch auch die Liegeflächen sauberer waren, da sie von den Tieren seltener genutzt werden.

Der Parameter Integumentschäden ermöglicht nur in begrenztem Umfang Rückschlüsse auf die Tierwohlsituation auf den Sandbettwabenmatten, da Irritationen wie Hautschäden bzw. haarlose Stellen auf Liegeflächen mit einer Strohmatratze in deutlich geringerem Umfang als bei Hochboxen mit Gummimatten auftreten. Auffällig war jedoch, dass die Tiere bei keinem der drei Betriebe eine Verminderung der Integumentschäden zeigten. Im Gegensatz dazu traten bei den Betrieben 2 und 3 nach dem Umbau sogar vermehrt Hautschäden bzw. haarlose Stellen auf. Dies kann auf die deutlich geringere Höhe der Strohmatratze in den Liegeboxen mit Sandbettwabenmatten im Vergleich zu herkömmlichen Tiefboxen zurückgeführt werden. Demnach muss Hypothese 3, dass der Einsatz der Sandbettwabenmatten die Integumentschäden reduziert, ebenfalls widerlegt werden.

Die Auswertung der Milchleistungsdaten verdeutlichte bei den Betrieben 1 und 3 einen kontinuierlichen Abfall der Milchleistung, unabhängig vom Umbauzustand der Liegeflächen. Bei Betrieb 2 blieb das Milchleistungsniveau über den gesamten Auswertungszustand nahezu

gleich. Der Rückgang der Milchleistung ist jedoch differenziert zu betrachten, da gleichzeitig die Anzahl der Laktationstage in allen Betrieben gestiegen ist. Erwartungsgemäß zeigen laktierende Milchkühe bei steigender Laktationszahl eine Verminderung der Milchleistung. Demnach kann zu Hypothese 4, die besagt, dass die Verwendung von Sandbettwabenmatten die Milchleistung erhöht, aufgrund des in dieser Studie vorliegenden Versuchsaufbaus keine finale Aussage getroffen werden.

Abschließend kann man sagen, dass die Ergebnisse aus den Auswertungen sehr breit gestreut ausfallen und zum Teil in Widerspruch zueinanderstehen. Aufgrund des Feldversuchs und den damit einhergehenden zusätzlichen äußeren Einflüssen kann bei einigen Parametern bzw. Ergebnissen nicht auf die reine Auswirkung der Sandbettwaben geschlussfolgert werden. Die positiven Effekte des Umbaus der Liegeflächen auf Sandbettwabenmatten zeigten sich bei zwei Betrieben in einer langfristigen Steigerung der täglichen Liegezeit sowie in einer Verbesserung der Liegeboxensauberkeit in allen drei Betrieben. Aufgrund der Verschlechterung der Tiersauberkeit und des vermehrten Auftretens von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen im Zuge des Umbaus ist davon auszugehen, dass es aus Sicht des Tierschutzes vermutlich keine Verbesserung des Tierwohls in den teilnehmenden Betrieben gibt.

Entsprechend den Ergebnissen und Auswertungen dieser Studie wurde gezeigt, dass die Sandbettwabenmatten eine zusätzliche Alternative für die Gestaltung von Liegeboxen darstellen und vor allem in Bezug auf die Liegeboxensauberkeit sowie den täglichen Arbeitsaufwand aufgrund der geringeren Einstreumenge sowohl zeitliche als auch finanzielle Vorteile bieten. Die Verwendung von Sandbettwabenmatten ersetzt jedoch keine herkömmliche, gut gepflegte Tiefstreubox.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, erste Erkenntnisse über Veränderungen von Tierwohlparametern und dem Verhalten bei laktierenden Milchkühen durch die Verwendung von Sandbettwabenmatten in herkömmlichen Tiefstreuboxen zu gewinnen.

Die Untersuchungen wurden im Zeitraum von März 2022 bis März 2023 in drei Milchviehbetrieben in Bayern und Österreich durchgeführt. Insgesamt flossen Daten von etwa 100 laktierenden Milchkühen in Laufstallhaltung in die Auswertung ein. Die erste Analyse erfolgte zunächst im Istzustand der Herden, die zweite unmittelbar bis zu sechs Wochen nach dem Umbau auf die Sandbettwabenmatten und die dritte sechs Monate nach dem Umbau.

Die Auswertungen umfassten sowohl Parameter auf Herdenebene als auch in der Einzeltierbetrachtung. Um die Entwicklung der Gesamtherde beurteilen zu können, wurden die monatlichen Milchleistungsdaten analysiert. Auf Einzeltierebene wurden im Verlauf der Auswertungen neben verschiedenen Tierwohlparametern wie dem Verschmutzungsgrad der Tiere, Hautschäden, haarlosen Stellen und der Liegeboxensauberkeit auch Liege- und Steh-/Gehzeiten der Tiere, das Wiederkauverhalten sowie die Bewegungsaktivität berücksichtigt, um Veränderungen durch den Liegeflächenumbau zu verdeutlichen.

Bei allen drei Betrieben konnte direkt nach dem Umbau eine signifikante Verschlechterung ($p < 0,05$) des Verschmutzungsgrades im Bereich der Hinterbeine sowie am Euter festgestellt werden. Veränderungen in Form von Hautschäden bzw. haarlosen Stellen zeigten sich im Ausgangszustand an den unteren Hinterbeinen mit 20,7% (119 von 576 Körperregionen mit Grad 1 oder 2) und an den Vorderbeinen bis zum Ellbogen mit 28,1% (162 von 576 Körperregionen mit Grad 1 oder 2). Im Verlauf des Umbaus gab es bis zum dritten Boniturzeitpunkt einen signifikanten Anstieg der Mittelwerte bei den Betrieben 2 und 3 ($p < 0,05$).

