



Untersuchungen über die Anforderungen von Rindern an die Wärme- und Härteeigenschaften von Stand- und Liegeflächen

Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik  
der Technischen Universität München  
Freising - Weihenstephan  
Prof. Dr. H.-L. Wenner

Untersuchungen über die Anforderungen von Rindern an die  
Wärme- und Härteeigenschaften von Stand- und Liegeflächen

von Dr. Eberhard Lasson  
unter Mitarbeit von Dr. Josef Boxberger

Die vorliegende Arbeit wurde dankenswerterweise aus Mitteln des Sonderforschungsbereiches 141 finanziell ermöglicht, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt wird. Des weiteren richtet sich ein herzlicher Dank an die Familien Linseisen in Hettenkirchen, Niedermaier in Brandau und Wagner in Unterholzham bei Bad Aibling, in deren landwirtschaftlichen Betrieben ein Großteil der Versuche durchgeführt werden konnte.

Schließlich sei noch der Bauabteilung der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht in Grub gedankt, deren Unterstützung die Durchführung des Vorhabens "Wahlversuche" ermöglichte.

Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan

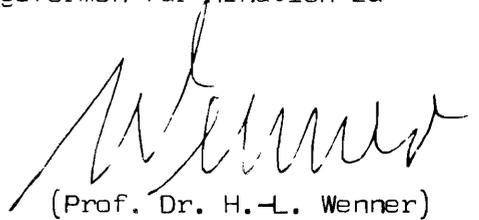
Herausgegeben von: Institut für Landtechnik  
Bayer. Landesanstalt für Landtechnik  
Landtechnischer Verein in Bayern e.V.

8050 Freising-Weihenstephan (Selbstverlag)  
1976

## V o r w o r t

Mit der Verbreitung der strohlosen Stallhaltung von Rindvieh erhält die tiergemäße Gestaltung der Stand- und Liegeflächen eine zunehmende Bedeutung. Deshalb wurden schon seit mehreren Jahren an der Landtechnik Weihenstephan Untersuchungen über strohlose Liegeflächen angestellt, die jedoch zunächst auf bauphysikalische Messungen beschränkt blieben. Erst durch die Forschungsvorhaben im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 141 der Deutschen Forschungsgemeinschaft gelang es, mit umfangreichen Versuchsanstellungen Grundlagen hinsichtlich der Anforderungen des Tieres an die Stand- und Liegeflächen zu schaffen.

Der vorliegende Bericht befaßt sich mit den Anforderungen von Rindern an die Wärme- und Härteeigenschaften von Stand- und Liegeflächen, wobei neu entwickelte Versuchsmethoden einen breiten Raum einnahmen. Der Bericht enthält Aussagen über meßbare Kennwerte einer tiergemäßen Wärmeabgabe an den Boden und die daraus resultierenden Folgerungen. Ferner wurden Kenngrößen für eine optimale Boden Härte der Stand- und Liegefläche gewonnen, sowohl durch Labormessungen als auch durch Verhaltensstudien an einer Milchviehherde. Die ermittelten Grundlagen werden dazu beitragen, verbesserte tiergemäße Aufstallungsformen für Rindvieh zu erreichen.



(Prof. Dr. H.-L. Wenner)

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	5
2. <u>Problemstellung und Ziel der Arbeit</u>	8
3. <u>Methodisches Vorgehen</u>	12
4. <u>Anforderungen an die Wärmeeigenschaften von           Stand- und Liegeflächen</u>	15
4.1     Thermoregulation	17
4.1.1   Physiologische Voraussetzungen der Thermoregulation	19
4.1.1.1 Blutversorgung der Haut	20
4.1.2   Wärmezonen	22
4.1.3   Kritische Temperatur	24
4.1.3.1 Untere kritische Temperatur	25
4.1.3.2 Obere kritische Temperatur	27
4.2     Ermittlung von Kennwerten tiergerechten Wärmeentzuges	30
4.2.1   Untersuchungen über Liegeflächen auf der Weide	30
4.2.1.1 Versuchsmethoden und -bedingungen	30
4.2.1.2 Ergebnisse und Folgerungen	42
4.2.2   Untersuchungen über den Wärmeentzug vom liegenden Tier in den Boden	48
4.2.2.1 Abhängigkeit von der Milchleistung	49
4.2.2.2 Abhängigkeit von der Bodentemperatur	51
4.2.2.2.1 Versuchsaufbau	53
4.2.2.2.2 Ergebnisse und Folgerungen	62
4.2.2.3 Wärmeeigenschaften von Bodenbelägen	74
5. <u>Anforderungen an die Härte von Stand- und           Liegeflächen</u>	76
5.1     Methodisches Vorgehen	82
5.2     Wahlversuche zur Ermittlung bevorzugter Härtegrade von Bodenbelägen	84

	Seite	
5.2.1	Versuchsanstellung	87
5.2.2	Ergebnisse	90
5.3	Verteilung druckbelasteter Körperteile auf der Stand- und Liegefläche	94
5.3.1	Tiermaterial	96
5.3.2	Registrieren der Trittpositionen	97
5.3.2.1	Versuchsaufbau	97
5.3.2.2	Versuchsdurchführung	100
5.3.2.3	Versuchsauswertung	102
5.3.2.4	Ergebnisse	104
5.3.3	Berührungspunkte belasteter Extremitätenteile im Liegen	114
5.3.3.1	Liegestellungen	114
5.3.3.2	Versuchsaufbau	116
5.3.3.3	Versuchsdurchführung	118
5.3.3.4	Versuchsauswertung	120
5.3.3.5	Ergebnisse	121
5.3.4	Vergleich der Trittpositionen mit den Berührungs- punkten der Gelenke	128
5.4	Ermittlung tiergerechter Boden Härte	130
5.4.1	Boden Härte für das Stehen	131
5.4.2	Boden Härte für das Abstützen des Körpers auf die Karpalgelenke	140
5.4.3	Tiergemäße Härteeigenschaften der Bodenbeläge	148
6.	<u>Weitere Forschungsansätze</u>	150
7.	<u>Zusammenfassung</u>	151
8.	<u>Literaturverzeichnis</u>	155
9.	<u>Anhang</u>	168

## 1. Einleitung

Die Milchviehhaltung ist durch ihren hohen Arbeitszeitbedarf und trotz zunehmender Mechanisierung durch körperlich anstrengende Arbeitsbedingungen gekennzeichnet. Hinzu kommt die ungünstige Herdengrößenstruktur, wonach z. B. noch im Jahre 1971 49 % aller Milchkühe in Beständen bis zu 10 Tieren gehalten wurden. Nur knapp ein Fünftel (18 %) aller Milchkühe steht in Herden mit mehr als 20 Tieren (97). Arbeitsintensität und ungünstige Betriebsgrößenstruktur, als Ursache und Wirkung miteinander verkettet, erschweren eine Verbesserung der Situation insofern, als Produktivitätssteigerungen der Arbeitskraft Bestandesvergrößerungen erforderlich machen, zu denen wiederum häufig das Kapital fehlt. Deshalb müssen Wege gefunden werden, den Produktionsumfang je Arbeitskraft zu erhöhen, in der Mechanisierung jedoch kostengünstige Lösungen einzusetzen.

Der Arbeitszeitbedarf in der Milchviehhaltung hängt eng mit den Stallformen zusammen, die sich in Anbinde- und Laufstallhaltung aufteilen lassen. Beim Anbindestall ist der Standort des Tieres festgelegt: Das bedeutet, daß Futter und Stroh zum Tier hin und Milch und Kot vom Tier weg transportiert werden müssen. Der damit verbundene hohe Arbeitsaufwand reduziert sich im Laufstall dadurch, daß das Tier selbst durch die Trennung der Funktionsbereiche Melken, Füttern und Liegen zum Melkplatz, Futter und Liegeraum geht. Nachdem dieses Haltungsverfahren jedoch erst ab einer Bestandesgröße von 30 bis 40 Kühen sinnvoll anzuwenden ist, bleibt die Milchviehhaltung im Anbindestall auch in der Zukunft vorherrschend, weil die Bestände aus ökonomischen und biologischen Gründen nur sehr langsam wachsen werden.

Innerhalb der Anbindestallhaltung ergibt sich eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität durch die Umstellung auf einstreulose Haltungsformen. Bezogen auf die Gesamtarbeitszeit in der Milchviehhaltung bei Einstreusystemen beansprucht das Entmisten mit seinen vor- und nachgeordneten Arbeiten (Festmistkette) nach dem Melken den höchsten Arbeitszeitbedarf, was z. B. bei einer Bestandesgröße von 20 Kühen ca. 15 % des Gesamtarbeitszeitbedarfes ausmacht. Unter sonst gleichbleibenden Bedingungen nehmen bei strohloser Haltung die Arbeiten in der Flüssigmistkette nur mehr 4 % am Gesamtarbeitsaufwand ein (148). Die Reduzierung des Arbeitsbedarfes beruht vornehmlich auf dem Wegfall der mit Einstreu verbundenen Teilarbeiten wie Strohbergung bzw. -lagerung, Einstreuen

und Entmisten. Wie aus Abb. 1 hervorgeht, bewirkt die Umstellung auf strohlose Stallhaltung gegenüber der Einstreuhaltung eine Verminderung der Arbeitszeit für das Entmisten von 274 AKh je Jahr auf 64 AKh je Jahr bei einer Bestandesgröße von 20 Tieren. Das bedeutet eine Arbeitszeiteinsparung von 75 %, die auch für Bestandesgrößen von 40 und 60 Tieren zutrifft, weil weder in der Festmist- noch in der Flüssigmistkette nennenswerte Degressionseffekte wirksam werden. Die Einbeziehung der Strohbergung statt des Strohzukaufes würde die Arbeitszeiteinsparung bei Umstellung auf strohlose Haltungsformen noch wesentlich erhöhen. Wegen der vielfältigen Möglichkeiten der Strohbergung, die mit sehr unterschiedlichem Arbeitszeitbedarf verbunden sind, wird der Strohzu- kauf aus Gründen besserer Vergleichbarkeit unterstellt.

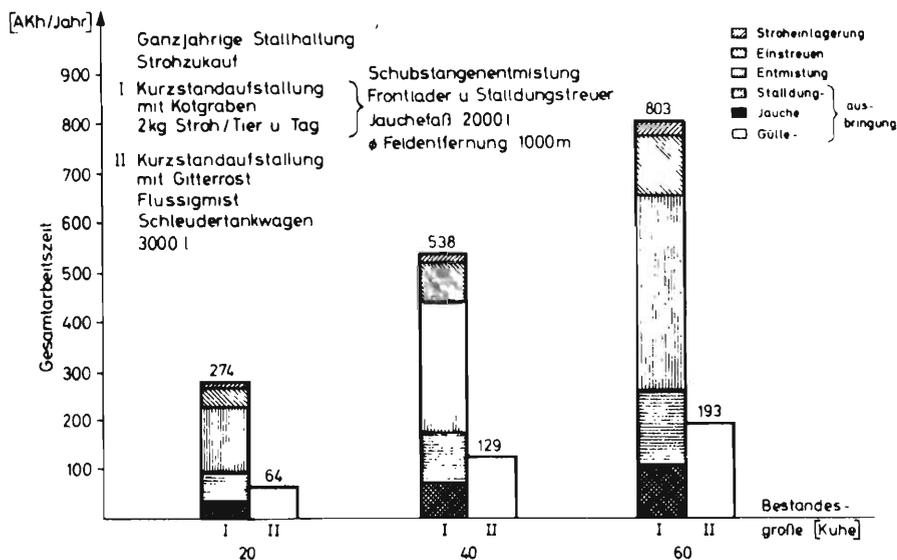


Abb. 1: Gesamtarbeitszeitbedarf der Fest- und Flüssigmistkette für unterschiedliche Bestandesgrößen in der Milchviehhaltung (157)

Neben der Arbeitersparnis ist ebenso die Tatsache der Arbeitserleichterung zu berücksichtigen, welche die strohlose Haltungsform mit sich bringt. In der Flüssigmistkette fallen keine routinemäßigen anstrengenden Handarbeiten an, die in der Festmistkette auch dann nicht vermieden werden können, wenn mechanische Räumgeräte zum Einsatz gelangen. Der Effekt der Arbeitserleichterung besitzt deshalb einen hohen Stellenwert als Entscheidungskriterium für die verschiedenen Haltungsformen.

Die sich aus Fest- und Flüssigmistkette ergebenden Haltungssysteme stellen spezifische Ansprüche an Gebäude und technische Ausstattung, was den unterschiedlichen, besonders von der Bestandesgröße abhängigen Kapitalbedarf bestimmt, der sich in den Kurzstandaufstellungen beider Systeme in etwa die Waage hält (Abb. 2, linker Teil).

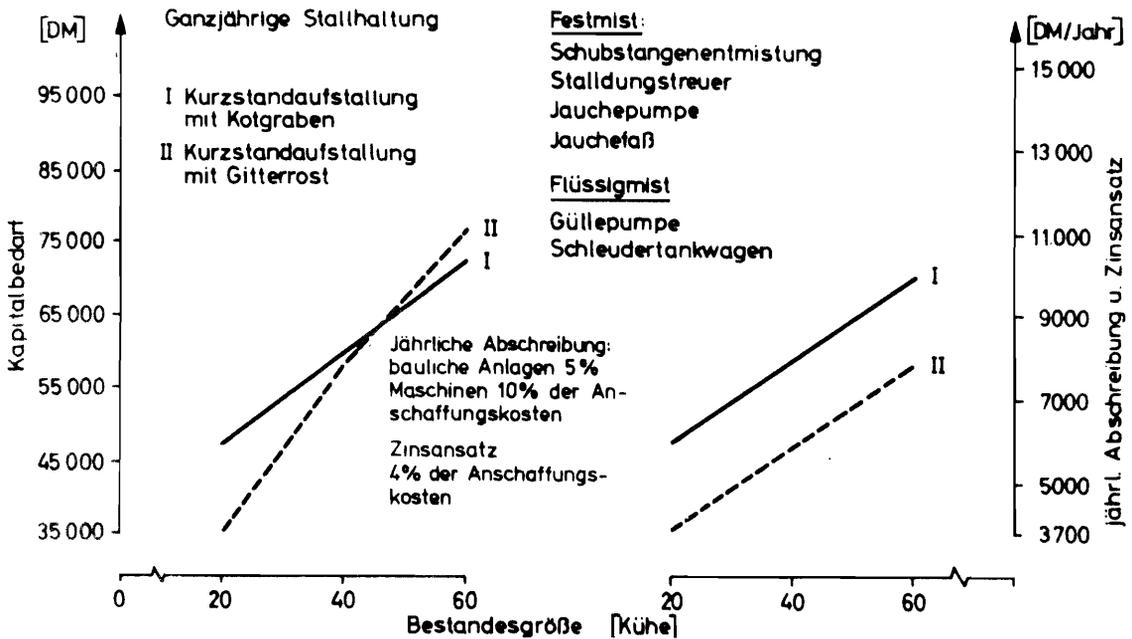


Abb. 2: Vergleich des spezifischen Kapitalbedarfes und der jährlichen Abschreibung sowie des jährlichen Zinsansatzes für bauliche Anlagen und Maschinen der Fest- und Flüssigmistkette bei unterschiedlichen Bestandesgrößen in der Milchviehhaltung

Aussagekräftiger ist indessen der Vergleich der jährlichen Kosten, die aus Vereinfachungsgründen auf die Abschreibung und auf den Zinsansatz bei Gebäuden und Maschinen beschränkt bleiben. Während bei Maschinen eine Abschreibungsquote von 10 % und bei Gebäuden eine Abschreibungsrate von 5 % des Anschaffungswertes unterstellt ist, werden als Zinsansatz für Maschinen und Gebäude 4 % des Anschaffungswertes angenommen. Hier zeigt sich die Überlegenheit der Gitterrostaufstallung: Die jährlichen Kosten bleiben unter denen der Kurzstandaufstallung mit Einstreu, weil der Maschinenkostenanteil mit seinen hohen Abschreibungsraten vergleichsweise gering bleibt gegenüber den Kosten für die baulichen Einrichtungen mit ihren niedrigeren Abschreibungsraten (Abb. 2, rechter Teil).

Aus den beschriebenen Einsparungsmöglichkeiten an Arbeitszeit und jährlichen Kosten geht die eindeutige Überlegenheit der einstreulosen Haltungssysteme hervor, was auch durch zunehmende Anwendung in der Praxis zum Ausdruck kommt. Allerdings brachten diese Rationalisierungsmaßnahmen ein vermehrtes Auftreten von Tierschäden mit sich, die vornehmlich aus Verletzungen an den Gliedmaßen und aus Verhaltensdeformationen bestehen (30, 32, 52, 61, 72, 77, 96). Als Ursache ist hierbei maßgeblich die Gestaltung der Stand- und Liegefläche beteiligt, indem sie nicht ausreichend nach den Bedürfnissen des Tieres ausgerichtet ist.

Die einstreulose Aufstallung kann jedoch nur dann als bessere Alternative vertreten werden, wenn sie die spezifischen Ansprüche der Milchkühe an die Standplatzfläche befriedigt. Dies gilt nicht nur unter dem Aspekt des Tiereschutzes, sondern auch deshalb, weil eine nicht optimale Haltung zu Leistungsminderungen und damit wieder zu wirtschaftlichen Einbußen führt (55, 129).

Als Einstreuersatz hat sich die Verwendung von Dauerbelägen, in erster Linie aus Kunststoff und Gummimaterialien, durchgesetzt, die aber ohne präzise Kenntnis der Anforderungen des Tieres an die Stand- und Liegefläche einseitig im Hinblick auf lange Lebensdauer entwickelt worden sind.

## 2. Problemstellung und Ziel der Arbeit

Die Einengung des Lebensbereiches der Tiere auf den Standplatz bewirkt eine Reihe von Anforderungen an die Standplatzfläche, die gleichzeitig erfüllt sein müssen, obwohl sie sich teilweise zu widersprechen bzw. auszuschließen scheinen. Sie umfassen Wärmedämmung, Härte bzw. Weichheit des Bodens, ausreichende Rutschfestigkeit, hygienische Unbedenklichkeit sowie Haltbarkeit und daraus resultierend Wirtschaftlichkeit.

In der Literatur wird der Wärmedämmung von Bodenbelägen hohe Bedeutung beigemessen, wobei die Wärmeeigenschaften trockener Einstreu vielfach als Vergleichsmaßstab gelten (11, 111, 121). Daraus wird dann die Forderung nach maximaler Wärmedämmung abgeleitet. Die Verträglichkeit gegenüber niedrigen Temperaturen sowie die Maßnahmen wärmeregulatorischer Mechanismen (17, 88)

läßt vermuten, daß die Forderung nach maximaler Wärmedämmung überprüft werden muß, zumal der Gesamtenergieumsatz und damit auch die Wärmeabgabe bei ansteigendem Leistungspotential des Tieres zunehmen. Gerade in Abhängigkeit von der Leistung bekommt die Frage Bedeutung, ob durch nicht den physiologischen Gegebenheiten entsprechenden Wärmeentzug oder Wärmestau Leistungsdepressionen eintreten. Nach BÄHR (11) können sie sich z. B. dadurch ergeben, daß die Tiere als Reaktion auf nicht akzeptable Wärmeabgabe an den Boden anormal lange stehen, wodurch der Erhaltungsfutterbedarf um rund 20 % ansteigt. Weiterhin entsteht z. B. bei fehlender oder geringer Wärmedämmung des Bodens die Frage, ob lokale Unterkühlungen bestimmter Körperpartien Krankheitsursachen darstellen können (38), wie dies aus der Humanmedizin bekannt ist (10, 11). Dieser Befund würde die Forderung nach maximaler Wärmedämmung stützen.

Damit wird das Problem tiergerechter Wärmeeigenschaften von Bodenbelägen zu einem Kriterium gesundheitlicher Schädigungen ebenso wie zu einem solchen optimaler Wärmeabgabemöglichkeiten zur Aufrechterhaltung der tierischen Leistung.

Neben den Wärmeeigenschaften des Bodens kommt den Härteeigenschaften besondere Bedeutung zu. Zwischen Bodenfläche und - hauptsächlich - den Gliedmaßen wirken hohe mechanische Belastungen aufeinander ein, deren Art und Umfang vom jeweiligen Funktionsablauf des Bewegungsverhaltens abhängt. Die Möglichkeiten der einzelnen Kräfte- und Einwirkungssituationen sind zu zahlreich, um sie einzeln zu erfassen. Aber sie lassen sich auf drei Grundsituationen reduzieren. Die eine bezieht sich auf das stehende Tier, d. h. das Abstützen des Körpers auf den vier Extremitäten. Die zweite Grundsituation beinhaltet die Vorgänge beim Abliegen und Aufstehen, bei denen exponierte und empfindliche Körperteile wie die Karpalgelenke für den Zeitraum des Abstützens auf den Boden das Körpergewicht abfangen müssen. Schließlich bedeutet die dritte Situation die Vorgänge beim liegenden Tier, bei der zwar der Großteil des Gewichtes auf die relativ große Fläche der abliegenden Rumpfunterseite verteilt ist, aber speziell die unter den Körper gezogene Hinterextremität durch das auf ihr liegende Gewicht belastet wird. Diese Situation ist insofern mit den Vorgängen beim Abliegen vergleichbar, als das auf der Hinterextremität ruhende Gewicht über die kleine und kalottenförmig zulaufende Fläche des

Sprunggelenkes auf den Boden übertragen wird. Daraus resultieren entgegengesetzte Anforderungen an die Boden Härte, weil die Klaue beim stehenden Tier eine feste und ebene Aufttrittsfläche finden muß. Dagegen macht das Aufliegen der Gelenke eine möglichst weiche Bodenfläche erforderlich, nachdem teilweise höhere Kräfte als beim stehenden Tier auf die empfindliche Gelenkoberfläche wirken. Die Problematik dieser sich widersprechenden Anforderungen an die Boden Härte kommt im Anbindestand bzw. in den verwandten Aufstallungsarten zur Geltung, weil der Boden auf derselben Fläche die Härte für die Klaue wie die Weichheit für die Gelenke bieten soll, während in der Liegeboxe bei Laufstallhaltung nur die Bedürfnisse des liegenden Tieres zu berücksichtigen sind.

Aus dem Bewegungsverhalten der Tiere auf der Standfläche ergibt sich ferner die Notwendigkeit einer rutschfesten Verbindung zwischen Klauensohle und Bodenoberfläche, was vornehmlich wegen der Beschaffenheit und Form der Klauensohle nicht durch Profilierung der Bodenoberfläche zu erreichen ist. Zwar liegt es nahe, daß das Eindringen der Klaue in ein Belagsmaterial eine ausreichende Rutschfestigkeit bietet, wirft jedoch die Frage auf, ob dies eine mangelnde Standsicherheit der Extremitäten hinsichtlich einer Abwinkelung im Fessel- und Hufgelenk zur Folge haben kann. Aufgeraute Oberflächen würden ebenfalls ein Wegrutschen der Klauen verhindern können, wären aber auf der anderen Seite eine erhebliche Verletzungsursache der teils aufliegenden und teils beim Abliegen am Boden gleitenden Hautpartien der Gliedmaßen.

Die wesentliche Forderung des Tierhalters zielt auf eine lange Lebensdauer von Bodenbelägen ab und steht damit im Widerspruch zur notwendigen Weichheit der Liegefläche, weil bislang Haltbarkeit von Bodenbelägen nur durch hohe Materialfestigkeit zu bewerkstelligen war.

Weiterhin muß durch den Wegfall der Entmistungsarbeiten vermieden werden, daß sich Futterreste und Schmutzpartikel auf der Bodenoberfläche festsetzen bzw. zusammen mit Flüssigkeit unter dem Bodenbelag zu Infektionsherden werden. Die Verlegung von Bodenbelägen wirft daher Probleme der Sauberhaltung des Standplatzes auf, was die Futter- und Kotrückstände ober- und unterhalb des Bodenbelages betrifft. Erschwerte Sauberhaltung kann zur Infektionsursache werden, die nicht nur die Tiere, sondern auch das Stallpersonal gefährdet und die Qualität der im Stall gemolkene Milch beeinträchtigt.

Bei der Wirtschaftlichkeit von Bodenbelägen ist schließlich zu berücksichtigen, daß ihre jährliche Belastung bei der geforderten Haltbarkeit erheblich unter dem bleibt, was für Stroh in jedem Jahr aufzuwenden ist.

Die Vielschichtigkeit der Probleme und Anforderungen führt zu teilweise gravierenden Widersprüchen, die nur durch Kompromißlösungen beseitigt werden können. Im Ergebnis möglicher Kompromisse kommt es darauf an, akute mechanische Verletzungen und Schädigungen am Tier auszuschließen und die Gesunderhaltung des Gesamtorganismus für die Ausnützung des tierischen Leistungspotentials zu ermöglichen.

Das Zustandekommen von Kompromissen setzt jedoch die Kenntnis der Anforderungen von Seiten des Tieres her an den Bodenbelag voraus.

Die Behandlung all dieser Probleme würde den Rahmen vorliegenden Arbeit sprengen, weswegen eine Einschränkung auf die Wärme- und Härteanforderungen als die wesentlichen Problemkreise vorgenommen werden mußte. Die Ansprüche des Tieres an den Bodenbelag treffen im Anbindestand am deutlichsten mit ihren Gegensätzlichkeiten zusammen, weswegen sich die Untersuchungen an den Verhältnissen im Anbindestand orientieren. Die Erkenntnisse aus den einzelnen Versuchen besitzen jedoch mit entsprechenden Ergänzungen auch Aussagekraft für andere Stallformen.

Deshalb sollen in der vorliegenden Arbeit diese Anforderungen in quantifizierbaren Kennwerten erfaßt werden, welche die Grundlage und Voraussetzung zur Herstellung tiergerechter Bodenbeläge bedeuten. Hinsichtlich der geforderten Wärmeeigenschaften geht es zunächst um die Bedeutung der Wärmeabgabe vom Tier an den Boden, wofür Daten über die Wärmeströme bei extremen Bodentemperaturen vom Tier zum Boden, über die Wärmeeigenschaften von Liegeflächen und Bodenmaterialien selbst sowie über das Steh- und Liegeverhalten als dem Maßstab für Akzeptierung bzw. Ablehnung von Wärmeeigenschaften des Bodens gewonnen werden sollen. Aus den Erkenntnissen hierüber soll sich die Eingrenzung optimaler Wärmeverhältnisse ergeben.

Zur Festlegung optimaler Härteeigenschaften sind Kennwerte zur Elastizitätsanpassung an die Funktionskreise des stehenden und liegenden Tieres zu ermitteln.

Dazu sollen zunächst Daten über die Berührungspunkte der Klauen auf der Standplatzfläche im Stehen und der Karpal- und Sprunggelenke im Liegen bzw. der Karpalgelenke beim Abliegen ermittelt werden, um die Möglichkeit der Anpassung an die entsprechenden Härteeigenschaften für das Stehen und Liegen durch Differenzierung in Flächenzonen zu prüfen. Zur Quantifizierung optimaler Boden Härte sind physikalische Kenngrößen zu bestimmen, die sich aus der Situation der mechanischen Belastung der Klauensohle und des auf den Boden auftreffenden Karpalgelenkes als der höchsten Beanspruchung auf die aufliegenden Karpal- und Sprunggelenke ergeben.

### 3. Methodisches Vorgehen

Zur Ermittlung der Anforderungen an die Bodeneigenschaften von Stand- und Liegeflächen reicht eine einzige Untersuchungsmethode wegen der Vielschichtigkeit der Probleme nicht aus. Deshalb mußte die Untersuchung getrennt nach den Bereichen der Wärme- und Härteeigenschaften erfolgen, die aus mehreren Versuchsvorhaben mit jeweils eigenen Versuchsmethoden bestanden. Im folgenden wird eine Übersicht über die wesentlichen Versuchsvorhaben gegeben, deren Einzelheiten der Durchführung den betreffenden Kapiteln zugeordnet sind. Der innere Zusammenhang zwischen den Versuchsvorhaben sowie das methodische Vorgehen, um als Ziel die Anforderungen an die Stand- und Liegeflächen zu ermitteln, geht aus Abb. 3 hervor.

Drei Versuchsvorhaben bildeten die Untersuchung im Bereich der Wärmeeigenschaften. Dabei ging es zunächst um Daten über die Wärmeeigenschaften von Liegeflächen auf der Weide. Hierzu diente die Wärme flußmessung mit einem Prüfheizkörper, woraus die Kennzeichnung der Wärmeeigenschaften durch die Höhe der Wärmestromwerte folgte. Als Ergebnis sollten sich Anhaltspunkte über den Wärmeentzug des Tieres unter natürlichen Bedingungen ergeben. Daran schloß sich eine Untersuchung an, welche die Auswirkungen eines unterschiedlich hohen Wärmeentzuges vom Tier an den Boden zu ermitteln hatte. Dies ermöglichte die Temperaturregulierung der Liegefläche in einem Versuchsstand, wobei neben dem Wärmestrom vom Tier zum Boden das Steh- und Liegeverhalten erfaßt wurde. Aus der Zuordnung des Verhaltens zu den Wärmeströmen der jeweiligen Temperatureinstellungen sollten sich Daten ableiten lassen, die über die Akzeptierung bzw.

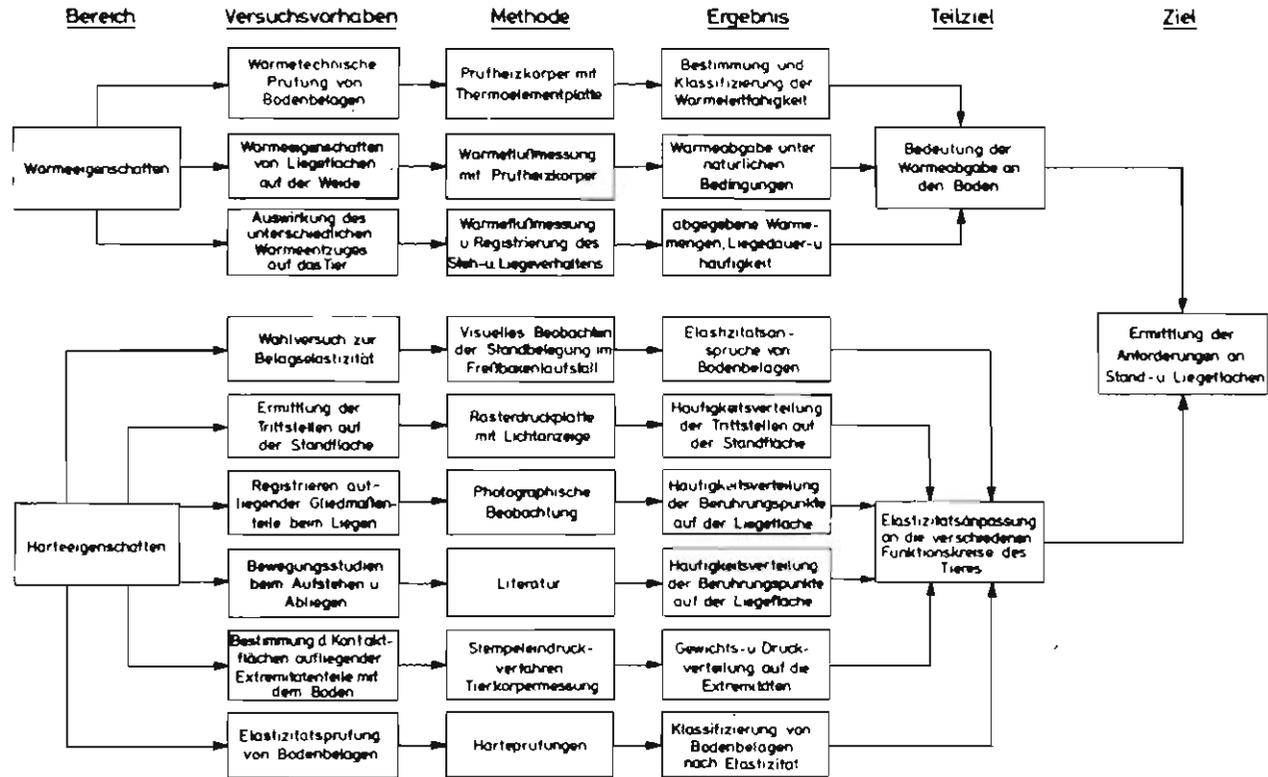


Abb. 3: Ermittlung von Kennwerten für tiergerechte Wärme- und Härteeigenschaften von Bodenbelägen

Ablehnung von Wärmeeigenschaften Aufschluß geben. Unter Zugrundelegung dieser Resultate rundete eine wärmetechnische Prüfung von Bodenbelägen die Untersuchungen ab. Wie bei der Ermittlung der Wärmeeigenschaften von Weideliegeflächen wurden die Wärmeströme mit dem Prüfheizkörper gemessen. Aus dem Meßergebnis folgte eine Klassifizierung der Bodenbeläge hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit und ein Vergleich mit den als tiergemäß ermittelten Wärmestromwerten.

Die Untersuchung der Härteanforderungen unterteilte sich in drei Versuchsschwerpunkte. Diese waren ein Wahlversuch zur Ermittlung tiergerechter Belagselastizität, die Registrierung der Trittstellen und Aufliegepunkte der Karpal- und Sprunggelenke auf der Standfläche zur Bestimmung differenzierter Härtezonen sowie die Ermittlung tiergemäßer Härte, unterschieden nach den Anforderungen an das Stehen und Liegen bzw. Abliegen. Der Wahlversuch sollte bereits vorhandene Ergebnisse ergänzen, indem Standplätze mit unterschiedlich harten Bodenbelägen in einem Freßboxenlaufstall zur Auswahl standen, der die Verhältnisse im Anbindestand wiedergibt. Die Registrierung der Standbelegung erfolgte durch visuelle Beobachtung, um daraus auf die Bevorzugung und Ablehnung der Härteeigenschaften des Bodens zu schließen. Während die Ermittlung der Trittstellen auf der Standplatzfläche mit einer Rastertrittplatte erfolgte, welche die jeweiligen Trittpositionen über ein Lichtanzeigergerät wiedergibt, wurden die Aufliegepunkte der Karpal- und Sprunggelenke durch photographische Registrierung erfaßt. Ergänzend hierzu wurden die Aufliegepositionen der Gelenke bei den Abliege- und Aufstehvorgängen aus der Literatur übernommen. Im Ergebnis stellten sich die Tritt- und Aufliegepositionen als Häufigkeitsverteilungen dar, die zur Definierung differenzierter Härtezonen miteinander verglichen wurden. Zur Ermittlung tiergerechter Härte war eine Unterteilung in Messungen am Tier und in Modellversuche erforderlich. Die Bestimmung der Kontaktflächen der aufliegenden Extremitätenteile (Hufsohle und Gelenksoberflächen) schaffte die Voraussetzung zur Nachbildung von Modellen, anhand derer Elastizitätsprüfungen vorgenommen werden konnten, nach welchen sich Bodenbeläge hinsichtlich ihrer Härteeigenschaften klassifizieren und mit der optimalen Druckverteilung auf Klauensohle und Gelenksoberfläche vergleichen ließen.

Die Untersuchungen der Wärmeeigenschaften waren darauf gerichtet, zunächst die Bedeutung der Wärmeabgabe des Tieres an den Boden zu erfassen, um dann daraus

Kennwerte für die Anforderungen an die Wärmeeigenschaften abzuleiten. Dagegen wurden aus den Ergebnissen der Untersuchungen der Härteeigenschaften Daten zur Elastizitätsanpassung an die Funktionskreise des stehenden und liegenden Tieres gewonnen.

#### 4. Anforderungen an die Wärmeeigenschaften von Stand- und Liegeflächen

Das Wärmeverhalten des Tieres stellt nicht nur einen Wärmeaustausch zwischen Körper und Tier dar, sondern beinhaltet ein vielschichtiges Wechselspiel von anatomischen und physiologischen Gegebenheiten des Organismus mit den verschiedenartigsten Umwelteinflüssen. Deshalb ist es zunächst notwendig, den Rahmen zu beschreiben, innerhalb dessen thermische Vorgänge sich abspielen, um daraus die spezielle Situation des Wärmeverhaltens zwischen Tierkörper und Boden zu entwickeln.

Das bezeichnende Merkmal der homoiothermen (gleichwarmen) Lebewesen besteht darin, daß der Organismus trotz Veränderung der Umgebungstemperaturen in bestimmten Bereichen seine Körpertemperatur konstant hält. Um nun die Stoffwechselfvorgänge in Grenzen unabhängig von der Umwelttemperatur aufrecht zu erhalten, treten eine Reihe von physikalischen, physiologischen und biotechnischen Regulationsmechanismen in Aktion, welche die Konstanz der Körpertemperatur gewährleisten. Diese Fähigkeit erfährt in Art und Umfang zwischen den einzelnen Tierarten, aber auch in verschiedenen Lebensabschnitten ein- und derselben Tierart, deutliche Differenzierungen. Neben der stammesgeschichtlichen Entwicklung in den Klimabereichen der Erde verändert sich das Wärmereaktionsvermögen auch unter dem Einfluß der Domestikation, indem Eigenschaften bzw. Verhaltensmöglichkeiten des Tieres nicht mehr allein auf die Arterhaltung, sondern auf spezielle Nutzungseigenschaften für den Menschen ausgerichtet sind. Innerhalb der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung treten beachtliche Unterschiede im Wärmeverhalten z. B. zwischen Schwein und Rind auf. Während das Schwein, um zu überleben, nach der Geburt auf optimale Umgebungstemperaturen angewiesen ist, die in sehr engen Grenzen liegen, zeigt sich das neugeborene Rind hier verträglicher.

Um aber auch innerhalb einer Nutztierart die Möglichkeiten der Wärmeanpassung zu verdeutlichen, sei auf die Rinderhaltung im Freien auch bei Temperaturen

von mehr als  $-40^{\circ}\text{C}$  auf der einen und auf die Notwendigkeit der Stallhaltung und der damit verbundenen Begrenzung von Temperaturschwankungen für das Milchvieh auf der anderen Seite hingewiesen. Diese Differenzierung zeigt, daß die Abstimmung von Wärmebedürfnissen des Organismus auf die Umwelttemperaturen nicht nur dessen Grenzen der Lebensfähigkeit, sondern und gerade in der landwirtschaftlichen Tierhaltung die Nutzungsrichtung und damit das Leistungspotential betrifft. Mit der konsequenten Steigerung der Milchleistung, die ihre Grenze im Erreichen des genetischen Leistungspotentials findet, verbindet sich der Zwang, sämtliche Umweltfaktoren im Optimum zu halten. Entspricht nun der Klimafaktor als Einflußgröße des Wärmeaustausches nicht den spezifischen Ansprüchen von Hochleistungstieren, wird dadurch die Wirkung anderer ertragsbestimmender Faktoren ebenfalls entwertet.

Über die Zusammenhänge der Wärmeanpassung an die klimatische Umgebung zum Zwecke der Konstanthaltung eines ausgeglichenen Verhältnisses von Wärmeabgabe zur Wärmeaufnahme hat BIANCA (17, 18) entscheidende Grundlagen geschaffen. Während die Gestaltung der klimatischen Umgebung im Stall kein Problem mehr darstellt, ist die Frage des Wärmeüberganges vom Tier zum Boden noch nicht geklärt. Diese Fragestellung tritt aufgrund der zunehmenden Leistungsfähigkeit des Milchviehs in den Vordergrund, weil bei nicht tiergerechten Wärmeigenschaften des Bodens Leistungseinbußen anzunehmen sind (24, 62, 134). Außerdem wurde das Problem der Wärmeverhältnisse zwischen Tier und Boden durch die Umstellung auf einstreulose Haltungsformen aktualisiert (65, 67, 111, 121). Deshalb kommt es wie bei der das Tier umgebenden Luft darauf an, die Wärmeabgabe zum Boden im Bereich physiologischer Verträglichkeit zu halten, und zwar unter der Bedingung optimaler Leistungsfähigkeit. Unter Zugrundelegung der Kenntnis tier- und leistungsspezifischer Wärmeabgabe müssen also Werte über die Wärmeleitfähigkeit von Bodenmaterialien bestimmt werden; das hat neben dem physiologischen auch einen wirtschaftlichen Aspekt von erheblicher Bedeutung, weil zusätzliche Wärmedämmung zusätzliche Kosten verursacht.

Der Wärmeaustausch vollzieht sich jedoch am Tier durch Zuhilfenahme komplizierter Wärmeregulierungsmechanismen, die - in bestimmten Grenzen - durch Variation der Wärmeproduktion und Wärmeabgabe die Konstanz der Körpertemperatur sicherstellen.

Die Kenntnis der Wirkungsweise sowie des Umfanges wärmeregulatorischer Maßnahmen ist deshalb wichtig, weil sie als Verhaltensparameter ein Beurteilungskriterium für tiergemäße Wärmeabgabemengen an den Boden bedeutet.

#### 4.1 Thermoregulation

Die thermoregulatorischen Maßnahmen des Tieres gliedern sich in Mechanismen der Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe, die in Abbildung 4 als Waagschalen einander gegenüberstehen.

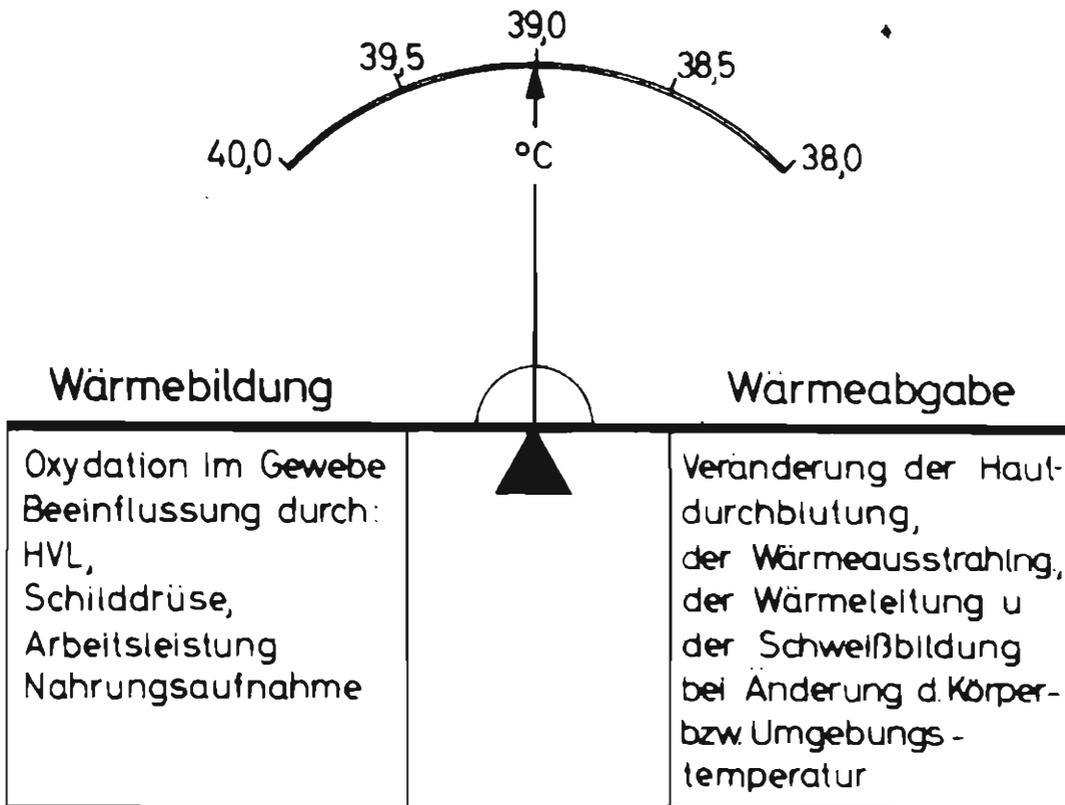


Abb. 4: Gleichgewicht von Wärmeproduktion und -abgabe durch thermoregulatorische Mechanismen (nach KOLB, 75)

Entsprechend dieser Aufteilung wird die Wärmeproduktion, die als Bestandteil von Oxydationsprozessen zustande kommt, als chemische Thermoregulation bezeichnet. Bei der Regulierung der Wärmeabgabe spielen hauptsächlich physikalische Vorgänge eine Rolle (Wärmeleitung, Verdunstung, Strahlung), für deren Gesamtheit der Begriff der physikalischen Thermoregulation steht. Sie bilden den wesentlichen Anteil an Regulationsmaßnahmen im Wärmeaustausch mit dem Boden.