Bei der Analyse der Wiederkau- und Bewegungsaktivität war lediglich ein kurzzeitiger signifikanter Rückgang der Wiederkauaktivität und ein Anstieg der Bewegungsaktivität, in den ersten beiden Wochen nach dem Umbau bei Betrieb 1 auffällig. Im Gegensatz dazu hat sich das Liegeverhalten bei Betrieb 1 und 3 langfristig um circa 6,5 % bzw. 7,9 % verbessert ($p < 0,05$). Zudem wurde bei allen drei Betrieben eine Verbesserung der Liegeboxensauberkeit zwischen dem ersten Untersuchungszeitpunkt und dem zweiten bzw. dritten Untersuchungszeitpunkt festgestellt, während die Milchleistung bei allen drei Betrieben gesunken (Betrieb 1 und 3) oder gleich geblieben ist (Betrieb 2).

Mit dieser Studie sollten erste Erkenntnisse gesammelt werden, um das Produkt Sandbettwabenmatte zu optimieren und tiergerechter zu gestalten.

Zusammenfassend lässt sich nach der Auswertung der Ergebnisse feststellen, dass eine herkömmliche, gut gepflegte Tiefbox mit ausreichend Einstreumaterial einen höheren Standard hinsichtlich Tierwohl und Liegekomfort bietet als andere Liegeflächen (z. B. Sandbettwabenmatten). Durch die Verwendung von Sandbettwabenmatten kann, unterstützt durch tägliche Pflege und ausreichendes Einstreumaterial, die Liegeboxensauberkeit verbessert, die Herdenliegezeit gesteigert und der tägliche Arbeitsaufwand sowie die Einstreukosten gesenkt werden.

In zukünftigen Studien sollten die Untersuchungen zu den Sandbettwabenmatten in ähnlichen Jahreszeiten durchgeführt werden, um jahreszeitlich bedingte Veränderungen auszuschließen. Zudem sollten alle Untersuchungsparameter während des gesamten Auswertungszeitraums parallel erhoben werden, um eine bessere Interpretation der Zusammenhänge zu ermöglichen.

Da die Studie in Zusammenarbeit mit der Firma Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG (Tacherting/OT Emertsham, Deutschland) als Feldversuch durchgeführt wurde, sind die Ergebnisse, die mit Hilfe von standardisierten Parametern erhoben wurden, stets im Kontext äußerer Einflüsse, wirtschaftlicher und betrieblicher Faktoren sowie der jeweiligen Haltungsumwelt der Tiere zu interpretieren.

8 Summary

The aim of this study was to gain initial insights into changes in animal welfare parameters and behavior in lactating dairy cows through the use of sand mattress systems in conventional deep straw bedding.

The investigations were conducted from March 2022 to March 2023 on three dairy farms in Bavaria and Austria. A total of data from approximately 100 lactating dairy cows in loose housing systems were included in the analysis. The first analysis was conducted based on the initial condition of the herds, the second immediately up to six weeks after the conversion to sand mattresses and the third six months after the conversion.

The evaluations included parameters at both herd and individual animal levels. To assess the overall development of the herd, the monthly milk performance data were analyzed. At the individual animal level, various animal welfare parameters such as the degree of soiling, skin lesions, hairless areas and the cleanliness of the lying areas as well as the lying and standing/moving times, rumination behavior and activity levels were considered to highlight changes due to the conversion of the lying areas.

At all three farms, a significant deterioration ($p < 0.05$) in the degree of soiling was observed in the area of the hind legs and the udder immediately after the conversion. Changes in the form of skin lesions or hairless areas were evident in the initial state at the lower hind legs with 20.7% (119 out of 576 body regions with grades 1 or 2) and at the front legs up to the elbow with 28.1% (162 out of 576 body regions with grades 1 or 2). During the course of the conversion, a significant increase in mean values was observed at farms 2 and 3 by the third assessment time point ($p < 0.05$).

In the analysis of rumination and activity levels, only a short-term significant decrease in rumination activity and an increase in activity levels were noticeable in the first two weeks after the conversion at farm 1. In contrast, the lying behavior improved long-term by approximately 6.5 % and 7.9 % at farms 1 and 3, respectively ($p < 0.05$). Additionally, an improvement in the cleanliness of the lying areas was noted at all three farms between the first and the second or third assessment points, while milk performance decreased (farms 1 and 3) or remained the same (farm 2).

This study aimed to gather initial insights to optimize the sand mattress product and make it more animal friendly.

In summary, after analyzing the results, it can be stated that a conventional, well-maintained deep bedding system with adequate bedding material offers a higher standard regarding animal welfare and lying comfort compared to other lying surfaces (high beds, sand mattress systems, etc.). By using sand mattresses, supported by daily care and sufficient bedding

material, the cleanliness of the lying area can be improved, herd lying time can be increased, and daily labor as well as bedding costs can be reduced.

In future studies, investigations on sand mattresses should be conducted in similar seasons to exclude seasonally variations. Furthermore, all examination parameters should be collected in parallel throughout the entire evaluation period to allow for better interpretation of the relationships.

Since the study was conducted in collaboration with Oberleitner Windschutz GmbH & Co. KG (Tacherting/OT Emertsham, Germany) as a field trial, the results obtained using standardized parameters must always be interpreted in the context of external influences, economic and operational factors, as well as the specific housing environment of the animals.

9 Literaturverzeichnis

- Acatincăi, S., Gavojdian, D., Stanciu, G., Csiszter, L. T., Tripon, I. und Baul, S. (2010). Study Regarding Rumination Behavior in Cattle – Position Adopted by Cows During Rumination Process. *Animal Science and Biotechnologies*, 43(2), 199-202.
- Andreasen, S. N. und Forkman, B. (2012). The welfare of dairy cows is improved in relation to cleanliness and integument alterations on the hocks and lameness when sand is used as stall surface. *J Dairy Sci*, 95(1), 4961–4967.
- Bartussek, H., Lenz, V., Ofner-Schröck, E., Würzl, H. und Zortea, W. (2002). *Rinderstallbau 3. Auflage*.
- Beauchemin, J., Frechette, A., Theriault, W., Dufour, S., Fravallo, P. und Thibodeau, A. (2022). Comparison of microbiota of recycled manure solids and straw bedding used in dairy farms in eastern Canada. *J Dairy Sci*, 105(1), 389-408.
- Beauchemin, K. A. (2018). Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *J Dairy Sci*, 101(6), 4762-4784.
- Brenninkmeyer, C., Dippel, S., Brinkmann, J., March, S., Winckler, C. und Knierim, U. (2013). Hock lesion epidemiology in cubicle housed dairy cows across two breeds, farming systems and countries. *Prev Vet Med*, 109(3-4), 236-245.
- Brenninkmeyer, C., Dippel, S., Brinkmann, J., March, S., Winckler, C. und Knierim, U. (2016). Investigating integument alterations in cubicle housed dairy cows: which types and locations can be combined? *Animal*, 10(2), 342-348.
- Brinkmann, J., Cimer, K., March, S., Ivemeyer, S., Pelzer, A., Schultheiß, U., Zapf, R. und Winckler, C. (2020). KTBL Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Rind.
- Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV). (2009). Fachinformation Tierschutz - Stallklimawerte und ihre Messung in Rinderhaltungen.
- Campler, M. R., Jensen, M. B. und Munksgaard, L. (2018). The effect of deep straw versus cubicle housing on behaviour during the dry period in Holstein cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 209, 1-7.
- Chen, J. M., Stull, C. L., Ledgerwood, D. N. und Tucker, C. B. (2017). Muddy conditions reduce hygiene and lying time in dairy cattle and increase time spent on concrete. *J Dairy Sci*, 100(3), 2090-2103.
- Cook, N. B. (2020). Symposium review: The impact of management and facilities on cow culling rates. *J Dairy Sci*, 103(4), 3846-3855.
- Cook, N. B., Hess, J. P., Foy, M. R., Bennett, T. B. und Brotzman, R. L. (2016). Management characteristics, lameness, and body injuries of dairy cattle housed in high-performance dairy herds in Wisconsin. *J Dairy Sci*, 99(7), 5879-5891.

-
- de Vries, M., Bokkers, E. A., van Reenen, C. G., Engel, B., van Schaik, G., Dijkstra, T. und de Boer, I. J. (2015). Housing and management factors associated with indicators of dairy cattle welfare. *Prev Vet Med*, 118(1), 80-92.
- Deming, J. A., Bergeron, R., Leslie, K. E. und DeVries, T. J. (2013). Associations of housing, management, milking activity, and standing and lying behavior of dairy cows milked in automatic systems. *J Dairy Sci*, 96(1), 344-351.
- Devries, T. J., Aarnoudse, M. G., Barkema, H. W., Leslie, K. E. und von Keyserlingk, M. A. (2012). Associations of dairy cow behavior, barn hygiene, cow hygiene, and risk of elevated somatic cell count. *J Dairy Sci*, 95(10), 5730-5739.
- Dirksen, N., Gyga, L., Traulsen, I., Wechsler, B. und Burla, J. B. (2020). Body size in relation to cubicle dimensions affects lying behavior and joint lesions in dairy cows. *J Dairy Sci*, 103(10), 9407-9417.
- EU-Öko-Basisverordnung. (2018). Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates, die zuletzt durch die Verordnung (EU) 2020/1693 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. November 2020 geändert worden ist.
- EU-Verordnung. (1988). Europäisches Übereinkommen zum Schutz von Tieren in Landwirtschaftlichen Tierhaltungen - Empfehlung für das Halten von Rindern, angenommen vom Ständigen Ausschuss auf dessen 17. Tagung am 21. November 1988.
- Fulwider, W. K., Grandin, T., Garrick, D. J., Engle, T. E., Lamm, W. D., Dalsted, N. L. und Rollin, B. E. (2007). Influence of Free-Stall Base on Tarsal Joint Lesions and Hygiene in Dairy Cows.pdf. *J Dairy Sci*, 90(1), 3559-3566.
- Gasteiner, J. (2014). Hitzestress bei Milchkühen. *Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein*, 25-28.
- Gieseke, D., Lambertz, C. und Gauly, M. (2020). Effects of cubicle characteristics on animal welfare indicators in dairy cattle. *Animal*, 14(9), 1934-1942.
- Göttl, M. V. (2022). *Einfluss unterschiedlicher ökologischer Haltungssysteme auf wesentliche Tierwohl- und Leistungsparameter bei Milchkühen in Naturlandbetrieben in Bayern*
- Haidn, B. und Leicher, C. (2015). Maßnahmen zur Verbesserung des Tierwohls im Milchviehstall. *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung*, 15-40.
- Haley, D. B., Passille, A. M. d. und Rushen, J. (2001). Assessing cow comfort- effects of two floor types and two tie stall designs on the behaviour of lactating dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 71(1), 105-117.