Zwar geschehen letztlich Wärmeproduktion und Wärmeabgabe immer auf chemischem und physikalischem Wege, aber ihre Wirkung wird zusätzlich durch Eingriffe bestimmt, die zum einen ihre Ursache im tierischen Verhalten, zum anderen in langfristigen Anpassungsreaktionen des Organismus auf bestimmte Temperatureize haben. Die Anpassungsreaktionen in Form der Verhaltensweise bestehen darin, daß das Tier sich selbst die Umgebung aussucht, die am ehesten seinen Ansprüchen genügt. Diese Art der Anpassungsreaktion ist unter Stallbedingungen natürlich stark reduziert, aber nicht gänzlich aufgehoben. So kann auch das Verhältnis von Steh- und Liegezeit ein wesentliches Beurteilungsmerkmal sein, um tiergemäße Wärmeeigenschaften von Liegeflächen herauszufinden.

Die langfristigen Anpassungsreaktionen beinhalten im wesentlichen anatomische Veränderungen am tierischen Körper. Dazu gehört die subkutane Einlagerung von Fett, welche die Wärmeleitfähigkeit der Haut herabsetzt, wie auch die Veränderung des Haarkleides je nach dem Temperatureinfluß der Umgebung. Allerdings kann beim Rind im Gegensatz zum Pferd in der Dichte des Haarkleides zwischen Sommer- und Winterjahreszeit kein Unterschied festgestellt werden (17).

Entsprechend den Temperaturen, die auf den Organismus einwirken, läßt sich die Wirkungsweise der chemischen und physikalischen Wärmeregulation in Wärmezonen mit ihrem sich ergänzenden und gleichzeitig ablaufenden Zusammenspiel der Einzelmechanismen einteilen. Daraus gehen die entscheidenden Temperaturgrenzen, die sogenannten kritischen Temperaturen, hervor, ober- und unterhalb derer der Organismus unter Hitze- bzw. Kältestreß steht. Für das Verständnis dieser Abläufe und für Untersuchungen über das thermische Verhalten bei unterschiedlichen Wärmeeigenschaften der Liegeflächen ist es wichtig, welche physiologische Voraussetzungen die Wärmeregulation möglich machen.

#### 4.1.1 Physiologische Voraussetzungen der Thermoregulation

Die Thermoregulation besteht aus einer Systemkette, an deren Anfang ein Temperaturreiz an den Hypothalamus als Folge einer Temperaturdifferenz zur Körpertemperatur geleitet wird.

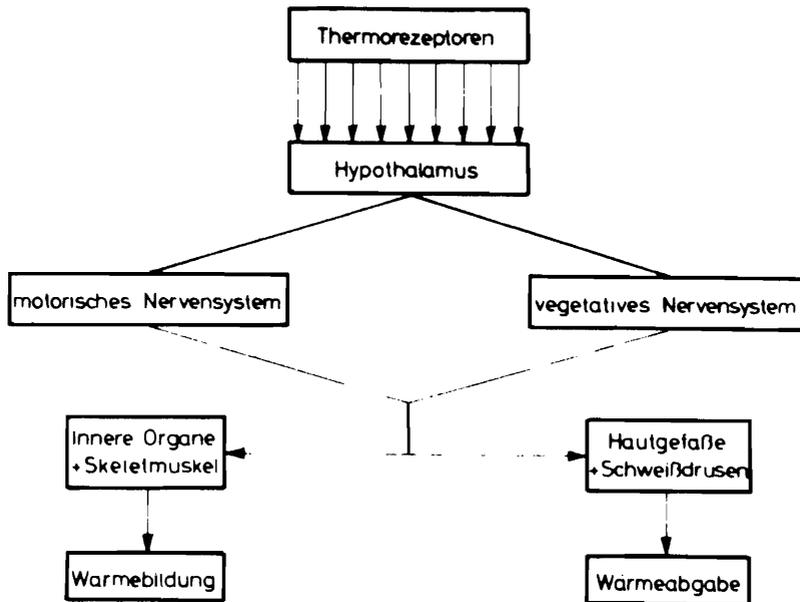


Abb. 5 : Schema der Temperaturregulation (nach HENSEL, zitiert bei KOLB, 75)

Wie in Abbildung 5 schematisiert wiedergegeben ist, geht dann die Steuerung von Wärmeproduktion und Wärmeabgabe vom Hypothalamus über zwei Wege aus: Das motorische Nervensystem löst Reaktionen in Hautgefäßen, Muskeln und Organen aus, die sich durch Konstriktion und Dilatation bemerkbar machen.

Über das vegetative Nervensystem werden die Organe in ihren Stoffwechsellvorgängen aktiviert bzw. gehemmt und variieren somit den Umfang der Wärmebildung. Die produzierte Wärme gelangt über das Blut zur Körperschale, wobei die Durchströmung der Haut den wesentlichen und in der Reihenfolge der durchgeführten Maßnahmen an erster Stelle stehenden Steuerungsmechanismus der Wärmeabgabe darstellt.

Die Blutversorgung der Haut geschieht durch ein kompliziertes System der Gefäßanordnung und -ausstattung, der im Hinblick auf die Wärmeableitung in den Boden besondere Bedeutung im Bereich der Körperunterseite zukommt.

#### 4.1.1.1 Blutversorgung der Haut

Zur Anordnung der Blutgefäße der Haut beim Wiederkäuer existieren zwar Untersuchungen (42, 84, 103, 117), die sich jedoch in ihren Aussagen teilweise widersprechen. Es ist von der Versuchstechnik her außerordentlich schwierig, die sich verästelnden Gefäßbahnen in den oberen Hautschichten zu isolieren bzw. zu identifizieren (84). Auf jeden Fall steht fest, daß die Anlage der Gefäße im Bereich der Haut nicht für alle Hautpartien am Körper gleich ist. Gerade die Hautbereiche der peripheren Körperstellen sind mit Blutgefäßen in der Weise ausgestattet, daß der Blutstrom in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur unterschiedlich tief in die Hautschichten vordringt. Nach LÖFFLER (84) ist vor allem der Unterschied in der Gefäßanordnung zwischen Körperunterseite und den peripheren Hautpartien (Extremitäten, Ohren) ausgeprägt, wonach sich im Rumpfbereich keine Anastomosen nachweisen lassen. Dabei handelt es sich um Verbindungen zwischen Arterien und Venen, die im Bereich der Subkutis und des unteren Teils des Coriums angeordnet sind. Je nach Temperatureinwirkung verschließen und öffnen sich die muskulösen Verbindungsstränge und regulieren somit den Blutfluß im Hautbereich. Als Folge davon wird eine geringere Reaktivität der Rumpfhaut gegenüber Temperatureizen angenommen (11). Dies muß bei den Wärmeeigenschaften von Bodenbelägen Berücksichtigung finden, weil zu einer geringeren Anpassungsfähigkeit an den Wärmeentzug durch den Boden eine höhere Wärmeabgabe wegen der bereits beschriebenen anatomischen Gegebenheiten hinzukommt und daraus unzulässig hohe Wärmeentzugsmengen entstehen können.

Übereinstimmend und für die Temperaturregulation entscheidend wird die Gefäßanordnung von Venen und Arterien in der Literatur festgestellt (42, 84).

Danach verlaufen Arterien und Venen nebeneinander (Abb. 6) und tauschen nach dem Gegenstromprinzip (119) ihre Wärme in der Form aus, daß das angewärmte arterielle Blut Wärme an das zum Kern zurückfließende venöse Blut abgibt und damit bereits abgekühlt in die peripheren Schichten gelangt. Dieser Mechanismus wird noch dadurch unterstützt, daß das Blut je nach Außentemperatur in oberflächlich oder tiefer gelegenen Venen zum Herz zurückfließt. Dieses System macht die Abbildung 7 deutlich.

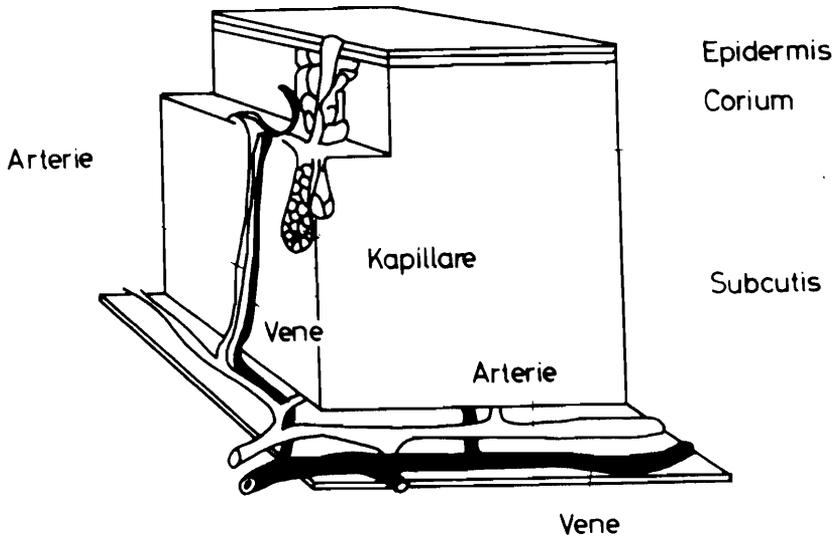


Abb. 6 : Schematische Darstellung der BlutgefäÙanordnung im Bereich von Subcutis und Corium (nach FINDLAY, 42)

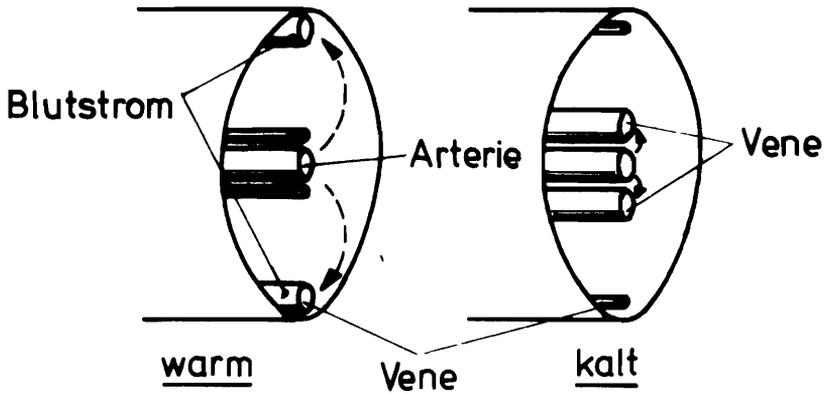


Abb. 7 : Funktionsweise des Blutstromes in den peripheren Körperregionen bei hohen und tiefen Umgebungstemperaturen (nach ANDERSSON, zitiert bei NICHELMANN und LYHS, 104)

Bei hohen Umgebungstemperaturen konstringieren die neben der zuführenden Arterie gelegenen Venen und zwingen damit das Blut in oberflächlich angelegte Gefäßbahnen zurück zum Kern (linker Teil der Abbildung). Bei kalter Umgebung konstringieren die peripher gelegenen Venen, wodurch der Rückstrom in den neben den zuführenden Gefäßen liegenden Venen geschieht.

Bei Umgebungstemperaturen von mehr als 20 °C wird der Temperaturunterschied zwischen arteriellem und venösem Blut so gering, daß eine Wärmeaustausch nach dem Gegenstromprinzip ineffektiv bleibt (102).

Es ist festzuhalten, daß zur Steuerung der Wärmeabgabe dem Blut sowie seiner Strömungsgeschwindigkeit eine wesentliche Bedeutung zukommt, weil es die Wärme vom Körperkern zur Haut transportiert. Deshalb wird die wärmeregulierende Wirkung des Blutkreislaufes der Körperunterseite dadurch verringert, daß die wärmeproduzierenden Organe sich unmittelbar unter der Körperschale befinden, was Konsequenzen hinsichtlich eines Wärmestaus bzw. eines Wärmedefizits beim Abliegen des Tieres denkbar macht.

Die Regulierung der Wärmeabgabe durch variierebare Blutversorgung der Haut zusammen mit korrespondierenden Mechanismen der Gefäßerweiterung und -verengung stellt die zuerst wirksam werdende Maßnahme dar, um die Körpertemperatur aufrechtzuerhalten. Reicht die Regulierung durch Gefäßveränderung nicht mehr aus, setzen andere Mechanismen ein, die sich in ihrer Gesamtheit bestimmten Wärmezonen im Körper zuordnen lassen.

#### 4.3.2 Wärmezonen

Während die Erscheinungsformen der Thermoregulation bereits über den gesamten Körper des Rindes quantifiziert wurden (17, 18, 44, 87, 102, 103, 104), bestehen über die Ursachen und auslösenden Momente der Regelmechanismen noch viele Unklarheiten (17). Aber auch ohne Vorkenntnis aller physiologischen Ursachen bedürfen die Auswirkungen der Thermoregulation besonderer Beachtung hinsichtlich der Anpassung an die Umwelt, was den Stall im allgemeinen und den Standplatz im besonderen betrifft.

Die Regulierungsmaßnahmen, die einerseits aus Verengungen der Hautgefäße und Wärmebildung und andererseits aus Gefäßerweiterungen, Wasserausscheidung und

Erhöhung der Atemfrequenz bestehen, zeigen - in Wärmezonen eingegrenzt - den jeweiligen Grad der wärmeregulatorischen Aktivität (Abb. 8).

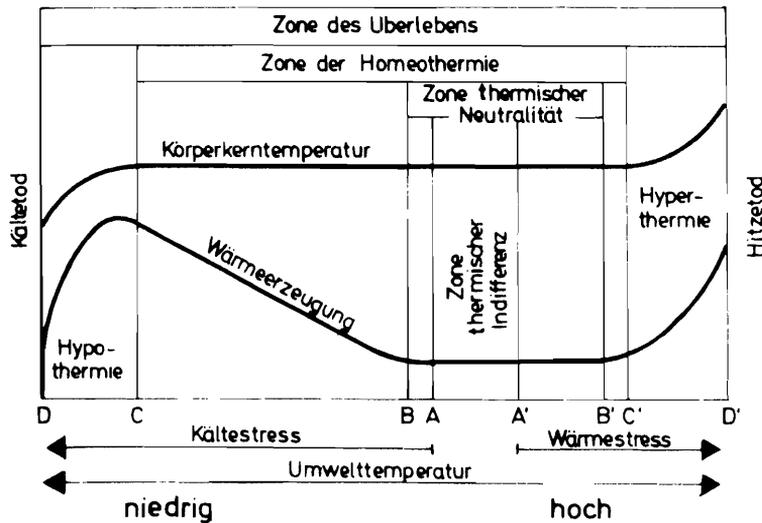


Abb. 8 : Wärmeezeugung und Körpertemperaturverlauf in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (nach PRECHT, zitiert bei REDECKER, 117)

In der Zone der thermischen Indifferenz befinden sich die Blutgefäße der Haut über den ganzen Körper hinweg weder im Zustand vollständiger Vasodilatation noch in dem vollständiger Vasokonstriktion. Die Verdunstungsraten der Atemwege und der Haut sind minimal. Verschiebt sich nun die Umgebungstemperatur über den Bereich der thermischen Indifferenz hinaus, setzt die Thermoregulation ein. Bei einer Verringerung der Umgebungstemperatur verengen sich zunächst die Blutgefäße, bis die Wärmeleitfähigkeit der Haut nicht mehr abnehmen kann und auch bei weiterer Abkühlung der Umgebung konstant bleibt (B). Das würde aber eine Auskühlung des Körpers bedeuten, weswegen bei maximaler Vasokonstriktion die Wärmeezeugung zum Zwecke der Aufrechterhaltung der Körpertemperatur beginnt. Bei weiterer Abkühlung der Umgebung erreicht die Wärmebildung ein Maximum (C) und fällt kurz vor dem Kältetod (D) steil ab. Erhöhten Umgebungstemperaturen (A' - B') begegnet das Tier durch verstärkte Vasodilatation und zunehmende Wasserausscheidung durch die Haut und die Atemwege. Bei weiterer Erwärmung der Umgebung (B' - C') nehmen Wasserausscheidung und Atemfrequenz noch zu, aber die Entwärmung des Körpers ist ungenügend, weswegen die Körper-

temperatur anzusteigen beginnt. Das aktiviert die Stoffwechselvorgänge, woraus eine Wechselwirkung mit der Körpererwärmung entsteht, die schließlich zum Wärmehaushalt führt (D'). Die extremen Temperaturbereiche haben nur theoretische Bedeutung, wohingegen die Zonen thermischer Indifferenz bzw. thermischer Neutralität wirtschaftliche Relevanz besitzen, weil oberhalb und unterhalb dieses Bereichs Leistungseinbußen zu erwarten sind. Die Grenztemperaturen der Umgebung, bei denen die Körpertemperatur sich nicht mehr durch die Regulierung der Wärmeabgabe aufrechterhalten läßt, werden als kritische Temperaturen bezeichnet, weil sie die Grenzen zu massiven und energieverbrauchenden Regulationsmechanismen darstellen.

#### 4.1.3 Kritische Temperatur

Zwar variieren die kritischen Temperaturen mit der Wärmeproduktion des Tieres und der Isolationsstärke der Haut, dennoch ist der Temperaturbereich zwischen oberer und unterer kritischer Temperatur beim Rind auffällig weit. Abbildung 21 zeigt die Zone thermischer Neutralität des Rindes im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Nutztieren.

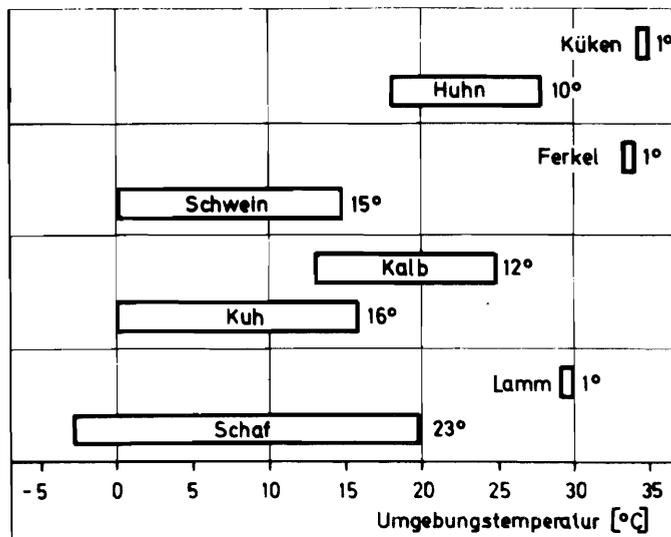


Abb. 9 : Zonen thermischer Neutralität mit ihren Temperaturbereichen bei verschiedenen landwirtschaftlichen Haustieren nach der Geburt und als ausgewachsene Tiere (BIANCA, 155)

Bemerkenswert ist, daß die Temperaturunempfindlichkeit der erwachsenen Tiere gegenüber den neugeborenen nicht nur wesentlich größer ist, sondern vor allem

eine erhebliche Kälteeinwirkung zuläßt. Daß beim Rind bei 16 °C bereits die obere kritische Temperatur liegen kann, deutet darauf hin, daß es gegenüber Wärmeeinwirkung empfindlicher reagiert als gegenüber tiefen Temperaturen. Die Kältebelastung beginnt, wenn der Wärmeentzug die im thermisch neutralen Bereich produzierte Wärme übersteigt, was das Erreichen der unteren kritischen Temperatur charakterisiert.

#### 4.1.3.1 Untere kritische Temperatur

Die untere kritische Temperatur hängt also von der Wärmeabgabe im thermisch neutralen Bereich und außerdem von der Wärmeleitfähigkeit der Haut bei maximaler Vasokonstriktion ab. Die Wärmeabgabe bezieht sich jedoch nur auf den Anteil, der konduktiv durch die Haut abgeleitet wird, weil die Wärmemengen, die durch Verdunstung bzw. durch Erwärmung der aufgenommenen Nahrung abgehen, bei Unterschreiten der kritischen Temperatur konstant bleiben. Diesen Sachverhalt kennzeichnet Gleichung (1):

$$t_{\text{krit}} = t_K - \frac{Q_G - (E_{\text{krit}} + Q_W)}{a_{\text{krit}}}$$

Dabei gilt:

- $t_K$  = Kerntemperatur
- $Q_G$  = Gesamtwärmeabgabe
- $a_{\text{krit}}$  = Wärmedurchlaßzahl bei der kritischen Temperatur (max. Vasokonstriktion)
- $E_{\text{krit}}$  = Wärmeabgabe über Verdunstung bei der kritischen Temperatur
- $Q_W$  = Wärmeabgabe an aufgenommene Nahrung

BIANCA hat die Wärmedurchlaßzahl der Haut bei maximaler Vasokonstriktion mit 3 W/m<sup>2</sup> und °C festgestellt. Dieser Umfang des Wärmedurchganges stellt allerdings nur einen an wenigen Tieren gemessenen Mittelwert dar, der in Abhängigkeit von der Haut- und Fellbeschaffenheit schwanken kann.

Die kritische Temperatur bezieht sich also auf einen bestimmten Umfang an Wärmeproduktion und damit an Stoffwechselaktivität. Mit zunehmender Stoffwechselftätigkeit verlagert sich die kritische Temperatur in Richtung tieferer Temperaturen sowie bei abnehmender Stoffwechselftätigkeit in umgekehrte Richtung. Dieser Zusammenhang erklärt, daß bei Hochleistungstieren mit hohem Energieumsatz die Kälteunempfindlichkeit noch ansteigt oder umgekehrt, die Gefahr nicht ausreichender Wärmeabgabe bei schon vergleichsweise niedrigen Temperaturen gegeben sein kann.

Unter der Voraussetzung gleichbleibender Wärmeleitfähigkeit der Haut bei maximaler Gefäßverengung liegt die kritische untere Temperatur bei einer Wärmeproduktion von 40 000 kJ bis 90 000 kJ zwischen + 22 °C und - 10 °C, wobei diese Wärmemengen der Produktion eines ca. ein Jahre alten Rindes bzw. einer Hochleistungsmilchkuh entsprechen (Abb. 10).

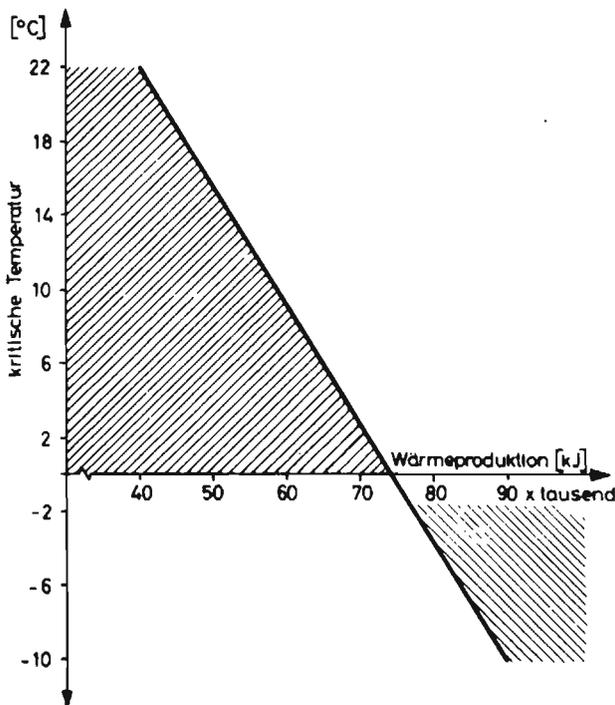


Abb. 10: Verlauf der unteren kritischen Temperatur in Abhängigkeit von der Wärmeproduktion

Die Grenzlinien der unteren kritischen Temperatur weisen also auf die Gefahr einer Abkühlung durch die Umgebung hin, wonach bei Unterschreiten der kritischen Temperatur der Organismus zusätzlich Wärme produziert, um die Körper-

temperatur aufrechtzuhalten. Die in Wärme umgewandelte freie Energie muß durch erhöhte Futteraufnahme ersetzt werden, was nur durch ansteigenden Kraftfutteranteil möglich ist (100). Die zusätzlich notwendige Wärmemenge steigt je °C Temperaturverminderung um den Betrag der Wärmedurchgangszahl bei maximaler Konstriktion der Hautgefäße an.

Die Unterschreitung der unteren kritischen Temperatur führt unter normalen Stallbedingungen nicht bis zu gesundheitlichen Schäden, sondern gleicht das Wärmedefizit durch das - allerdings unwirtschaftliche - "Aufheizen" mit Futter aus. Allerdings ist durch Untersuchungen noch nicht geklärt, ob Stoffwechselsteigerungen in Gang kommen, wenn die kritische Temperatur lokal begrenzt wie im Falle des Wärmeaustausches des liegenden Körpers mit dem Boden unterschritten wird.

#### 4.1.3.2 Obere kritische Temperatur

Nach BIANCA (17) läßt sich die Wärmeleitfähigkeit der Haut ab einer Temperatur von 20 °C nicht mehr erhöhen, wobei eine konduktive Gesamtwärmeabgabe von 49 600 kJ je 24 Stunden unterstellt ist. Mit dem Zustand maximaler Wärmeleitfähigkeit ist die obere kritische Temperatur erreicht. Gegenüber der das Tier umgebenden Luft kann jedoch die Wärmeabgabe durch Verdunstung noch weiter gesteigert werden. Diese Möglichkeit bleibt allerdings gegenüber dem Teil der Haut, der mit dem Boden in Berührung ist, versagt. Hinsichtlich der Abgrenzung für die Wärmedämmung des Bodens fällt dieser Unterschied noch stärker ins Gewicht, da die Wärmeabgabe an Rumpfunterseite und Euter grundsätzlich höher ist als am übrigen Körper.

Die kutane Wärmeübertragung durch Konvektion und Konduktion nimmt entsprechend den Gesetzen der Thermodynamik mit zunehmender Umgebungstemperatur ab. Die Temperatur, von der ab ein weiterer Wärmeaustausch vom Körper her durch Wärmeleitung ohne Zunahme der Körpertemperatur nicht mehr möglich ist, richtet sich neben der Umgebungstemperatur nach der Wärmeproduktion. Deshalb ergibt sich für die obere kritische Temperatur ein Schwankungsbereich, der beim Rind entsprechend dem Stoffwechselliveau zwischen 15 ° und 30 °C liegen dürfte (BIANCA, 17). Oberhalb des Bereiches der kritischen Temperatur nimmt die Verdunstung hauptsächlich über die Atemwege zu. Die Verdunstung über die Haut

bleibt beim Rind im Gegensatz zum Pferd weitgehend konstant und ist darüber hinaus gering. Nach NICHELMANN (103) können je  $m^2$  Hautoberfläche ca. 150 g Sekret in der Stunde abgeschieden werden. Da zur Verdunstung von 1 g Wasser etwa 2,3 kJ erforderlich sind, entzieht die Umgebung je  $m^2$  Hautoberfläche pro Tag ca. 8 280 kJ vom Tier.

Zwischen Wärmeabgabe und Wärmedurchlaßzahl besteht im Bereich der oberen kritischen Temperatur eine gegenüber der unteren kritischen Temperatur unterschiedliche Beziehung. Während bei der unteren kritischen Temperatur Wärmedurchgangszahl und tatsächlich erfolgter Wärmedurchgang identisch sind, liegt bei der oberen kritischen Temperatur der tatsächliche sensible Wärmedurchgang unter dem Betrag der Wärmedurchgangszahl, also dem von der Wärmeleitfähigkeit her möglichen Wärmedurchgang. Dies läßt sich daran verdeutlichen, daß bei maximaler Dilatation und einem Temperaturgradienten vom Körperkern zur Umgebung von  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$  ein möglicher Wärmedurchgang von  $180\text{ W/m}^2$  besteht. Bezieht man diesen Wert auf die Gesamtkörperfläche, dann ergibt sich ein potentieller Wärmestrom von 1010 W. Eine Kalbin z. B. mit einer Gesamtwärmeproduktion von 54 500 kJ je 24 Stunden gibt aber nicht mehr als ca. 630 W oder  $110\text{ W/m}^2$  an die Umgebung ab. Auf der anderen Seite müssen von einer Hochleistungskuh mit gleicher Körperoberfläche 1100 W oder  $196\text{ W/m}^2$  abgegeben werden können, so daß der Wärmedurchgang nicht mehr allein konduktiv und konvektiv, sondern auch durch die bereits beschriebene Wasserausscheidung erfolgt.

Über die Wärmeleitfähigkeit der Haut bei maximaler Vasodilatation gibt es keine Angaben, weil mit abnehmenden Temperaturgradienten zwischen Tierkörper und Umwelt die Wärmeleitfähigkeit zwar zunimmt, der tatsächliche Wärmestrom aber wegen des geringer werdenden Temperaturgefälles unter dem möglichen Wärmedurchgang liegt. Deshalb ist auch eine ähnliche Bestimmung des Wärmegleichgewichtes wie im Falle der unteren kritischen Temperatur nicht möglich. Statt dessen läßt sich die Wirkung ansteigender Umgebungstemperaturen bei unterschiedlichem Energieumsatz deutlich am Futterverzehr klar machen.

Nach BIANCA wird in Abbildung 11 dargestellt, wie sich der Futterverzehr bei zunehmender Umgebungstemperatur verändert. Demnach beginnt die Reduzierung der Futterraufnahme bei einer laktierenden Kuh schon im Bereich von  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , während eine nicht laktierende Kuh erst bei über  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  weniger Futter aufnimmt. Die

Reduzierung der Futterraufnahme bedeutet also einen Ausgleichsmechanismus für die durch verminderte Wärmeabgabe induzierten Stoffwechselsteigerungen.

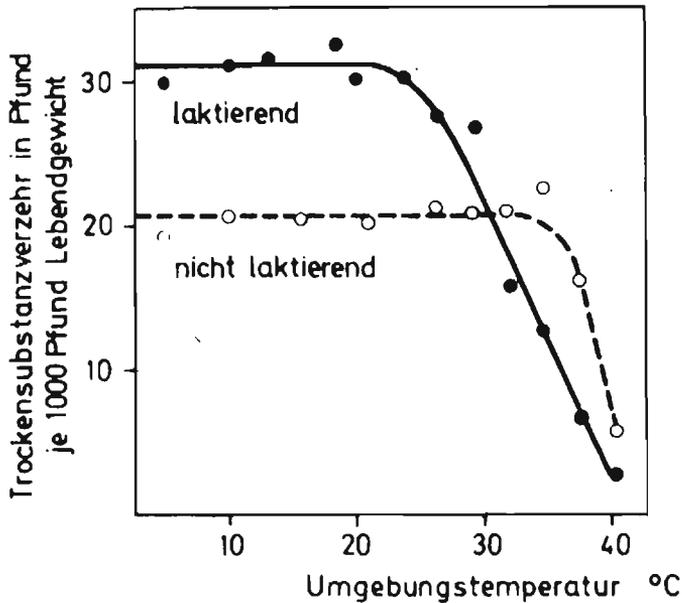


Abb. 11: Einfluß der Umgebungstemperatur auf den Trockensubstanzverzehr des Rindes (BIANCA, 155)

Das Wärmeverhalten besteht also aus einer Vielzahl von Einzelvorgängen, bei deren Zusammenspiel es darum geht, die Körpertemperatur konstant zu halten. Bislang vorgenommene Untersuchungen über die thermischen Vorgänge beziehen sich stets auf die Wechselwirkung zwischen Tier und Umwelt in ihrer Gesamtheit. Dagegen liegen nur sehr wenige Angaben über das Wärmeverhalten bei partiellen Temperatureinflüssen vor, wie sie für den Wärmeaustausch zwischen liegendem Tier und Boden zutreffen. Damit bleibt offen, welche Möglichkeiten des Wärmeausgleiches bestehen, um lokal begrenzte Unterschiede im Wärmeentzug an anderer Stelle zu kompensieren. Das betrifft den Wärmestau zwischen dem liegenden Tierkörper und einem wärmegeprägten Boden sowie den erhöhten Wärmeentzug bei kalter Liegefläche. Daraus leitet sich die wesentliche Frage nach dem Umfang tiergerechten Wärmeentzuges in den Boden ab, welche die Untersuchung in der Situation des Wärmeaustausches mit dem Boden notwendig machte. Unter Berücksichtigung thermodynamischer und physiologischer Gesetzmäßigkeiten sollen daraus Kennwerte tiergerechten Wärmeentzuges entwickelt werden.

#### 4.2 Ermittlung von Kennwerten tiergerechten Wärmeentzuges

Um tiergerechte Wärmeentzugsmengen ermitteln zu können, ist ein schrittweises Vorgehen notwendig. Zunächst werden in Versuchsreihen die Wärmeeigenschaften von Liegeflächen und dann die auftretenden Wärmeströme zwischen Tier und Boden gemessen; gleichzeitig werden sie den damit verbundenen Verhaltensmaßnahmen und physiologischen Reaktionen des Tieres gegenübergestellt.

Erste Anhaltspunkte über die Größenordnungen eines physiologisch unbedenklichen Wärmeentzuges sollen sich aus der Feststellung der Wärmeeigenschaften von Liegeflächen auf der Weide ergeben, auf der die Tiere natürlichen Temperaturbedingungen ausgesetzt sind und ihren Liegeplatz selbst auswählen können. Zur Präzisierung der Erkenntnisse aus den Wärmeeigenschaften von Weideliegeflächen wurden anschließend Tiere variierenden Liegeflächentemperaturen ausgesetzt, wobei tiergemäße Wärmeentzugsmengen aus dem Wärmeverhalten und dem Reagieren der Tiere auf schrittweise Rücknahme extremer Bodentemperaturbedingungen abzuleiten waren.

##### 4.2.1 Untersuchungen über Liegeflächen auf der Weide

Die schon erwähnten natürlichen Bedingungen einer Weide erlauben den Rückschluß, daß ihre Bodeneigenschaften den Wärmeansprüchen des Tieres genügen. Deshalb können die Wärmeeigenschaften von Weideböden größenordnungsmäßig Hinweise über tiergemäße Wärmeabführung in den Boden liefern. Um den Aussagewert der Wärmemessungen zu erhöhen, sollte der Weideboden nur dort auf seine Wärmeeigenschaften hin untersucht werden, wo ein Tier tatsächlich lag. Zusätzlich mußten klimatische und aus dem Gelände sich ergebende Randbedingungen miteinfaßt werden, unter denen ein Tier die entsprechende Liegestelle aufgesucht hatte. Dies verschaffte Anhaltspunkte über mögliche Ursachen für das Liegen selbst und für die Auswahl des Liegeplatzes, die sich zu den Wärmeeigenschaften des Bodens in Beziehung setzen lassen.

##### 4.2.1.1 Versuchsmethoden und -bedingungen

Das Grundprinzip der Wärmestrommessung hat sich, wie aus der Literatur hervorgeht (10, 11, 29, 53, 108, 133), in den letzten Jahren dahingehend vereinheitlicht, daß die Wärmeabgabe in den Boden direkt gemessen wird. Die Unterschiede

in den einzelnen Meßsystemen bestehen hauptsächlich in der Größe der Heizfläche der Wärmequelle und im Wärmeinhalt des Heizkörpers selbst. Methoden und Wirkungsweise der Wärmestrommessungen sind in Abbildung 12 zusammengefaßt dargestellt.

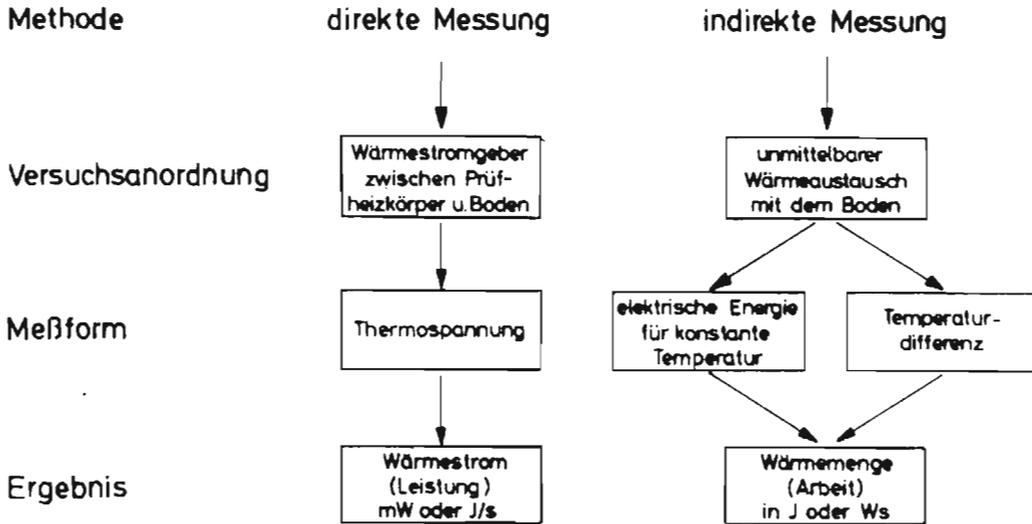


Abb. 12: Meßanordnung der direkten und indirekten Wärmeflußmessung mit Prüfheizkörpern

Die direkte Messung der Wärmeströme hat sich aus Methoden entwickelt, bei denen sich die abgeleitete Wärmemenge nicht unmittelbar bestimmen läßt, sondern indirekt aus Energiebilanzrechnungen der Wärmequelle errechnet werden muß.

Das Prinzip dieser indirekten Messung beruht darauf, einen mit Ausnahme der Unterseite abisolierten Wasserbehälter bestimmten Wärmeinhalt auf die zu messende Oberfläche zu setzen. Die Abkühlung des Wassers stellt dann das Maß für die Wärmeabgabe in den Boden dar, indem der Wärmeinhalt über der Versuchsdauer registriert wird. Wassermenge, Temperaturdifferenz und spezifische Wärme sind bekannt, so daß sich die abgeführte Wärmemenge nach der Gleichung

$$(2) \quad Q = C_w \cdot m_w \cdot (T_{to} - T_{tn}) \quad \text{bestimmen läßt.}$$

Dabei bedeuten:

- $Q$  = abgeführte Wärmemenge in J
- $C_w$  = spezifische Wärme des Wassers in  $J/g \cdot ^\circ C$
- $m_w$  = Masse des Wassers in kg
- $T_{to}$  = Temperatur des Wassers zu Beginn der Messung
- $T_{tn}$  = Temperatur zu einem Zeitpunkt  $t_n$  nach Beginn der Messung

Während Thermoelemente zur Temperaturmessung des Wassers aufgrund ihrer nur gering verzögerten Anzeige eine bereits brauchbare Beobachtung des Abkühlverlaufes erlauben, verfeinert sich diese Möglichkeit der laufenden Kontrolle noch mehr, wenn nicht die abgegebene Wärmemenge errechnet, sondern diejenige elektrische Energie gemessen wird, die zur Konstanthaltung der Wassertemperatur erforderlich ist.

Der Vorteil dieser Versuchsanordnung liegt darin, daß die Wärmequelle direkt der Bodenfläche aufliegt und damit der Wärmeaustausch mit dem Boden unmittelbar erfolgen kann. Einen weiteren Vorteil bedeutet der vergleichsweise geringe technische Aufwand. Der entscheidende Nachteil ergibt sich indessen aus der fehlenden Kontrolle der tatsächlichen Wärmeabgabe in den Boden. Gerade bei sehr geringen Wärmeströmen läßt sich der Nachweis nicht mehr erbringen, ob die Abkühlung des Wassers auf die Abführung in den Boden zurückzuführen ist oder ob sie den Wärmeentzug durch nicht auszuschließende Verluste bedeutet.

Diesen Nachteil vermeidet die direkte Wärmestrommessung, weswegen sie sich als Meßmethode weitgehend durchgesetzt hat, jedoch einen beträchtlichen Meßaufwand verursacht. Die Versuchsanordnung beruht hier nun darauf, daß die Wärmemenge nicht unmittelbar an den Boden abgegeben wird, sondern durch eine Thermoelementplatte hindurchfließen muß, die sich zwischen Heizkörper und Bodenoberfläche befindet. Aus den sich auf Plattenober- und -unterseite ergebenden Temperaturdifferenzen entsteht eine Thermospannung, die auf ein Anzeigegerät übertragen wird. Der Vorteil dieser Versuchsanordnung besteht vor allem in der Präzision der Ergebnisse sowie in der unkomplizierten Umrechnungsmöglichkeit in die Dimension eines Wärmestromes.

Die Messung mit Thermoelementplatten geht auf RAISCH (115) zurück und fand zunächst hauptsächlich Verwendung bei Wandbauteilen, bei denen der Wärmedurchgang von der Oberfläche der Innenseite zur Oberfläche der Außenseite zu bestimmen ist. Dieses Prinzip der direkten Wärmestrommessung wurde von CAMMERER (29, 86) weiterentwickelt und als Standardmethode zur Prüfung von Wärmeeigenschaften von Fußböden ausgebaut.

Die für die nachfolgenden Versuche verwendeten Thermoelementplatten bestanden aus einzelnen hintereinander geschalteten Thermoelementdrähten, die in ein Gummigewebe eingelegt sind, um sie vor mechanischer Beschädigung sowie vor dem Eindringen von Feuchtigkeit zu schützen (Abb. 13).