-
- Hut, P., Scheurwater, J., Nielen, M., van den Broek, J. und Hostens, M. (2022). Heat stress in a temperate climate leads to adapted sensor-based behavioral patterns of dairy cows. *J Dairy Sci*, 105(8), 6909-6922.
- Ito, K., Chapinal, N., Weary, D. M. und von Keyserlingk, M. A. (2014). Associations between herd-level factors and lying behavior of freestall-housed dairy cows. *J Dairy Sci*, 97(4), 2081-2089.
- Ivemeyer, S., Werne, S., Heil, F., Maeschli, A., Notz, C., Schneider, C., Staehli, P., Walkenhorst, M. und Klocke, P. (2009). Einfluss der Haltungsindikatoren Integumentschäden und Sauberkeit auf die Eutergesundheit von Milchkühen. *Band 2: Tierhaltung, Agrarpolitik und Betriebswirtschaft, Märkte und Lebensmittel*, 54-57.
- Kester, E., Holzhauer, M. und Frankena, K. (2014). A descriptive review of the prevalence and risk factors of hock lesions in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 202(2), 222-228.
- Lardy, R., des Roches, A. B., Capdeville, J., Bastien, R., Mounier, L. und Veissier, I. (2021). Refinement of international recommendations for cubicles, based on the identification of associations between cubicle characteristics and dairy cow welfare measures. *J Dairy Sci*, 104(2), 2164-2184.
- Lindgren, E. (2009). Validation of rumination measurement equipment and the role of rumination in dairy cow time budgets. *Swedish University of Agricultural Sciences Department of Animal Nutrition and Management*.
- LKV Bayern. (2022). LKV Jahresbericht 2022 - Leistungsprüfung und Beratung in der Milchviehhaltung in Bayern.
- LKV Salzburg. (2022). LKV Jahresbericht 2022 - Leistungsprüfung und Beratung in der Milchviehhaltung in Salzburg.
- Madureira, A., Silper, B., Burnett, T., Polsky, L., Cruppe, L., Veira, D., Vasconcelos, J. und Cerri, R. (2015). Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 98(10), 7003-7014.
- Mălăncuș, R. und Mălăncuș, C. (2016). Relationship Between Daily Rumination Time, Physical Activity, Estrus and Metabolic Changes in Dairy Cows. *Bulletin UASVM Veterinary Medicine* 73(2).
- Manninen, E., Passille, A. M. d., Rushen, J., Norring, M. und Saloniemi, H. (2002). Preferences of dairy cows kept in unheated buildings for different kind of cubicle flooring. *Applied Animal Behaviour Science* 75(1), 281-292.
- Mattachini, G., Bava, L., Sandrucci, A., Tamburini, A., Riva, E. und Provolo, G. (2017). Effects of feed delivery frequency in different environmental conditions on time budget of lactating dairy cows. *J Dairy Res*, 84(3), 272-279.

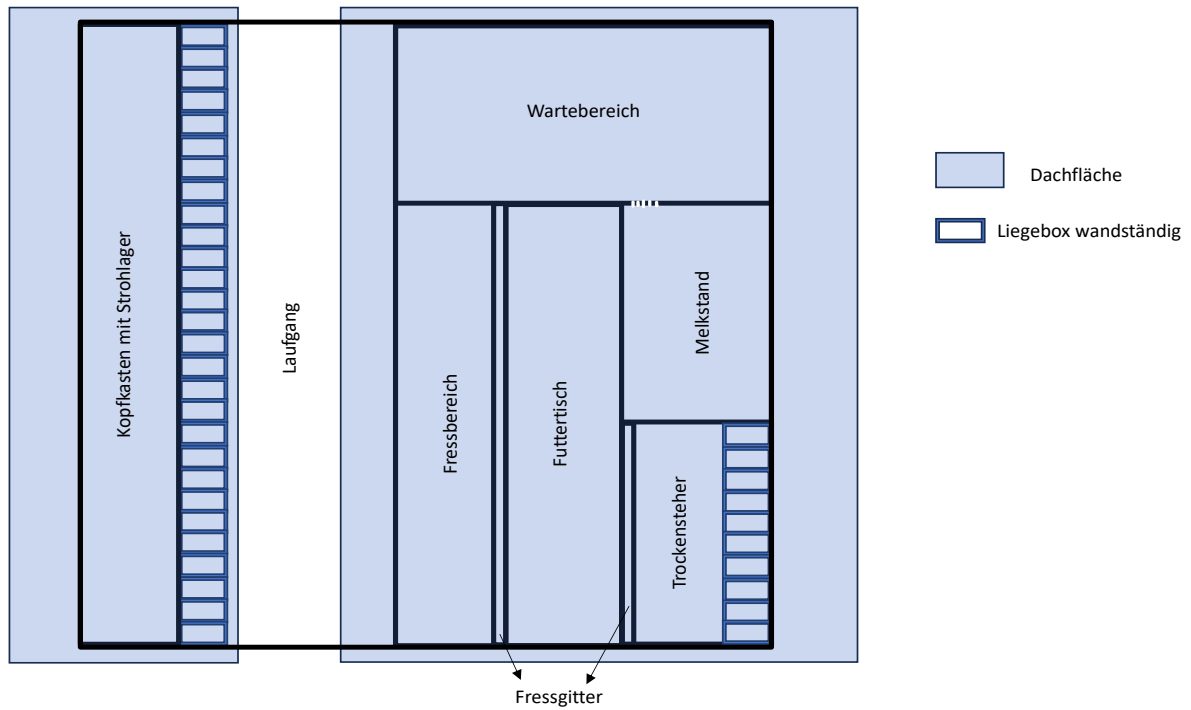
-
- McPherson, S. und Vasseur, E. (2020). Graduate Student Literature Review: The effects of bedding, stall length, and manger wall height on common outcome measures of dairy cow welfare in stall-based housing systems. *J Dairy Sci*, 103(11), 10940-10950.
- McPherson, S. und Vasseur, E. (2021). Making tiestalls more comfortable: IV. Increasing stall bed length and decreasing manger wall height to heal injuries and increase lying time in dairy cows housed in deep-bedded tiestalls. *J Dairy Sci*, 104(3), 3339-3352.
- Meteoblue. (2022). *Wetterarchiv St. Michael im Lungau*. <https://www.meteoblue.com/de/wetter/historyclimate/weatherarchive/st.-michael-im-lungau>
- Nash, C., Kelton, D., DeVries, T., Vasseur, E., Coe, J., Zaffino Heyerhoff, J., Bouffard, V., Pellerin, D., Rushen, J., de Passille, A. M. und Haley, D. (2016). Prevalence of and risk factors for hock and knee injuries on dairy cows in tiestall housing in Canada. *J Dairy Sci*, 99(8), 6494-6506.
- Nielsen, B., Thomsen, P. und Sorensen, J. (2011). Identifying risk factors for poor hind limb cleanliness in Danish loose-housed dairy cows. *Animal*, 5(10), 1613-1619.
- Nordlund, K., Strassburg, P., Bennett, T., Oetzel, G. und Cook, N. (2019). Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *J Dairy Sci*, 102(7), 6495-6507.
- Norring, M., Valros, A. und Munksgaard, L. (2012). Milk yield affects time budget of dairy cows in tie-stalls. *J Dairy Sci*, 95(1), 102-108.
- Ofner-Schröck, E. (2013). Praktische Beurteilung der Tiergerechtheit von Haltungssystemen 6. *Tierärztetagung Lehr - und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013*, 61-66.
- Paudyal, S. (2021). Using rumination time to manage health and reproduction in dairy cattle: a review. *Vet Q*, 41(1), 292-300.
- Potterton, S., Green, M., J. Harris, K. Millar, Whay, H. und Huxley, J. (2011). Risk factors associated with hair loss, ulceration, and swelling at the hock in freestall-housed UK dairy herds. *J Dairy Sc*, 94(1), 2952-2963.
- Robles, I., Kelton, D., Barkema, H., Keefe, G., Roy, J. P., von Keyserlingk, M. und DeVries, T. (2019). Bacterial concentrations in bedding and their association with dairy cow hygiene and milk quality. *Animal*, 14(5), 1052-1066.
- Ruud, L., Kielland, C., Østerås, O. und Bøe, K. (2011). Freestall cleanliness is affected by stall design.pdf. *Livestock Science*, 135(1).
- Schütz, K., Cave, V., Cox, N., Huddart, F. und Tucker, C. (2019). Effects of 3 surface types on dairy cattle behavior, preference, and hygiene. *J Dairy Sci*, 102(2), 1530-1541.

-
- Schütz, K., Huddart, F. und Cave, V. (2020). Do dairy cattle use a woodchip bedded area to rest on when managed on pasture in summer? *Applied Animal Behaviour Science*, 223(1).
- Solano, L., Barkema, H., Pajor, E., Mason, S., LeBlanc, S., Nash, C., Haley, D., Pellerin, D., Rushen, J., de Passille, A. M., Vasseur, E. und Orsel, K. (2016). Associations between lying behavior and lameness in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *J Dairy Sci*, 99(3), 2086-2101.
- Solano, L., Barkema, H., Pajor, E., Mason, S., LeBlanc, S., Zaffino Heyerhoff, J., Nash, C., Haley, D., Vasseur, E., Pellerin, D., Rushen, J., de Passille, A. M. und Orsel, K. (2015). Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *J Dairy Sci*, 98(10), 6978-6991.
- Stone, A., Jones, B., Becker, C. und Bewley, J. (2017). Influence of breed, milk yield, and temperature-humidity index on dairy cow lying time, neck activity, reticulorumen temperature, and rumination behavior. *J Dairy Sci*, 100(3), 2395-2403.
- Tergast, H., Hansen, H. und Weber, E.-C. (2023). Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Milchkühe. *Braunschweig: Thünen-Institut für Betriebswirtschaft*, 1-17.
- TierSchG. (2006). Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 20 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2752) geändert worden ist.
- TierSchNutztV. (2006). Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), die zuletzt durch Artikel 1a der Verordnung vom 29. Januar 2021 (BGBl. I S. 146) geändert worden ist.
- Tucker, C., Jensen, M., de Passille, A. M., Hanninen, L. und Rushen, J. (2021). Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *J Dairy Sci*, 104(1), 20-46.
- Tucker, C., Rogers, A., Verkerk, G., Kendall, P., Webster, J. und Matthews, L. (2007). Effects of shelter and body condition on the behaviour and physiology of dairy cattle in winter. *Applied Animal Behaviour Science*, 105(1-3), 1-13.
- Tuytens, F. (2005). The importance of straw for pig and cattle welfare: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, 92(3), 261-282.
- Vasseur, E., Rushen, J., Haley, D. und de Passille, A. M. (2012). Sampling cows to assess lying time for on-farm animal welfare assessment. *J Dairy Sci*, 95(9), 4968-4977.
- Wechsler, B., Schaub, J., Friedli, K. und Hauser, R. (2000). Behaviour and leg injuries in dairy cows kept in cubicle systems with straw bedding or soft lying mats. *Applied Animal Behaviour Science*, 69(1), 189-197.
- Welch, J., Smith, A. und Gibson, K. (1970). Rumination Time in Four Breeds of Dairy Cattle. *Department of Animal Sciences, University of Vermont, Burlington*, 89-90.