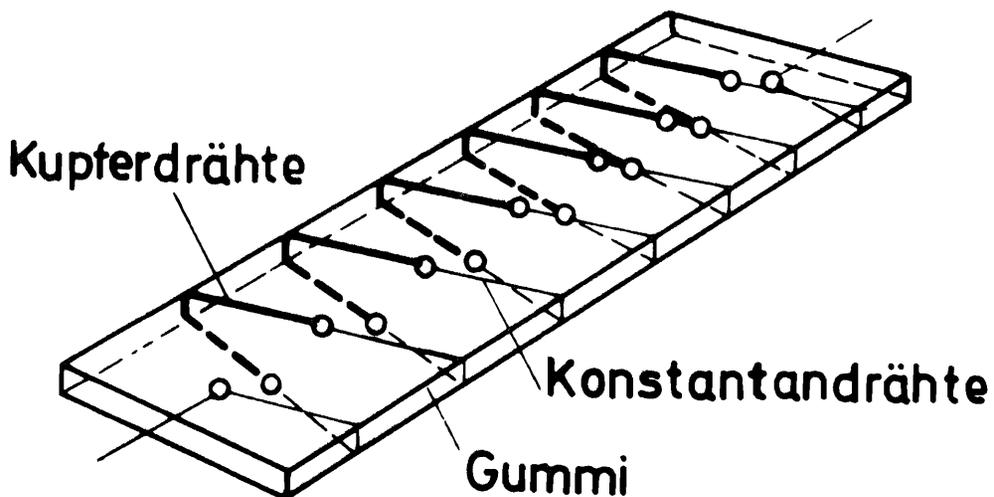


Abb. 13: Konstruktionsschema der Wärmeflußmeßplatte (CAMMERER, 29)

Ihre Enden hängen an einvulkanisierten Klemmen, die an ein Anzeigegerät angeschlossen werden. Die elektromotorische Kraft eines Thermoelementes ist von seiner Bauart und dem verwendeten Material abhängig. Sie ist von Meßplatte zu Meßplatte verschieden und wird in der zur Umrechnung in Wärmestromdimensionen notwendigen Eich-Gleichung mit berücksichtigt, so daß die Messungen mit verschiedenen Meßplatten vergleichbar bleiben. Die Verwendung mehrerer Thermoelemente und ihre Hintereinanderschaltung der Einzelelemente dient dem Zweck, die durch die Temperaturdifferenz erzeugte elektrische Spannung zu verstärken um auch geringe Wärmeströme registrieren zu können.

Die Anwendung der Wärmeflußmessung mit Thermelementplatten ist als "Hilfswandmethode" bekannt, weil nicht der tatsächliche durch das Material fließende Wärmestrom, sondern nur der durch die Thermelementplatte fließende Wärmestrom gemessen wird. Die Temperatur unter der Meßplatte ist bedingt durch die Wärmeeindringmöglichkeit in das Bodenmaterial. Sie gleicht sich der auf der Plattenoberseite um so stärker an, je geringer die Wärmeeindringmöglichkeit in den Boden ist, und die Temperaturdifferenz wird um so größer, je mehr Wärme an den Boden abgegeben werden kann. Die zusätzliche Isolierwirkung der Thermelementplatte geht in die Eichgleichung mit ein und wird damit eliminiert. Physikalisch kommt der Wärmeaustausch mit dem Boden dem Modell des einseitig unendlich ausgedehnten Körpers am nächsten, wobei die Temperatur an der Berührungsfläche beider Körper die entscheidende Bedeutung erhält (47). Sie ist, wie gerade erwähnt, abhängig von dem Eindringvermögen der Wärme in den Boden, das sich wiederum aus dem Material ergibt. Diesen Zustand beschreibt die Wärmeeindringzahl  $b$ , die sich aus der Wärmeleitfähigkeit, der Dichte und der spezifischen Wärme errechnet:

$$(3) \quad b = \sqrt{\rho \cdot \lambda \cdot c}$$

Dabei gilt:

- $\rho$  = Dichte in  $\text{kg/cm}^3$
- $c$  = spezifische Wärme in  $\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit in  $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

Die Temperatur der Berührungsebene liegt stets näher an der Temperatur des Körpers mit der größeren Wärmeeindringzahl  $b$ . In diesem Zusammenhang ist auch das physiologische Empfinden von Wärme und Kälte zu sehen. Gleichtemperierte Gegenstände werden um so "kälter" empfunden, je höher deren Wärmeeindringzahl ist.

Diesen Zusammenhang zeigt Abbildung 14, auf der die Kontaktflächentemperatur einer Fußsohle als Funktion der Eindringmöglichkeit auf verschiedenen Oberflächen aufgetragen ist. Bei einer Korkunterlage nimmt die Kontaktflächentemperatur unmittelbar nach dem Aufsetzen einen konstanten Wert an, während bei Kupferunterlage zunächst ein hoher Temperaturabfall eintritt, der sich allerdings aufgrund der Korkunterschichtung sehr schnell auf einen konstanten Wert einspielt

Als Folge davon wird an der Oberfläche des Bodens der stationäre Wärmestrom unterbrochen, wobei die Abnahme um so stärker ausfällt, je höher die Wärmedämmung des Bodens ist. Wegen der großen Masse des Bodens im Verhältnis zur Kontaktfläche erfährt die Eindringrichtung in den Boden eine gewisse Bedeutung. Denn der Boden wirkt wie ein Schwamm, bei dem eindringende Feuchtigkeit sich nach allen Richtungen ausbreitet. Die Unterstellung eines senkrechten Eindringens trifft ausreichend genau für eine dünne und überdies von der Wärmeleitfähigkeit des Materials abhängige Schicht zu. Die seitliche Abführung der Wärme zur wirklichkeitstgetreuen Wärmestrombestimmung beim Rind ist um so wichtiger, je kleiner die Heizfläche des Meßgerätes ist. Unter Bedingungen einer wärmeabgebenden liegenden Kuh bleibt jedoch der Anteil der seitlich abfließenden Wärmemenge wegen der großen Gesamtaufliegefläche gering.

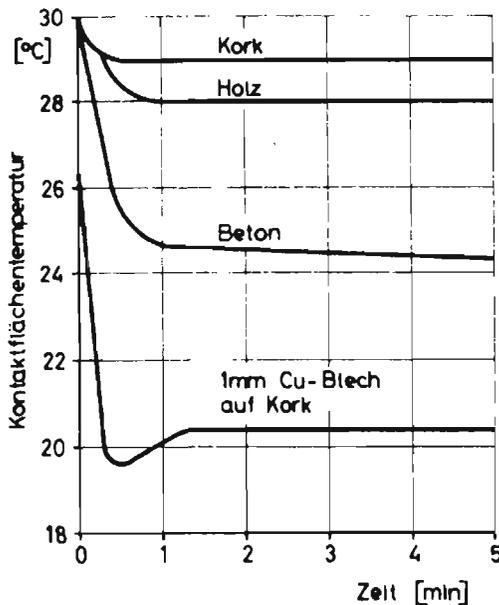


Abb. 14; Kontaktflächentemperatur eines Wärmekörpers auf einer Unterlage in Abhängigkeit von ihrer Materialbeschaffenheit (nach RECKNAGEL-SPRENGER, 116)

Deshalb führt die von OBER und KIESL (111) für die Messung der Wärmeleitfähigkeit von Stallfußböden nach DIN 52 614 (33) angewandte Methode nicht zu den Ergebnissen, die den Verhältnissen der Wärmeabgabe vom Tier entsprechen, weil die Heizflächen des Prüfgerätes auf die Größenordnung der menschlichen Fußsohle ausgelegt sind. Dadurch steigt der Anteil der seitlich abgeleiteten Wärme

an der Gesamtwärmeabgabe an, was das Bild der großflächigen Wärmeableitung vom Tier zum Boden verfälscht und den gemessenen Wärmestrom zu hoch erscheinen läßt. Die wenig praxisgerechten Versuchsbedingungen der Wärmestrommessung nach DIN 52 614 für Stallböden versuchte BÄHR (10, 11) dadurch zu umgehen, daß er einerseits die Heizfläche der Wärmequelle vergrößerte und andererseits durch massive seitliche Abisolierung der zu prüfenden Bodenproben das seitliche Abfließen der Wärme vermied. Diese Methode eignet sich wegen des hohen technischen Aufwandes jedoch nur für Laborversuche.

Für die Messung der Wärmeabführung bei Weideliegeflächen waren Meßmethoden notwendig, welche die Vorgänge der Wärmeabgabe vom Tier zum Boden simulieren. Dazu ist eine Wärmequelle erforderlich, deren Heizflächentemperatur in etwa der Temperatur an der Hautoberfläche der Körperunterseite entsprechen muß. Weiterhin kommt es auf eine großflächige Wärmeabgabe vom Prüfheizkörper zum Boden an, wie sie sich auch vom liegenden Tier her ergibt. Hierzu diente als Wärmequelle ein Prüfheizkörper, wie er in Abbildung 15 schematisiert dargestellt ist.

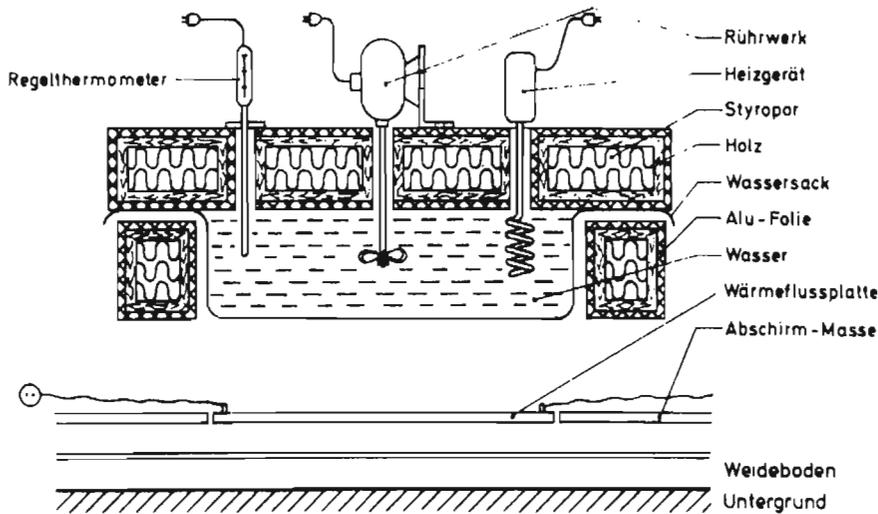
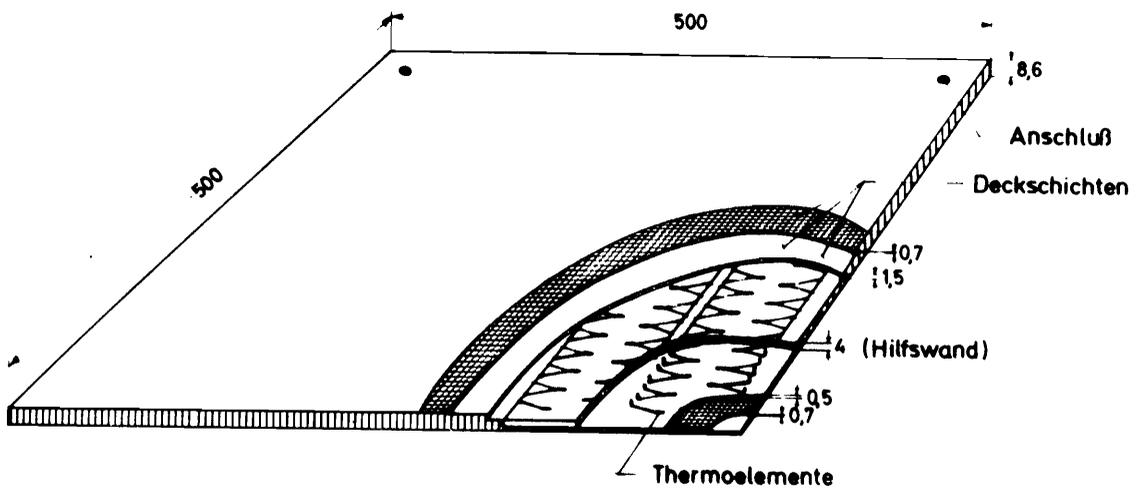


Abb. 15: Prüfheizkörper und Versuchsaufbau für Wärmeflußmessungen

Er bestand aus einem Holzkasten, der innen mit einer Kunststoffolie ausgeschlagen war, deren Bodenseite auch zugleich die wärmeabgebende Fläche des Heizkörpers bildete. In seinen Abmessungen von 55 cm Seitenlänge deckte die Heizfläche

die darunter angebrachte quadratische Thermoelementplatte mit 50 cm Seitenlänge gut ab. Die flexible Unterseite legte sich durch den Druck des Wassers auf die Plattenoberfläche eng an. Die Wassertemperatur wurde auf 30 °C unter Zuhilfenahme einer thermostatgesteuerten Heizschlange gehalten, wobei ein Elektroquirl die gleichmäßige Temperaturverteilung des Wassers im Prüfheizkörper gewährleistet. In Anlehnung an die Hauttemperaturen der Körperunterseite wäre jedoch eine Temperatur des Prüfheizkörpers von 32 °C bis 35 °C erforderlich. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit Messungen unter Anwendung dieser Methode wurde die Temperatur von 30 °C beibehalten.

Um sicherzustellen, daß die Wärme ausschließlich an der Heizkörper-Unterseite austrat, waren die Seitenwände sowie der Deckel des Prüfheizkörpers mit einer ca. 10 cm starken Isolierschicht aus Styropor abgedichtet. Um die darunter angebrachte Thermoelementplatte wurden von allen Seiten isolierende Gummipplatten gelegt, die das oberflächlich seitliche Abfließen der Wärme im Bereich der Meßplatte dadurch vermindern sollten.



Stanzel/Po 20 7 72

Abb. 16: Schematisierter Aufbau der Wärmeflußmeßplatte

Damit die Messung möglichst der Situation des Wärmeaustausches vom Tier zum Boden angeglichen ist, bedurfte es eines engen Aufliegens der Thermoelement-

platten auf dem Boden, so daß nicht, durch Lufträume verursacht, veränderte Wärmeströme die tatsächlichen Wärmeeigenschaften verfälschen. Deshalb wurden Bodenunebenheiten ausgeglichen.

In die Thermoelementplatte (Abb. 16) waren 500 Einzelelemente hintereinandergeschaltet und in eine 4 mm starke Hilfswand aus Gummi eingearbeitet, an die sich nach oben und unten zwei Deckschichten anschlossen. Die Seitenlänge von 500 mm des quadratischen Wärmestromgebers ermöglicht die Messung eines großflächigen Wärmedurchganges.

Zur Bestimmung des Wärmestroms war die Temperaturdifferenz zwischen Thermoplattenober- und -unterseite festzustellen, weswegen oben und unten je ein 1 mm starkes Thermoelement angebracht war. Um die registrierte Thermospannung und die Temperaturdifferenz in einem Meßschrieb aufnehmen zu können, wurde ein Zwölf-Kanaldrucker verwendet, der die Thermospannung in mV und die Temperaturen in °C aufzeichnet. Aus dem in mV gemessenen Wärmestrom und dem arithmetischen Mittel der Temperaturen oberhalb und unterhalb der Meßplatte, sowie den vom Plattenhersteller angegebenen Eichkorrekturfaktoren errechnet sich der Wärmestrom in  $W/m^2$ .

Hierbei gilt Gleichung

$$(4) \quad \frac{Q}{t} = U_{th} \cdot \left( X_1 - \frac{t_o - t_u}{2} \right) \cdot X_2$$

Dabei bedeuten:

$\frac{Q}{t}$  = Wärmestrom in  $W/m^2$

$U_{th}$  = thermoelektrische Spannung in mV der Temperaturdifferenz  $t_o - t_u$

$X_1; X_2$  = Korrektur- und Eichfaktoren der Thermoelementplatte

$t_o$  = Temperatur oberhalb der Meßplatte in °C

$t_u$  = Temperatur unterhalb der Meßplatte in °C

Nach dieser Methode wurden zunächst die Wärmestrommessungen auf der Weide durchgeführt. Hierzu wurde ein große Standweide in einem Auengebiet

ausgewählt, weil sie über ausreichende Möglichkeiten unterschiedlicher Liegeplätze verfügte. Die Tag und Nacht darauf weidende Herde bestand aus dreißig weiblichen Jungtieren. Damit war der Tagesrhythmus nicht durch Routineeinflüsse wie z. B. dem Heimtrieb einer Milchkuhherde zum Melken gestört, wodurch sich die Messungen der Wärmeeigenschaften der Liegeplätze dem natürlichen Verhalten der Tiere anpassen ließen.

Das Weidegrundstück, in vier annähernd gleich große Koppeln aufgeteilt, war ca. 15 ha groß. Die Herde wurde jeweils nach 3 Wochen umgetrieben. Rund zwei Drittel der Gesamtfläche war offen, den Rest machte Waldbewuchs aus, der sich aus dichtem und kaum zugänglichem Auenwaldgestrüpp und aus gut begehbarem Mischwaldbestand zusammensetzte. Dadurch sowie aufgrund geologischer und klimatischer Voraussetzungen ergab sich ein weites Spektrum von Liegeplatzeigenschaften; den Tieren boten sich schattige und besonnte Flächen an, die zusätzlich in ihren Härteeigenschaften Unterschiede aufwiesen. Die Härtegrade reichen von weichem Waldboden bis zu harten Rollkiesflächen einer Kiesgrube. Grasbewachsenen Böden standen unbewachsene Flächenstücke gegenüber, deren Oberflächen bei Sonneneinstrahlung unterschiedlich hoch Wärme aufnahmen. Um die Variationsmöglichkeiten der Oberflächenbeschaffenheit in bezug auf die Wärmeeigenschaften zu erhöhen, wurden die Messungen auch bei feuchtem Boden durchgeführt, da die Feuchtigkeit einen erheblichen Einfluß auf die Wärmeleitfähigkeit ausübt (47).

Gleichzeitig mit der Ermittlung der Wärmeeigenschaften von Weideböden war eine Beobachtung der Herde in bezug auf ihr Ausruhverhalten von wesentlicher Bedeutung. Dies bedingte zusätzlich die Feststellung der Abhängigkeiten beim Ausruhverhalten der Herde, die ihrerseits wieder auf eine Reihe von Einflußfaktoren zurückzuführen ist. Aus diesem Grunde wurde bereits von Anfang an die Einbeziehung von Randbedingungen eingeplant, die sich ihrem Einfluß entsprechend folgendermaßen untergliedern lassen:

- Beeinflussung des physikalischen Wärmeverhaltens des Bodens:  
Dazu zählen Lufttemperatur, Luft- und Bodenfeuchte.
- Beeinflussung des Ausruhverhaltens:  
Dazu gehören Sättigungsgrad des Tieres, das Zusammenwirken von Lufttemperatur, Luftdruck und relativer Luftfeuchte (63, 114), Windgeschwindigkeit, Wetter, Fliegenplage, Verhalten des Leittieres und Tageszeit.

Zwischen den einzelnen Einflußfaktoren bestehen Interdependenzen, die sich sowohl auf das Verhalten auswirken als auch die Wärmeeigenschaften des Bodens bestimmen. Um den versuchsbedingt nicht feststellbaren Zusammenhang zwischen Liegedauer und Wärmeeigenschaften des Bodens auszugleichen, wurde die Anzahl der dicht beieinanderliegenden Liegeplätze festgestellt, um auf diese Weise eine mögliche Bevorzugung der Liegeflächeneigenschaften zu erkennen. Aus dem Umfang aller möglichen Einflußgrößen wurden als Einzelgrößen in die Messung schließlich einbezogen:

- Luft- und Bodentemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Windgeschwindigkeit
- Geländebeschaffenheit
- Liegeplatzbedingungen
- Anzahl der insgesamt liegenden Tiere

Um sicher zu gehen, daß der ausgewählte Liegeplatz für eine längere Liegedauer eingenommen war, wurde mit dem Beginn der Messung bis ca. eine Stunde nach dem Abliegen gewartet. Bei dieser Zeitdauer läßt sich unterstellen, daß das Tier die Wärmeeigenschaften des Bodens akzeptiert.

Während der Wartezeit nach dem allgemeinen Abliegen der Herde bzw. eines Teiles von ihr wurden die zu messenden Liegeplätze bestimmt. Für die Auswahl war Bedingung, daß mindestens drei Tiere dicht nebeneinander lagen. Damit sollte sichergestellt sein, das individuelle Wärmeempfinden eines Einzeltieres nicht der Gesamtheit gleichzusetzen. Zur Messung wurden die entsprechenden Tiere aufgetrieben, wobei sich eine Beunruhigung der Herde nicht vermeiden ließ, die vor allem auch durch das Heranfahren der für den Versuchsaufbau notwendigen Fahrzeuge verursacht war. Allerdings gewöhnten sich die Tiere rasch an die Tätigkeiten des Versuchsaufbaues. Dem Auftreiben schloß sich das Markieren der Kontaktflächen zwischen Tierkörper und Boden an. Vor dem eigentlichen Meßbeginn mußte nochmals 30 Minuten gewartet werden, um die durch den Tierkörper angewärmte Oberfläche abkühlen zu lassen. Für die Dauer der Wärmeflußmessung an einer Stelle genügten 60 Minuten, um das unterschiedliche Reaktionsvermögen des Bodens zu berücksichtigen. Um den Fehler möglicher Veränderungen der Wärmeeigenschaften

zwischen dem Auftreiben der Tiere und der Wärmeflußmessung an den Einzelmeßstellen gering zu halten, wurde aus den Ergebnissen der drei Einzelmeßstellen der Durchschnitt gebildet und somit als ein Wärmestromverlauf dargestellt.

Die für die Messung notwendige elektrische Energie ließ sich nur durch einen motorgetriebenen Generator beschaffen. Das Stromaggregat wurde wegen des Motorgeräusches in einiger Entfernung von der Koppel aufgestellt, worauf die Tiere aber nicht erkennbar reagierten. Zum störungsfreien Ablauf der Messung mußte um den gesamten Versuchsaufbau ein elektrischer Weidezaun gezogen werden, was nur beim ersten Mal zu Unruhe unter den Tieren führte. Den gesamten Versuchsaufbau zeigt Abbildung 17.



Abb. 17: Versuchsaufbau zur Wärmestrommessung auf der Weide

Luft- und Bodentemperaturen wurden mit Thermoelementen gemessen, die sich in einem Wetterhäuschen bzw. 10 cm tief im Boden senkrecht unter der Thermoelementplatte befanden. Die Aufzeichnung der Temperaturen erfolgte über den Zwölf-Kanaldrucker. Für die Feststellung der Luftfeuchtigkeit diente ein Psychrometer, zur Messung der Windgeschwindigkeit ein Flügelradanemometer, das mit einem Windblech versehen war, um exakt zur Windrichtung stehen zu

können. Diese Meßgeräte waren in unmittelbarer Nähe der Liegeplätze (ca. 1 m über dem Boden in der Höhe eines liegenden Tieres) plaziert. Die Aufzeichnungen über die Geländebeschaffenheit sagen aus, ob die Liegeplätze sich auf offener Fläche oder unter Bäumen befinden, wohingegen mit den Liegeplatzbedingungen die Alternative zwischen unbedecktem und grasbewachsenem Boden bezeichnet ist. Sämtliche gewonnenen Einzeldaten wurden über die EDV ausgewertet. Dabei wurden den Alternativen offene Flächen, nicht offene Fläche und bedeckter, unbedeckter Boden die Zahlen 0 und 1 zugeordnet, um sie so in das Gesamtdatenmaterial einbeziehen zu können. Der Wärmestrom der Liegeflächen als Zielgröße und die beschriebenen Faktoren als Einflußgrößen gingen in eine multiple Regressionsanalyse ein, indem jeweils der Faktor in das Gleichungssystem  $y = f(x)$  aufgenommen wurde, wobei  $y =$  Wärmestrom und  $x =$  Einflußgröße bedeutet, der eine Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes bringt (8). Der Gesamtversuch wurde in der Zeit vom 10.7. bis 30.9.1974 durchgeführt, wobei an 16 verschiedenen Tagen 22 Messungen stattfanden. Jede der 22 Messungen bestand aus drei Einzeluntersuchungen, die zu einem mittleren Wärmestromverlauf zusammengefaßt wurden.

#### 4.2.1.2 Ergebnisse und Folgerungen

Die Untersuchungen zeigten eine Tendenz des Wärmeverhaltens der Weideliegeflächen in der Weise, daß mit dem Aufsetzen des Prüfheizkörpers zunächst ein hoher Wärmestrom zum Boden fließt, der sich jedoch im Verlauf der Meßdauer verringert und nach rund einem Drittel der Meßdauer konstant bleibt (Abb. 18). Allerdings traten bei einigen Messungen, wie aus dem unteren Abschnitt der Abbildung 30 hervorgeht, Wärmeströme auf, die durch einen zunehmenden Verlauf gekennzeichnet sind, nach ca. 20 Minuten Meßdauer jedoch ebenfalls konstant bleiben. Der Umfang der Wärmestromreduzierung innerhalb der ersten 20 Minuten der Meßdauer war unterschiedlich stark ausgeprägt, was durch die Krümmung der Wärmestromkurven zum Ausdruck kommt. Bei der Mehrzahl der Messungen betrug die Höhe des Wärmestromes zu Beginn ca.  $60 \text{ W/m}^2$  bis  $120 \text{ W/m}^2$ , während bei einer geringen Zahl von Messungen Wärmestromanfangswerte von  $170 \text{ W/m}^2$  bis  $250 \text{ W/m}^2$  und  $5 \text{ W/m}^2$  bis  $20 \text{ W/m}^2$  bzw. sogar negative Wärmeströme auftraten, was ein Wärmegefälle vom Boden zum Prüfheizkörper bedeutet. Die Wärmestromendwerte lagen in einem engeren Bereich zwischen  $20 \text{ W/m}^2$  und  $140 \text{ W/m}^2$ , wobei sich die Mehrzahl der Messungen auf einen Bereich von  $50 \text{ W/m}^2 - 100 \text{ W/m}^2$  verengt.

Die Höhe des Wärmestromes zwischen Prüfheizkörper und Weidefläche ergibt sich vornehmlich aus den Temperaturverhältnissen in der Luft und am Boden, was am Wärmeverhalten bei Einzelmessungen verdeutlicht wird.

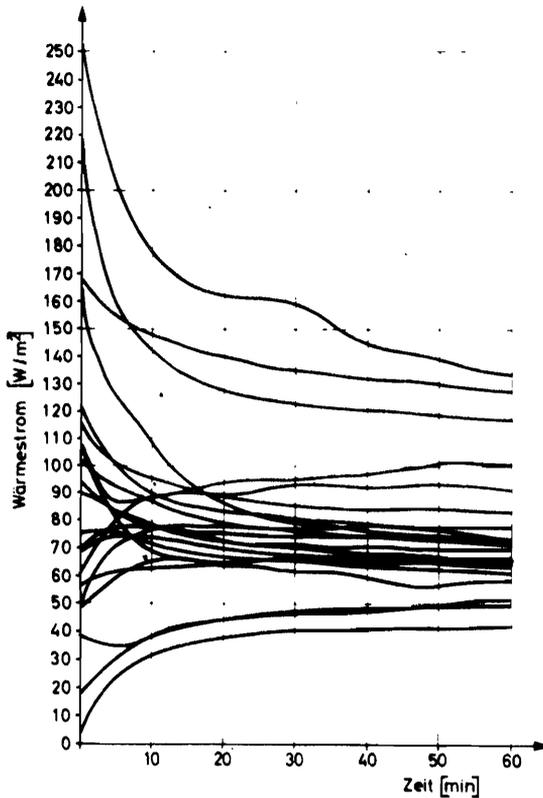


Abb. 18: Wärmestromverlauf bei Liegeflächen auf der Weide in  $W/m^2$

Der Wärmestromverlauf in Abbildung 19 wurde an einem hochsommerlichen heißen Tag mit einer Lufttemperatur zum Zeitpunkt des Meßbeginns von  $28^{\circ}C$  ermittelt, die im weiteren Verlauf auf über  $32^{\circ}C$  anstieg. Die hohe Lufttemperatur bewirkte eine nah an die Wassertemperatur des Prüfheizkörpers heranreichende Oberflächentemperatur des Bodens, während die Temperatur einige cm im Boden bei  $20^{\circ}C$  lag. Somit ergab sich mit Beginn der Wärmeeinwirkung des Prüfheizkörpers ein geringer Temperaturgradient von 1 bis  $2^{\circ}C$  zwischen Wasserbad und Bodenoberfläche, was zunächst einen nur geringen Wärmeaustausch zur Folge hatte. Da die Wärmequelle des Prüfheizkörpers jedoch permanent Wärme abgab, drang die Wärme tiefer in den Boden ein und erhöhte aufgrund des zunehmenden Temperaturgradienten den Gesamtwärmestrom. Wegen der großen Massenausdehnung des Bodens

und der damit verbundenen Ausbreitung der Wärme nach allen Richtungen stellt sich praktisch ein stationärer Wärmestrom ein, was durch den waagrechten Verlauf der Wärmestromkurve im letzten Drittel der Meßdauer zum Ausdruck kommt.

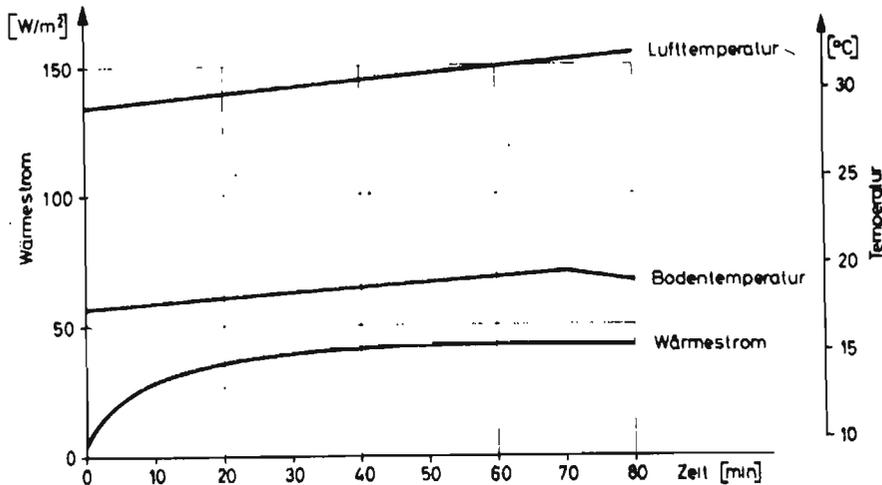


Abb. 19: Wärmeleitung in den Boden bei hoher Luft- und Bodentemperatur

Lag jedoch die Lufttemperatur und damit auch die Bodentemperatur niedriger, änderte sich die Richtung der Wärmestromänderung. Bei einer z. B. an einem kühlen Vormittag vorgenommenen Messung betrug die Lufttemperatur 15  $^{\circ}C$ , die Bodentemperatur lag zu Beginn bei 12  $^{\circ}C$  und am Ende der Messung bei 13  $^{\circ}C$  (Abb. 20). Der Wärmestrom setzte mit 220  $W/m^2$  ein und vermindert sich um ca. die Hälfte auf 120  $W/m^2$ . Somit entstand ein hoher Temperaturgradient zwischen Prüfheizkörper und Bodenoberfläche, was sich in der entsprechend hohen Wärmestromdichte ausdrückte. Auch im weiteren Verlauf der Wärmeabgabe blieb die Wärmestromdichte deutlich höher als bei der Wärmeabgabe mit hoher Bodentemperatur. Die steile Abnahme des Wärmestroms innerhalb der ersten 20 Minuten läßt darauf schließen, daß der Aufheizeffekt der oberen Schichten sehr schnell von statten geht. Die sich anschließende nahezu konstante Wärmestromdichte in Zusammenhang mit nicht ansteigenden Temperaturen gibt ebenfalls einen Hinweis auf die Ableitung der Wärme nach allen Richtungen im Boden.

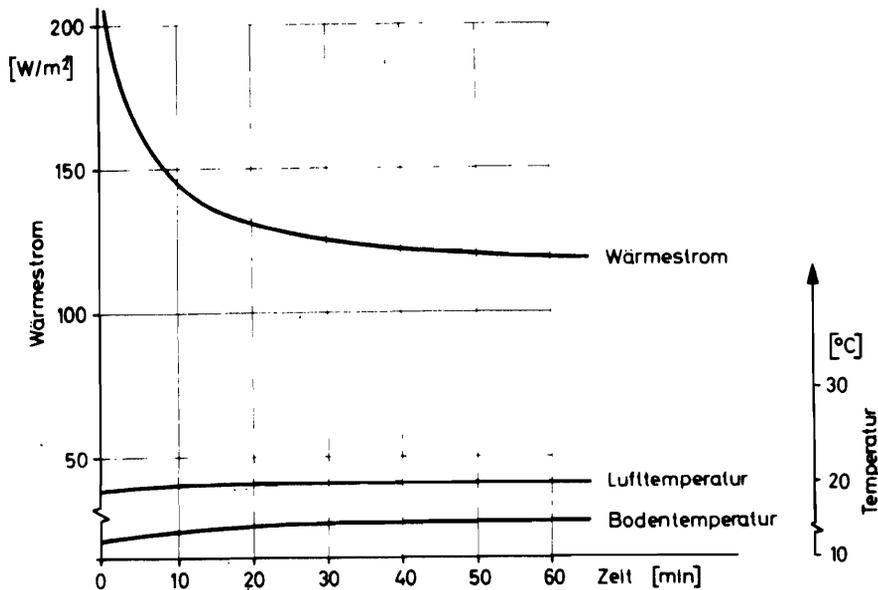


Abb. 20: Wärmeleitung in den Boden bei niedriger Luft- und Bodentemperatur in  $\text{W/m}^2$

In beiden Fällen zeigt sich - und dies gilt stellvertretend für alle Messungen -, daß die Wärmeabgabe in erster Linie durch den temperaturbedingten Zustand der Oberfläche bestimmt ist. Außerdem hängt die Wärmeabgabe, ganz besonders bei Beginn der Messung, vom Feuchtezustand des Bodens ab. Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung der Bodenfeuchte konnten nicht durchgeführt werden, weswegen der Feuchtezustand als qualitatives Merkmal im Protokoll festgehalten wurde. Der Einfluß der Bodenfeuchte auf den Wärmestromverlauf läßt sich anhand einer Einzelmessung aufzeigen, die an einem Liegeplatz in den späten Abendstunden vorgenommen worden ist. Die Grasnarbe war bereits taunäß, als mit der Messung begonnen wurde. Wie aus Abbildung 21 hervorgeht, stimmten Luft- und Bodentemperaturen annähernd mit den in Abbildung 20 beschriebenen Temperaturen überein. Dagegen änderte sich das Ausmaß der Wärmestromabnahme beträchtlich. Denn nach ca. 15 Minuten Meßdauer ging der Wärme- fluß auf gut ein Drittel des einsetzenden Wärmestromes zurück.

Dies läßt sich damit erklären, daß die Feuchtigkeit der Grasnarbe das Wärmeleitvermögen zunächst stark erhöhte (115). Nach dem offensichtlich schnellen

Durchdringen der Feuchtigkeitsschicht reduzierte sich der Wärmestrom auf die üblichen Größenordnungen.

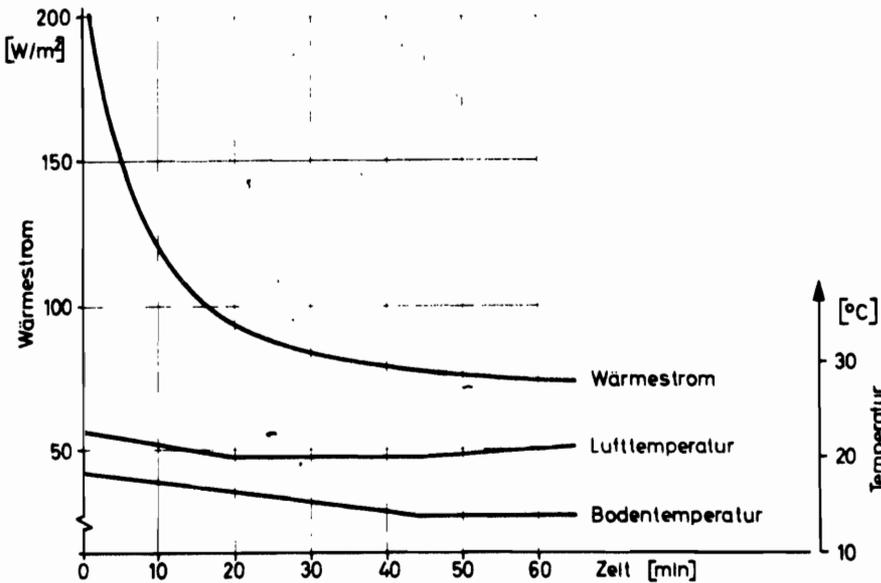


Abb. 21: Wärmeleitung in den Boden bei feuchter Bodenoberfläche

Während in dieser Untersuchung der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit und damit auf die Höhe der Wärmeabgabe nicht genauer erfaßt werden kann, ist der Einfluß der Bodentemperatur und indirekt der Lufttemperatur auf die Wärmeabgabe statistisch durch einen signifikanten Zusammenhang abzusichern. Der Korrelationskoeffizient  $r$  zwischen Bodentemperatur und Wärmestromdichte betrug  $-0,82$  bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit. Die Abhängigkeit von Boden- und Lufttemperatur ihrerseits ließ sich mit einem Korrelationskoeffizienten von  $0,79$  bei gleicher Irrtumswahrscheinlichkeit nachweisen.

Mit diesen Ergebnissen sind Bereiche abgedeckt, in denen sich die Wärmeabgabe unter natürlichen Bedingungen abspielt. Zwar fällt der Untersuchungszeitraum von Juli bis September in die mildesten klimatischen Bedingungen des Jahres, dennoch lassen sich die Ergebnisse als grober Anhaltspunkt verwenden, nachdem die Bodentemperaturen immerhin in einem Bereich zwischen  $12^{\circ}\text{C}$  und  $30^{\circ}\text{C}$  variierten.

Für die Motivation zum Abliegen sind Ursachen bestimmend, die zum Teil als meßbare Parameter nicht in den Versuch aufzunehmen waren oder sich als Einflußfaktoren wegen der schon erwähnten Interdependenzen nicht einer Zielgröße eindeutig zuordnen lassen.

Der Beginn der Ruheperiode der Herde, welche die Voraussetzung für die Bestimmung der Wärmeeigenschaften der Liegeplätze überhaupt darstellt, hängt wesentlich vom Sättigungsgrad der Tiere (113), der Tageszeit sowie dem Zusammenspiel von Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte (17) ab. Dabei spielt auch die physische Belastung eine Rolle, die mit der Futteraufnahme durch Abreißen des Grases (Bißtätigkeit) und der Fortbewegung zusammenhängt (113). Während diese Einflüsse eher die gesamte Herde betreffen, kommt für das Verhalten des einzelnen Tieres als Abliegemotivation der Herdentrieb hinzu. Entsprechend den eigenen Beobachtungen, die in der Literatur bestätigt werden (63, 74, 113, 124), überlagert der Herdentrieb viele andere Einflüsse. An welcher Stelle das einzelne Tier schließlich zum Abliegen kommt, scheint in weitem Maße vom Zufall abzuhängen, nachdem es sich stärker von den anderen Tieren als von übrigen Umwelteinflüssen bestimmen läßt.

Unabhängig von Temperatur und Sonneneinstrahlung legten sich die Tiere bei allen Messungen auf der offenen Weidefläche ab. Aus den registrierten Randbedingungen ließ sich nicht ableiten, daß Wärmeeigenschaften des Bodens ausschlaggebend für die Auswahl von Liegeplätzen waren. Die Zahl der insgesamt liegenden Tiere, die einen Maßstab für die Akzeptierung oder Ablehnung von Bodeneigenschaften darstellen sollte, ergab zu den gemessenen Wärmeströmen einen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,27$ . Dieser Zusammenhang bedeutet, daß mit zunehmender Zahl der abliegenden Tiere eine Verminderung des Wärmestromes, also eine Verbesserung der Wärmedämmung einhergeht. Allerdings ist die Korrelation zwischen der Zahl der liegenden Tiere und den Wärmeströmen zu gering, um diesen Zusammenhang als realistisch anzunehmen.

Der Gesamtversuch war darauf angelegt, erste Anhaltspunkte darüber zu erhalten, welchen Wärmeeigenschaften Rinder unter natürlichen Bedingungen ausgesetzt sind. Das Erfassen von Randeinflüssen sollte die Wärmestrommessung ergänzen und erklären, um mögliche Abhängigkeiten zwischen Bodeneigenschaften

und der Auswahl von Liegeplätzen zu belegen. Die im Verlauf der Wärmeeinwirkung sich angleichende Wärmestromdichte von 50 bis 100 W/m<sup>2</sup> und die Vielfalt der Einflußfaktoren auf das Liegeverhalten lassen zwar keinen Hinweis auf die Bevorzugung oder Ablehnung eines Liegeplatzes hinsichtlich seiner Wärmeeigenschaften zu, machen aber die Größenordnung deutlich, welchem Wärmeentzug das Tier unter natürlichen Bedingungen ausgesetzt sein kann. Dabei ist wesentlich, daß dieser Wärmestrombereich bei unterschiedlicher Ausgangssituation der Anfangswärmeströme zustandekam.

Wenn auch Rückschlüsse auf die Bevorzugung oder Ablehnung eines Liegeplatzes nicht geschlossen werden können, erlaubt das beobachtete Liegeverhalten die Aussage, daß die Tiere die Wärmeeigenschaften der Liegeflächen insgesamt akzeptiert haben. Deshalb können die gemessenen Wärmestromwerte vom Prüfheizkörper auf den Weideliegeflächen als erste Maßstäbe für tiergemäße Wärmeeigenschaften angesehen werden, die durch Untersuchungen des Wärmeverhaltens des Tieres gegenüber der Liegefläche ergänzt und präzisiert werden müssen.

#### 4.2.2 Untersuchungen über den Wärmeentzug vom liegenden Tier in den Boden

Aus den Ergebnissen der Wärmeflußmessungen auf Weideliegeflächen gingen die Größenordnungen des Wärmeentzuges hervor, mit dem das liegende Tier konfrontiert ist. Damit läßt sich jedoch keine Aussage über die tatsächlich vom Tier abgegebenen Wärmemengen treffen, weil der Prüfheizkörper die Wärme bei einer konstanten Temperatur von 30 °C, das Tier aber die Wärme in unterschiedlichem Umfang an den Boden abgibt.

Deshalb ist die Kenntnis der abgegebenen Wärmemengen vom liegenden Tier in den Boden erforderlich, um den Umfang der Wärmeabgabe, der sich aus der Wärmeproduktion des Organismus, der Isolierwirkung der Haut und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ergibt, mit den Wärmeregulierungsmöglichkeiten durch Hautgefäßveränderungen und andere Anpassungsreaktionen wie dem Steh- und Liegeverhalten in Beziehung zu setzen. Dazu wurde die Wärmeabgabe vom Tier in den Boden bei verschiedener Milchleistung gemessen, um Anhaltspunkte über unterschiedliche Größenordnungen der Wärmeabgabe zu bekommen. Zum anderen ging es darum, bei variierender Wärmeleitung des Bodens die Wärmeabgabe zu ermitteln. Diese sollten Anpassungsreaktionen auslösen, um aus ihrem Zusammenhang mit dem Umfang der Wärmeabgabe Kennwerte eines tiergerechten Wärmeentzuges abzuleiten.