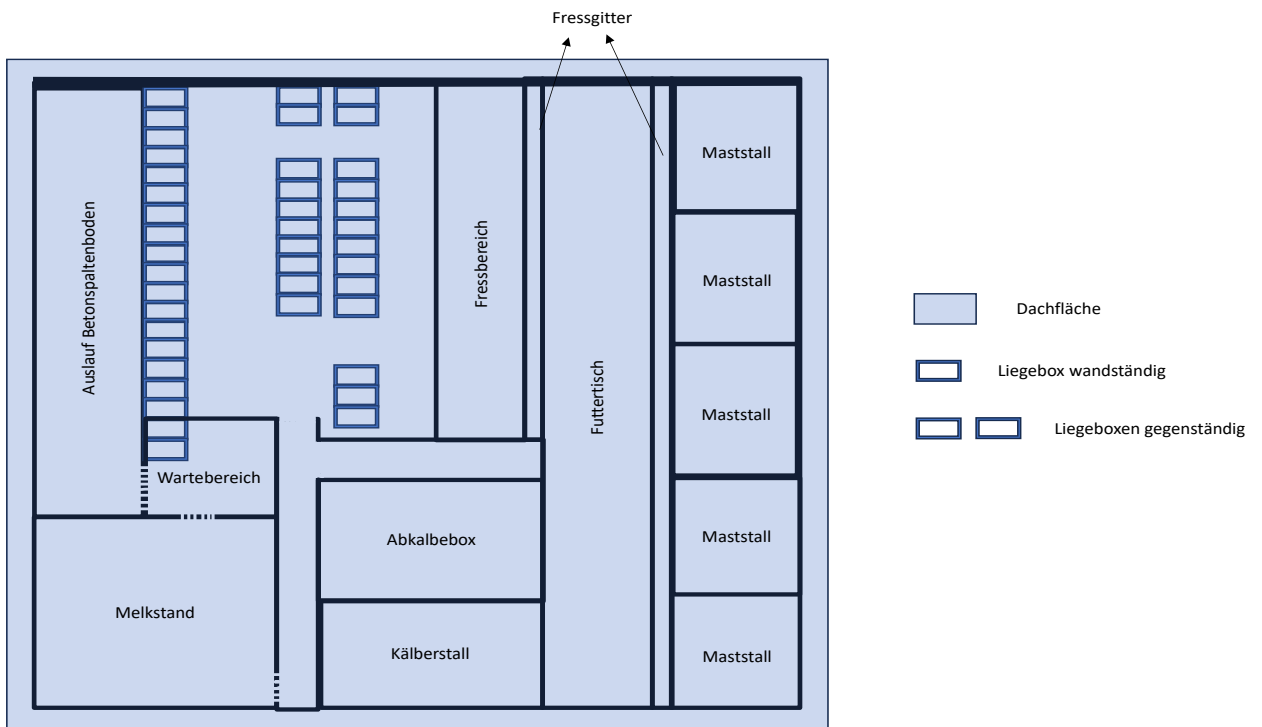
-
- Zaffino Heyerhoff, J., LeBlanc, S., DeVries, T., Nash, C., Gibbons, J., Orsel, K., Barkema, H., Solano, L., Rushen, J., de Passille, A. M. und Haley, D. (2014). Prevalence of and factors associated with hock, knee, and neck injuries on dairy cows in freestall housing in Canada. *J Dairy Sci*, 97(1), 173-184.
- Zähner, M., Schmidtko, J., Schrade, S., Schaeren, W. und Otten, S. (2009). Alternative Einstreumaterialien in Liegeboxen. *Bautagung Lehr - und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2009*, 33-38.
- Zdanowicz, M., Shelford, J., Tucker, C., Weary, D. und von Keyserlingk, M. (2004). Bacterial Populations on Teat Ends of Dairy Cows Housed in Free Stalls and Bedded with Either Sand or Sawdust. *J Dairy Sci*, 87(1), 1694–1701.

Anhang 2: Grundflächen und Stalleinteilung der Betriebe (eigene Darstellung)

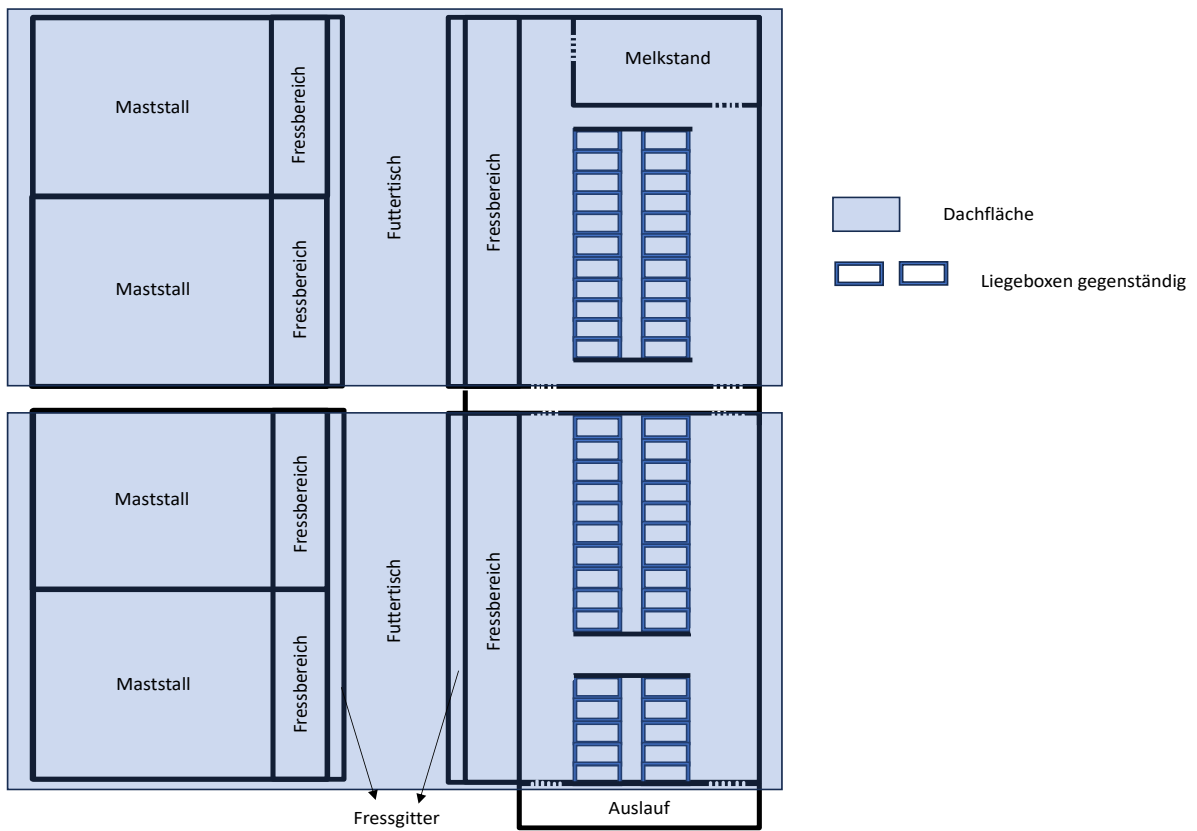
Stallskizze Betrieb 1



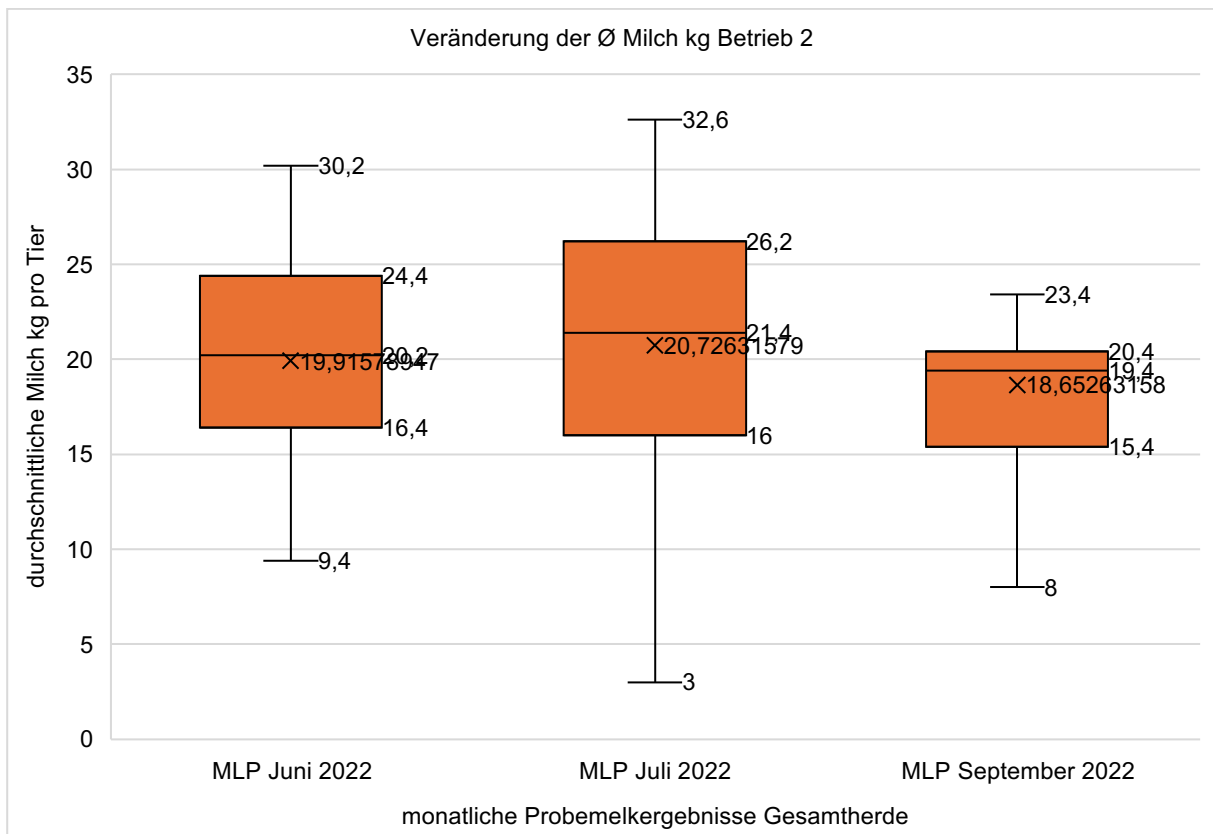
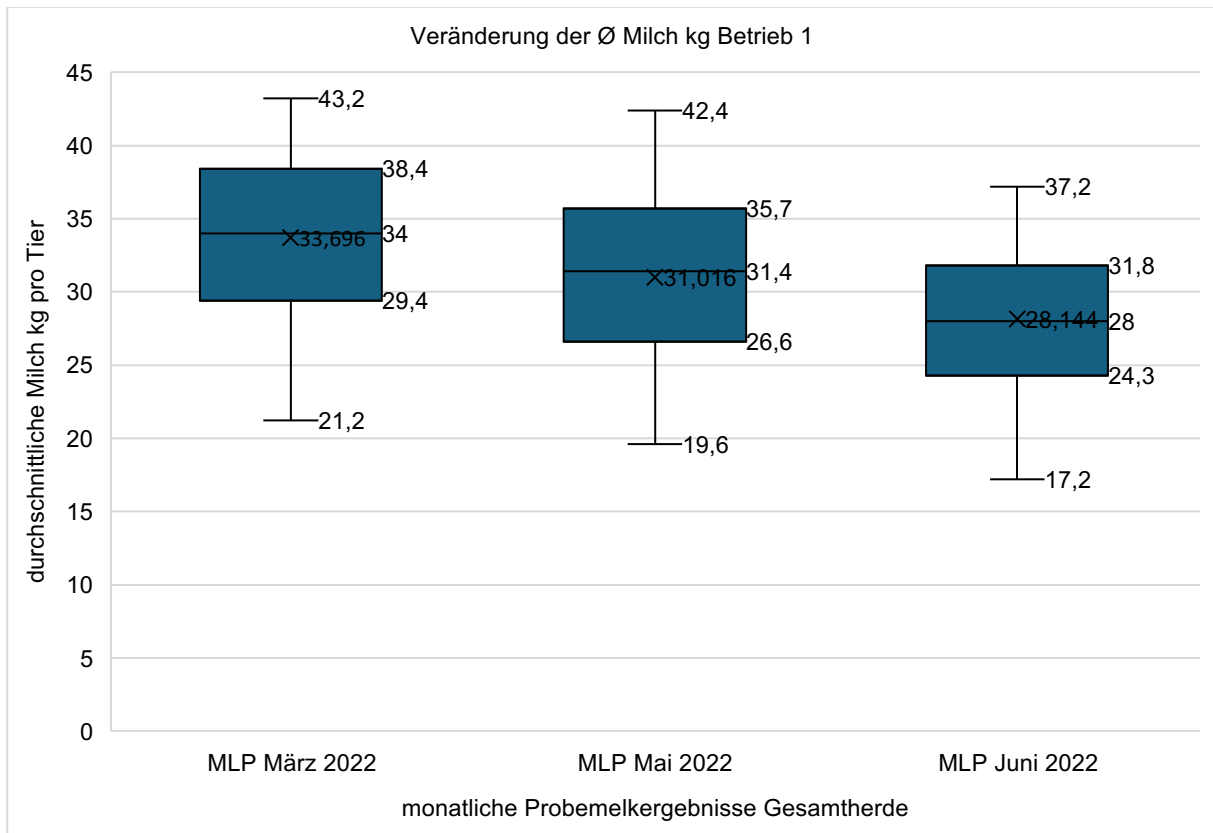
Stallskizze Betrieb 2