Die Messung des Wärmestromes vom Tier gestaltet sich wesentlich komplizierter als die mit einem Prüfheizkörper. Zunächst besteht die Schwierigkeit nicht gleichbleibender Wärmeabgabebedingungen vom Tier, die z. B. CAMMERER zur Aufgabe der Messungen bewogen haben (121); dann wirft die erforderliche Versuchstechnik insofern Probleme auf, als die Zuordnung des Wärmestromgebers zur vollflächigen Abdeckung durch den liegenden Körper schwierig zu erreichen ist, abgesehen von seiner mechanischen Beanspruchung durch die Trittbewegungen des Tieres. Wegen der Schwierigkeiten, den Wärmestromgeber für eine präzise Wärme-flußmessung auf der Liegefläche zu plazieren, brach auch BÄHR (11) die Untersuchungen am lebenden Tier ab. Daher wurde von der Landtechnik Weihenstephan die Meßmethode zur Bestimmung der Wärmeabgabe vom Tier an den Boden aufgegriffen und weiterentwickelt (62, 134).

#### 4.2.2.1 Abhängigkeit von der Milchleistung

Wie bereits ausgeführt wurde, steigt mit der Erhöhung der Stoffwechselaktivität die Wärmebildung im Organismus an, weswegen die Wärmeabgabe an die Umgebung ebenfalls zunehmen muß, soll die Körpertemperatur konstant bleiben. Durch die Beziehung zwischen Energiestoffwechsel und Milchleistung eines Tieres (17, 100) entsteht das Problem, in welchem Umfang die Wärme an den Boden abgegeben wird, da bei - normalerweise - gleichbleibender Wärmeleitfähigkeit des Bodens die zunehmende leistungsbedingte Wärmeabgabe vom Tier zu einer nicht ausreichenden Abführung der Wärme in den Boden führt und damit die Möglichkeit eines Wärmestaus mit sich bringt (24).

HILLEBRAND (62) hat die Wärmeabgabe in den Boden bei Milchkühen in Abhängigkeit des Laktationsstadiums untersucht, ohne jedoch absicherbare Wärmestromunterschiede ermitteln zu können. Deshalb wurden mit derselben Fragestellung diese Messungen an zwei Tieren wiederholt, die sich in Gewicht und jährlicher Milchleistung kaum unterschieden. Die Tagesmilchleistung von Kuh I betrug jedoch 9 l, die von Kuh II demgegenüber 24 l. Die Versuchsanordnung ist identisch mit der, wie sie zur Wärmestrommessung von Weideliegeflächen beschrieben ist, wobei nun aber die Heizquelle der Tierkörper darstellt. Die Thermo-elementplatte war mittig in der hinteren Hälfte des Standplatzes angeordnet, woraus ein vollflächiges Bedecken der Thermo-elementplatte durch den Tierkörper

nicht bei jedem Liegen gegeben war. Deshalb wurden nur solche Wärmestrommessungen ausgewertet, bei denen die vollflächige Bedeckung sichergestellt war.

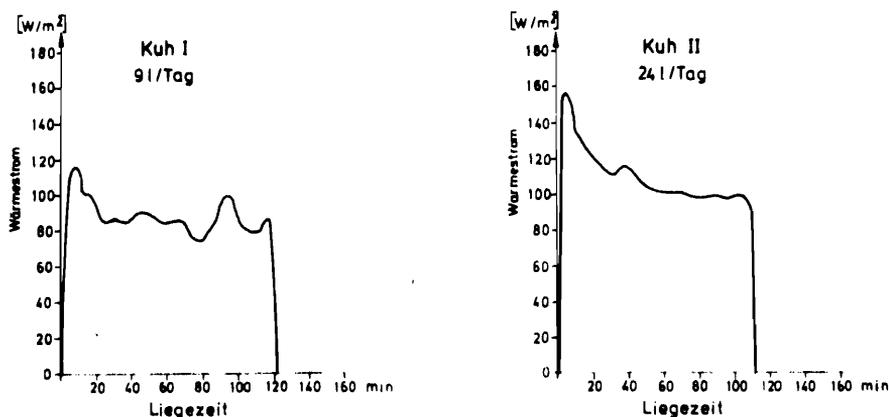


Abb. 22: Wärmestrom zur Liegefläche bei Milchkühen mit unterschiedlichem Tagesgemelk

Dabei konnte ein signifikanter Unterschied im Wärmestromverhalten nachgewiesen werden (Abb. 22). Die Kuh mit dem 24 l-Gemelk setzte mit einem Wärmestrom von ca.  $160 \text{ W/m}^2$  ein, der innerhalb der Liegezeit von 110 Minuten auf ca.  $110 \text{ W/m}^2$  abfällt. Dagegen erreichte die Wärmeabgabe bei Kuh I zu Beginn des Liegens nur eine Höhe von  $110 \text{ W/m}^2$ , die innerhalb von 120 Minuten auf ca.  $90 \text{ W/m}^2$  zurückging.

Diese unterschiedliche Höhe der Wärmeströme bei Tier I und II bestätigt die Abhängigkeit der Wärmeabgabe von der Stoffwechselaktivität. Aus der Höhe der Wärmeabgabe am Ende der Liegezeit von ca.  $90 \text{ W/m}^2$  bei Kuh I und  $110 \text{ W/m}^2$  bei Kuh II ist ersichtlich, daß die Wärmeabführung in den Boden bei Kuh II relativ geringer ist als bei Kuh I, bezogen auf die jeweilige Wärmeabgabe zu Beginn des Liegens. Denn bei der Kuh I bleibt über die gesamte Liegedauer hinweg der Wärmestrom annähernd konstant, während er bei Kuh II um  $50 \text{ W/m}^2$  vom Beginn bis zum Ende der Liegezeit abnimmt. Daraus folgt, daß mit zunehmender Wärmeabgabe, die durch die stoffwechselbedingte Wärmeproduktion verursacht ist, die Wärmeleitfähigkeit des Bodens zunehmen kann, ohne das Gleichgewicht zu stören. Dieser

Sachverhalt besitzt zunächst nur theoretischen Aussagewert, weil das Wärmeempfinden des Tieres nicht mitberücksichtigt ist.

Deshalb reicht die Versuchsanstellung der Wärmestrommessung nicht aus, weil aufgrund gleichbleibender Wärmeeigenschaften des Bodens keine Merkmale sichtbar gemacht werden können, die einen Rückschluß auf nachweisbare Annahme oder Ablehnung der Wärmeabgabemengen zulassen. Um Aussagen hierüber zu erhalten, bedarf es einer Versuchsanstellung, bei welcher die Wärmeabgabe des Tieres nicht von der Stoffwechselaktivität, sondern von den Wärmeeigenschaften des Bodens abhängt.

#### 4.2.2.2 Abhängigkeit von der Bodentemperatur

Die Wärmeabgabe vom Tier wird wesentlich durch die Leitungseigenschaften des Bodens bestimmt, indem geringe Wärmeleitfähigkeit des Bodens die Wärmeabgabe hemmt und hohe Wärmeleitfähigkeit sie ansteigen läßt. Diesen Zusammenhang bestätigt eine Untersuchung von STANZEL (134), in der die Wärmeabgabe vom Tier an Böden unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit gemessen wurde. Einer Wärmestromdichte bei kalter Liegefläche von ca.  $210 \text{ W/m}^2$  steht ein Wärmefluß von ca.  $130 \text{ W/m}^2$  bei hoher Wärmeisolierung des Bodens gegenüber (Abb. ).

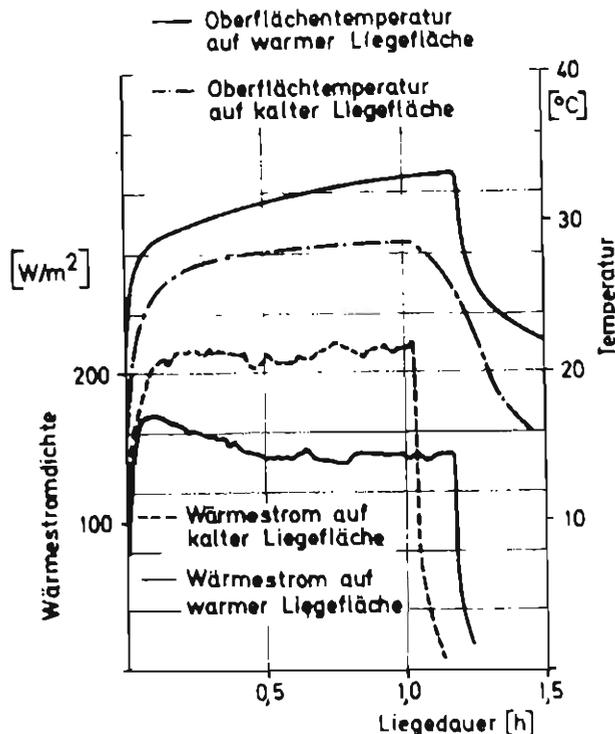


Abb. : Wärmestromverlauf und Kontakttemperatur zwischen Körper und Liegefläche bei unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit des Bodens (STANZEL, 134)

Um jedoch die Wärmeabgabe hinsichtlich ihres optimalen Umfanges für das Tier bewerten zu können, bedarf es einer verfeinerten Versuchsanstellung, in der die leistungsbedingte Stoffwechselaktivität konstant bleibt und die Wärmeleitfähigkeit des Bodens variiert wird.

Unter diesen Voraussetzungen lassen sich als Parameter die

- Wärmestromdichte zwischen Tier und Liegefläche und
- Körpertemperatur sowie
- Verhaltens- und Anpassungsreaktionen des Tieres ermitteln,

aus denen Kennwerte optimaler Wärmeabführung abgeleitet werden sollen.

Die Wärmestromdichte stellt zunächst die Grundlage möglicher Kennwerte optimaler Wärmeabführung dar, an der die Verhaltens- und Anpassungsreaktionen des Tieres gemessen werden können. Außerdem gibt sie Hinweise zu einer - allerdings nur überschlagsmäßigen - Gesamtwärmeabgabebilanz.

Die Körpertemperatur bedeutet nicht nur einen Maßstab der Wärmeproduktion (5), sondern besitzt darüber hinaus diagnostischen Wert hinsichtlich des Gesundheitszustandes des Tieres. Die Einbeziehung der Körpertemperatur kann deshalb den Nachweis einer Wärmereaktion des Stoffwechselmechanismus als Folge extremer Temperaturbelastung durch die Liegeflächentemperatur liefern und über die Höhe der Kerntemperatur als Maßstab des gesundheitlichen Zustandes bzw. des Wohlbefindens Aufschluß geben.

Die Verhaltens- und Anpassungsreaktionen, die in dieser Versuchsanstellung berücksichtigt werden sollen, bestehen aus den wärmeregulatorischen Maßnahmen der Hautgefäßveränderungen und aus dem Liegeverhalten des Tieres.

Ergänzend zur Steuerung der Wärmeabgabe erhält das Einbeziehen des Tierverhaltens, hier das des Ausruhverhaltens, Bedeutung, weil das Tier sich einer als unangenehm empfundenen Temperaturbelastung durch Stehen entziehen kann. OBER (108) hat in Wahlversuchen herausgefunden, daß Rinder bei freier Wahl

der Liegefläche wärmegeämmte Liegeplätze nichtwärmegeämmten vorziehen. Den Maßstab stellte die Beleghäufigkeit und die Belegdauer dar. In Untersuchungen von KLEIN-HESSLING (72) brachten Kühe auf "kalten" Steinzeugplatten nur mehr ein Drittel einer normalen Liegezeit im Liegen zu. Dagegen wird nach WANDER (144) der Temperaturreiz durch die mechanischen Liegeflächeneigenschaften, wie insbesondere durch die Elastizität des Bodens, überlagert. Eine Änderung des Steh- und Liegeverhaltens als Folge von Temperatureinflüssen weisen auch BLAXTER und WEINMANN (20) nach, wonach Bullen sowohl bei extrem niedrigen als auch bei extrem hohen Umweltemperaturen kürzer liegen als bei mittleren Temperaturen.

Die Verhaltens- und Anpassungsreaktionen stellen erst dann Wohlbefindensparameter hinsichtlich der Wärmeabgabe an den Boden dar, wenn das Verhalten der jeweiligen Wärmeabführung eindeutig zuordenbar ist. So ist beispielsweise nicht erwiesen, ob die kurze Liegedauer auf Steinzeugplatten wegen ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit zustandekam; denn wie der Befund von WANDER zeigt, kann der Einfluß der Boden Härte den der Wärmeeigenschaften überlagern. Deshalb muß durch den Versuchsaufbau die auslösende Temperatureinwirkung deutlich ausgeprägt sein, um die Reaktionsweise des Tieres differenzieren und dem Wärmestromniveau zuordnen zu können.

#### 4.2.2.2.1 Versuchsaufbau

Aus den ineinandergreifenden Zusammenhängen der einzelnen Parameter ergeben sich Anforderungen an den Versuchsaufbau, welche die Variierbarkeit der Wärmeleitung des Bodens, die Wärmekapazität des Bodens und die Aufrechterhaltung konstanter Versuchsbedingungen auf einem Versuchsstand betreffen.

Diesen Anforderungen entsprechend wurde ein Versuchsstand in einem Kurzstand eingerichtet, dessen Stand- und Liegefläche aus einem nach unten abisolierten Metallhohlkörper bestand, auf den ein 2 mm dicker Gummibelag aufgeklebt war (Abb. 36).

An einer Seite grenzte der Stand an die Stallwand, die andere Seite schloß eine Rohrkonstruktion ab, um das Ausweichen des Versuchstieres vom Standplatz zu verhindern. Im hinteren Drittel der Standplatzfläche waren zwei quadratische

Thermoelementplatten mit 200 mm Seitenlänge so angeordnet, daß bei rechts- und linksseitigem Abliegen des Tieres die Körperunterseite auf je einer Thermoelementplatte vollflächig aufliegen konnte.

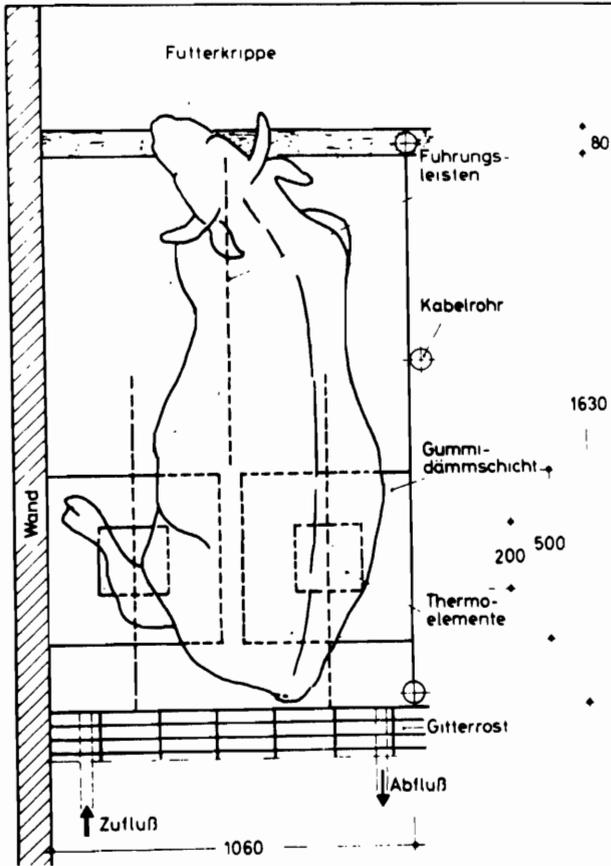


Abb. 24: Versuchsstandplatz mit Bodenplatte für regulierbare Liegeflächentemperatur

Die Liegeflächentemperatur wurde durch Aufheizen und Abkühlen des Bodens verändert, so daß der Wärmestrom zwischen Tier und Liegefläche als Folge einer determinierten Temperaturdifferenz zustandekam. Das Kühl- und Heizsystem für die Standplatzfläche beruhte auf dem Prinzip der Wärmeübertragung durch Flüssigkeiten. Eine frostsichere Sole, deren Temperatur im Versuchsablauf zwischen  $- 15^{\circ}\text{C}$  und  $+ 50^{\circ}\text{C}$  variiert werden konnte, floß in einem Kreislauf zwischen der Kühl- und Heizanlage und dem Hohlraum des Metallkörpers (Abb. 25).

Kühl- und Heizvorrichtung waren miteinander verkoppelt, indem das Wärmemedium in einem Vorratsbehälter erhitzt wurde, der dem nachgeschalteten Kühlaggregat als Mischbehälter diente.

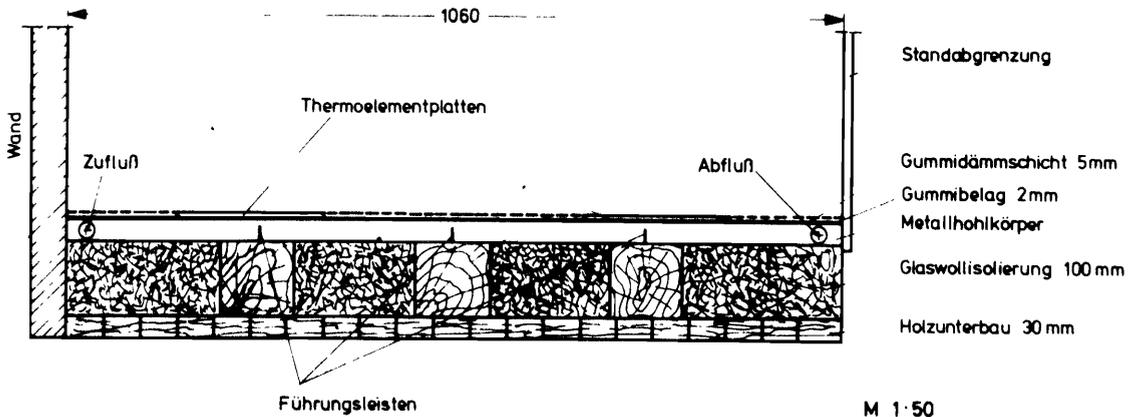


Abb. 25: Aufbau der Liegefläche im Versuchsstand (Längsschnitt)

Bei Heizbetrieb wurde die Sole mit einer Wasserpumpe in den Hohlraum des Metallkörpers befördert. Bei Kühlbetrieb war automatisch eine zweite Pumpe angekoppelt, welche die Kühlflüssigkeit zwischen Vorratsbehälter und Kühlaggregat umpumpte.

Aus der Temperaturregulierung mit einem fließenden Medium folgt der Zustand einer praktisch unendlich großen Wärmekapazität des Bodens gegenüber dem Wärme liefernden Tierkörper. Die dem stationären Wärme fluß gleichzusetzende unendlich hohe Wärmekapazität war die wesentliche Voraussetzung, um bei der Wärmeabgabe vom Tierkörper zum Boden das Einsetzen wärmeregulatorischer Mechanismen erkennen zu können. Denn wäre die Voraussetzung eines stationär fließenden Wärmestromes nicht gegeben, ließe sich aus einem abnehmenden Wärmestromverlauf nicht ersehen, ob der Wärmestromrückgang durch die Wärmespeicherungswirkung des Bodens oder durch Veränderung der Isolation der Haut verursacht ist.

Mit dieser Versuchseinrichtung sollten die Voraussetzungen geschaffen werden, daß eine unterschiedliche Wärmeabgabe vom Tier an den Boden mit dem jeweiligen Liegeverhalten als Wohlbefindensparameter verglichen werden konnte. Hier-

bei war von wesentlicher Bedeutung, die Messungen an einem Tier bei veränderten Temperatureinstellungen sowie die Wiederholung mit verschiedenen Versuchstieren auf demselben Versuchsstand durchzuführen. Dadurch blieben die Bodeneigenschaften, das Platzangebot und auch - in Grenzen - das Kleinklima konstant, womit vor allem Störeinflüsse auf das Steh- und Liegeverhalten (143) vermindert wurden.

Somit ersetzte der Versuchsstand die Verwendung unterschiedlich wärmeleitender Bodenmaterialien und ermöglichte zugleich die Ermittlung der Wärmestromdichten und Verhaltensparameter in verschiedenen Temperaturbereichen, ohne das Versuchstier in eine neue Umgebung bringen zu müssen. Aus dem beschriebenen Versuchsaufbau ergab sich ein Versuchsablauf, der den Ergebnisvergleich zwischen den Versuchsperioden unterschiedlicher Bodentemperatur und zwischen den Versuchstieren im zeitlichen Nacheinander mit sich brachte.

Das Datenmaterial des Versuches wurde aus

- den Wärmestrommessungen,
- dem Registrieren des Steh- und Liegeverhaltens und
- der Körpertemperaturmessung gewonnen.

#### Wärmestrommessung

Die Wärmestrommessung beruht auf dem in Kapitel 4.2.1.1 beschriebenen Prinzip, wobei die Meßanordnung und der Einsatz der Thermoelementplatten modifiziert worden sind. Bei vorangegangenen Versuchen diente, wie schon erwähnt, zur Wärmestrommessung eine einzige Thermoelementplatte. Wegen der Möglichkeit des nicht vollflächigen Abdeckens durch den liegenden Tierkörper wurde sie durch zwei Thermoelementplatten mit einer Meßfläche von je 200 x 200 mm ersetzt. Am Konstruktions- und Funktionsprinzip hatte sich jedoch nichts geändert. An die Meßfläche war nach allen vier Seiten ein Gummischutzstreifen von 300 mm Seitenlänge anvulkanisiert, um seitliches Abfließen der Wärme zu vermeiden.

Die Thermospannung wurde auf einen Zweikanalschreiber übertragen, der gegenüber dem Zwölf-Kanaldrucker den Vorteil hatte, daß er den Wärmestromverlauf bei den Meßplatten kontinuierlich aufzeichnete. Die Temperaturen oberhalb und unterhalb der Thermoelementplatte registrierte der Zwölf-Kanaldrucker.

Die Wirkungsweise des Wärmefflusses unter Zugrundelegung variierbarer Bodentemperaturen wurde zunächst anhand von Messungen mit dem konstant Wärme abgebenden Prüfheizkörper dargestellt.

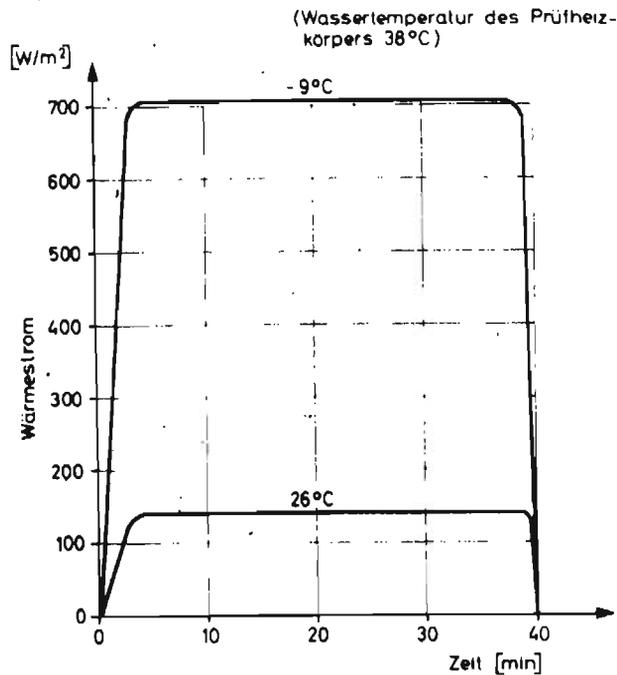


Abb. 26: Wärmestrom vom Prüfheizkörper zur Liegefläche bei unterschiedlicher Liegeflächentemperatur

Beim Aufsetzen des Prüfheizkörpers, dessen Wassertemperatur 38 °C betrug, ergab sich ein Wärmestromanstieg von knapp 140 W/m<sup>2</sup> (Abb. 26). Sank dagegen die Bodentemperatur auf -9 °C ab, stieg die Wärmeabgabe an den Boden auf 700 W/m<sup>2</sup> an. Der waagrecht verlaufende Abschnitt der Wärmestromkurve weist auf einen stationären Wärmeffluß hin, der aus dem Wärmetransport der fließenden Sole resultiert.

Bei ausreichend großer Temperaturdifferenz ließ sich bei der Wärmefflußmessung ein Genauigkeitsgrad mit ca. 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit erzielen, sofern der Wärmestrom in Richtung des Bodens gerichtet war. Mit zunehmender Verkleinerung der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Liegefläche, die an eine Verminderung der Thermospannung gekoppelt ist, stieg der Meßfehler an. Unter den Bedingungen einer Temperatur der Wärmequelle von 38 °C bis 40 °C und einer Bodentemperatur von 45 °C war ein Wärmestrom nicht mehr meßbar.

Für die Reproduzierbarkeit der Wärmestrommessungen war eine gleichmäßige Temperaturverteilung in dem Hohlraum wie auch auf der Liegefläche erforderlich. Hierfür befanden sich im Hohlraum des Metallkörpers drei Führungsleisten (s. Abb. 25), die ein gleichmäßiges Durchströmen der Flüssigkeit bewirkten. Die Temperaturdifferenz zwischen Einlauf und Auslauf schwankte um nur ca. 1 °C.

Zur Kontrolle der Oberflächentemperatur wurden an vier Stellen der Liegefläche zwischen Metallkörper und Gummibelag Thermolemente verlegt. Die Differenz zwischen Sole- und Oberflächentemperatur hing von der Umgebungstemperatur, der Strömungsverteilung und der Schichtstärke des Belages ab. Sie wirkte sich vor allem bei den Gummischichten der Thermolementplatten aus, weil sie eine größere Schichtstärke als der Gummibelag der Liegefläche aufwiesen.

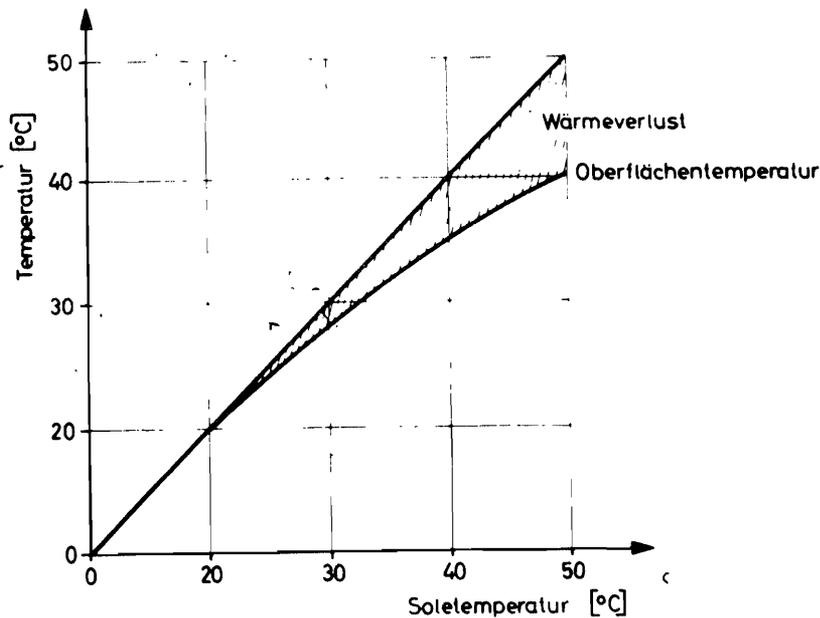


Abb. 27: Oberflächentemperatur der Liegefläche in Abhängigkeit von der Soletemperatur im Bereich oberhalb des Gefrierpunktes

Grundsätzlich nahm die Temperaturdifferenz mit zunehmender Soletemperatur zu, wobei der Wärmeverlust zwischen 20 °C und 50 °C Soletemperatur von 2 °C auf 10 °C ansteigt (Abb. 26). Die Temperaturdifferenz unter 0 °C Soletemperatur war weit geringer ausgeprägt. Sie blieb mit 2 °C bis 3 °C bei Soletemperaturen von 0 °C bis -15 °C konstant.

Die Messung der Körpertemperatur wurde im Rectum mit einem üblichen Quecksilber-Maximum-Thermometer gemessen.

### Registrierung der Steh- und Liegezeiten

Die Wärmestrommessung lieferte durch die fortlaufende Aufzeichnung der Thermospannung die exakte Liegedauer des Tieres, weil die Wirkungsweise der Thermoelemente eine sofortige Übertragung des Wärmestromes zum Schreiber zur Folge hatte. Nachdem bei einer Bodentemperatur von mehr als 45 °C ein Wärmestrom nicht mehr meßbar war, wurden die Liegezeiten bei diesen Bodentemperaturen mit einer Photoregistrieranlage festgehalten. Sie bestand aus einer 16 mm-Filmkamera, die über ein Zeitsteuergerät Einzelbilder in einem Zeitintervall von 5 Minuten auslöste. Dadurch schwankte der Genauigkeitsgrad der registrierten Steh- und Liegezeiten um maximal 10 Minuten. Mit jeder Bildaufnahme war die Auslösung eines Elektronenblitzes verbunden. Die Auswertung der Filmaufnahmen geschah durch einen Filmprojektor mit Einzelbildschaltung. Eine mitphotographierte Uhr diente für Kontrollzwecke, um ein fehlerhaftes mehrmaliges Auslösen der Kamera zu erkennen.

### Tiermaterial

Für die Untersuchung wurden zwei Kalbinnen und eine trockenstehende Kuh verwendet. Auf die Einbeziehung von Hochleistungsmilchkühen mußte verzichtet werden, weil über die Auswirkungen bei extremer Temperaturbelastung auf die Gesundheit keine Erfahrungen vorlagen und deshalb das Risiko nachhaltiger Leistungseinbußen vermieden werden sollte.

Tab. 1: Alter und Gewicht der Versuchstiere

Bezeichnung	Alter	Gewicht
Tier 1	5 Jahre	550 kg
Tier 2	2 Jahre	530 kg
Tier 3	2 Jahre	510 kg

In Tabelle 1 sind Alter und Gewicht der Tiere ausgewiesen. Im folgenden beziehen sich die Numerierung der Tiere auf die hier getroffene Reihenfolge.

Der Versuch untergliederte sich in zwei Abschnitte, um zunächst die Reaktionen des Tieres bei extremen Bodentemperaturen und dann bei reduzierter Temperaturbelastung zu ermitteln. Deshalb umfaßte der eine den Temperaturbereich von  $-15^{\circ}\text{C}$  bis  $+50^{\circ}\text{C}$  Soletemperatur, der andere einen verengten Bereich von  $-4^{\circ}\text{C}$  bis  $+35^{\circ}\text{C}$ . Jeder Abschnitt bestand aus fünf einzelnen Phasen, die sich aus den Kühl- und Heizeinstellungen und der als Ausgangsphase definierten Temperatureinstellung von  $20^{\circ}\text{C}$  Soletemperatur zusammensetzten (Abb. 28).

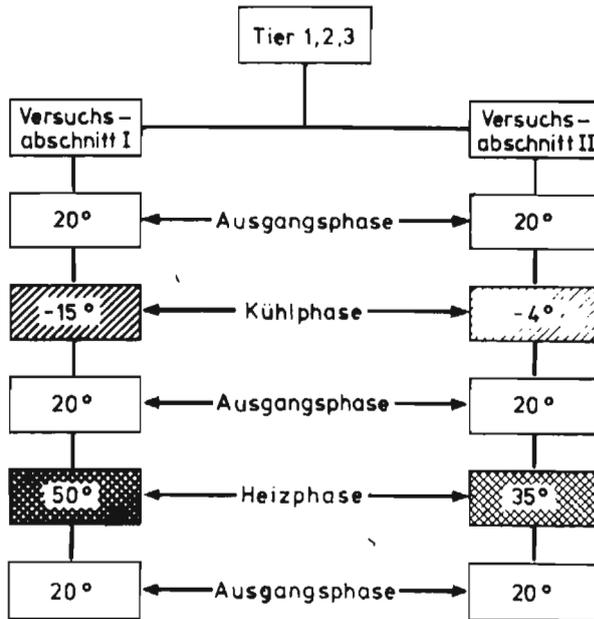


Abb. 28: Schema der Versuchsdurchführung

Jede Phase begann um 7.00 Uhr morgens und endete nach 72 Stunden zur gleichen Zeit. Wärmestrommessungen sowie die Registrierung der Steh- und Liegezeiten geschahen fortlaufend. Die Rectaltemperaturmessung erfolgte morgens um 7.00 Uhr und abends um 17.00 Uhr.

Aufgrund des Versuchsaufbaues ergab sich folgende Auswertung:

- Thermospannung aus dem Temperaturgefälle zwischen dem liegenden Tierkörper und der Liegefläche,
- Temperaturen der Liegefläche, der Luft sowie des Körperkerns und
- Liegezeiten der Versuchstiere (Abb. 29).

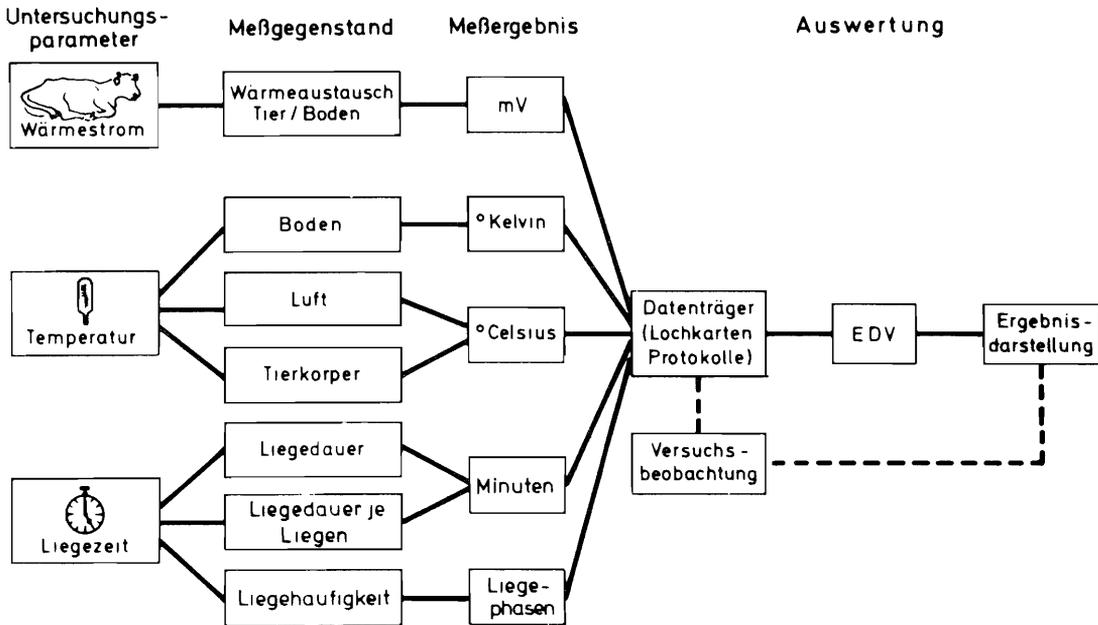


Abb. 29: Schematische Darstellung der Versuchsauswertung

Die in der Dimension mV aufgezeichneten Wärmestromkurven wurden mit dem vom Hersteller der Thermoelementplatten angegebenen Eich- und Korrekturfaktor auf die Leistungseinheit  $W/m^2$  umgerechnet. Je Versuchstag wurden nur drei Wärmestromkurven zur Auswertung ausgewählt, da wegen aufgetretener Meßstörungen nicht alle Wärmestromkurven einen eindeutigen Verlauf anzeigten. Aus jeder dieser drei Meßkurven je Tag wurden die Anfangs-, Mittel- und Endwerte des Wärmestromverlaufes während des Liegens erfaßt und über Datenträger in die elektronische Datenverarbeitung eingegeben.

Die Temperaturen, die ober- und unterhalb der Thermoelementplatten gemessen worden sind, waren für die Umrechnung der Thermospannung in Wärmestrom erforderlich, während die Meßdaten der Soletemperaturen mit der Dimension Grad Kelvin und die der Luft- und Körpertemperaturen in  $^{\circ}C$  zur statistischen Berechnung in der EDV verwendet wurden.

Das Liegeverhalten ergab sich aus dem Verlauf der Wärmestromkurven bzw. wurde es bei Versuchsperioden mit  $50^{\circ}C$  Bodentemperatur aus der photographischen Registrierung ermittelt.

Die Darstellung des Liegeverhaltens bezog sich auf zwei Zeiträume von je 24 Stunden, die durch die morgendliche und abendliche Stallarbeit voneinander getrennt waren. Die Begründung hierfür liegt darin, daß während der Nachtperiode die das Verhalten beeinflussenden Störfaktoren in geringerem Maße auftraten als tagsüber. Innerhalb einer Periode ergab sich das Liegeverhalten aus

- der Liegedauer je Beobachtungsperiode,
- der Liegehäufigkeit je Beobachtungsperiode und
- der durchschnittlichen Liegedauer je Liegen.

Die Liegezeiten, die jeweils auf volle fünf Minuten gerundet sind, wurden in Minuten festgehalten und ebenfalls über Datenträger für die EDV aufbereitet. Neben den Berechnungen der statistischen Kenngrößen (Mittelwert, Standardabweichung) und den daraus ableitbaren Signifikanztestverfahren (t - Test, F - Test) wurde die Abhängigkeit der Meßergebnisse zwischen Wärmestrom, Körper-, Luft- und Bodentemperaturen durch eine multiple Regressionsanalyse (8) geprüft.

#### 4.2.2.2 Ergebnisse und Folgerungen

Die Versuchsdurchführung erbrachte eine Fülle von Datenmaterial, das in der Ergebnisbeschreibung auf seine Aussagekraft hinsichtlich der Zielgedanken überprüft werden mußte, um Hinweise auf Bereiche optimaler Wärmeabgabe vom Tier an den Boden zu erhalten.

Dementsprechend werden zunächst die Ergebnisse der Wärmestrommessungen unter Berücksichtigung der Wärmeregulierung durch die Gefäßveränderung in der Haut dargelegt. Darauf folgt die Beschreibung des Liegeverhaltens, das in Zusammenhang mit den der Temperatureinstellung zugeordneten Wärmeabgabemengen als Maßstab zulässigen Wärmeentzuges gelten soll. Zwar müßten die Resultate der Körpertemperaturen wegen ihrer inhaltlichen Nähe im Zusammenwirken mit den Ergebnissen der Wärmeabgabe und der Wärmeregulierung behandelt werden, aber wegen der im Versuchskonzept bereits als deutlich unterstellten Abhängigkeit von Wärmeentzug und Liegeverhalten schließt sich die Diskussion des Liegeverhaltens an die der Wärmeabgabe an. Abschließend erfolgt dann die Erörterung des Parameters Körpertemperatur.

### Wärmeabgabe vom Tier an den Boden

Die Messungen zur Wärmeabgabe an den Boden erbrachten Wärmestromwerte, die sich aus der Kontaktfläche zwischen Haut und Thermoelementplatte ergaben und auf die Fläche von einem  $m^2$  umgerechnet werden mußten. Die im folgenden auf-gezeigten Wärmestromwerte in den einzelnen Temperaturphasen stellen den Durchschnitt aus neun Einzelwerten dar, die aus neun ausgewerteten Einzelmessungen je Temperaturphase hervorgehen.

In den sechs Ausgangsphasen des Versuches ( $20^{\circ}C$  Soletemperatur) zeigte sich bei allen drei Tieren ein annähernd einheitliches Wärmeverhalten. Der maximale Wärmestrom betrug ca.  $140 W/m^2$ , wobei Abweichungen um rund  $20 W/m^2$  nach oben und nach unten auftraten. In der Hälfte der Liegezeit wurden rund  $100 W/m^2$  bis  $120 W/m^2$  an den Boden abgegeben, ebenso am Ende der Liegezeit. Zwar besteht zwischen Maximal- und Endwerten eine Differenz von rund 20 bis  $40 W/m^2$ , aber aus zahlreichen Einzelergebnissen geht nach dem Erreichen des Maximalwertes ein konstanter Wärmestrom bis zum Zeitpunkt des Aufstehens hervor. Deshalb kann diese geringe Wärmestromdifferenz vernachlässigt werden.

Eine erhebliche Zunahme der Wärmeströme erbrachte die Verminderung der Soletemperatur auf  $-15^{\circ}C$ . Hier zeigte sich bei Tier 2 die höchste Wärmeabgabe, die einen Maximalwert von rund  $680 W/m^2$  erreichte und dann auf rund  $490 W/m^2$  unmittelbar vor dem Aufstehen zurückging. Dagegen betrug der maximale Wärmestrom bei Tier 1 rund  $570 W/m^2$ , der sich zum Ende der Liegezeit auf ca.  $410 W/m^2$  reduzierte. Die geringsten Wärmeabgabemengen traten bei Tier 3 auf, bei dem sich ein maximaler Wärmestromwert von ca.  $480 W/m^2$  und ein Wärmestromwert am Ende der Liegezeit von ca.  $370 W/m^2$  ergab.

Bei einer verminderten Kälteeinwirkung durch die Liegefläche von  $-4^{\circ}C$  nahm der Wärmestrom vom Tier zum Boden trotz der um  $11^{\circ}C$  höheren Bodentemperatur auffallend wenig gegenüber dem Wärmeentzug bei  $-15^{\circ}C$  ab. Alle drei Tiere zeigten ein annähernd gleiches Wärmeverhalten, wobei die durchschnittliche maximale Wärmeabgabe ca.  $450 W/m^2$  betrug und die Wärmeabgabe am Ende einer Liegezeit rund  $270 W/m^2$ .

Dagegen bewirkte die Erhöhung der Soletemperatur auf  $35^{\circ}C$  einen erheblichen Rückgang des Wärmestromes, der bei Tier 2 mit ca.  $14 W/m^2$  und nahezu konstante

Wärmestromverlauf während der Liegezeiten am stärksten ausgeprägt war. Die Wärmeabgabe der anderen Tiere war ebenso während des Liegens konstant, wobei sich für Tier 1 ein Wärmestrom in Höhe von ca.  $50 \text{ W/m}^2$  und bei Tier 3 von rund  $30 \text{ W/m}^2$  ergab. Die Messung der Wärmeströme bei einer Soletemperatur von  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  war nicht möglich, weil der Wärmefluß vom Boden zum Tier gerichtet war.

Aus dem Vergleich der hier erfaßten Wärmestromwerte ergibt sich also, daß die Unterschiede der Wärmeströme bei maximaler Höhe bzw. am Ende der Liegezeiten zwischen den drei Versuchstieren mit zunehmender Abkühlung der Liegefläche zunehmen. Zwar lassen sich diese Unterschiede zwischen den Tieren signifikant absichern (stat. Irrtumswahrscheinlichkeit: 5 %), aber die nicht einheitliche Richtung der Wärmestromdifferenzen lassen auf individuelle Einflüsse bei der Wärmeabgabe vom Tier schließen. Wie aus den Wärmestromergebnissen jedoch hervorgeht, weicht die Wärmeabgabe in Abhängigkeit von der Liegeflächentemperatur erheblich voneinander ab. Dementsprechend sind die jeweiligen maximalen, in der Mitte und am Ende der Liegezeiten erfaßten Wärmeströme zwischen den Phasen unterschiedlicher Temperatur signifikant verschieden (stat. Irrtumswahrscheinlichkeit: 5 %). Außerdem wird ersichtlich, daß bei Soletemperaturen von  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$  die Höhe des Wärmestromes am Ende der Liegezeiten erheblich unter der des maximalen Wärmestromes liegt, der sich bei den erfaßten Liegezeiten nach rund fünf Minuten eingestellt hat, während bei Soletemperaturen von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  der maximale Wärmestrom in etwa mit dem Wärmestrom am Ende übereinstimmt. Ohne Differenzierung nach maximalen und mittleren sowie Endwerten lassen sich die aufgetretenen Wärmeströme für jede Temperaturphase in Bereichen wiedergeben (Tab. 2).

Tab. 2: Bereiche der Wärmeabgabe in Abhängigkeit von der Soletemperatur

Temperatur ( $^\circ\text{C}$ )	-15	-4	20	35
Wärmestrom ( $\text{W/m}^2$ )	371 - 678	248 - 478	85 - 151	15 - 52

Es zeigt sich, daß die Bereiche möglicher Wärmeabgabemengen sich mit zunehmender Liegeflächentemperatur verengen. Außerdem geht aus Tabelle 5 hervor, daß trotz sich überlappender Wärmeströme bei Kühlphasen von  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$  die

Wärmeabgabemenge eindeutig der Temperatureinwirkung zugeordnet werden kann, was eine wichtige Voraussetzung zur Bewertung des Wärmeentzuges durch den Wohlbefindensparameter Liegeverhalten darstellt.

Der hohe Maximalwert des Wärmeentzuges bei niedrigen Bodentemperaturen, verursacht durch die Verminderung des Wärmestromes im Verlaufe des Liegens, läßt auf ein wärmeregulatorisches Eingreifen durch das Tier schließen. Zur Erörterung der Einwirkungsmöglichkeiten des Tieres auf die Wärmeabgabe an den Boden werden Einzelmessungen an den Versuchstieren in den verschiedenen Temperaturphasen dargestellt (Abb. 30). Der nahezu senkrechte Anstieg der Wärmestromkurven im linken Teil der Abbildung 30 zeigt die Zunahme des Wärmestromes, der mit dem Abliegen einsetzt. Dagegen kennzeichnet der senkrechte Kurvenverlauf im rechten Bildabschnitt den plötzlichen Wärmestromabfall, der durch das Aufstehen des Tieres verursacht ist.

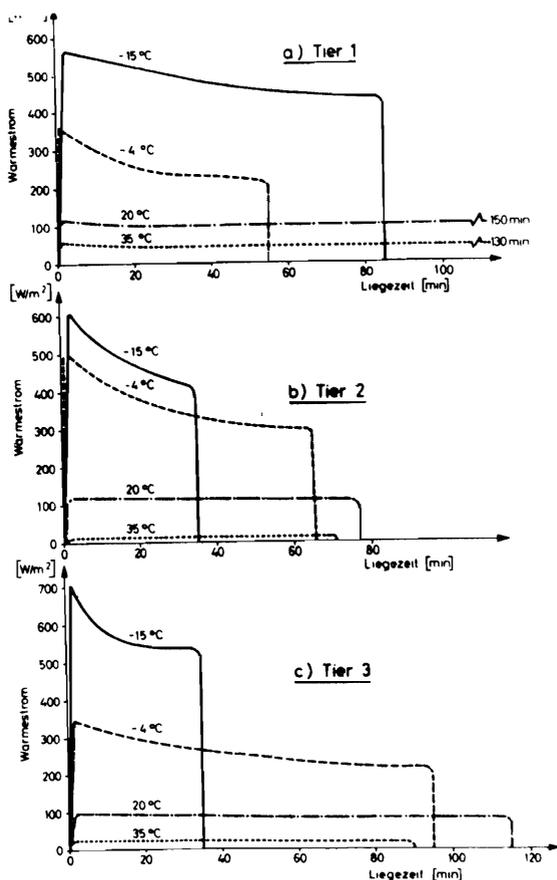


Abb. 30: Wärmestromverlauf vom Tier zur Liegefläche, gemessen in den verschiedenen Temperaturphasen

Wie aus den Kurvenverläufen bei Tier 2, die als Beispiel herausgegriffen werden, ersichtlich ist, greift das Tier bei einer Temperatur von 20 °C von sich aus nicht wärmeregulatorisch ein, sondern gibt konstant ca. 120 W/m<sup>2</sup> über die gesamte Liegezeit ab. Bei einer Bodentemperatur von 35 °C reduziert sich die abgegebene Wärmemenge erheblich um mehr als 100 W/m<sup>2</sup> auf ca. 15 W/m<sup>2</sup>.

Auch hier scheint das Tier nicht von sich aus einzugreifen, wofür der geradlinige Kurvenverlauf spricht. Anders liegen die Verhältnisse bei niedrigeren Temperaturen. Bei -15 °C steigt die Wärmeabgabe sprunghaft auf über 600 W/m<sup>2</sup> an, also auf nahezu das Sechsfache gegenüber 20 °C. Die sofortige Reduzierung des Wärmestromes weist darauf hin, daß das Tier von sich aus den Wärmefluß drosselt, also die Isolierwirkung der Haut erhöht.

Die obere Grenze der maximal möglichen Hautisolation kann aus den Wärmestrommessungen nicht exakt erfaßt werden; denn alle Versuchstiere stehen sowohl bei Kühlphasen von -15 °C als auch bei -4 °C auf, bevor der Wärmestrom einen konstanten Verlauf angenommen hat. Auch wenn angenommen werden muß, daß die Reduzierungsmöglichkeit der Wärmeabgabe noch nicht erschöpft war, ist der Umfang der Abgabereduzierung bereits erheblich (Tab. 3).

Tab. 3: Reduzierung des Wärmestromes bei -15 °C und -4 °C Soletemperatur \*)

Soletemperatur (°C)	Wärmestrom (W/m <sup>2</sup> )		
	Tier 1	Tier 2	Tier 3
-15	128	183	168
- 4	150	203	126

\*) aus Abbildung 30

Er liegt in einer Größenordnung, die in etwa der des Wärmeentzuges bei 20 °C Soletemperatur entspricht.

Grundsätzlich scheint erwiesen, daß eine ausgeprägte Regulierung der Wärmeleitfähigkeit auch im Rumpfbereich möglich ist, obwohl die Körperschale unmittelbar an den wärmeproduzierenden Kern angrenzt. Eine mögliche Konsequenz könnte

nun darin liegen, daß die Wärmedämmung des Bodens in dem Maße verringert wird, wie die Isolationsstärke der Haut an der Rumpfunterseite zunimmt. Dies wäre aber deshalb problematisch, weil gesundheitsschädigende Folgen andauernder Konstriktion der Hautgefäße nicht auszuschließen sind. Die wesentliche Bedeutung des wärmeregulatorischen Eingreifens durch Gefäßreaktionen in der Haut der Körperunterseite besteht darin, daß sie Hinweise auf die Bewertung von Wärmeeigenschaften des Bodens durch das Tier selbst ermöglicht und damit eine wichtige Ergänzung zur Verwendung des Liegeverhaltens als Wohlbefindensparameter bedeutet.

### Liegeverhalten

Die Registrierung des Liegeverhaltens führte zu einer großen Fülle an Einzelwerten. Die je 24 Stunden erfaßten Liegezeiten und -frequenzen sowie die durchschnittliche Liegedauer je Liegeperiode innerhalb von 24 Stunden, die in Tag- und Nachtperiode unterteilt war, wurden zu Mittelwerten zusammengefaßt, die sich aus den Einzelwerten der dreitägigen Versuchsdauer jeder Temperaturphase errechneten (Anhangstab. 14). Für die übersichtliche Darstellung der Abhängigkeit des Liegeverhaltens von der Temperatureinwirkung des Bodens mußte eine weitere Zusammenfassung der Einzelwerte erfolgen, die aus Abbildung 31 hervorgeht. Darin sind für die Versuchstiere 1 bis 3 die Gesamtliegezeit der jeweils dreitägigen Versuchsdauer einer Temperaturphase, die durchschnittliche tägliche Liegezeit und die durchschnittliche Liegezeit je Liegen wiedergegeben.

In den Ausgangsphasen bei 20 °C Soletemperatur ergab sich für Tier 1 eine tägliche Liegezeit von 608 Minuten, während sie bei Tier 2 899 Minuten und bei Tier 3 758 Minuten betrug. Dem stand eine durchschnittliche Liegedauer je Liegen von 140 Minuten bei Tier 1, 76 Minuten bei Tier 2 und 88 Minuten bei Tier 3 gegenüber. Dem entspricht eine tägliche Liegefrequenz für die Tiere 1 bis 3 von 4, 12 und 8 Liegeperioden.

In den Kühlphasen reduzierte sich die Liegedauer bei allen Tieren mit Ausnahme von Tier 3, das in der Kühlphase mit -4 °C länger lag als in den Ausgangsphase. Während bei -15 °C Soletemperatur die tägliche Liegezeit bei allen Tieren einen engen Bereich von 338 bis 562 Minuten ausmachte, waren die Unterschiede bei -4 °C Soletemperatur größer. Tier 1 brachte je 24 Stunden 477 Minuten liegend

zu, bei Tier 2 erhöhte sich die Liegezeit auf 737 Minuten und bei Tier 3 sogar auf 803 Minuten. Die durchschnittlichen Liegezeiten je Liegen verkürzten sich ebenfalls beträchtlich, abgesehen bei Tier 3 in der Kühlphase (-4 °C). Außerdem zeigte sich bei Tier 2 eine deutliche Erhöhung der Liegefrequenz mit 18 Liegeperioden je 24 Stunden gegenüber den Ausgangsphasen.

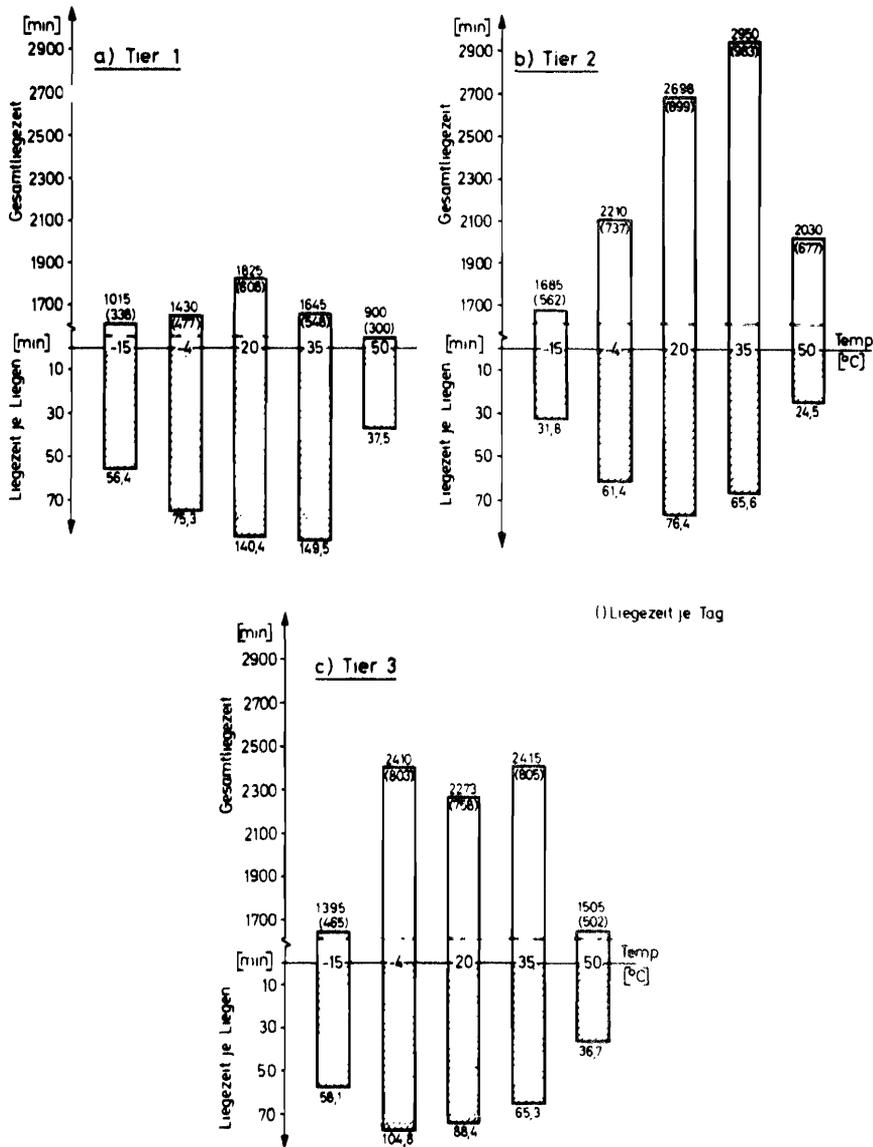


Abb. 31: Gesamtliegezeit und durchschnittliche Liegezeit je Liegen der Versuchstiere 1 bis 3 in den Temperaturphasen der Versuchsschnitte I und II

Eine deutliche Veränderung des Liegeverhaltens konnte bei allen Tieren in der Heizphase bei 50 °C Soletemperatur festgestellt werden. Während bei Tier 1 die tägliche Liegedauer 300 Minuten betrug, ging sie bei Tier 2 gegenüber den Ausgangsphasen auf 677 und bei Tier 3 auf 502 Minuten zurück. Im Vergleich zur Liegefrequenz in den Ausgangsphasen erhöhte sie sich gleichzeitig bei den Tieren 1 bis 3 auf 8,28 und 14 Liegeperioden. Die Liegezeiten bei 35 °C Soletemperatur nahmen mit Ausnahme bei Tier 1 gegenüber denen in den Ausgangsphasen zu, womit eine geringfügige Verkürzung der durchschnittlichen Liegedauer je Liegen einherging.

Aus diesen Resultaten geht hervor, daß das Liegeverhalten bei allen Versuchstieren unter extremen Temperatureinwirkungen des Bodens deutlich verändert wird. Um zunächst den Einfluß des Individualverhaltens abzusichern, wurden die Differenzen der in Anhangstabelle 13 zusammengefaßten Mittelwerte zwischen den Versuchstieren in den jeweiligen Temperaturphasen auf ihre Signifikanz überprüft. Bei den Ausgangsphasen von 20 °C verwischten sich die Mittelwertdifferenzen zwischen den Tieren 2 und 3, wohingegen sie im Verhältnis zu Tier 1 fortbestanden. Bei gekühlter und aufgeheizter Liegefläche traten die Mittelwertdifferenzen insgesamt deutlicher auf. Die Größenordnungen der Mittelwertunterschiede waren zwischen Tier 2 und 3 geringer als zwischen Tier 1 einerseits und den Tieren 2 und 3 andererseits. Da jedoch die Mittelwertdifferenzen keine systematische Tendenz aufwiesen, können die Unterschiede im Liegeverhalten zwischen den Tieren bei gleicher Temperatureinwirkung als Einfluß des Individualverhaltens angesehen werden.

Die Unabhängigkeit des Liegeverhaltens zwischen den Tieren ermöglicht es nun, die Abhängigkeit des Liegeverhaltens von den unterschiedlichen Wärmeeinwirkungen des Bodens bzw. von der Wärmeabgabe durch den Test der Mittelwertdifferenzen auf Signifikanz zu prüfen. Zwischen den Temperaturphasen bei 20 °C traten im Liegeverhalten mehrheitlich keine Unterschiede auf. Signifikante Unterschiede ergaben sich fast nur bei Tier 1, die wegen der nicht eindeutigen Richtung der Mittelwertdifferenzen als zufallsbedingt angesehen werden können.

Dagegen unterschieden sich die Merkmale Liegedauer, Liegefrequenz und durchschnittliche Liegedauer je Liegen bei 20 °C Liegeflächentemperatur signifikant

von denen bei  $-15^{\circ}\text{C}$  und  $+50^{\circ}\text{C}$ . Die Zahl der signifikanten Differenzen des Liegeverhaltens verringerte sich bei reduzierten Heiz- und Kühltemperaturen gegenüber  $20^{\circ}\text{C}$ , d.h. das Verhalten scheint sich dem bei  $20^{\circ}\text{C}$  Liegeflächentemperatur anzunähern. Dabei war die Zahl der signifikanten Mittelwertdifferenzen zwischen  $20^{\circ}\text{C}$  und  $-4^{\circ}\text{C}$  Liegeflächentemperatur deutlich höher als zwischen  $20^{\circ}\text{C}$  und  $35^{\circ}\text{C}$ .

Aus den Vergleichen des Liegeverhaltens in den einzelnen Temperaturphasen läßt sich zunächst schließen, daß ein Wärmeentzug, wie er bei einer Soletemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  und  $35^{\circ}\text{C}$  auftrat, von den Tieren akzeptiert wird. Diese Aussage kann dadurch präzisiert werden, indem die tägliche Gesamtliegedauer zur durchschnittlichen Liegezeit je Liegen, am Beispiel von Tier 2 bei  $50^{\circ}\text{C}$  Soletemperatur gezeigt, in Beziehung gesetzt wird: 677 Minuten täglicher Liegezeit stellen eine normale Liegedauer dar (95), die erst durch den Umstand, daß sie sich auf 24minütige Liegezeiten verteilt, ihren Aussagewert erhält, wonach das Tier sich der Wärmeeinwirkung zu entziehen versucht.

Umgekehrt müßte Tier 3 entsprechend der Gesamtliegedauer von 803 Minuten und der durchschnittlichen Liegezeit je Liegen von 105 Minuten den Wärmeentzug bei  $-4^{\circ}\text{C}$  Soletemperatur akzeptieren. Daß dies nicht zutrifft, geht aus den Einzelliegezeiten der Temperaturphasen im Versuchsabschnitt I hervor (Abb. 32, 33 und 34), in denen ihre Dauer und Häufigkeit während der jeweils dreitägigen Versuchsdauer wiedergegeben sind.

Das Liegeverhalten bei den extremen Temperatureinwirkungen, das mit einer deutlichen Zunahme der Liegehäufigkeit und Verkürzung der Liegedauer gegenüber den Ausgangsphasen einsetzt, bleibt nicht konstant, sondern nähert sich im Verlauf der dreitägigen Versuchsdauer dem Verhalten in den Ausgangsphasen wieder an. Dies zeigt sich am deutlichsten in der Heizphase mit  $50^{\circ}\text{C}$  bei Tier 2 (Abb. 33), deren Liegehäufigkeit von 42 Liegezeiten am ersten Versuchstag auf 25 Liegezeiten am zweiten und 17 Liegezeiten am dritten Tag zurückgeht. Daraus läßt sich jedoch noch nicht eine Gewöhnung an die Temperaturbelastung ableiten. Vielmehr können Ermüdungserscheinungen die Ursache der Verhaltensangleichung darstellen, weswegen bei längerfristiger Temperatureinwirkung medizinisch-physiologische Parameter die Verhaltenskriterien ergänzen müßten.

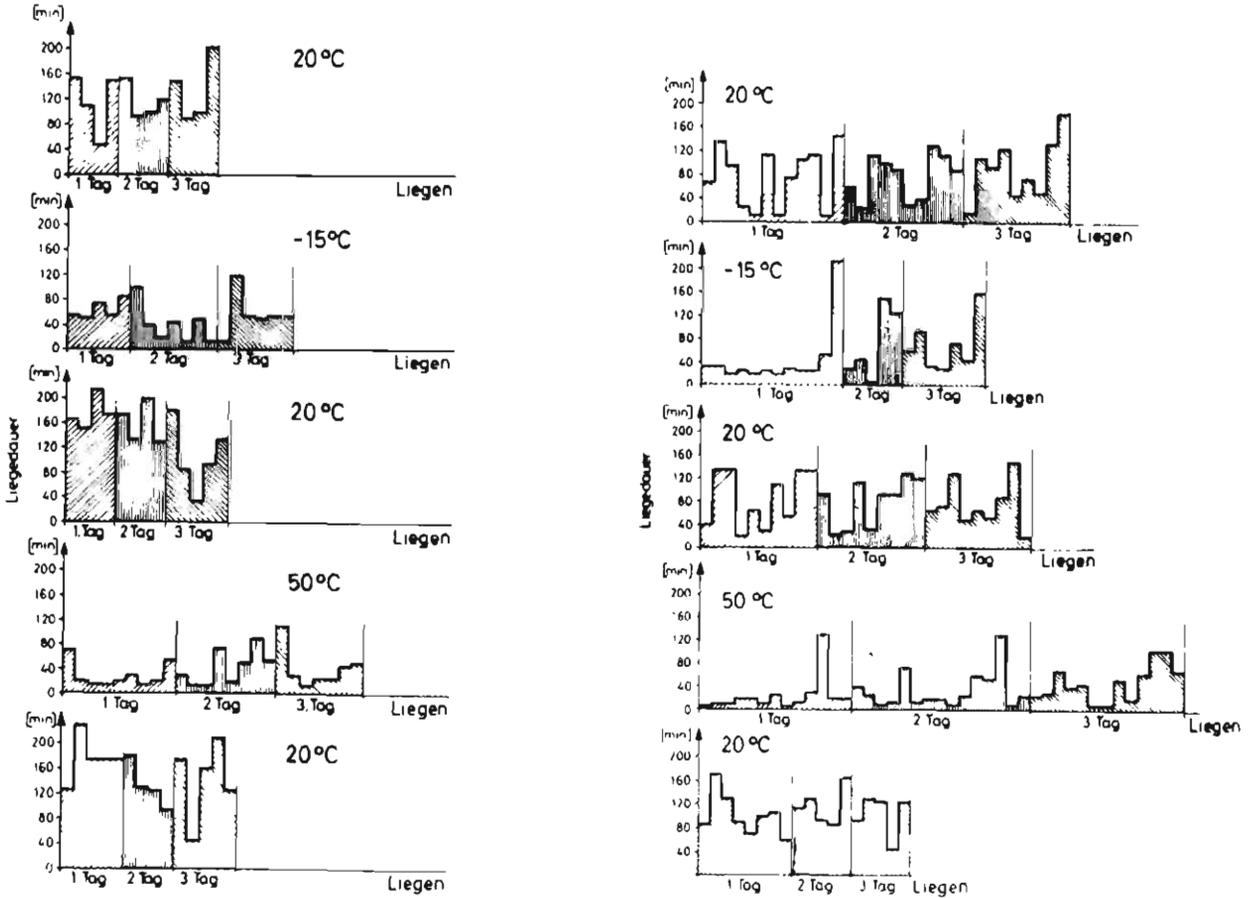


Abb. 32 und 34; Liegedauer und -häufigkeit von Tier 1 und 3 in den Versuchsperioden des Versuchsabschnittes I

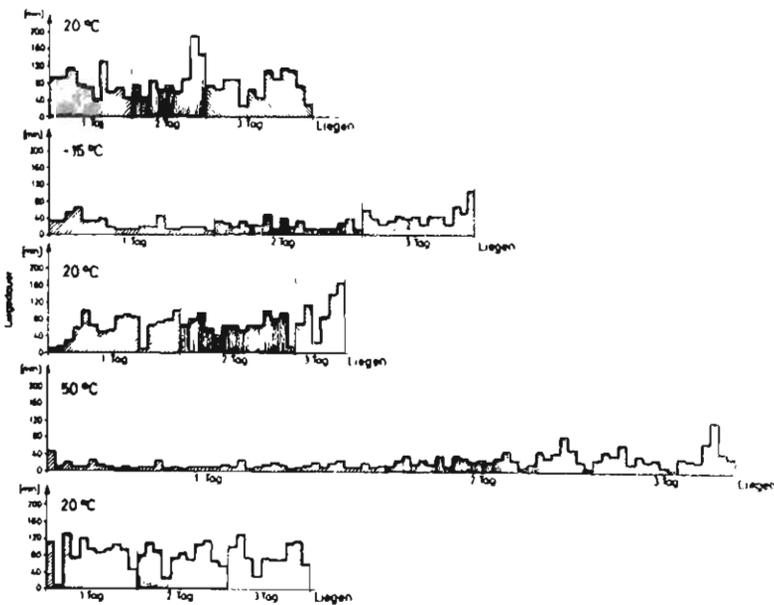


Abb. 33: Liegedauer und -häufigkeit von Tier 2 in den Versuchsperioden des Versuchsabschnittes I

Trotz der in den Abbildungen 44, 45 und 46 erkennbaren Zuordnung des Liegeverhaltens zu den Bodentemperaturen treten innerhalb der Versuchsperioden Schwankungen der Liegedauer und -häufigkeit auf, die auf den Einfluß im Versuch nicht erfaßter Faktoren schließen lassen. Dies kommt durch vergleichsweise geringe Korrelationen zwischen den Verhaltensparametern und der Bodentemperatur zum Ausdruck, die am Beispiel des Tieres 3 dargestellt werden, weil sie hier am deutlichsten nachzuweisen sind. Ein multipler Regressionsansatz (8) stellt die Abhängigkeit zwischen einem auslösenden und beliebig häufigen reagierenden Faktoren dar, indem schrittweise die Faktoren in ein Gleichungssystem  $y = f(x)$  aufgenommen werden, bei denen das Bestimmtheitsmaß zunimmt. Bei Tier 3 ergab sich das größtmögliche Bestimmtheitsmaß aus der Abhängigkeit zwischen Liegehäufigkeit und durchschnittlicher Liegedauer je Liegen in der Tagesphase mit der Bodentemperatur (Anhangtab. 2):

$$y = 1,845 x_1^2 + 0,00132 x_2^2 + 260,63$$

Dabei bedeuten:

- $y$  = Bodentemperatur in °Kelvin
- $x_1$  = Liegehäufigkeit in der Tagesphase
- $x_2$  = durchschnittliche Liegedauer je Liegen

Das Bestimmtheitsmaß beträgt  $B = 0,56$ , was bedeutet, daß die Verhaltensparameter  $x_1$  und  $x_2$  zu 56 % auf die Liegeflächentemperatur zurückzuführen sind. Die quadratische Abhängigkeit ergibt sich aus der gleich gerichteten Verhaltensänderung bei extrem tiefen und hohen Liegeflächentemperaturen.

Trotzdem das Liegeverhalten von vielen und nicht erfaßbaren Einflußgrößen abhängig, reagierten die Tiere so deutlich auf die Veränderung des Wärmeentzuges, daß Liegedauer und -häufigkeit als Kriterien des Wohlbefindens (108) herangezogen werden können. Die Gegenüberstellung der Liegeverhaltensparameter mit den Wärmestromwerten in den einzelnen Temperaturphasen läßt deshalb den Schluß zu, daß der Wärmeentzug bis ca.  $150 \text{ W/m}^2$  den physiologischen Anforderungen entspricht. Allerdings scheint das Tier auch zu akzeptieren, wenn Wärme an den Boden nur sehr gering oder überhaupt nicht abgegeben wird. Damit dürfte sich die Vermutung einer gesundheitlichen Gefährdung durch Wärmestau nicht bestätigt

haben. Die Ergebnisse des Wärmeverhaltens der untersuchten Tiere hinsichtlich ihrer thermoregulatorischen Maßnahmen sowie die des Liegeverhaltens können den Bereich des akzeptierten Wärmeentzuges zwischen  $150 \text{ W/m}^2$  und dem Wärme-gleichgewicht von Körper und Boden eingrenzen. Die Verhaltensreaktion gegen-über hohem Wärmeentzug stützt den klinischen Befund (11), wonach lokale Unter-kühlungen Gesundheitsschädigungen hervorrufen können.

### Körpertemperatur

Die Ergebnisse der Körpertemperaturmessungen stellen Einzelwerte dar, wie sie morgens und abends eines jeden Versuchstages festgestellt worden sind (Abb. 35). Die Mehrzahl der Temperaturwerte lag in einem Bereich von  $38,3$  bis  $39,0$  °C. Die Körpertemperatur von  $39,0$  °C wurde bei Tier 1 in vier Ausgangsphasen ( $20$  °C) und in einer Heizphase ( $50$  °C) überschritten. Während bei Tier 2 die Tempera-tur stets unterhalb von  $39,0$  °C blieb, stieg bei Tier 3 die Körpertemperatur in einer Ausgangsphase und in einer Kühlphase ( $-15$  °C) über  $39,0$  °C an. Eine umfangreichere Abweichung nach unten trat nur einmal bei Tier 3 während einer Ausgangsphase auf, bei der die Körpertemperatur auf  $38,0$  °C sank.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, welche Wärmeabgabemengen vom Tier zum Boden als tiergemäß angesehen werden können.

Bei keinem der Tiere konnte eine Abhängigkeit der Körpertemperatur vom Wärme-entzug festgestellt werden. Weder im Hinblick auf kompensatorische Wärme-pro- duktion durch verstärkten Stoffwechselumsatz noch im Hinblick auf eine syste- matische Temperaturerhöhung bei den extremen Temperaturbelastungen ergaben sich Hinweise, wonach die Tiere diesen Mechanismus der Wärmeregulierung ein- gesetzt hätten. Als Ursache ist denkbar, daß die Wärmeregulierung durch die Gefäßveränderung in der Haut bzw. die Verkürzung der Liegezeiten eine Erhöhung der Stoffwechselproduktion nicht mehr erforderlich machten.

Nachdem der Wärmeentzug jedoch vornehmlich durch die Wärmeeigenschaften des Bodens bestimmt ist, kam es darauf an, die wichtigsten auf dem Markt befind- lichen Bodenbeläge hinsichtlich ihrer Wärmeeigenschaften zu prüfen und mit den vom Tier akzeptierten Wärmeabgabemengen zu vergleichen.

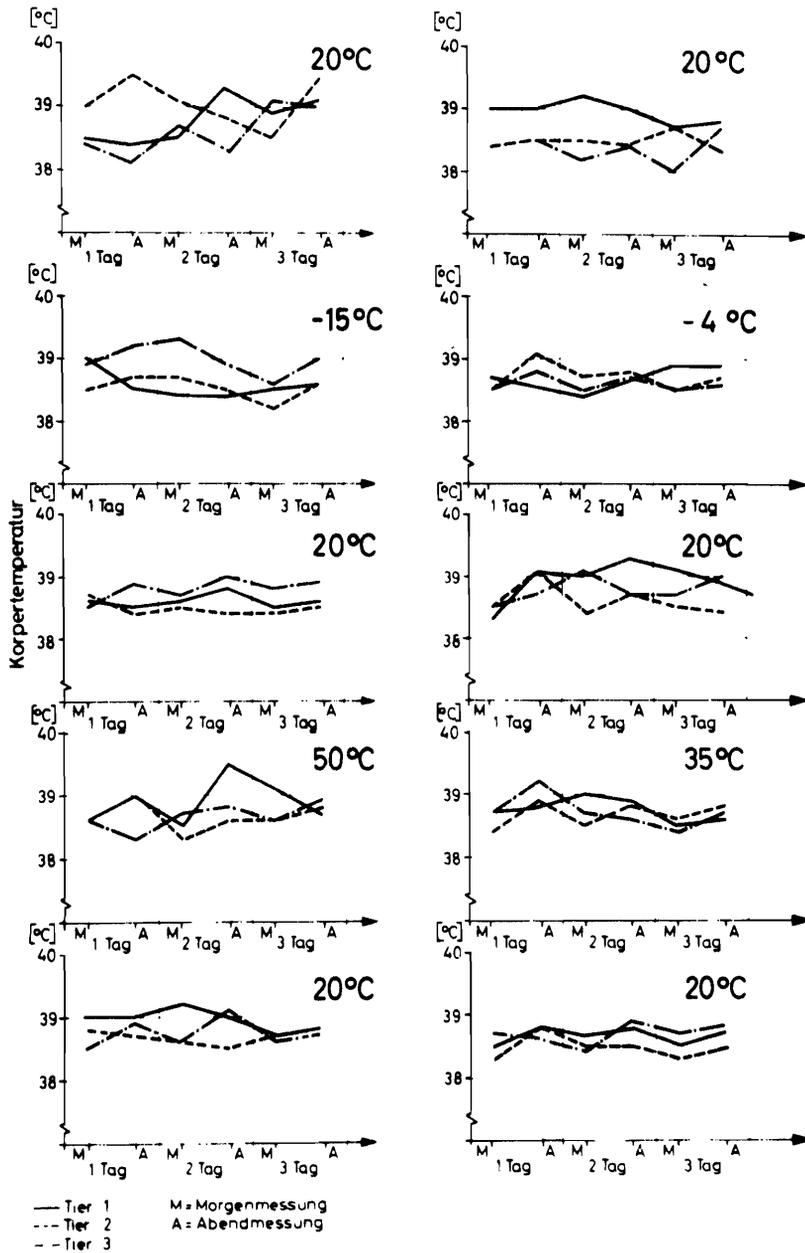


Abb. 35: Körpertemperatur der Versuchstiere in den Versuchsabschnitten I und II

#### 4.2.2.3 Wärmeeigenschaften von Bodenbelägen

Die Wärmeabführung in Bodenbeläge vollzieht sich in derselben Weise, wie sie in Kapitel 4.2.1.4 für Weideflächen beschrieben worden ist. Deshalb fand auch dieselbe Meßmethode zur Prüfung der Wärmeeigenschaften Anwendung. Für

eine an der Praxis orientierte Prüfung des Wärmeflusses in den Boden mußte die Wärmeleitfähigkeit des unter den Bodenbelägen befindlichen Materials mitberücksichtigt werden.

Die Auswahl der Bodenbeläge erfolgte nach ihrer Verbreitung in der Praxis und umfaßte

- Stalliflex-Matten mit und ohne Schaumbeschichtung (PVC),
- Ubo-Matten (Gummi) und
- Kraiburger-Matten (Gummi).

Die Wärmeleitfähigkeit des nicht wärme gedämmten Betonbodens, der die Unterlage der Bodenbeläge darstellte, wurde durch Styroporschichten von 2, 4 und 6 cm Stärke zwischen Bodenbelag und Boden variiert. Wesentliche Unterschiede in der Wärmestromdichte resultierten nicht aus Materialunterschieden, sondern aus verschieden starker Isolierung des Belagsuntergrundes (Abb. 36). Auf Betonboden setzten die Wärmeströme der untersuchten Beläge zwischen  $260 \text{ W/m}^2$  und  $350 \text{ W/m}^2$  ein und reduzierten sich nach ca. 40 Minuten Dauer der Wärmeeinwirkung auf  $150 \text{ W/m}^2$ . Eine Ausnahme bildete der Wärmestromverlauf bei der Stalliflex-Matte ohne Schaum, deren Wärmestromdichte auf ca.  $90 \text{ W/m}^2$  zurückging (Abb. 48 a). Demgegenüber reduzierte sich der Wärmestrom unter Verwendung des untergelegten Isoliermaterials von 260 bzw.  $350 \text{ W/m}^2$  auf einen Bereich von 40 bis  $50 \text{ W/m}^2$ , wobei mit zunehmender Schichtstärke der Isolierung kein deutlicher Rückgang der Wärmestromdichte verbunden war. Ein weiterer Unterschied im Wärmeverhalten der Bodenbeläge bestand darin, daß ein konstanter Wärmestromverlauf bei Bodenbelägen nach ca. 40 Minuten und bei Bodenbelägen mit Isolierunterschicht erst nach ca. 70 Minuten eintrat.

Die Reduzierung der Wärmestromdichte in Abhängigkeit von der Isolation unterhalb der Beläge zeigt, daß zur Beurteilung tiergerechter Wärmeigenschaften von Bodenbelägen die Wärmeigenschaften der Unterlage mitberücksichtigt werden müssen. Während die Wärmestromwerte von 260 bis  $350 \text{ W/m}^2$  zu Beginn der Messungen eindeutig über den Wärmeabgabemengen liegen, die von den Tieren akzeptiert worden sind; stellt die konstant bleibende Wärmestromdichte von ca.  $150 \text{ W/m}^2$  bei Bodenbelägen ohne Isolierunterschicht das Minimum der Anforderungen an die Wärmedämmung dar. Demgegenüber entspricht der konstante Wärmestromverlauf

nach ca. 70 Minuten Meßdauer bei Bodenbelägen mit Isolierunterschicht in Höhe von ca. 40 bis 50  $\text{W/m}^2$  dem vom Tier akzeptierten Wärmeeintzug. Der erhebliche Unterschied in der Wärmestromdichte zwischen dem einsetzenden und dem konstant verlaufenden Wärmestrom führt zu dem Schluß, daß die Wärmedämmung des Belagsmaterials erhöht werden sollte; denn erst nach ca. 20 Minuten Meßdauer ist bei den Bodenbelägen mit Isolierunterschicht eine Wärmestromdichte von ca. 150  $\text{W/m}^2$  und damit die Mindestanforderung an die Wärmedämmung erreicht.

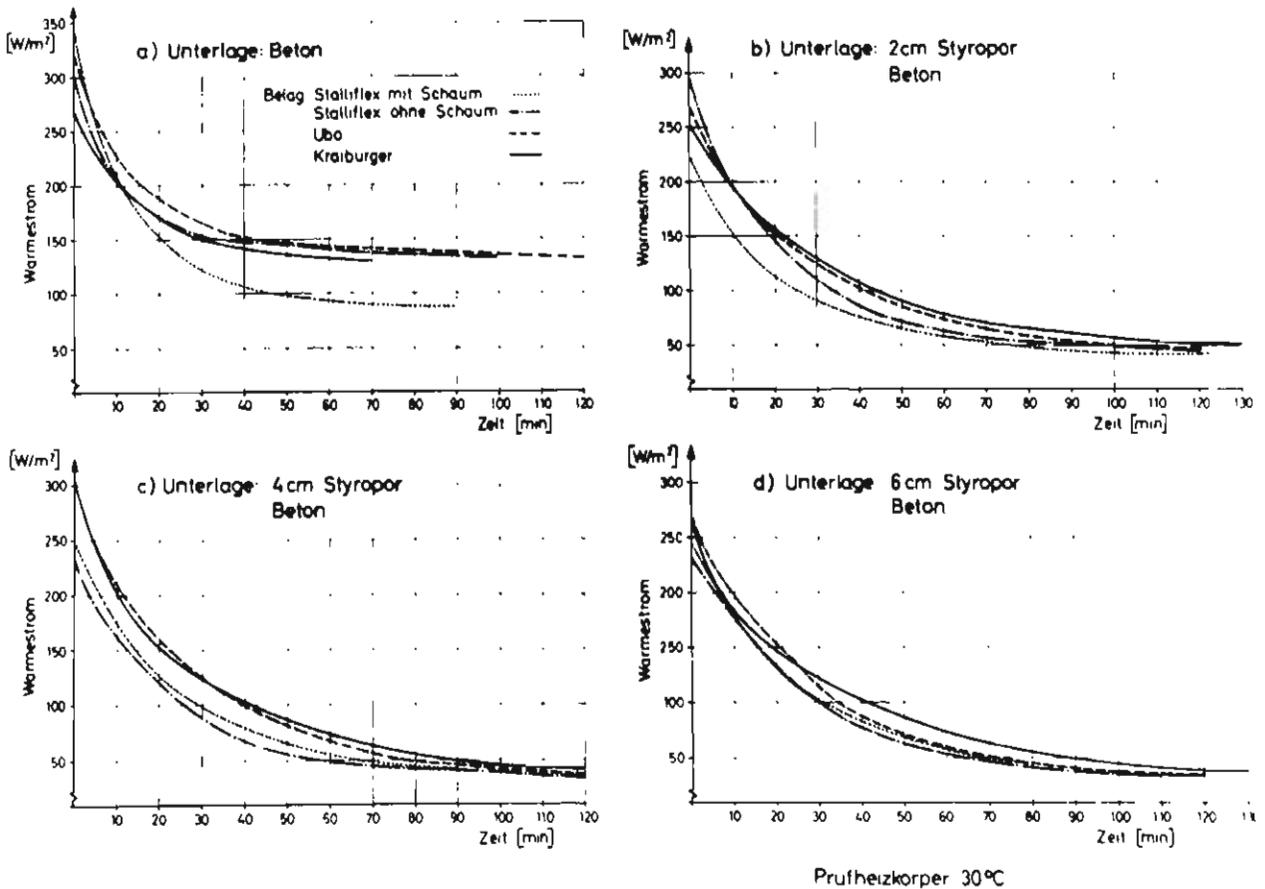


Abb. 36: Wärmestromverlauf zwischen Prüfheizkörper und verschiedenen Bodenbelägen bei unterschiedlicher Wärmedämmung des Untergrundes

### 5. Anforderungen an die Härte von Stand- und Liegeflächen

Die Frage nach einer tiergerechten Gestaltung der Liegefläche hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften findet ihren äußerlich sichtbaren Grund in dem Auftreten von Beinschäden, die vermehrt durch Umstellung von Einstreuhaltung auf strohlose Haltungsformen Beachtung gefunden haben. Auch bei Verwendung

von Stroh als Unterlage für das Tier traten Verletzungen infolge mechanischer Beanspruchung auf. Aber die mit Einstreuhaltung zumeist verbundene geringe Tierzahl ermöglichte einen höheren und intensiveren Arbeits- und Pflegeaufwand für das einzelne Tier, sowohl was die Pflege der Strohschüttung als auch die Betreuung selbst angeht. Deshalb kommen Tierschäden erst bei zunehmender Rationalisierung im Stall verstärkt zur Geltung, was die Anforderungen an die Umwelt des Tieres und in diesem Fall an die Stand- und Liegefläche höher schraubt. Dementsprechend orientierten sich die vorliegenden Untersuchungen daran, trotz und bei der Vielfalt der sich am Stand vollziehenden Bewegungsvorgänge akute mechanische Schädigungen am Tier auszuschließen. Eine schädigende Wirkung als Folge fehlender funktionsspezifischer Bodeneigenschaften bleibt nicht nur auf akute Verletzungen beschränkt, sondern umfaßt auch die Gefährdung der Gesundheit des Tieres als Ganzes, die dadurch entsteht, daß das Verhalten von Steh- und Liegezeit sich nachhaltig ändert, was zu Konsequenzen auf das Freßverhalten und schließlich auf die Leistungsfähigkeit des Organismus führt (30, 61).

Die mechanischen Einwirkungen durch das Tier auf die Bodenfläche sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß auf verhältnismäßig kleinen Flächen große Kräfte auf den Boden übertragen werden. Die mit dem Körpergewicht belasteten Kontaktflächen von Tier und Boden resultieren aus den jeweiligen Positionen am Standplatz und umfassen hauptsächlich das Aufliegen von Karpal- und Sprunggelenken sowie die auftretende Klauensohle. Ihre Berührungsflächen sind nach Form und Druckempfindlichkeit so unterschiedlich gestaltet, daß daraus sich entgegengesetzte Anforderungen an die Verformbarkeit des Bodens ergeben.