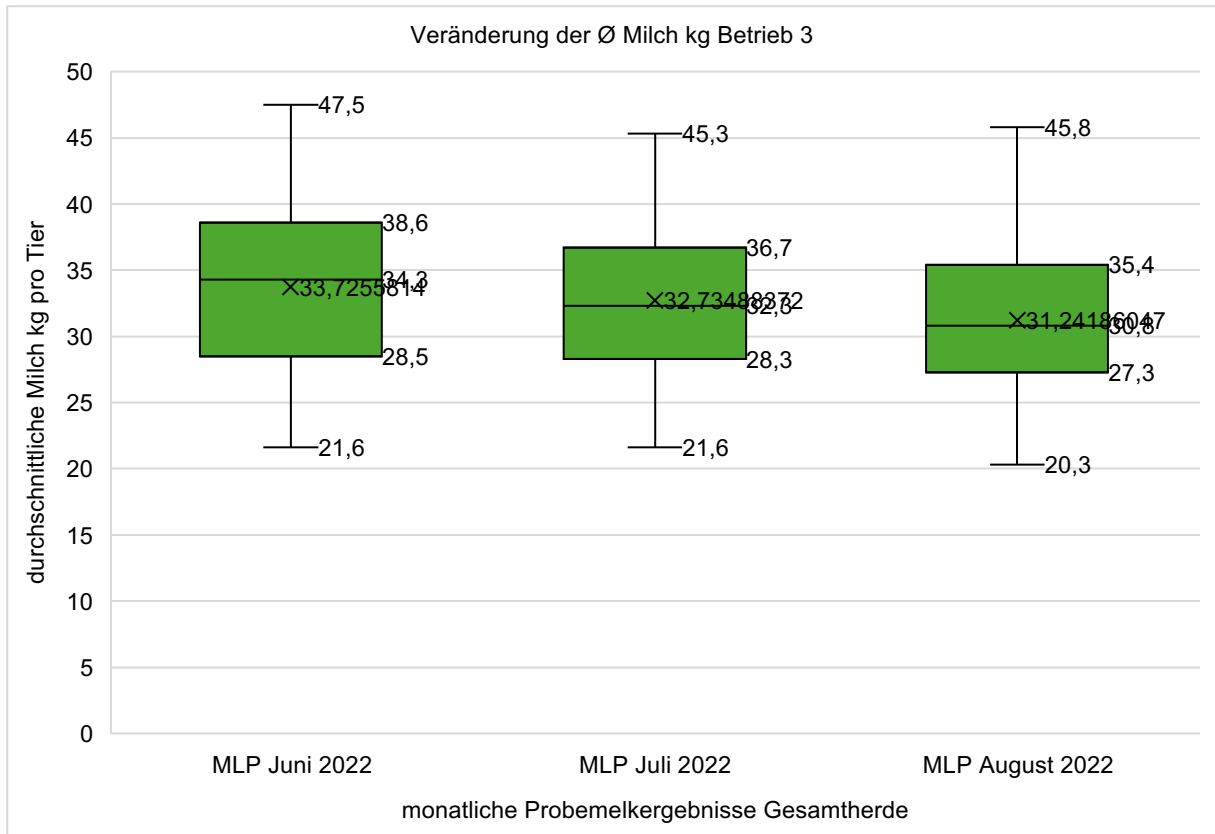


Stallskizze Betrieb 3



Anhang 3: Boxplotdiagramme zur Veränderung der Ø Milch kg (eigene Darstellung)





11 Danksagung

Ein besonderer Dank gilt zunächst meiner Doktormutter Frau Priv.-Doz. Dr. Rauch für die Ermöglichung dieser Dissertation und der bedingungslosen Unterstützung in allen Fragestellungen und Unklarheiten. Vielen Dank für die konstruktive Kritik, die gute Führung und nicht zu vergessen die Korrektur der Dissertation trotz Wiesnstress.

Weiterhin möchte ich mich von ganzem Herzen bei Prof. Dr. Dr. Zeiler und ihrem wissenschaftlichen Mitarbeiter Felix Versen für die großartige Hilfe während der Anfertigung der Dissertation bedanken. Ohne die Hilfe der beiden wäre ich aufgeschmissen und ratlos gewesen. Vielen Dank für die gemeinsamen Besprechungen, die Korrekturen sowie die super Unterstützung und Anleitung während des Schreibprozesses.

Ein ebenso großes Dankeschön an die Firma Oberleitner, um das Team von Franz Oberleitner, Christian Oberleitner und Franz Meier. Ohne das Produkt „SANDA“ Sandbettwabenmatte und das Vertrauen in meine Person als Doktorand, wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen. Dabei gilt der größte Dank Herrn Franz Meier für die tagelange Unterstützung während der Untersuchungen auf den Betrieben, die vielen schönen Austausche während der Autofahrten und der großartigen gemeinsamen Zusammenarbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei den drei Betriebsleitern Markus Schröcker, Lukas Waidgasser und Sebastian Kaltner für die Teilnahme als Referenzbetriebe an der Dissertation bedanken.

Vielen Dank an die Firma SmaXtec aus Graz, speziell an Herrn Schröcker und Herrn Rosenkranz und die Forschungsanstalt Raumberg Gumpenstein, speziell an Herrn Huber, für die Bereitstellung der Pansenboli und Lagesensoren sowie aller Messdaten.

Frau Prof. Dr. Sauter-Louis möchte ich recht herzlich für die Beratung in allen statistischen Fragestellungen danken.

Abschließend möchte ich einen großen Dank an meine Familie und meine Freunde richten, die mir während der Anfertigung der Dissertation stets zur Seite standen, mich in schlechten Momenten wieder aufbauten und ermutigten und sich auch in schönen Momenten mit mir gemeinsam über Erfolge freuten.

Vielen herzlichen Dank an Euch/Sie alle!