Aus dem Kontakt der kleinflächigen und ungeschützten Gelenke mit dem Boden bei den Abliege- und Aufstehvorgängen sowie beim Liegen ergibt sich die Notwendigkeit einer elastischen Liegefläche, um die Gliedmaßenteile dem Boden anpassen zu können. Mit dem Eindringen der Gliedmaßenteile in den Boden geht wegen der annähernd kugelförmigen Gestalt eine Kontaktflächenvergrößerung einher, die ihrerseits eine Druckverminderung auf das aufliegende Gelenkteil bewirkt. Beim stehenden Tier geschieht die Kraftübertragung zum Boden über die widerstandsfähige Klaue, die jedoch einen festen und ebenen Halt finden muß, um dem Tier eine sichere Standposition zu gewährleisten, und um außerdem die durch Druck und Sog wirkende

Blutversorgung des Klauenbeines zu ermöglichen. Den individuell und tageszeitlich orientierten Rhythmus des Stehens und Liegens sicherzustellen, ist eine wichtige Voraussetzung für tiergerechte Stallhaltung. Mit den Funktionsbereichen Stehen und Liegen sind nämlich wesentliche physiologische Vorgänge verbunden, deren Störung bzw. Unterbindung sich nachteilig auf Gesundheit und Leistung auswirken kann. Deshalb geht es im folgenden um die Merkmale und Funktionen tierspezifischen Stehens und Liegens, aus denen Wechselbeziehungen zwischen den Grundlagen zur Formulierung der Anforderungen und Maßstäbe zur Überprüfung der den Bedürfnissen des Tieres angepaßten Stand- und Liegefläche entstehen.

Der Bewegungstrieb des im Anbindestand fixierten Tieres kann sich wegen der unterbundenen Fortbewegungsmöglichkeit nicht entfalten, weswegen mit der Stehzeit hauptsächlich die Fressenszeit verbunden ist. Rudimentär vollzieht sich das Bewegungsverhalten auch durch Treten auf der Stelle bzw. Vor- und Zurückbewegungen, soweit dies die Anbindevorrichtung zuläßt. Nach METZNER (97) ermöglicht die Senkrechtenbindung eine maximale Längsauslenkung in Bughöhe von 40 cm und die Halsrahmenanbindung in Höhe ihrer Gelenke eine maximale Längsauslenkung von 32,5 cm.

Das vorgelegte Futter, das nicht mehr wie auf der Weide erst gerupft werden muß, liegt in ausreichendem Maße vor, was zu einer größeren Futteraufnahme in kürzerer Zeit führt (113). Daraus ergeben sich gegenüber dem Aufenthalt auf der Weide unterschiedliche Stehzeiten. Während im Stall nach mehreren Autoren die Freßzeit pro Tag ca. sechs Stunden ausmacht (zitiert bei PORZIG, 113), werden als reine Grasenszeiten auf der Weide für die in Deutschland vorkommenden Rassen ca. 7 bis 9 Stunden genannt, wobei aufgrund vielfältiger Einflüsse diese Zeitspannen großen Schwankungen unterliegen.

Tätigkeiten, die vornehmlich mit dem Ruhen zusammenhängen, geschehen auch beim stehenden Tier, weil der Sehnenapparat der Extremitäten dem Rind ein längeres Stehen ohne Ermüdungserscheinungen ermöglicht (39). Hierzu zählt in erster Linie das Wiederkauen, über dessen Dauer im Stehen unterschiedliche Ergebnisse vorliegen. Nach KLEIBER (69) vollzieht sich das Wiederkauen angebundener Tiere zu 100 % im Liegen, während im Laufstall ca. 5 % der Wiederkau-tätigkeit im Stehen vorgenommen werden. Hiervon gänzlich verschieden ist die

Wiederkaudauer im Stehen bei Weiderindern, bei denen ca. 40 % der gesamten Wiederkautätigkeit auf die Stehzeit entfallen (63). Die Aussagen von KLEIBER konnten durch eigene Beobachtungen nicht bestätigt werden, zumal als Gesamtstehzeit pro Tag ca. 12 Stunden gelten (27). Unter Abzug von 7 Stunden für die Futteraufnahme bleiben noch 5 Stunden, während derer das Tier ohne zu fressen steht. Abgesehen von Tätigkeiten der Körperpflege und des Sozialkontaktes dient diese Zeit dem Ruhen, was auch durch zahlreiche Praxisbeobachtungen erhärtet erscheint.

Liegen

Das Liegen dient hauptsächlich dem Wiederkauen, in geringem Umfang auch dem Schlafen (113), das die einzige Alternative zum Bewegungsverhalten des fixierten Tieres darstellt, worin wahrscheinlich auch die Ursache längerer Liegezeiten als im Laufstall zu suchen ist (Tab. 4 ). Allerdings scheint die Unterschiedlichkeit der Liegedauer nicht nur auf die Haltungsformen zurückführbar zu sein, sondern z. B. auch auf das Herdenverhalten der Tiere (63).

Tab. 4: Durchschnittliche Liegedauer von Milchviehherden in Minuten je Tier und 24 Stunden (nach SEUFERT, 133)

Anbindestall		Liegeboxenlaufstall	
Verfasser	min	Verfasser	min
	mit Einstreu		
	ohne Einstreu		
COENEN	648	SCHIFFNER	640
HESELBARTH	675	HESELBARTH	604
KLEIBER	562	STOTTMEISTER	504
KOCH	675	LAMPRECHT	707
TSCHIRCH	587	TSCHIRCH	613

Nach BUCKVAY (27) entfällt rund die Hälfte des Tages auf die Liegezeit. Allerdings ergeben sich aus Verhaltensbeobachtungen verschiedener Autoren, deren Ergebnisse in Tabelle 4 wiedergegeben sind, kürzere Liegezeiten. Daß ein Zusammenhang zwischen Liegedauer und Haltungsformen zu bestehen scheint, zeigt

die Gegenüberstellung von durchschnittlichen Herdenliegezeiten nach MEYER-ÖTTING (95) bei Anbinde-, Laufstall- und Weidehaltung (Tab. 5). Auf der Weide fallen die höchsten und im Laufstall die geringsten Liegezeiten an, wobei auch auf der Weide im Durchschnitt nicht die Liegedauer, die der halben Tageszeit entspricht, erreicht wird. Aber unter Einbeziehung der Streubreite um den Liegedauermittelwert kann eine Liegedauer von 12 Stunden sogar überschritten werden.

Tab. 5: Liegedauer je Tag und durchschnittliche Liegezeit je Liegen von Milchviehherden bei verschiedenen Haltungsformen (MEYER-ÖTTING, 95)

Haltungsab-schnitt	Haltungsform	Tier-zahl	Gesamtliegezeit		Liegeintervalle	
			min/ $\bar{x}$	Tier s	Zahl $\bar{n}$	Länge $\bar{x}$ (min)
Winter 1971/72	Anbindestall	48	627	140	8,3	75
	Laufstall	48	580	179	9,5	61
Sommer 1972	Weide	12	652	81	8,3	79
Winter 1972/73	Anbindestall	48	636	158	9,6	66
	Laufstall	48	597	145	10,0	66

Im Anbindestall bedeutet die einzige Alternative zum Stehen das Liegen, während im Laufstall die freie Bewegungsmöglichkeit erhalten bleibt. Deshalb kann aus der fehlenden Bewegungsmöglichkeit einerseits und der Herdenmotivation andererseits die höhere Liegedauer im Anbindestall gegenüber dem Laufstall erklärt werden, weil im Stall das Individualverhalten auch durch das Gesamt-herdenverhalten bestimmt bzw. beeinflußt wird.

Der Grund nicht ausgewogener Steh- und Liegezeiten kann darin liegen, daß das Tier aus Angst vor Schmerzen oder wegen körperlicher Anstrengung sich scheut, den jeweiligen Zustand zu verändern. Die Ursachen sind vielgestaltig, müssen aber hier auf den Teil beschränkt bleiben, der mit der Ausführung der Stand- und Liegefläche zusammenhängt.

Abgesehen von dem Umstand nicht ausreichender Rutschfestigkeit des Bodens, wodurch für Aufsteh- und Abliegebewegungen die erforderliche Standsicherheit

der Klaue fehlt, können Anomalien durch zu harte Unterflächen entstehen, wobei die Verhaltensstörung meist nicht plötzlich eintritt, sondern sich allmählich unter Begleiteinwirkungen wie mechanischer Schädigung und Verletzungen als Ursache und Wirkung zugleich entwickelt. Harte Unterflächen entsprechen hingegen den Bedürfnissen des stehenden Tieres, weil dadurch eine anatomisch korrekte Kraftübertragung vom Körper zum Boden ermöglicht wird (156). Außerdem wirkt bei festem Untergrund der notwendige Klauenmechanismus, worunter Zug- und Druckspannungen im Klauenschuh zu verstehen sind.

In der Literatur wird jedoch weitaus mehr auf die Notwendigkeit einer weichen Liegefläche für das liegende Tier hingewiesen. Die Forderung leitet sich vornehmlich aus den registrierten Schäden ab, wobei das Aufsuchen weicher Liegeflächen bei freier Wahlmöglichkeit diese Forderung unterstützt (3, 143). EKESBO (38) hat festgestellt, daß der Anteil an Euterkrankheiten (Mastitis) in einem Stall mit weichen Bodenunterlagen um 50 % geringer als in einem Vergleichsstall mit harten Liegeflächen war.

Neben diesen deutlich sichtbaren echten Krankheitssymptomen dürfen die Einwirkungen auf die Fußgelenke beim Abliegen und Aufstehen nicht vernachlässigt werden. In der Literatur findet sich die Beschreibung von Beinschäden nur auf Hinterextremitäten bezogen, wobei der Einfluß des Gitterrostes eine wesentliche Rolle spielt (32, 36, 59).

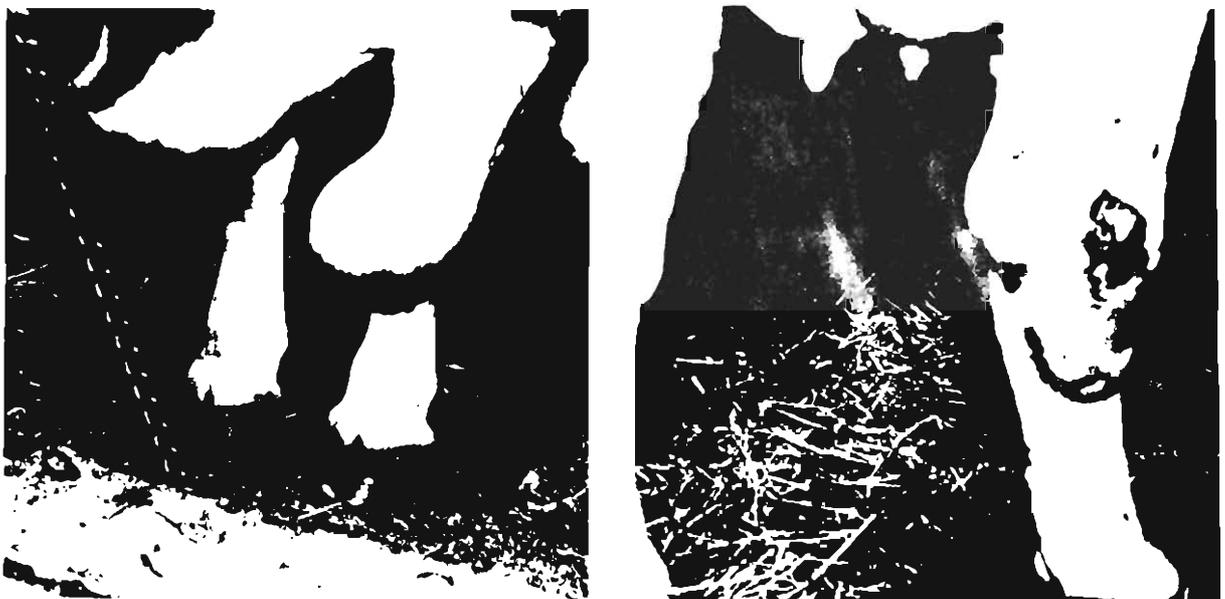


Abb. 37 : Beispiele für Aufliegeschäden an den Karpal- und Sprunggelenken von Milchkühen

Aber auch die Vorderbeine und hier besonders die Karpalgelenke sind bei den Abliege- und Aufstehbewegungen erheblichen Druckbelastungen ausgesetzt (15, 112), wobei die äußeren Schadwirkungen ebenso deutlich in Erscheinung treten wie bei den Hinterbeinen (Abb. 37). Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Milchkühe wurde bereits auf die Folge überlangen Stehens hingewiesen, wonach die energetische Verwertung des Futters sich durch erhöhten Erhaltungsfutterbedarf verschlechtert. KNEZEVICZ (73) beschreibt außerdem die Leistungseinbußen, die in nicht tiergemäßen Stehbedingungen ihre Ursache haben, wobei es unerheblich bleibt, ob unregelmäßige Stehzeiten von mangelnder Klauenpflege oder sonstigen Ursachen herrühren.

In der Laufstallliegebox lassen sich die Voraussetzungen eines tiergerechten Liegeverhaltens dadurch schaffen, daß die Härteeigenschaften nur nach den Bedürfnissen des liegenden Körpers ausgerichtet sein müssen. Dagegen treffen im Anbindestand die entgegengesetzten Anforderungen von Härte und Elastizität des Bodens zusammen, weil alle Bewegungsvorgänge des Stehens und Liegens sich auf ein- und derselben Stelle vollziehen.

Deshalb ergibt sich als Ziel der Untersuchungen, die Anforderungen des Tieres an die Härte des Bodens entsprechend den differenzierten Beanspruchungsformen zu quantifizieren, was die Grundlage darstellt, um nach Kompromissen für eine tiergerechte Stand- und Liegefläche zu suchen.

### 5.1 Methodisches Vorgehen

Die Ermittlung der Anforderungen an optimale Boden Härte ließ sich nicht direkt erreichen, sondern machte die Aufgliederung in Einzelversuche notwendig, welche sich aus den gegensätzlichen Ansprüchen des Tieres beim Stehen und Liegen ergeben. Daraus folgte ein Ablauf der Untersuchungen, der unter dem Gesichtspunkt der physikalischen Gegebenheiten der auf dem Boden aufliegenden Klauensohle und Gliedmaßerfläche Daten liefern sollte,

- wo am Standplatz die Berührungspunkte sich befinden und
- wie die Boden Härte in den Kontaktbereichen der Standplatzfläche den aufliegenden Körperteilen angepaßt sein muß (Abb. 38).

Durch die Registrierung der Berührungspunkte sollten die Bereiche der Tritt- und Aufliegeverteilung der Klauen bzw. Karpal- und Sprunggelenke ermittelt werden, um die Möglichkeit einer differenzierten Belagshärte entsprechend der Berührungsart zu prüfen.

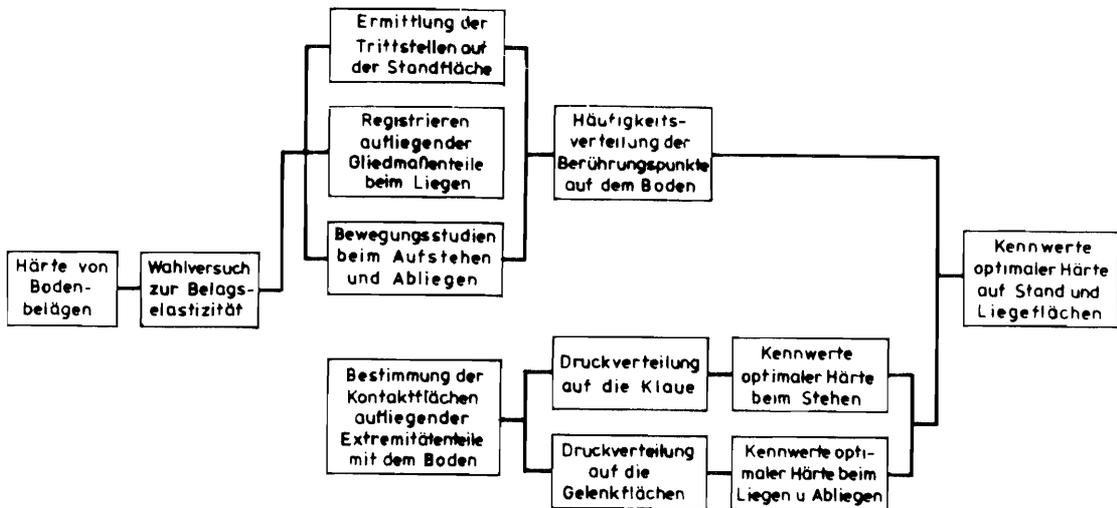


Abb. 38: Ermittlung von Kennwerten tiergerechter Härteeigenschaften

Eine qualitative Zuordnung der Boden Härte zu den Berührungssituationen der Klaue und der Gelenksoberflächen reichte jedoch nicht für eine Aussage optimaler Härte aus. Deshalb wurden unter Berücksichtigung der Form ihrer Berührungsflächen mit dem Boden Kennwerte tiergerechter Härtegrade für die Funktionen des Stehens und Liegens ermittelt. Sie sollen als Grundlage zur Gestaltung spezifischer Härtegrade beim Kontakt von Klaue und Gelenk mit dem Boden dienen. Auch wenn die Flächenverteilung der auftretenden Klauen und aufliegenden Karpal- und Sprunggelenke sich nicht trennen läßt, stellen die Kennwerte optimaler Härte für Stehen und Liegen die Voraussetzungen dar, um die geforderten Eigenschaften des Bodens so aneinander anzugleichen, daß sie ein tiergerechtes Stehen sowie ein schonendes Aufliegen der Gelenksflächen ermöglichen. Den Ausgangspunkt der Untersuchung optimaler Härtegrade stellte jedoch die qualitative Bestimmung bevorzugter Härte durch die Tiere selbst dar, indem sie auf Standplätzen, in denen sich die Vorgänge des Stehens und Liegens vollziehen, unter Bodenbelägen extrem unterschiedlicher Härte auswählen konnten.

## 5.2 Wahlversuche zur Ermittlung bevorzugter Härtegrade von Bodenbelägen

Während zur Bestimmung tiergerechter Wärmeeigenschaften von Liegeflächen objektiv meßbare und eindeutig zuordenbare Kenngrößen wie die in den Boden abfließende Wärmemenge zur Verfügung stehen, gestaltet sich die Präzisierung zuordenbarer Parameter hinsichtlich der Weichheit von Stand- und Liegeflächen komplizierter; denn meist lassen sich äußerlich sichtbare Schadmerkmale und Verletzungen, die vom Kontakt der betreffenden Körperteile mit dem Boden herühren, bzw. entsprechende Verhaltensformen nicht nur auf die Härte der Stand- und Liegefläche zurückführen, sondern beruhen auf einer Vielzahl von Faktoren, die sich aus der Standplatzbauweise und -einrichtung ergeben. Dennoch werden in der Literatur Beinverletzungen und Verhaltensformen, besonders des Steh- und Liegeverhaltens, als Maßstab tiergerechter Bodenflächen für Rinder herangezogen (3, 30, 69, 143).

Dabei erhöht sich der Aussagewert des Verhaltens zur Beurteilung tiergerechter Härteeigenschaften dann, wenn die Standplatzbedingungen für das Tier nur in der Härte der Bodenfläche unterschiedlich sind. Diese Voraussetzungen lassen sich am ehesten durch das Ausnutzen der freien Standplatzwahl im Laufstall bei deutlicher Härte differenzierung des Bodens in den einzelnen Standplätzen verwirklichen.

Die Belegung der Standplätze sowie ihre Häufigkeit und Dauer geben Aufschluß über die Annahme bzw. Ablehnung einer bestimmten Boden Härte durch das Tier selbst, was eine qualitative Beschreibung tiergerechter Boden Härte als Grundlage für zahlenmäßig erfaßbare Maßstäbe beinhaltet.

Neue systematische Untersuchungen hierüber liegen von WANDER (142, 144) sowie ANDREAE und PAPENDIECK (3) vor, die in Liegeboxenlaufställen das Wahlverhalten von Milchkühen hinsichtlich der Liegeflächen Härte beobachtet haben. Ihre grundsätzlichen Ergebnisse stimmen überein, wonach die Milchkühe zum Liegen weiche Bodenflächen gegenüber harten eindeutig bevorzugen, auch wenn letztere über extrem hohe Wärmedämmeigenschaften verfügen. Während WANDER nur die Belegzeiten von stehenden und liegenden Tieren in den Boxen mittels einer Lichtschrankenanlage registrierte, beobachteten ANDREAE und PAPENDIECK photographisch und visuell und erhielten damit zusätzlich Informationen über das

Individualverhalten der Tiere. Der Vorteil der Untersuchung von WANDER bestand in der hohen Anzahl an Einzelbeobachtungen in schnell auszuwertender Form, wohingegen die andere Beobachtungsmethode zu detaillierteren Informationen durch Berücksichtigung des Einzeltieres führte.

Bei der Versuchsanstellung von ANDREAE und PAPENDIECK waren fünf Liegeboxen mit wärmegeädämmtem Estrich und sieben Liegeboxen mit weichen PVC-Belägen ausgestattet.

Tab. 6 : Durchschnittliche Belegsdauer je Tier und Tag von Liegeboxen mit weichem (Boxen 1 - 7) und hartem Belag (Boxen 8 - 12) (ANDREAE und PAPENDIECK, 3)

Boxen-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
stehend Min.	283	230	297	257	293	200	220	163	120	13	40	23
liegend Min.	507	603	643	693	610	713	413	110	127	0	117	20

Die Gesamtbelegdauer während des dreitägigen Beobachtungszeitraumes, die auf die durchschnittliche Belegdauer je Tier und Tag umgerechnet ist, betrug bei liegendem Aufenthalt in Boxen mit weichen Liegeflächen annähernd 10 Stunden (Tab. 6). Diese Zeitspanne entspricht in etwa dem normalen täglichen Liegezeitbedarf des Rindes. Dagegen wurden die Boxen mit hartem Boden pro Tag und Box im Stehen und Liegen nur bis zu 2 Stunden aufgesucht.

Die Abstufung der auf den Liegeflächen angebotenen Härtegrade war bei der Versuchsanstellung von WANDER insofern ausgeprägter, als die extremen Härtegrade durch sehr weiche Schüttungen und durch Betonböden gegeben waren.

Die Schüttungen 1 und 2 wurden bevorzugt aufgesucht, nachdem die Belegsdauer deutlich die theoretische Höchstgrenze bei gleichzeitigem Aufenthalt aller Tiere überschritt (Abb. 39). Die theoretische Höchstbelegung geht dabei von einer gleichmäßigen Belegung aller Boxen über einen Zeitraum von 24 Stunden aus. Der prozentuale Anteil je Box ergibt sich aus dem Quotienten der maximal möglichen Belegungsdauer je Box und Gesamtliegezeit der Herde.

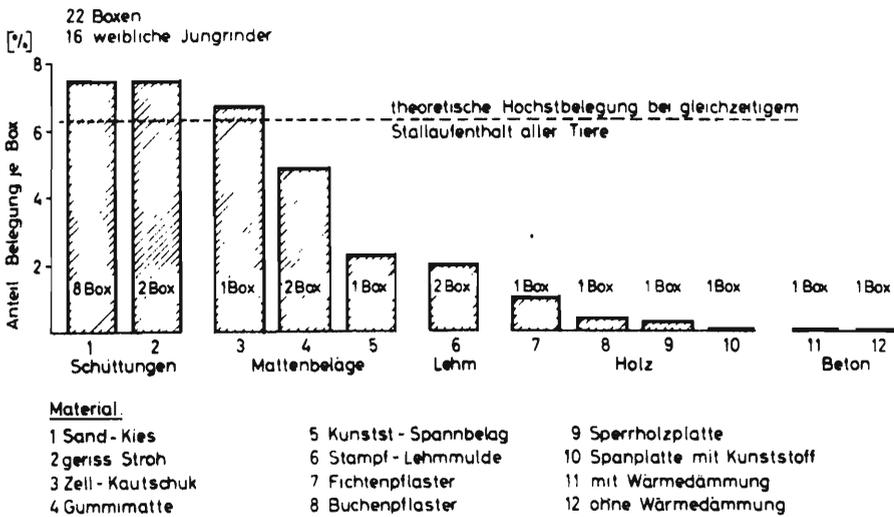


Abb. 39: Belegung von Liegeboxen bei Verwendung unterschiedlicher Bodenmaterialien im Rahmen eines Wahlversuches (WANDER, 142)

In einer weiteren Untersuchung ging WANDER dem Liegeverhalten bei unterschiedlicher Schichtstärke von Schüttungen nach (Abb. 40). Die Belegdauer je Box blieb bei Schichtstärken von 5 cm und 20 cm deutlich hinter der bei 10 cm und 15 cm zurück. WANDER erklärt die geringe Belegdauer bei 5 cm Schichtstärke mit der mangelnden Plastizität für das Liegen, während die Tiere bei Schichtstärken von 20 cm Unbehagen beim Betreten zu empfinden scheinen, nachdem die Klaue tief einsinkt, ohne dann einen festen und ebenen Halt zu finden.

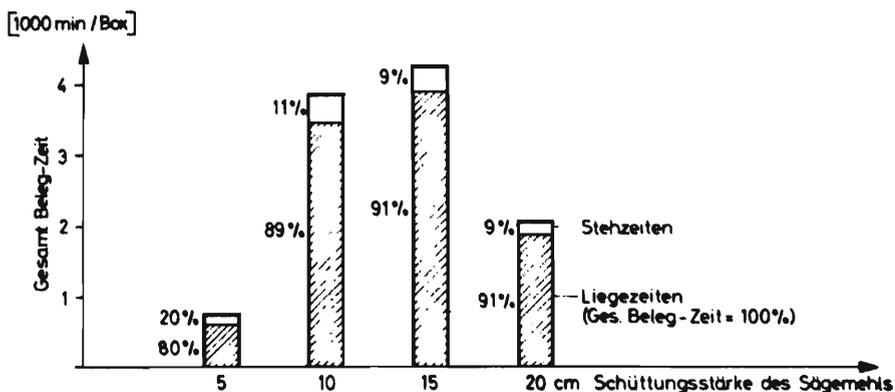


Abb. 40: Belegungsdauer von Liegeboxen in Abhängigkeit von der Schüttungsstärke mit Sägemehl (WANDER, 142)

Hierfür spricht auch die kürzere Zeitspanne der stehenden Boxenbelegung gegenüber der entsprechenden Zeitspanne in den Boxen mit 10 cm und 15 cm Schichtstärke der Schüttung.

Dieser Sachverhalt scheint die entgegengesetzten Anforderungen an die Härteeigenschaften des Bodens zu bestätigen, dem stehenden Tier eine feste und ebene Auftrittsfläche und dem liegenden Tier eine weiche, nachgiebige Liegefläche zu schaffen. Nachdem aber die Liegeboxe nicht die Möglichkeiten für das Stehen bietet, wie sie im Anbindestand anzutreffen sind, mußte weiterhin die Wirkung extrem weicher und harter Stand- und Liegeflächen auf das Verhalten des Tieres dort untersucht werden, wo Stehen und Liegen auf ein und derselben Fläche sich vollziehen. Deshalb soll das Verhalten Hinweise darüber liefern, in welchem Maße Tiere unterschiedliche Boden Härte annehmen und ob sie in der Bevorzugung der Härteeigenschaften zwischen Stehen und Liegen differenzieren. Hierzu eignete sich ein Wahlversuch in einem Freßboxenlaufstall, in dem die Voraussetzungen des stehenden und liegenden Aufenthaltes am selben Ort bei freier Wahl des Standplatzes erfüllt waren.

#### 5.2.1 Versuchsanstellung

Als Versuchsstall diente ein Freßboxenlaufstall im Grünlandgebiet des Voralpenlandes mit 21 Standplätzen auf jeder Seite der Futterachse (Abb. 41), wobei die Standlänge 171 cm und 165 cm betrug. Die Standbreite differierte zwischen 100 und 110 cm mit Ausnahme der Boxe Nr. 29 mit 95 cm Standplatzbreite. Sie erwies sich bereits bei ersten Beobachtungen vor Versuchsbeginn als zu eng, weswegen sie für die Versuchsdurchführung nicht verwendet werden konnte.

Im Gegensatz zum Versuchsaufbau in den Wahlversuchen von WANDER waren zur Schaffung unterschiedlicher Boden Härte nur künstliche Beläge vorgesehen, weil sich Schüttungen jeglicher Art - unabhängig von ihrer arbeitswirtschaftlichen Problematik - im Anbindestall nicht eignen.

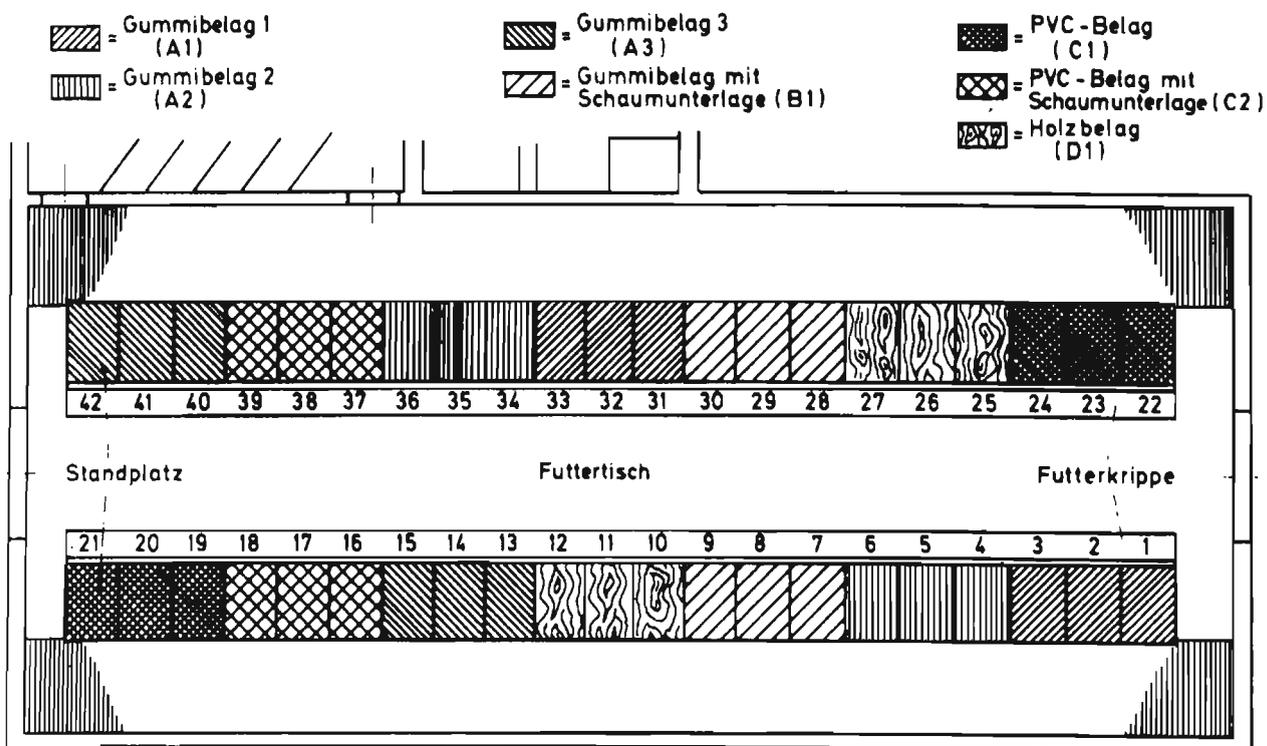


Abb. 41: Anordnung von Bodenbelägen unterschiedlicher Härte in den Standplätzen des Freßboxenlaufstalles

Tab. 7: Härte (Verformungswiderstand) und Schichtstärke der verwendeten Belagsarten

Belagsart	Schichtstärke (mm)	Verformungswiderstand (bar)	Symbol
Gummibelag mit Schaumunterlage	50	1,9	B <sub>1</sub>
PVC-Belag mit Schaumunterlage	20	5,4	C <sub>2</sub>
Gummibelag 1	20	8,9	A <sub>1</sub>
Gummibelag 2	18	8,3	A <sub>2</sub>
Gummibelag 3	20	10,6	A <sub>3</sub>
PVC-Belag	15	12,1	C <sub>1</sub>
Holz	-	-	D <sub>1</sub>

Die Härtegrade der verwendeten Belagsmaterialien, die nach einem an die DIN 53 456 angelehnten Kugeleindruckverfahren gemessen worden waren, untergliederten sich in drei Härtebereiche. Sie werden durch Verformungswiderstände von 1,9 bar (extrem weiches Belagsmaterial), 5,4 bar (mittelhartes Belagsmaterial) und 8,3 bzw. 12,1 bar (hartes Belagsmaterial) dargestellt (Tab. 7).

Zur Verwirklichung möglichst hoher Boden Härte erwies sich Holz als das geeignetste Material, weil der vorhandene Betonboden als naheliegende Alternative nicht über die den übrigen Bodenbelagsarten adäquate Wärmedämmung verfügte. Eine Härtemessung läßt sich mit dem Kugeleindruckverfahren bei Holz jedoch nicht vornehmen.

Die Verteilung der Belagsarten auf die Standplätze erfolgte unter dem Gesichtspunkt,

- innerhalb der Boxenreihen zwischen harten und weichen Belägen abzuwechseln und
- die Bodenbeläge bestimmter Härte den Standplätzen so zuzuordnen, daß die uneinheitliche Standplatzbreite den Einfluß der Boden Härte auf das Verhalten der Tiere nicht überlagert.

Deshalb waren bei sieben Belagsarten und 42 Standplätzen jeweils drei nebeneinanderliegende Boxen in jeder Reihe mit demselben Belagsmaterial ausgestattet, woraus sich die Kombination unterschiedlicher Standplatzbreite und gleicher Bodenbeschaffenheit ergab. Die Anordnung der Bodenbeläge in den Standplätzen ist in Abbildung 41 wiedergegeben. Aus dieser Aufteilung folgte, daß wegen der nicht benutzbaren Boxe Nr. 29 nur fünf Standplätze mit extrem weichem Bodenbelag zur Verfügung standen.

Für die Durchführung des Wahlversuches wurden nur 20 Tiere verwendet, und zwar in jeder Boxenreihe 10, ohne daß die Möglichkeit des Überwechsels zwischen den Boxenreihen bestand. Die geringere Zahl an Tieren als vorhandene Standplätze erhöhte den Auswahlgrad durch die Tiere und verbesserte damit den Auswertungswert einer Boxenbelegung. Allerdings hatte die Verringerung der Kuhzahl

den Nachteil, daß vor jeder Beobachtungsperiode die Herde getrennt werden mußte, was zunächst Unruhe im Stall hervorrief. Eine gleichmäßig verteilte geringe Kraftfuttergabe für die noch auf den Laufgängen des Stalles versammelten Tiere veranlaßte sie zum Betreten der Standplätze, womit außerdem eine schnelle Beruhigung der Tiere einherging.

Die Beobachtung der Tiere erfolgte ausschließlich visuell in einem Zeitraum nach dem morgendlichen Melken bis zum Beginn des abendlichen Melkens. Eine Registrierung des Verhaltens durch photographische Aufzeichnung mußte wegen der großen Räume, die den Tieren zur Verfügung standen, ausscheiden. So wurde in einem Abstand von 10 Minuten jede Boxe, in der sich ein Tier stehend oder liegend aufhielt, unter Feststellung der Tiernummer registriert. Die Untersuchungen fanden an drei Tagen statt, wobei zwischen der ersten und zweiten Beobachtung ein Zeitraum von fünf Tagen lag und die dritte Beobachtung der zweiten unmittelbar folgte.

#### 5.2,2 Ergebnisse

Die protokollierten Beobachtungen wurden nach Boxen und Tieren klassifiziert. Da jedoch bei der dreitägigen Beobachtungsdauer das Individualverhalten der Tiere noch keine hinreichend aussagefähige Kontinuität aufwies, wurden die Aufenthalte in den Boxen - nach Stehen und Liegen unterschieden - je Beobachtungstag aufaddiert. Das Verhältnis der tatsächlichen Belegdauer und der Gesamtbeobachtungszeit lieferte die Grundlage für die Vergleichsmöglichkeit der Boxenbelegung. Die Aufsummierung der täglichen Beobachtungs- und Belegungsdauer je Boxe zu Gruppen gleicher Bodenbelagsarten verringerte mögliche, aber nicht erkennbare Einflüsse, die sich auf die Einzelboxe bezogen. Dadurch standen sich Beobachtungsdauer und Belegdauer für je sechs Einzelboxen gegenüber. Neben der schon erwähnten nicht benutzbaren Boxe fielen an den einzelnen Versuchstagen jeweils ein Standplatz mit PVC- und Gummibelag für die Beobachtung aus, weil in der betreffenden Boxe ein Tier wegen Brunsterscheinungen angebunden werden mußte. Deshalb wurde von der Gesamtbeobachtungsdauer der entsprechenden Boxengruppe der Anteil einer Boxe abgezogen.

Die Liegedauer in den einzelnen Boxengruppen unterlag zwar großen Schwankungen, ließ aber doch die eindeutige Bevorzugung der Standplätze mit extrem weichen Bodenbelägen (B1) erkennen (Tab. 8). An allen drei Beobachtungstagen waren

diese Boxen zu mehr als 50 % der Gesamtbeobachtungsdauer liegend belegt. Demgegenüber betrug die theoretische Höchstbelegung bei gleichzeitigem Boxenaufenthalt aller Tiere 14 %. Während die Standplätze mit PVC- und Gummibelägen (C1, C2, A1, A2, A3) über die einzelnen Beobachtungstage zwischen 2 % und 40 % liegend benutzt wurden, wiesen die Boxen mit Holzbohlen (D1) mit rund 12 % die konstant kürzesten Liegezeiten auf. Eine Ausnahmestellung nahm die Standplatzgruppe C1 ein, die am zweiten Beobachtungstag mit 40 % an der Gesamtbeobachtungsdauer liegend belegt war.

Tab. 8 : Durchschnittlicher liegender Boxenaufenthalt von drei Beobachtungstagen in Standplätzen mit gleichen Bodenbelägen in % der durchschnittlichen Gesamtbeobachtungsdauer (aus Anhangtab. 15)

Belagsart Härtegrad	B1	C2	A1	A2	A3	C1	D1
	1,9	5,4	8,9	8,3	10,6	12,1	-
Boxenbelegung im Liegen	56,7	19,0	15,1	13,6	12,6	28,4	12,7

Die Schwankungen der täglichen Liegedauer in den einzelnen Boxengruppen wurden durch die Einbeziehung des Mittelwertes und der Standardabweichung präzisiert (Anhangtab. 15). Die Mittelwerte der Liegezeiten in allen Standplatzgruppen mit Ausnahme der mit extrem weichen (B1) und PVC-Belägen (C1), betragen ca. 330 bis 490 Minuten, was je Boxe einer Belegdauer von knapp einer Stunde bis zu einer Stunde und 15 Minuten entspricht. Dagegen ergab sich auf den extrem weichen Belägen eine mittlere tägliche Liegezeit von 1237 Minuten und auf den harten PVC-Belägen 747 Minuten, was je Standplatz vier Stunden bzw. zwei Stunden ausmacht.

Die Abweichungen vom Mittelwert bei den Liegezeiten auf Holz mit 75 Minuten und auf den extrem weichen Belägen mit 100 Minuten bleiben deutlich unterhalb der übrigen Standardabweichungen. Bei den Liegezeiten der übrigen Standplatzgruppen reicht die Standardabweichung von 175 bis 403 Minuten.

Trotz der Kürze der Beobachtungszeit je Tag und der nur dreimaligen Wiederholung der Beobachtungen läßt sich aus den Liegezeiten mit ihren täglichen Schwankungen folgern:

Die Liegeplätze mit den extrem weichen Belägen werden eindeutig bevorzugt aufgesucht, der liegende Aufenthaltsanteil an der Gesamtbeobachtungszeit übertrifft mit 57 % das Dreifache der theoretisch maximalen Belegdauer bei gleichmäßiger Boxenausnutzung. Die vergleichsweise geringe Standardabweichung von der mittleren Liegedauer aller drei Tage kann als Absicherung der Bevorzugung angesehen werden. Die geringen Liegezeiten auf dem Holzboden deuten zusammen mit der gleichfalls niedrigen Abweichung vom Mittelwert auf ein Meideverhalten gegenüber diesen Liegeplätzen hin.

Aus der hohen Standardabweichung vom Mittelwert der Liegezeit auf den harten PVC-Belägen (408 Minuten) läßt sich der Schluß ziehen, daß die Belegdauer von knapp 30 % an der Gesamtbeobachtungszeit eine Ausnahmeerscheinung darstellt, indem ein anderer Einflußfaktor den des Härtegrades überlagert zu haben scheint.

Aus den Liegezeiten auf den übrigen Belagsarten läßt sich eine Differenzierung der Annahme bzw. Ablehnung nicht mehr herauslesen. Die Ursache für die mangelnde Differenzierung geht mit den geringen Härteunterschieden der Belagsmaterialien konform. Hierbei ist das Gesamtverhalten der Rinder mit zu berücksichtigen, das innerhalb bestimmter Grenzen auf Reizunterschiede kaum zu reagieren scheint.

Die Belegdauer im Stehen unterschied sich erheblich von der im Liegen (Tab. 9 ). Auf den weichen Belagsarten B1 und C2 sowie auf dem Gummibelag A1 brachten die 17 % bzw. 16 % der Gesamtbeobachtungsdauer stehend zu.

Tab. 9 : Durchschnittlicher stehender Boxenaufenthalt von drei Beobachtungstagen in Standplätzen mit gleichen Bodenbelägen in % der durchschnittlichen Gesamtbeobachtungsdauer (aus Anhangstab. 15)

Belagsart Härtegrad	B1	C2	A1	A2	A3	C1	D1
Boxenbelegung im Stehen	17,3	16,1	16,2	6,9	10,1	18,4	8,2

Die kürzesten Stehzeiten traten in der Boxengruppe mit Matten vom Typ Gummi 2 (A2) auf (7 % der Gesamtbeobachtungszeit), die längsten in den Boxengruppen mit harten PVC-Belägen (C1) mit 18 % der Gesamtbeobachtungsdauer. Die Stehzeiten

können demnach nicht eindeutig bestimmten Härtegraden zugeordnet werden, weil eine überwiegend gleichmäßige Aufteilung der Belegsdauer auf die einzelnen Belegarten vorliegt. Dies wird durch eine zusammenfassende Darstellung der Steh- und Liegezeiten erläutert.

Hierfür wurden die Belegzeiten im Stehen und im Liegen auf den extrem weichen Belägen B1 gleich 100 % gesetzt und die Belegzeiten auf den übrigen Bodenbelägen darauf bezogen (Abb. 42). Demnach wich die Belegdauer im Stehen auf mehr als der Hälfte der verwendeten Bodenbeläge nicht von der Belegdauer auf den extrem weichen Belägen ab, wohingegen in der Dauer des liegenden Aufenthaltes ein deutlich ausgeprägter Unterschied zwischen der Belegdauer auf den extrem weichen Belägen einerseits und der auf den übrigen Belägen andererseits bestand.

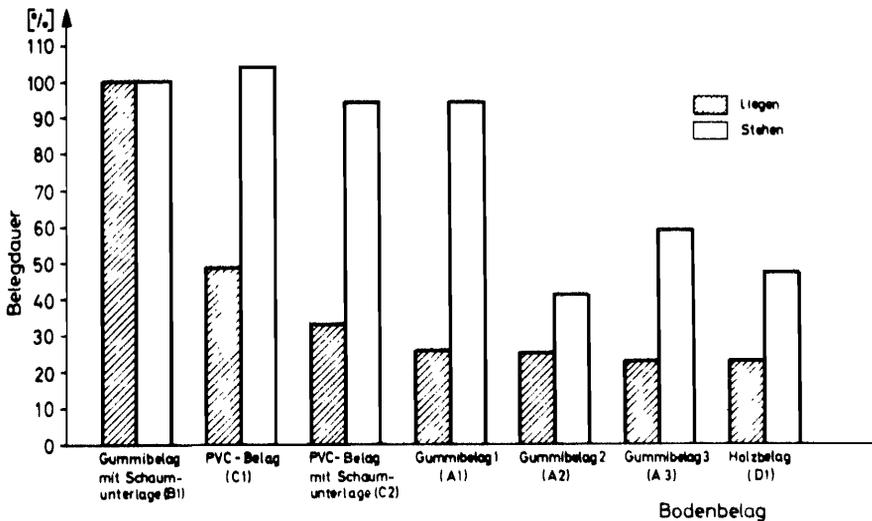


Abb. 42 : Stehende und liegende Belegdauer der Standplätze mit gleicher Bodenbelagsausstattung in % der Belegdauer der Standplätze mit Gummibelägen mit Schaumunterlage (B1)

Aus der Belegdauer der stehenden Tiere läßt sich weder ein Bevorzugungs- noch ein Meidungsverhalten schließen; denn der deutlich höhere Steh- als Liegezeitanteil, bezogen auf die Belegdauer auf den sehr weichen Bodenmatten, weist auf die geringere Auswahlbereitschaft der Tiere hinsichtlich der Boden Härte hin. Allerdings ist zur Motivation nicht gleichgerichteten Verhaltens für

Stehen und Liegen zu berücksichtigen, daß die Tiere womöglich auf harten Böden aus Angst vor Schmerz mit dem Abliegen zögern.

Aus diesen Ergebnissen der Standplatzauswahl durch die Tiere und aus dem Verhältnis der stehenden zur liegenden Belegdauer kann geschlossen werden, daß die Weichheit des Bodens das Stehen der Tiere nicht behindert. Jedoch bedarf diese Aussage einer Untermauerung durch eine Ausweitung der Versuchsanstellung, die sich auf die Registrierung des Verhaltens über 24 Stunden in einem längeren Zeitraum ausdehnen sollte. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß aufgrund der Materialbeschaffenheit des extrem weichen Bodenbelages und durch den Druck der auftretenden Klaue eine Verfestigung des Belages eintreten kann, die dann eine feste und ebene Unterlage bedeutet.

### 5.3 Verteilung druckbelasteter Körperteile auf der Stand- und Liegefläche

Auch wenn sich aus den Ergebnissen des Wahlversuches im Freßboxenlaufstall die Bevorzugung bestimmter Härtegrade für das Stehen nicht nachweisen läßt, muß die Forderung differenzierter Boden Härte für das Stehen und Liegen trotzdem aufrechterhalten bleiben; denn bei der unvermeidbaren Kürze der Versuchsdauer besteht ein wesentlicher Nachteil in der Verwendung von Verhaltensparametern darin, daß langfristig sich einstellende Schädigungen nicht erfaßt werden können. So wirkt sich z. B. für die Klaue ein weiches Stehen erst langfristig ungünstig aus, weil durch das Hornwachstum bei fehlender Abriebmöglichkeit ein anatomisch korrektes Stehen dann nicht mehr gegeben ist (73).

Die Forderung nach differenzierter Boden Härte macht die Suche nach Lösungen notwendig, im Anbindestand die Härteeigenschaften für das Stehen und Liegen zu kombinieren. Nachdem sich die kritischen Berührungsflächen zwischen Tier und Boden auf die Klauensohle sowie die Karpal- und Sprunggelenks oberflächen beziehen, bietet es sich an, ihre Positionen auf der Stand- und Liegefläche zu ermitteln. Der Begriff "Stehen" wird daher für die Bewegungsvorgänge verwendet, die sich bei aufrechter Körperhaltung vollziehen, d. h., daß das Tier mit den vier Extremitäten den Körper abstützt. Trotz der eingeschränkten Bewegungsmöglichkeit im Anbindestand befindet sich das Tier jedoch nicht permanent

auf derselben Stelle, sondern verändert durch Trittbewegungen seine Position auf der Bodenfläche. Ebenso ergibt sich für die druckbelasteten Gelenkoberflächen beim Liegen sowie bei den Aufsteh- und Abliegevorgängen eine räumliche Verteilung auf der Stand- und Liegefläche.

Die so entstehenden Bereiche von Trittstellen der Klauen und von Aufliegepunkten der Gelenkoberflächen liefern Hinweise für

- differenzierte Härtezonen auf der Stand- und Liegefläche sowie
- Bereiche besonderer Verschleißanfälligkeit des Bodens.

Dem Problem der Verschleißanfälligkeit von Bodenmaterialien wird im Zusammenhang mit dieser Arbeit nicht weiter nachgegangen, weil sie im Hinblick auf die Härteanforderungen des Tieres nicht von Bedeutung ist.

Die Einteilung in Härtezonen erfordert den Steh-, Liege- und Abliegevorgängen zuordenbare Berührungspositionen auf der Stand- und Liegefläche, die so gegeneinander abgrenzbar sind, daß die Positionen der Klauen sich nicht mit denen der Beingelenke überlagern. Die in der Praxis beobachteten Abnützungserscheinungen von Bodenbelägen, vor allem im Bereich der Schultergliedmaßen, weisen auf eng eingrenzbar Trittpositionen hin, wohingegen die allerdings geringer ausgeprägten Verschleißerscheinungen im Trittbereich der Beckengliedmaßen auf eine breiter gestreute Verteilung der Trittpositionen schließen lassen.

Genaue Beobachtungen über das Steh- und Trittverhalten und die Lage belasteter Körperteile beim Abliegen, Liegen und Aufstehen existieren bislang nicht. Deshalb mußten zunächst Methoden entwickelt werden, welche die Registrierung der Berührungspositionen auf der Standplatzfläche in der Weise ermöglichen, daß

- das Bewegungsverhalten der beobachteten Tiere nicht beeinflußt wird,
- eine hohe Zahl an reproduzierbaren Versuchsdaten und
- eine rationelle Auswertung des Datenmaterials erreicht wird.

Die Bestimmung der Berührungspositionen, die wegen der Bewegungsvorgänge im Stehen und Liegen mit verschiedenen Untersuchungsmethoden vorgenommen werden mußten, untergliederte sich in die der Trittpositionen der Klauen und in die der aufliegenden Karpal- und Sprunggelenke. Für beide Untersuchungen stand

dasselbe Tiermaterial zur Verfügung, dessen Auswahlkriterien und Besonderheiten deshalb vorangestellt werden.

### 5.3.1 Tiermaterial

Wegen des hohen Versuchsaufwandes, der ein umfangreiches Datenmaterial lieferte, wurden die Untersuchungen mit nur vier Tieren durchgeführt, wobei durch die Verwendung von Tieren unterschiedlicher Körpergröße die Anwendbarkeit der Fragestellung auf die Praxis gewährleistet sein sollte. Ihre Auswahl erfolgte nach der Körpergröße, gemessen in der schrägen Rumpflänge vom Buggelenk zum Sitzbeinhöcker. Als Kriterium für die Körpergröße diente die schräge Rumpflänge deshalb, weil sie, bezogen auf Körperunterschiede innerhalb und zwischen einzelnen Rassen sowie Altersklassen, die Kontaktflächenverteilung der aufliegenden Körperteile mit dem Boden vornehmlich bestimmt.

METZNER (97) hat an 43 Milchkühen der Fleckviehrasse Körperlängenmessungen durchgeführt und dabei eine mittlere schräge Rumpflänge von 157,96 cm errechnet. 68 % der untersuchten Tiere liegen dabei in einem Streubereich zwischen 150,32 cm bis 165,60 cm. Die gemessene maximale Körperlänge beträgt 173,80 cm, die gemessene kürzeste Körperlänge 141,10 cm. Entsprechend diesen Messungen wurden vier Kühe für den Versuch so ausgewählt, daß eine mittlere Körpergröße durch zwei Tiere sowie geringere und größere Körpermaße durch je ein Tier repräsentiert waren (Tab. 10).

Tab. 10 : Schräge Rumpflänge vom Buggelenk zum Sitzbeinhöcker der Versuchstiere in cm

Tier	Schräge Rumpflänge cm
1	167,4
2	158,2
3	168,3
4	177,2

### 5.3.2 Registrieren der Trittpositionen

Die enge örtliche Begrenzung der Trittpositionen im Anbindestand mußte nun durch Registrierung der Kontaktflächen der Klauen bestimmt werden. Um hier zu wirklichkeitsnahen Resultaten zu kommen, bedurfte es einer Untersuchungsmethode, die einerseits ein ungestörtes Verhalten des Tieres ermöglichte, andererseits die hohe Zahl der Daten für eine einfache Auswertung festzuhalten im Stande war.

Vorversuche, auf photographischem Wege die Trittstellen aufzunehmen, zeigten ihre nicht zu realisierende Durchführbarkeit dadurch, daß das Verhalten der Tiere durch den Sichtkontakt zwischen Tier und Beobachtungsperson an der Kamera wesentlich beeinflußt wurde. Außerdem erforderte die oft schnelle Folge von Beinbewegungen eine Vielzahl von Einzelbildern, die nur mit hohem zeitlichem Aufwand auswertbar waren. Um diesen Mängeln auszuweichen, wurde eine Registrieranlage entwickelt, welche die Trittpositionen über ein Anzeigegerät wiedergab, das vom Versuchsstand räumlich getrennt war.

#### 5.3.2.1 Versuchsaufbau

Das Prinzip der Trittstellenregistrierung beruhte darauf, daß die Extremitäten auf Registriertafeln einer Rastertrittplatte standen, die ab einer bestimmten Belastung niedergedrückt wurden. Damit lösten sie einen elektrischen Kontakt aus und zeigten die entsprechende Position der Klauen auf einem Anzeigegerät durch Aufleuchten von Signallämpchen an. Die Anordnung der jeweiligen Lichtsignale wurde photographisch festgehalten.

Die Registrieranlage, in einem Anbinde Stall eingebaut, setzte sich aus der Rastertrittplatte, der Ausgleichsplatte, dem Lichtanzeigegerät und der Kamera zusammen (Abb. 43).

Die Rastertrittplatte bestand aus einer Grundplatte von 105 cm x 105 cm Seitenlänge. Auf die Grundplatte waren Holztafeln von der Seitenlänge 12 cm x 12 cm so aufmontiert, daß in Längs- und Seitenrichtung der Grundplatte je acht Tafeln eine Reihe bildeten. Jede dieser Platten war so federnd gelagert, daß das Niederdrücken einer Kante wie auch der gesamten Platte möglich war. Die niederge-

drückte Holztafel löste einen elektrischen Kontakt aus, der auf dem Lichtanzeigergerät das zugeordnete Signallämpchen zum Aufleuchten brachte. Um die Hubstrecke aus Gründen einer ausreichenden Trittsicherheit für das Tier gering zu halten, schloß der elektrische Kontakt beim Druck auf eine der Kanten nach ca. 4 mm und bei vollflächigem Niederdrücken nach ca. 2 mm. Der kurze Hub erforderte durch die eingebaute Feder die Überwindung einer Kraft, die an der Kante ca. 120 N ausmachte, womit die Einwirkung anderer Belastungen als die der Klauen vermieden werden sollte.

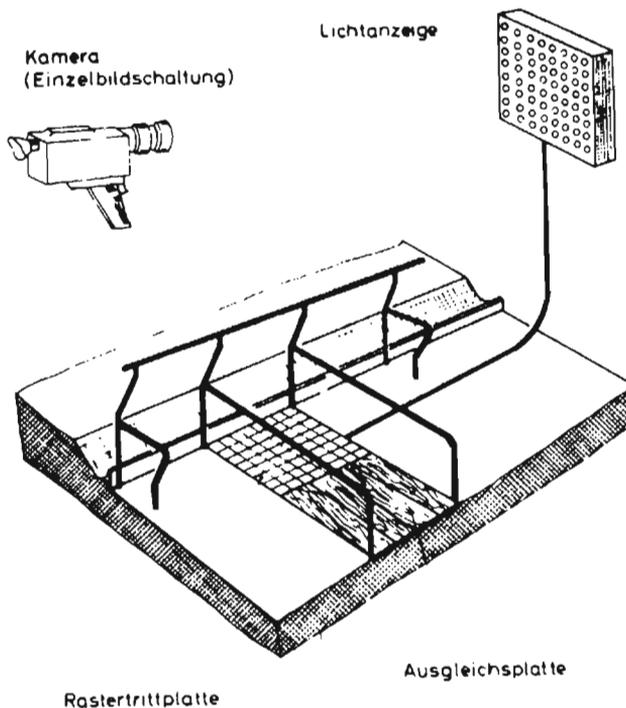


Abb. 43: Registrieranlage zur Bestimmung der Trittpositionen des stehenden Rindes im Anbindestand

Zur Aufrechterhaltung der Funktionssicherheit sowie, um Eindringen von Schmutz zu vermeiden, waren die Registrierplatten mit einer PVC-Folie überzogen, die an den Kanten der Rastertrittplatte durch Blechstreifen fixiert wurde. Zwar verfügen PVC-Folien über keine gute Rutschsicherheit, namentlich wenn die Oberfläche naß ist, aber dieser Nachteil mußte in Kauf genommen werden, weil bei der Verwendung stärkerer Schutzschichten die eindeutige Registrierung der

Trittflächen nicht mehr sichergestellt war; denn durch den Druck der Klaue an einer Stelle bestand die Möglichkeit, daß durch die Steifheit stärkeren Belagsmaterial angrenzende Registrierplatten ebenfalls niedergedrückt würden.

Die Größe der Rastertrittplatte erlaubte die Registrierung der Trittpositionen entweder der Vorder- oder der Hinterextremitäten. Zwar bedeutete dies, daß eine gleichzeitige Zuordnung der Trittpositionen von Vorder- und Hinterbeinen nicht möglich war. Jedoch glich sich die nicht zeitlich identische Kontaktflächenverteilung von Vorder- und Hinterklauen durch die hohe Zahl der Einzelbeobachtungen aus.

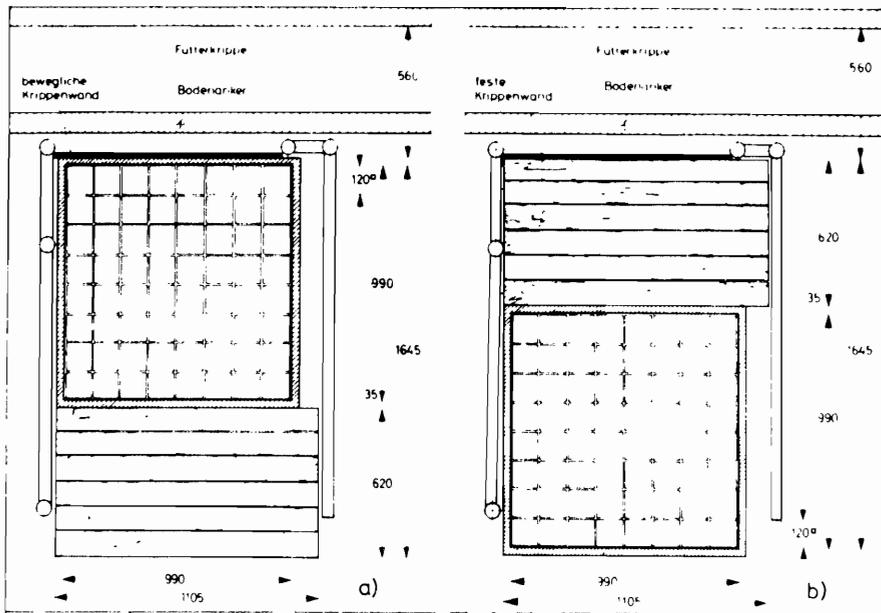


Abb. 44 : Anordnung der Rastertrittplatte zur Trittpositionsbestimmung der Vorder- und Hinterextremitäten

Die Rastertrittplatte war in der Weise in einen Anbindestand eingepaßt, daß die restliche Hälfte der Standfläche mit einer Holzbrücke als Ausgleichsplatte abgedeckt war, wodurch die Versuchstiere mit Vorder- und Hinterbeinen auf gleicher Höhe standen (Abb. 44). Der Standplatz war nach beiden Seiten durch eine Rohrkonstruktion begrenzt, um ein Ausweichen von der Standplatzfläche zu verhindern.

Das Lichtanzeigegerät befand sich in einem Schaltkasten, an dessen Vorderfront Signallämpchen in derselben Weise angeordnet waren wie die Registriertafeln auf der Rastertrittplatte. Daraus entstand wie bei der Rastertrittplatte ein quadratisches Feld, wodurch die Trittpositionen in verkleinertem Maßstab durch die aufleuchtenden Signallämpchen wiedergegeben werden konnten.

Das Gerät war durch ein 20 m langes Kabel mit der Rastertrittplatte verbunden, um die Registrierung in einem Nebenraum des Stalles außerhalb eines möglichen Störbereiches des Tieres durchführen zu können.

Jede Veränderung der Trittpositionen wurde photographisch erfaßt, wie sie jeweils auf dem Lichtanzeigegerät erschien. Hierzu diente eine 16 mm-Filmkamera, mit der, auf einem Stativ montiert, von Hand in Einzelbildschaltung belichtet wurde. Der Vorteil bei der Verwendung dieser Kamera bestand darin, daß sich pro Film ca. 3 000 Einzelpositionen aufnehmen ließen.

#### 5.3.2.2 Versuchsdurchführung

Die Registrierung der Trittpositionen gliederte sich in Einzelbeobachtungen, welche nach Tätigkeitsmerkmalen des Tieres einerseits und nach Bewegungsmöglichkeit in Abhängigkeit von der Standplatzeinrichtung andererseits getrennt waren. Als Tätigkeitsmerkmale wurden das Fressen und Ruhen unterschieden, wobei das Merkmal "Ruhen" sämtliche Aktivitäten im Stehen mit Ausnahme des Fressens beinhaltete. Die Unterscheidung nach den Tätigkeitsmerkmalen Fressen und Ruhen geschah deshalb, weil eine Differenzierung der Trittpositionen aufgrund des Freißdranges zu vermuten ist. Den Ergebnissen von Vorversuchen zufolge bemühten sich die Tiere, beim Fressen möglichst weit nach vorne zu treten. Demgegenüber lagen die Trittpositionen beim ruhenden Stehen verstreuter und nach rückwärts verschoben.

Die Standplatzeinrichtung variierte durch Verwendung der Senkrechtenbindung, Halsrahmenanbindung, festen Krippenwand und flexiblen Gummikrippenwand.

Nach METZNER (97) ermöglicht die Halsrahmenanbindung eine maximale Längenauslenkung von 32,5 cm, während es bei der Senkrechtenbindung 40 cm sind. Ausgeprägter fällt der seitliche Bewegungsspielraum mit 40 cm bei der Senkrechtenbindung aus, dagegen verkürzt sich bei Halsrahmenanbindung der Spielraum auf 20 cm.

Der Einsatz einer beweglichen Krippenwand wirkte sich in erster Linie bei den Abliege- und Aufstehvorgängen und beim Liegen dadurch aus, daß sie tierspezifische Bewegungsabläufe und gestreckte Liegepositionen ermöglicht. Nachdem aber damit auch im Stehen eine veränderte Ausnutzung der Bodenfläche gegenüber der in Anbindeständen mit fester Krippenwand verbunden sein kann, wurden die Trittpositionen mit beiden Krippenwandformen registriert.

Demnach erfüllte die Berücksichtigung der Tätigkeitsmerkmale des Tieres und der Standplatzbedingungen den Zweck, die Stand- und Trittpositionsverteilung auf die beschriebenen Einflußfaktoren als Ursache zurückführen zu können. Bei Zutreffen zuordenbarer Positionsverteilung auf diese Einflußfaktoren sind Maßnahmen durch die Steuerungseinrichtungen des Standplatzes denkbar, um Trittbereiche auf bestimmte Flächenabschnitte des Bodens zu begrenzen.

Der Versuchsablauf baute sich so auf, daß alle Versuchsvariationen kombiniert wurden (Abb. 45). Durch die dreimalige Wiederholung jeder Kombination setzte sich die Gesamtbeobachtung aus 192 Einzelphasen zusammen. Jede Einzelphase dauerte exakt 15 Minuten. In Vorversuchen wurde zunächst eine Registrierdauer von 30 Minuten angesetzt; es zeigte sich aber, daß die Tritthäufigkeit zeitlich so gleichmäßig verteilt ist, daß 15 Minuten Registrierdauer für einen reproduzierbaren Genauigkeitsgrad ausreichen, zumal durch die Verkürzung der Auswertungsaufwand reduziert werden konnte.

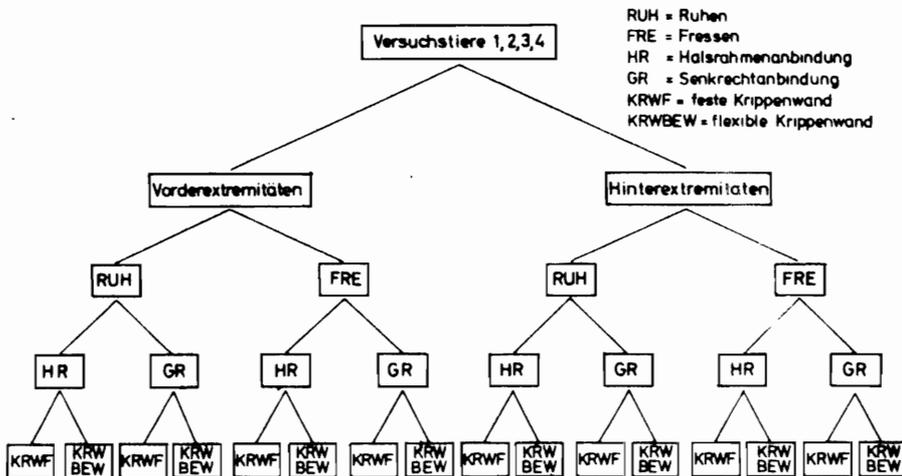


Abb. 45: Variationsmöglichkeiten zur Registrierung der Trittpositionen auf der Rastertrittplatte

Bei der Durchführung der Untersuchung kam es darauf an, den jeweils richtigen Zeitpunkt für die Registrierung beim fressenden und ruhenden Stehen zu finden. Die Ruhephasen wurden untertags durchgeführt. Zwischen Betreten des Versuchstandes und dem Versuchsbeginn lag eine ausreichend lange Wartezeit, damit die Tiere sich an die Umstellung gewöhnen konnten. Als äußeres Kennzeichen hierfür galt das Einsetzen des Wiederkauens. Die Registrierung des Trittverhaltens beim Fressen wurde vornehmlich während der allgemeinen abendlichen Futterzeiten vorgenommen, aber auch schon am Nachmittag dann, wenn begehrte Futtermittel wie Klee gras zur Verfügung standen.

#### 5.3.2.3 Versuchsauswertung

Die geometrische Anordnung der Trittpositionen, die sich aus den aufleuchtenden Signallämpchen des Lichtanzeigegerätes ergab, mußte für die statistische Auswertung in ein zahlenmäßiges Koordinatensystem umgesetzt werden. Wegen des hohen Umfanges an Filmmaterial war eine Auswertungsmethode notwendig, die eine rationale Übertragung der Einzelbilder in berechenbare Zahlenwerte möglich machte.

Die auf den Filmen wiedergegebenen Trittpositionen wurden von einem Projektionsapparat in Einzelbildern auf die senkrecht stehende Wand eines Digitalisiergerätes geworfen, auf der die Festlegung in Koordinatenwerten geschah. Diese Zahlen wurden automatisch auf Lochkarten übertragen und mit einem Auswertungsprogramm in die EDV zur Berechnung der statistischen Kenngrößen eingegeben (Abb. 46). Der Vorteil dieser Auswertungsmethode bestand darin, daß zur Übertragung der geometrischen Trittpositionsanordnung in Zahlenwerte die Zwischenstufe einer Urliste, die einen erheblichen zeitlichen Aufwand und eine Ursache für Übertragungsfehler darstellt, entfallen konnte.

Die Projektion der Einzelbilder geschah so, daß die Bildgröße des auf dem Lichtanzeigegerät angebrachten Lampenfeldes im Maßstab 1 : 10 der Rastertrittplatte auf der Digitalisierwand erschien. Somit gaben die aufleuchtenden Lämpchen maßstabsgetreu die tatsächlichen Trittpositionen wieder. Auf der Digitalisierwand bildeten in Längs- und Querrichtung eingearbeitete dünne Drähte mit einem Abstand von  $10^{-2}$  Inch ein Netz, das die Bestimmung der Koordinaten dadurch ermöglichte, daß ein auf einen beliebigen Punkt der Wand angelegtes Fadenkreuz mit dem darunterliegenden Kreuzungspunkt des Netzes einen elektrischen Kontakt schloß.

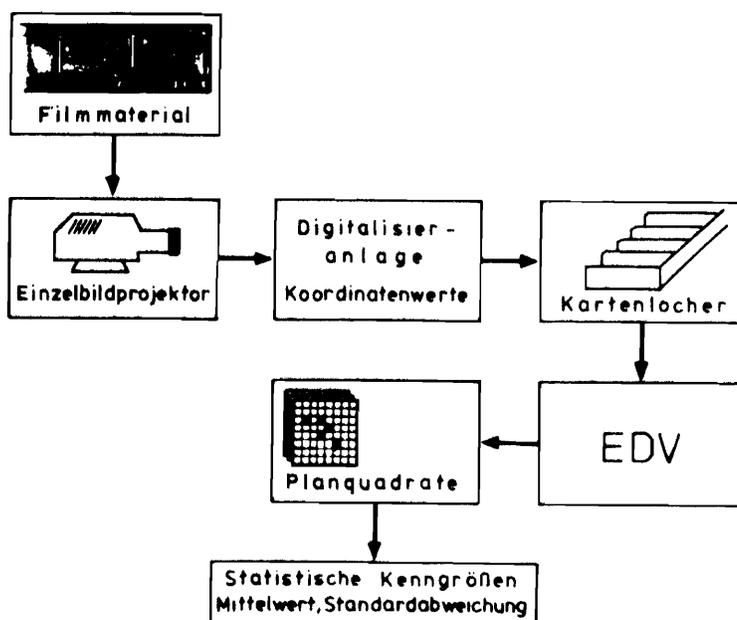


Abb. 46: Auswertungsablauf zur Bestimmung der Trittpositionen

Da durch die Erfassung der Trittpositionen in Koordinaten keine Fläche, sondern ein Punkt definiert wurde, diente der Mittelpunkt der durch die aufleuchtenden Signallämpchen dargestellten Trittflächen als der entsprechende Koordinatenwert. Als Möglichkeiten der Positionsanzeige ergaben sich das

- Aufleuchten eines Signallämpchens beim Stehen auf einer einzigen Registriertafel (Abb. 47 a),
- Aufleuchten zweier Signallämpchen beim Stehen auf zwei nebeneinander liegenden Registriertafeln (Abb. 47 b) und
- Aufleuchten von vier Signallämpchen beim Stehen auf vier aneinandergrenzenden Registriertafeln (Abb. 47 c).

Zur Auswertung und Beschreibung der als Koordinatenwerte dargestellten Trittpositionen wurde ein eigenes für digitalisierte Filmaufnahmen entwickeltes Rechenprogramm verwendet (8). Dabei unterteilte ein Grundraster von 110 cm Breite und 200 cm Länge die Standplatzfläche in quadratische Rasterfelder von 10 cm Seitenlänge. Das Programm registrierte jeden Koordinatenwert im Eingabebereich, unabhängig ob er in das Grundraster paßte oder außerhalb lag.

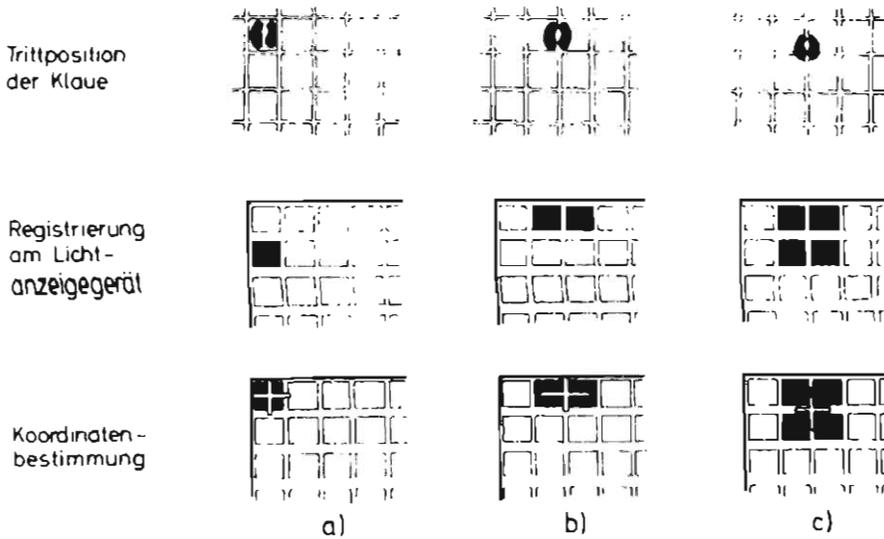


Abb. 47: Trittpositionen auf der Rastertrittplatte, ihre Registrierung und Koordinatenbestimmung

Außerdem erschien der Wert mit der Häufigkeit 1 im entsprechenden Planquadrat. Aus den so entstehenden Klassen je Planquadrat wurde der entsprechende Prozentanteil errechnet. Im letzten Auswertungsschritt erfolgte für die Längs- und Querrichtung die Bestimmung des Mittelwertes, der Standardabweichung und des Variationskoeffizienten. Aus diesen statistischen Kenngrößen konnte damit ein neuer Gesamtkoordinatenpunkt abgeleitet werden.

#### 5.3.2.4 Ergebnisse

Die Registrierung der Trittstellen auf der Rastertrittplatte ließ sich in die Darstellung der Tritthäufigkeit der einzelnen Versuchstiere und in die Beschreibung der Trittstellenverteilung untergliedern. Die Tritthäufigkeit bei den Versuchstieren ergab sich gewissermaßen als Nebenprodukt der photographischen Aufzeichnung der Trittpositionen, indem die Zahl der Einzelbilder mit der Gesamtzahl der Beinbewegungen während einer Versuchsperiode identisch ist.

Mit Tritthäufigkeit bzw. Beinbewegungen ist im Zusammenhang vorliegender Arbeit das Anheben und Aufsetzen einer Extremität auf den Boden zu verstehen. Hiervon unterscheidet sich die drehende Beinbewegung der Vorderextremitäten

auf dem Boden, die sich aus seitlichem Treten der Hinterbeine ergibt. Sie stellt zwar eine erhebliche Beanspruchung der Gliedmaßen und des Bodens dar, wird aber hier nicht weiter behandelt, weil sie mit der verwendeten Registriermethode nicht zu erfassen ist.

Bei der Darstellung der Tritthäufigkeit wurden zunächst die einzelnen Versuchstiere miteinander verglichen. Daraus sollte sich ergeben, ob die Beinbewegungen auf das Individualverhalten wie z. B. das Temperament eines Tieres oder auf bestimmte Einflüsse des Bodens oder der sonstigen Umgebung zurückzuführen sind. Die Tritthäufigkeit der Vorder- und Hinterhand interessierte auch wegen der unterschiedlichen Bewegungsmöglichkeit, bedingt durch die Fixierung am Hals. Daraus ergaben sich für die Verteilung der Trittpositionen Konsequenzen insofern, als mit zunehmenden Trittbewegungen der Verteilungsbereich statistisch genauer abgesichert werden konnte.

Die Bewegungsaktivität fiel von Tier zu Tier sehr verschieden aus. Demgegenüber blieben die Unterschiede in den einzelnen Versuchsabschnitten des selben Tieres geringer. Das geht deutlich aus Tabelle 11 hervor, wobei die Zahl der Trittbewegungen der Vorder- und Hinterextremitäten getrennt nach Beobachtungen bei ruhendem und fressendem Stehen wiedergegeben ist. Die Zahlen stellen den Mittelwert aus drei Wiederholungen je Versuchsperiode und damit die Tritthäufigkeit während des Zeitraumes von 15 Minuten dar.

Tab. 11: Beispiele repräsentativer Tritthäufigkeiten je Versuchsperiode von 15 Minuten des ruhenden und fressenden Stehens bei Senkrecht- und Halsrahmenanbindung

Anbindung	Kuh Nr.	Vorderbeine		Hinterbeine	
		RUH	FRE	RUH	FRE
HR	1	70	116	46	43
	2	24	21	28	50
	3	21	24	45	36
	4	9	24	35	48
GR	1	93	98	61	74
	2	23	21	31	21
	3	25	31	41	52
	4	20	29	34	58

Kuh 1 zeigte mit 70 bis 116 Trittbewegungen des Vorderbeinpaares je 15 Minuten und 61 bis 74 Trittbewegungen des Hinterbeinpaares das intensivste Trittverhalten. Demgegenüber blieb die Trittaktivität der übrigen Versuchstiere zurück, wonach 30 Trittbewegungen der Vorderbeine nur einmal knapp überschritten wurden.

Die Bewegungsaktivität der Hintergliedmaßen schien die der Vordergliedmaßen zu übertreffen, was bei den Kühen 2, 3 und 4 zum Ausdruck kommt. Die Fixierung des Tieres am Hals engt den Bewegungsspielraum der Vorhand ein, während die Hinterhand die gesamte Standplatzbreite ausnützen kann. Während des fressenden Stehens war die Trittzahl der Hinterbeine - mit Ausnahme bei Kuh 1 - höher, weil das Tier meist von der Maulspitze bis zum Sitzbein in sich gerade steht und deshalb zum Erreichen des an den Seiten des Fraßbereiches gelegenen Futters mit der Hinterhand in die entgegengesetzte Richtung schwenkt, wobei die Vorderbeine den Drehpunkt darstellen.

Daß sich nicht unbedingt aus der Tritthäufigkeit auf das Temperament des Tieres schließen läßt, zeigte die Beobachtung der Kuh 2. Sie benötigte nach dem Wechsel auf den Versuchsstand die längste Anpassungszeit, um sich zu beruhigen. Dennoch blieb die Beinaktivität gering, wie aus Tabelle 11 zu ersehen ist.

Die individuelle Prägung des Trittverhaltens läßt sich daraus schließen, daß zwischen den Tritthäufigkeiten der Versuchstiere keine statistisch belegbare Abhängigkeit herzustellen war. Auch die Zuordnung der Tritthäufigkeit zu Vorder- und Hintergliedmaßen ist nicht abzusichern, obwohl hier eine Tendenz zu der schon erwähnten höheren Trittzahl der Hinterextremitäten gegenüber jener der Vorderextremitäten sichtbar wurde.

Aus den Versuchsergebnissen wird deutlich, daß die Häufigkeit der Beinbewegungen erheblichen Schwankungen unterliegt. Diese lassen sich teilweise durch das Individualverhalten des Tieres, teilweise durch Einflußfaktoren wie z. B. Fliegenplage oder Warten auf das Futter erklären. Dennoch können die ermittelten Häufigkeiten eine vor allem für Untersuchungen zur Verschleißanfälligkeit von Bodenmaterialien geeignete Grundlage darstellen, wenn wegen der bereits erwähnten gleichmäßigen zeitlichen Verteilung der Trittbewegungen Rückschlüsse auf die Trittbeanspruchung des Bodens gezogen werden. So ergibt sich unter der

Annahme einer 14stündigen Stehzeit je Tag für die Tritthäufigkeit ein Bereich zwischen 500 und 6 500 Trittbewegungen.

Aus der Summe der einzelnen Trittpositionen ergibt sich eine Verteilung in Längs (y) und Querrichtung (x) der Standplatzfläche. Innerhalb dieser Verteilung sollen die Häufigkeitsbereiche der Trittstellen ermittelt werden, die unter dem Einfluß der Versuchsvariationen zustande gekommen sind, um daraus die Möglichkeiten einer Eingrenzung der Trittbereiche für tiergemäße Härtezon zu erfassen.

Die Darstellung zusammengefaßter Trittpositionen geschieht durch den Mittelwert, der sich aus der Summe der einzelnen Koordinatenwerte ergibt und durch die Häufigkeitsverteilung der Koordinatenpaare.

Es wurde zunächst unterstellt, daß die Trittstellenverteilung von den Tätigkeitsmerkmalen des fressenden und ruhenden Stehens abhängt, nachdem das Tier dem Freißdrang zufolge in seinem Bewegungsverhalten in Richtung des Futters orientiert ist. Deshalb wurden die Trittpositionen in den jeweiligen Versuchseinstellungen für alle Versuchstiere zusammengenommen, so daß sich als Unterscheidungsmerkmale die Positionen bei fressendem und ruhendem Stehen gegenüberstanden. Wegen ihres unterschiedlichen Bewegungsspielraumes bei Senkrecht- und Halsrahmenanbindung sind die Messungen nach Anbindungsart getrennt worden und bilden damit eine zusätzliche Untergliederung des ruhenden und fressenden Stehens. Entsprechend dieser Untergliederung sind in den Abbildungen 48 und 49 die Trittbereiche der Vorder- und Hinterextremitäten sowie deren Mittelwerte aufgetragen. Für die Koordinateneinteilung mußte die linke hintere Standplatzecke wegen des Umsetzens der Rastertrittplatte zur Registrierung der Vorder- und Hinterextremitäten als Nullpunkt festgelegt werden.

Die Mittelwerte der Trittpositionen als vergleichbare Kenngrößen für Stichproben lagen bei fressendem und ruhendem Stehen im Bereich der Vorderextremitäten ca. 3 bis 8 cm in Richtung der Standlängsachse auseinander (Abb. 48), während sie in Querrichtung nahezu identisch waren. Die Differenz der Mittelwerte fiel bei Halsrahmenanbindung deutlicher als bei Senkrechthanbindung aus, wobei zudem die Trittpositionen der fressenden Tiere, mit 155,8 und 158,0 cm von der hinteren

Standplatzkante entfernt, sich deutlich vor den Trittpositionen bei Senkrech-  
t-anbindung befanden, deren Abstand zur hinteren Standplatzkante 150,9 cm bzw.  
152,5 cm betrug (Anhangtab. 17). Die Ursache dürfte in der günstigeren Ab-  
stützungsmöglichkeit der Schulter an den Schenkeln des Halsrahmens zur Erlan-  
gung des Futters zu finden sein.

Die Mittelwertdifferenzen zwischen ruhender und fressender Tätigkeit machten  
im Trittbereich der Hintergliedmaßen in Standlängsrichtung ca. 10 cm aus, ohne  
eine zusätzliche Differenzierung zwischen den Anbindungsarten erkennen zu las-  
sen. Auch hier waren die Mittelwerte in Querrichtung nahezu identisch.

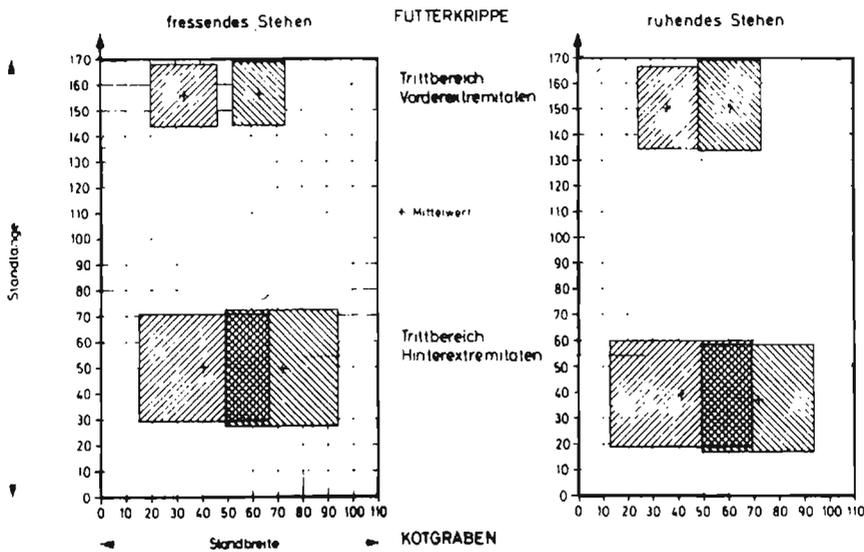


Abb. 48 : Trittbereiche der Vorder- und Hinterextremitäten der Versuchs-  
tiere während des fressenden und ruhenden Stehens bei Hals-  
rahmenanbindung

Die unterschiedlichen als Mittelwerte dargestellten Trittpositionen konnten in  
ihrer statistischen Absicherung nur teilweise auf die Versuchsvariationen zu-  
rückgeführt werden, weil Mittelwertunterschiede bei dem hohen Stichprobenumfang  
je Versuchsvariation von ca. 2 000 Trittpositionen bereits bei geringen Differen-  
zen als hochsignifikante Abweichungen gelten (Anhangtab. 16). Dennoch weisen  
die im Bereich der Hinterextremitäten auftretenden nicht signifikanten Mittel-  
wertunterschiede zwischen ruhendem und fressendem Stehen auf den Einfluß der

Versuchsvariation hin. Dagegen waren die Mittelwertunterschiede der Trittpositionen bei flexibler und fester Krippenwand sowie zwischen den einzelnen Tieren sehr gering bzw. ließ die Richtung der Differenzen keine Abhängigkeit voneinander erkennen, so daß die Trittpositionen nicht nach Einzeltieren und Krippenwandgestaltung untergliedert werden konnte.

Der Einfluß der Tätigkeitsmerkmale und Bewegungsmöglichkeit der Tiere wurde durch Art und Umfang der Streuung um die Mittelwerte der Trittpositionen bestätigt (Anhangtab. 16). Die Positionsverteilung im Bereich der Hinterextremitäten, sowohl in y- als auch in x-Koordinatenrichtung, zeigte eine vergleichsweise einheitliche Streuung um die Mittelwerte, die jener der y-Koordinatenrichtung im Bereich der Vorderbeine entsprach und zwischen 12 bis 14 cm lag. Die annähernd gleich hohen Standardabweichungen in Längsrichtung bei Vorder- und Hinterbeinen lassen darauf schließen, daß Vor- und Rückbewegungen des Tieres von allen vier Extremitäten ausgeführt werden. Dagegen kennzeichnet die im Vergleich zu den Vorderbeinen mit 9 cm bis 10 cm höhere Standardabweichung bei den hinteren Extremitäten in Standquerrichtung die größere Bewegungsmöglichkeit der Hinterhand, die gesamte Standbreite auszunützen. Das erklärt auch die bereits beschriebene vermehrte Tritttätigkeit der Hinterbeine, die gewissermaßen aus der Addition von Längs- und Querbewegungen entstand.

Aus der jeweiligen Streubreite in Abhängigkeit von der Koordinatenrichtung und von dem vorderen und hinteren Beinpaar ergab sich, daß die Abweichungen der Trittpositionen von ihrem Mittelwert mehr durch die Fixierung des Tieres im Anbindestand als durch die Art der Anbindung oder durch ruhendes und fressendes Stehen bestimmt waren.

Die Streuung um die Mittelwerte der Trittpositionen in beiden Koordinatenrichtungen ermöglicht es, Trittbereiche zu definieren, die sich für die Vorderbeine als rechteckig und für die Hinterbeine als nahezu quadratisch ergeben. Diese Bereiche umschließen dabei 90 % aller Trittpositionen (Abb. 48 und 49). Allerdings muß bei der Verteilung der Trittpositionen der Umstand besonders berücksichtigt werden, daß vornehmlich die der vorderen Extremitäten in Längsrichtung des Standplatzes nicht gleichmäßig um den Mittelwert angeordnet waren.

Dies geht deutlich aus den Trittbereichen der Vorderextremitäten bei Senkrechthanbindung in Abbildung 49 hervor. Die Ursache liegt in der vorderen Standbegrenzung, da das Stehen auf der Rastertrittplattenkante oder gar das Hineinsteigen in die Futterkrippe einem Betreten des vorderen Rasterfeldes zugeordnet wurde. Deshalb reichte die Streuung der Positionen über die Standbegrenzung hinaus, was durch strichlierte Linien dargestellt wird.

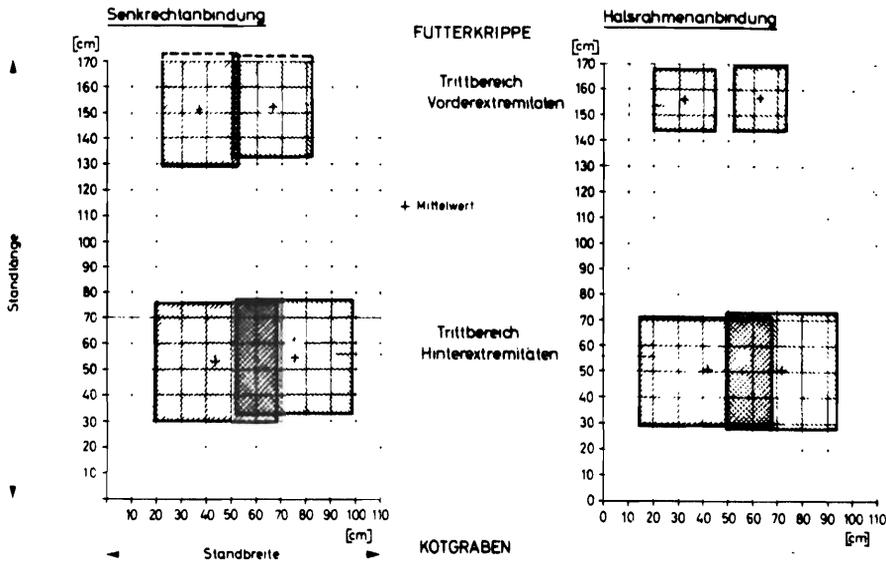


Abb. 49 : Trittbereiche der Vorder- und Hinterextremitäten der Versuchstiere bei Senkrech- und Halsrahmenanbindung während des fressenden Stehens (stat. Irrtumswahrscheinlichkeit = 10 %)

Als Folge der Streubreite in der x-Koordinatenrichtung konnte teilweise im Trittbereich der Vorderextremitäten eine enge und im Bereich der Hinterextremitäten eine weite Überlappung entstehen. Zwar ergaben sich die Streubreiten der Trittpositionen um ihre Mittelwerte vornehmlich aus der Fixierung am Standplatz, aber auch die Anbindungsart sowie die Tätigkeitsmerkmale des ruhenden und fressenden Stehens wirkten auf das Ausmaß der Streuung ein. Deshalb war bei Halsrahmenanbindung die Überlappung im Bereich der Vorderbeine nicht mehr vorhanden, was auf den verminderten Bewegungsspielraum gegenüber der Senkrechthanbindung zurückzuführen ist. Der Trittbereich der Vorderbeine bei Halsrahmenanbindung lag in der y-Koordinatenrichtung bei fressendem Stehen zwischen 140 und 168 cm, von der hinteren Standplatzkante entfernt, während bei ruhendem Stehen

die Bereiche sich um ca. 10 cm nach rückwärts vergrößerten (Abb.49 ). Die Positionen im Bereich der Hintergliedmaßen verschoben sich zwar ebenfalls nach rückwärts, blieben aber unabhängig von Ruhe- und Freßphasen sowie Anbindungsart gleichmäßig quadratisch verteilt.

Die Darstellung der Trittpositionen auf der Standplatzfläche durch ihren Mittelwert läßt sich unter Einbeziehung der Tritthäufigkeiten in den einzelnen Rasterfeldern des Koordinatennetzes präzisieren. So geht die zur Futterkrippe hin unsymmetrische Verteilung der Trittpositionen im Bereich der Vorderbeine in Standlängsrichtung gegenüber der annähernd symmetrischen Verteilung im Bereich der Hinterbeine aus Abbildung 50 hervor.

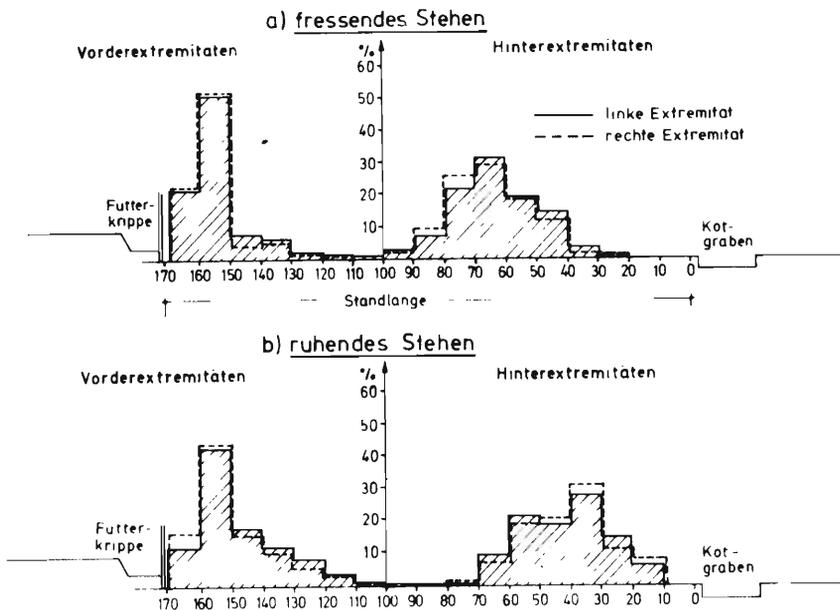


Abb. 50 : Häufigkeitsverteilung der Trittpositionen der Versuchstiere in Standlängsrichtung während des fressenden und ruhenden Stehens bei Senkrechtanbindung

Bei ruhendem Stehen war die Häufigkeit der Trittpositionen nicht so ausgeprägt auf die Rasterfelder zwischen 150 und 170 cm begrenzt wie bei fressendem Stehen. Während beim fressenden Stehen zwischen den Koordinaten 150 bis 160 cm mehr als 50 % der Trittpositionen und zwischen 160 und 170 cm rund 25 % aller Trittstellen lagen, betrug die Häufigkeit der Trittstellen in diesen Bereichen bei ruhendem Stehen nur rund 40 % bzw. 12 % der Gesamtzahl der Trittstellen. Die Ursache

dürfte darin zu finden sein, daß bei fressendem Stehen der Bewegungsdrang in Richtung des Futters zu einem engen Trittbereich führte, wohingegen bei ruhendem Stehen ein gerichteter Bewegungstrieb fehlte.

Die Trittstellen in Standquerrichtung verteilen sich im Bereich der Vor- und Hinterhand annähernd symmetrisch (Abb. 51). Allerdings weisen die Häufigkeiten der Trittstellen der Vorderbeine aufgrund des geringeren Bewegungsspielraumes eine wesentlich ausgeprägtere Häufigkeitsspitze als die Trittstellen der Hinterbeine auf.

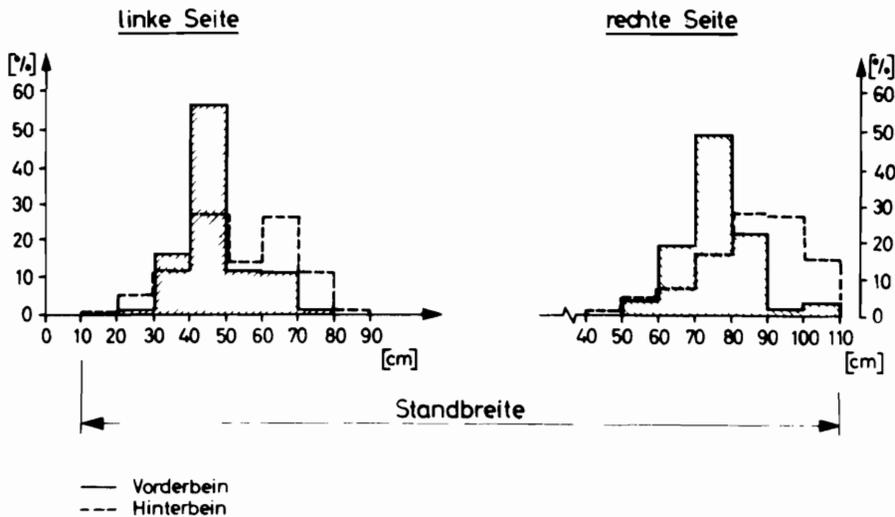


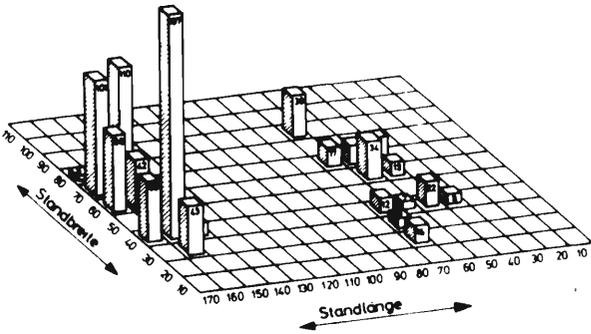
Abb. 51: Häufigkeitsverteilung der Trittpositionen der Versuchstiere in Standquerrichtung während des fressenden Stehens bei Senkrechtanbindung

Wegen der koordinatenmäßigen Festlegung der Trittpositionen ließ sich die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen und Mittelwerte nur immer für eine Koordinatenrichtung vornehmen. Deshalb wurden die Trittpositionen in einer räumlichen Darstellung als Häufigkeitsverteilung bei den Variationsmöglichkeiten der Anbindungsart und des fressenden und ruhenden Stehens am Beispiel des Tieres 1 dargestellt (Abb. 52).

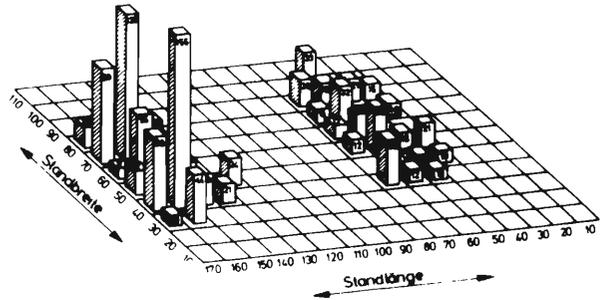
Daraus geht hervor, daß nur für die Vorderbeine klar abgrenzbare Trittbereiche zu bestimmen sind. Diese lassen sich noch dadurch zusätzlich einengen, daß die wenigen Trittpositionen, die weiter als 30 cm hinter der Krippenwand lagen,

vernachlässigt werden können (s. Abb. 50). Dafür besteht insofern Berechtigung, als für das Tier ein Auftreten in dieser Zone nicht zwingend notwendig ist bzw. bei tatsächlichem Stehen in diesem Bereich eine optimale Unterlage nicht erforderlich ist. Prinzipiell kann die Trittfläche bei fressendem Stehen als Orientierung dienen, weil die Häufigkeitsverteilung innerhalb des Bereiches von 30 cm ab der Krippenwand auf keine unbequeme Einengung des Standbereiches hindeutete. Eine ähnlich enge Eingrenzung der Trittbereiche für die Hinterextremitäten ist nicht möglich, weil aus den schon erwähnten Gründen die Trittpositionen sich auf eine größere Fläche als bei den Vorderbeinen verteilen.

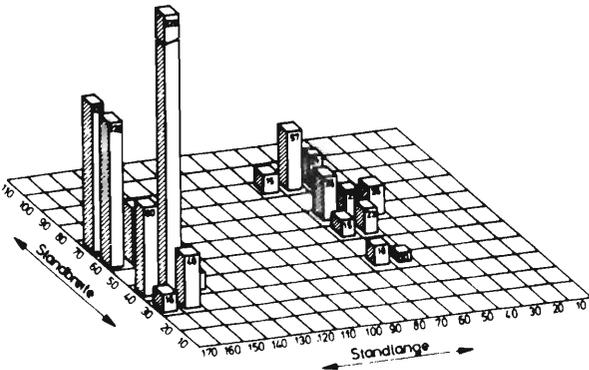
a) Halsrahmenanbindung, ruhendes Stehen



c) Senkrechtanbindung, ruhendes Stehen



b) Halsrahmenanbindung, fressendes Stehen



d) Senkrechtanbindung, fressendes Stehen

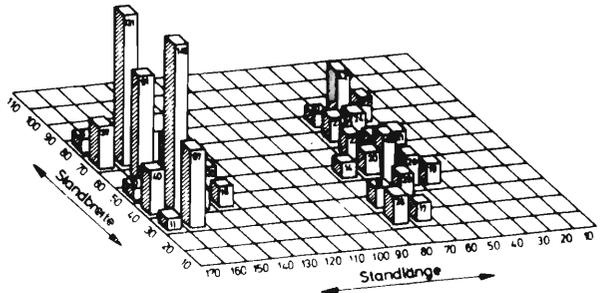


Abb. 52: Verteilung der Trittpositionen der Vorder- und Hinterextremitäten auf der Standplatzfläche in Abhängigkeit von der Anbindungsart und dem ruhenden und fressenden Stehen (Tier 1 als Beispiel)

Für die beschriebenen Trittbereiche leitet sich die Forderung nach einer harten Bodenfläche und hoher Verschleißfestigkeit ab. Diese Zonen harter Bodenfläche lassen sich im Trittbereich der Vorderextremitäten deutlich abgrenzen, während sie im Bereich der Hinterextremitäten eine weite Ausdehnung erfahren. Bisher

wurden nur die Bereiche harter Zonen für die Trittbereiche der Klauen definiert. Zur tiergemäßen Gestaltung der Standplatzfläche ist es jedoch wichtig, die Aufliegebereiche der belasteten Beingelenke im Liegen zu kennen, um daraus Flächenzonen weicher Bodenbeschaffenheit zu definieren.

### 5.3.3 Berührungspositionen belasteter Extremitätenteile im Liegen

Die Liegepositionen der Tiere weisen in Längs- und Querrichtung des Standplatzes bestimmte Schwankungen auf, weswegen die Berührungspunkte der beanspruchten Gliedmaße mit dem Boden festgestellt werden mußten, um zu prüfen, in welchem Flächenausmaß Bereiche für weiche Zonen zweckmäßig sind.

Welche aufliegenden Teile der Extremitäten gefährdet sind, wird wesentlich durch die Liegestellung des Tieres bestimmt. Nachdem jedoch die Aufliegepunkte an den Extremitäten von Bedeutung sind, die sich bei den häufigst vorkommenden Liegestellungen ergeben, stellt ihre Kenntnis eine wichtige Voraussetzung für die Ermittlung der Berührungspositionen mit dem Boden dar.

#### 5.3.3.1 Liegestellungen

Die Liegestellungen sind durch das Liegen auf einer Körperseite und durch die Körperhaltung gekennzeichnet. Adulte und juvenile Tiere legen sich annähernd gleich häufig auf die rechte und linke Seite des Körpers, wie aus Weidebeobachtungen von SAMBRAUS (124) hervorgeht. Vorhandene geringe Differenzen in der Häufigkeit je Liegeseite sind statistisch nicht abzusichern. Der Befund gleichmäßigen Abliegens auf die rechte und linke Liegeseite wird von KÄMMER und SCHNITZER (66) bestätigt, deren Ergebnisse auf Untersuchungen im Tieflaufstall beruhen. Die gleichmäßige Verteilung der Liegeseite ist auch auf den Anbindestall übertragbar, sofern die Standplatzbedingungen ein ungehindertes Abliegen erlauben bzw. für das Liegen ausreichende Freiräume vorhanden sind.

Die häufigst vorkommende Liegestellung ist die aufrechte Körperhaltung mit eingeschlagenen Karpalgelenken, einer unter den Körper gezogenen und einer seitlich angewinkelten Hinterextremität (Abb. 53). Den Verhaltensbeobachtungen von KÄMMER und SCHNITZER zufolge trifft diese Liegestellung in knapp 80 % aller Liegepositionen zu. Dagegen strecken die Kühe auch bei unbeschränktem Platzangebot die

Vorderextremitäten nur zu einem geringen Teil nach vorne aus. Diese Stellung macht nicht ganz 20 % aus, wobei das Ausstrecken einer Vorderextremität den Hauptanteil mit ca. 13 % dieser Liegeposition darstellt. Einen geringen Anteil nimmt die seitliche Liegeposition ein, bei der das Körpergewicht nicht mehr auf der Brust sondern auf der Schulter ruht, wobei die Extremitäten seitlich weggestreckt sind. Nicht nur in raumeingeschränkten Stallplätzen sondern grundsätzlich dauert das Liegen in seitlichen Stellungen nur kurz an, was vermutlich auf Behinderungen des Gasaustausches im Pansen, verbunden mit unterbrochener Wiederkautätigkeit, zusammenhängt (26). Abbildung 53 zeigt Liegepositionen, die als typische Beispiele einer Unzahl an Variationsmöglichkeiten gelten können.

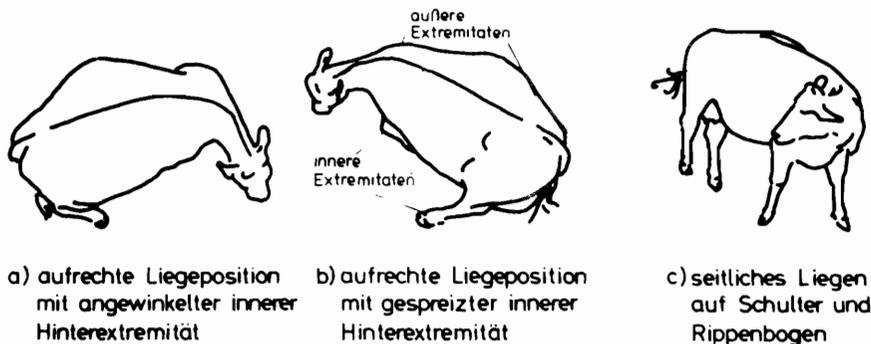


Abb. 53: Darstellung aufrechter und seitlicher Liegestellungen (KÄMMER und SCHNITZER, 66)

Das Liegen in aufrechter Position diente wegen der Häufigkeit seines Auftretens als Ausgangssituation zur Bestimmung der Kontaktflächenbereiche belasteter Gliedmaßenanteile mit dem Boden, wobei im Grad der Gefährdung zwischen den Aufliegestellen an den einzelnen Extremitäten erhebliche Unterschiede bestehen. Die Kuh liegt im vorderen Körperbereich mit der Brust auf dem Boden auf, wodurch die innere eingeschlagene Vorderextremität nur mit ihrem Eigengewicht belastet ist und ein Teil des Körpergewichtes auf die äußere eingeschlagene Vorderextremität verlagert wird. Am stärksten beansprucht ist die äußere Hinterextremität, deren Sprunggelenk in den meisten Fällen seitlich auf dem Boden aufliegt und mit dem Gewicht des auf ihm liegenden Körpers belastet wird. Das jeweilige innere Hinterbein ist frei beweglich und liegt nur mit seinem Eigengewicht auf dem Boden auf.

Quantitative Untersuchungen über die auftretenden Kräfte existieren nicht. Sie sind am liegenden Tier auch bislang nicht durchführbar, Entsprechende Vorversuche hierzu an der Landtechnik Weihenstephan mußten wieder abgebrochen werden, bei denen Drucksonden an den Karpalgelenken die zum Boden wirkende Kraft messen sollten.

#### 5.3.3.2 Versuchsaufbau

Für die Ermittlung der Berührungspunkte ergab sich ein ähnlicher Versuchsaufbau wie für die Bestimmung der Trittpositionen, wobei die Untersuchung auch in demselben Versuchsstand durchgeführt wurde. Allerdings eignete sich zur Registrierung der Berührungspositionen die Rastertrittplatte nicht mehr, weil neben den Extremitäten auch die Rumpfunterseite auf den Rastertafeln aufliegen würde und damit die Lage der belasteten Gelenksoberflächen nicht zu erkennen wäre.

Deshalb mußten die Berührungspunkte durch eine unmittelbare Beobachtungsmethode registriert werden, wofür die photographische Registriereinrichtung besondere Vorteile bot: Sie ermöglichte gegenüber der visuellen Beobachtung ein kontinuierliches Registrieren ohne die sonst notwendige große Zahl an Beobachtungspersonen und sie schloß subjektive Beobachtungsfehler aus. Anders als bei der Ermittlung der Trittpositionen eignete sich die photographische Registrierung der aufliegenden Extremitätenteile deshalb, weil die Bewegungshäufigkeit des liegenden Tieres weitaus geringer als die Tritthäufigkeit ist.

Daraus ergab sich ein Versuchsaufbau, der aus zwei Photoregistrieranlagen und dem Zeitsteuergerät bestand (Abb. 54 a). Beide Kameraanlagen waren auf einen rechteckigen Rahmen festgeschraubt und an der Stalldecke so angeordnet, daß die Objektive schräg nach unten auf die Standplatzfläche zeigten. Sie befanden sich in ca. 2,20 m Höhe, der seitliche Abstand beider Objektive betrug ca. 3 m.

Über das Zeitsteuergerät wurden durch die Registrieranlagen gleichzeitig Einzelaufnahmen ausgelöst, wobei die Beobachtung von beiden Seiten des Standplatzes die Ermittlung der Berührungspositionen bei links- und rechtsseitigem Liegen des Tieres ermöglichte.

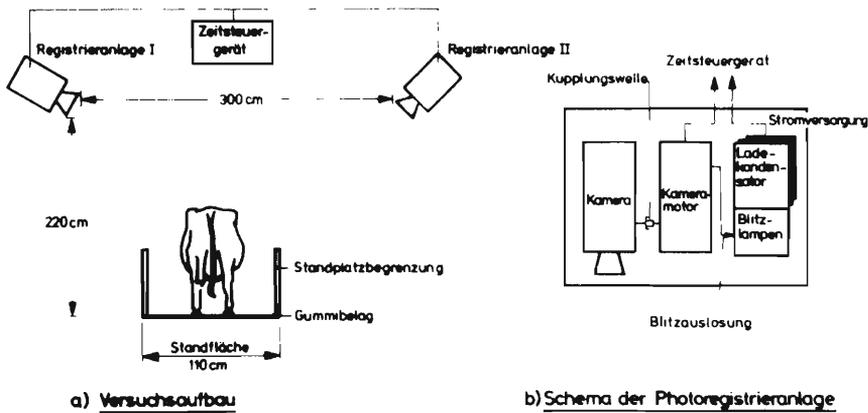


Abb. 54 : Versuchsanordnung zur Ermittlung der Berührungspositionen der aufliegenden Extremitätenteile im Liegen

Aufbau und Funktionsprinzip der Photoregistrieranlage gehen auf Untersuchungen von EICHHORN (37) zurück und wurden für den synchronen Einsatz von zwei Anlagen weiterentwickelt. Jede der beiden Anlagen bestand aus einer 16 mm-Filmkamera, einem Kameramotor und einer Blitzanlage (Abb. 54 b).

Die Verwendung einer 16 mm-Filmkamera mit Einzelbildschaltung hatte ihre Ursache in der hohen Bildzahl, die je Film belichtet werden kann. Ein Elektromotor, der über eine Kupplungswelle mit der Kamera verbunden war, transportierte den Film und löste die Belichtung des Einzelbildes aus.

Die Lichtverhältnisse im Stall sowie die Fortführung der Beobachtungen auch während der Nacht machten den Einsatz von Blitzgeräten erforderlich. Über den Einfluß des Blitzlichtes auf das Verhalten der Tiere kann noch nichts Endgültiges ausgesagt werden. Nach EICHHORN (37) gewöhnen sich die Tiere im Stall schnell an den Lichtblitz, während aus eigenen Beobachtungen hervorging, daß die Tiere auch nach mehreren Tagen des Einsatzes im Moment der Auslösung zusammenzuckten. Allerdings reichte das momentane Erschrecken nicht aus, beispielsweise den Liegevorgang zu unterbrechen. Die Blitzanlage setzte sich aus der

Blitzleuchte, den Ladekondensatoren und dem Ladetransformator im Zeitsteuergerät zusammen.

Während die Stromzufuhr vom Transformator über die Ladekondensatoren zur Blitzleuchte erfolgte, geschah die Auslösung des Lichtblitzes vom Kameramotor aus. Die gesamte Registrieranlage war durch ein Metallgehäuse zwar staubdicht aber nicht luftdicht abgedeckt, weswegen sie bei sehr langem Einsatz im Stall durch die aggressive Luft störanfällig wurde.

Den wesentlichen Bestandteil des Zeitsteuergerätes stellte ein Taktgeber dar, der in einstellbaren Zeitintervallen bei beiden Registrieranlagen durch Stromzufuhr zu den Kameramotoren und Blitzladekondensatoren Einzelbildaufnahmen auslöste. In Anlehnung an Untersuchungen von EICHHORN (37) und SEUFERT (131) mit photographischer Tierbeobachtung wurde ein Aufnahmeintervall von fünf Minuten eingestellt.

Als Versuchsstand diente derselbe Kurzstand wie zur Registrierung der Trittstellen im Stehen. Nach vorne zur Krippe schloß der Stand mit einer flexiblen Gummikrippenwand ab, die als Versuchsvariation dann durch eine feste Krippenwand ersetzt wurde. Als Anbindevorrichtung diente eine Senkrechtanbindung. Die Standfläche bestand aus einer Gummimatte, auf der ein quadratisches Koordinatennetz mit der Seitenlänge von 10 cm je Planquadrat markiert war, um die Berührungspositionen der aufliegenden Extremitätenteile mit den Trittstellen der Klauen in Beziehung setzen zu können.

### 5.3.3.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung mußte berücksichtigt werden, daß die gegenüber dem Trittverhalten verminderte Bewegungsaktivität beim Liegen einen hohen Zeitaufwand für die Registrierung der Berührungsposition der aufliegenden Extremitätenteile erforderlich macht, der zu Auswirkungen auf die Dauer der Beobachtung für eine Versuchseinstellung und die Festlegung der Variationsmöglichkeiten führt. Deshalb mußten diese Faktoren so aufeinander abgestimmt werden, daß sich aus den Liegeperioden eine genügend große Zahl an Berührungspositionen ermitteln ließ, um ihre Verteilungen als Bereiche für eine weiche Beschaffenheit der Bodenfläche zu definieren.

Als Variationsmöglichkeit in der Versuchsanstellung wurde eine feste und eine bewegliche Krippenwand verwendet. Eine feste Krippenwand beeinflußt die natürlichen Bewegungslinien des Kopfes bei Aufsteh- und Abliegevorgängen, was auf den gesamten Bewegungsablauf beim Aufstehen und Abliegen rückwirkt. Der Einsatz einer festen und eine flexiblen Krippenwand sollte klären, welchen Einfluß die Bewegungsvorgänge des Abliegens auf die Liegepositionen und Berührungsflächen der Extremitäten mit dem Boden haben. Demgegenüber hatte sich hinsichtlich der Verwendung unterschiedlicher Anbindevorrichtungen aus Vorversuchen ergeben, daß zwischen Senkrecht- und Halsrahmenanbindung keine differenzierten Berührungspositionen zu erwarten waren, weswegen nach der Anbindungsart nicht unterschieden wurde.

Die Beobachtungsdauer je Versuchseinstellung betrug 72 Stunden. Dies ist, gemessen an vergleichbaren Verhaltensuntersuchungen anderer Autoren, ein langer Zeitraum (70, 95), nachdem zumeist nur über 24 Stunden, längstenfalls 48 Stunden lang beobachtet wird. Die Beschränkung auf 24 Stunden weist hauptsächlich den Nachteil auf, daß Liegehäufigkeiten und Liegepositionen durch zufällige Einflußfaktoren so entstellt werden können, daß ein Tagesablauf nicht mehr als repräsentativ anzusehen ist.

Aus Vorversuchen hat sich zudem ergeben, daß die Tiere nach dem Wechsel auf den Versuchsstand ein abweichendes Verhalten in Form reduzierter Liegefrequenzen zeigten. Diesem Umstand Rechnung tragend ging der eigentlichen Beobachtung eine zwölfstündige Eingewöhnungsphase auf dem Versuchsstand voraus. Der Beobachtungszyklus begann morgens um 9.30 Uhr und endete nach 72 Stunden zum gleichen Zeitpunkt.

Neben den Unterscheidungsmerkmalen, die sich aus Variationsmöglichkeiten ergeben, ermöglichte die Versuchsdurchführung eine Differenzierung der Berührungspositionen in Abhängigkeit von der Liegeseite und in Abhängigkeit vom Einzeltier, wobei hierfür dasselbe Tiermaterial zur Verfügung stand, wie es in Kapitel 5.3.1 beschrieben ist.

#### 5.3.3.4 Versuchsauswertung

Die registrierten Berührungspositionen wurden wie bei der Ermittlung der Trittpositionen in geometrischer Anordnung auf den Filmbildern festgehalten, jedoch unmittelbar den Planquadraten auf der Standplatzfläche zugeordnet, die durch die Anbringung der Kameras schräg über dem Standplatz bei der Bildprojektion verzerrt erschienen. Deshalb war die Kennzeichnung in Koordinatenwerten nicht mit der Digitalisieranlage durchführbar. Dennoch mußte die Auswertungsmethode den Vergleich der Trittpositionen mit den Berührungspositionen aufliegender Extremitätenteile ermöglichen.

Daraus ergab sich eine Modifizierung im Auswertungsablauf gegenüber dem zur Ermittlung der Trittpositionen (Abb. 55). Von dem vorhandenen Datenmaterial wurde zunächst wegen seines hohen Umfanges eine bestimmte Anzahl an Liegeperioden für die Auswertung ausgewählt. Aus den projizierten Einzelbildern wurden die Berührungspositionen mit ihren entsprechenden Koordinatenpaaren auf Urlisten übertragen. Mit dem Datenmaterial der Urlisten ließen sich dann die Positionshäufigkeiten in den Rasterfeldern sowie die statistischen Kennwerte für die Standlängs- und Querrichtung ermitteln.

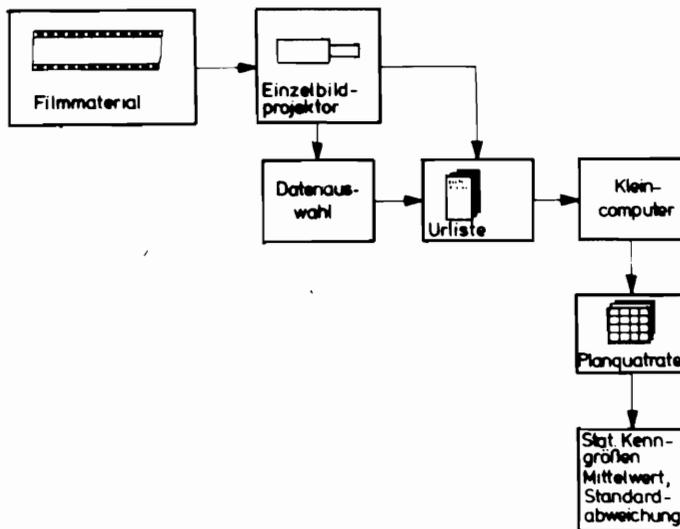


Abb. 55 : Auswertungsablauf zur Ermittlung der Berührungspositionen aufliegender Extremitätenteile

Für die Auswertung der Berührungspositionen wurden die Liegezeiten in Blöcke zu je 40 Minuten aufgeteilt, wodurch kürzere Liegezeiten ebenso wie sich ergebende Restzeiten von mehr als 40 Minuten Dauer bzw. dem Vielfachen von

40 Minuten ausschieden. Je Beobachtungsperiode (72 Stunden) wurden 12 solcher Zeitenblöcke unter Verwendung von Zufallszahlen ausgesucht. Die Festlegung einer Zeitdauer von 40 Minuten erwies sich deshalb als zweckmäßig, weil sie die minimale Zeitspanne für eine statistisch auswertbare Anzahl von Beobachtungswerten darstellte.

Die Einteilung in zeitlich gleiche Blöcke bei zufälliger Auswahl ermöglichte die Einbeziehung denkbarer Einflußfaktoren auf die Berührungspositionen wie

- Tageszeit,
- Beginn der Liegeperiode,
- Ende der Liegeperiode und
- der Liegeseite.

Je Zeitblock ergaben sich acht Einzelbilder, deren registrierte Berührungspunkte in die Urliste übertragen wurden. Zur Ermittlung der Koordinatenwerte der Berührungspositionen waren an der Projektionswand Rasterfelder markiert, wie sie durch links- und rechtsseitige Kameraaufnahmen erschienen, wobei für beide Kamerapositionen die linke hintere Standplatzkante in Anlehnung an die Koordinateneinteilung bei der Trittstellenermittlung als Nullpunkt galt. Neben der Koordinatenermittlung wurden die Liegeseite und die Liegestellung in der Unterscheidung nach aufrechter Körperhaltung und seitlichem Liegen erfaßt.

Aus den Koordinatenwerten der Urliste erfolgte die Zuordnung

- der Berührungspositionshäufigkeiten zu den Planquadraten für die Längs- und Querrichtung,
- der Mittelwerte zu jeder Koordinatenrichtung und
- der Standardabweichungen von den Mittelwerten.

Die Berechnung dieser Kenngrößen wurde mit einem Kleincomputer durchgeführt, um den höheren Aufwand für die Übertragung der Koordinatenwerte der Urliste auf Lochkarten zu vermeiden.

#### 5.3.3.5 Ergebnisse

Die Berührungspunkte der Karpal- und Sprunggelenke mit dem Boden werden zunächst in Abhängigkeit von der Liegeseite der Tiere und dann in ihrer Gesamtverteilung auf der Liegefläche beschrieben.

Berührungspositionen in Abhängigkeit von der Liegeseite

Die aufliegenden Karpal- und Sprunggelenksflächen waren in ihrer Position zueinander durch Körperhaltung und Längsbiegung des Tieres in starkem Maße vorgegeben. Die Mehrzahl der Berührungspositionen der Karpalgelenke je Liegeseite befand sich nicht parallel nebeneinander, sondern war in der Weise versetzt, daß die Kontaktflächen der äußeren Vorhand näher an der Krippenwand lagen als die der inneren Vorhand.

Bei Tier 1 ergab sich - links liegend - für das linke Karpalgelenk eine durchschnittliche Berührungsposition in Standlängsrichtung von 159,4 cm, während die Position des rechten Karpalgelenkes bis auf 151,9 cm nach rückwärts versetzt war (Tab. 12). Noch deutlicher zeigten sich die in Standlängsrichtung versetzten Berührungspunkte bei Tier 2, bei dem die durchschnittliche Position des linken Karpalgelenkes bei 163,5 cm und die des rechten Karpalgelenkes bei 134,0 cm lag. Eine ähnliche Anordnung der Berührungspositionen stellte sich auch bei rechtsseitigem Liegen ein, wobei ihr Abstand bei Tier 2 mit einer durchschnittlichen Position von 151,5 cm für das rechte und 136,9 cm für das linke Karpalgelenk wesentlich größer als der der Berührungspunkte von Tier 1 war. Bei Tier 1 ergab sich für das rechte Karpalgelenk eine Position von 156,0 cm und für das linke Karpalgelenk eine Position von 154,1 cm.

Tab. 12: Mittelwert und Standardabweichung der Koordinatenpunkte der aufliegenden Karpal- und Sprunggelenke von den Tieren 1 und 2  
( $Y_Q, X_Q$  = Mittelwert;  $Y_S, X_S$  = Standardabweichung)

Tier	Extremität	linke Liegeseite				rechte Liegeseite			
		$Y_Q$	$Y_S$	$X_Q$	$X_S$	$Y_Q$	$Y_S$	$X_Q$	$X_S$
1	Karpalgelenk links	159,4	5,1	20,6	5,1	154,1	7,3	39,4	7,8
	rechts	151,9	4,8	60,0	5,2	156,0	3,0	73,4	6,8
	Sprunggelenk links	34,4	4,4	55,6	9,3	31,5	15,3	10,8	7,5
	rechts	38,1	10,8	78,8	10,9	29,9	10,1	30,6	7,9
2	Karpalgelenk links	163,5	3,6	36,0	3,1	136,9	12,0	42,5	15,9
	rechts	134,0	6,3	65,2	1,4	151,5	5,3	77,5	4,4
	Sprunggelenk links	43,3	9,5	51,9	13,4	28,5	13,1	26,7	6,0
	rechts	22,9	8,2	63,8	12,0	25,4	9,0	49,8	9,2

Die durchschnittlichen Berührungspositionen der Sprunggelenke waren bei Tier 1 und linker Liegeseite 34,4 und 38,1 cm von der hinteren Standplatzkante entfernt, rechtsliegend ergab sich ein Abstand von 31,5 und 29,9 cm von der hinteren Standplatzkante. Bei Tier 2 ergab sich eine nahezu identische Anordnung mit der Ausnahme, daß sich die durchschnittliche Position des linken Sprunggelenkes bei linksseitigem Abliegen auf 43,3 cm Entfernung von der hinteren Standplatzkante verschob.

In der Standquerrichtung zeigte sich, daß die durchschnittlichen Positionen der Karpalgelenke nach der Seite verlagert waren, auf der die Tiere lagen. So befanden sich die Positionen des linken und rechten Karpalgelenkes bei Tier 1 und bei linksseitigem Liegen 20,6 bzw. 60,0 cm von der linken Standplatzbegrenzung und die entsprechenden Positionen bei Tier 2 36,0 und 66,2 cm entfernt. Bei rechtsseitigem Liegen verschoben sich die Positionen der linken und rechten Karpalgelenke zu einer Entfernung von 39,4 und 73,4 cm bei Tier 1 und 42,5 bzw. 77,5 cm bei Tier 2. Die Berührungspunkte der Sprunggelenke verlagerten sich stets auf die der Liegeseite entgegengesetzten Standplatzhälfte. Dies wird an den Koordinaten deutlich, die bei Tier 1 und linksseitigem Abliegen 55,6 bzw. 78,8 cm und beim Liegen auf der rechten Seite 10,8 bzw. 30,6 cm betragen. Ähnliche Positionsanordnungen ergaben sich bei Tier 2 mit Koordinatenwerten von 51,9 und 63,8 cm bei linksseitigem und von 26,7 und 49,8 cm bei rechtsseitigem Liegen. Dabei kamen diese Positionen in der Weise zustande, daß bei aufrechter Liegestellung sich die Position des äußeren Sprunggelenkes, das unter den Körper hineingezogen war, nur wenig veränderte. Die dennoch hohe Streuung resultierte aus seitlichen Liegestellungen, bei denen das Tier soweit zur Seite geneigt lag, daß das äußere Sprunggelenk sich nicht mehr unter dem Körper befand und damit ebenfalls frei bewegt werden konnte.

Aus der Registrierung der Berührungspunkte geht hervor, daß für jede Liegeseite die aufliegenden Gelenke der vier Extremitäten sich unregelmäßig auf die Standplatzfläche verteilten. Das rechts- und linksseitige Liegen führte demgemäß zu annähernd spiegelbildlich angeordneten Berührungspositionen. Deshalb hat auf die Ermittlung von weichen Flächenzonen die Untergliederung der Berührungspositionen nach Liegeseiten keinen Einfluß und kann damit entfallen.

### Gesamtverteilung der Berührungspositionen

Die Anordnung der Berührungspunkte, wie sie durch die Mittelwerte je Liege-  
seite charakterisiert ist, deutet auf einen geringen Spielraum hin, innerhalb  
dessen die Tiere am Standplatz zum Liegen kommen. Dies würde zu einer starken  
Einengung des möglichen Aufliegebereiches der Gelenke führen, wenn nicht durch  
die beidseitige Liegestellung eine zur Standlängsachse spiegelbildliche Anord-  
nung der Berührungspositionen entstehen würde. Deshalb konnten die Berührungs-  
positionen unabhängig von der Liegestellung zusammengefaßt werden, um so den  
Einfluß der Krippenwandgestaltung erkennen zu können und unter dessen Einbe-  
ziehung die Bereiche weicher Bodenflächen zu definieren. Auswirkungen auf die  
Anordnung der Berührungspositionen ließen sich aus den Versuchsvariationen mit  
fester und beweglicher Krippenwand nicht erkennen, womit die Liegeseite als  
bestimmender Einfluß auf die Berührungspositionen übrig blieb, ohne daß sich  
dieser Einfluß wegen der gleichmäßigen Liegeseitenverteilung auf die Berührungs-  
positionen auswirkte. Deshalb wurden die registrierten Einzelpositionen zu einer  
einzigsten Stichprobe zusammengefaßt und durch ihre Häufigkeitsverteilung sowie  
ihre Kontaktbereichsgrenzen dargestellt.

Die Häufigkeitsverteilung der Berührungspositionen unterschied sich in den  
Koordinatenrichtungen und im Bereich der vorderen und hinteren Extremitäten-  
paare. In Richtung der Standlängsachse verteilten sich die Berührungspositio-  
nen der Karpalgelenke so, daß ca. 80 % in einem Bereich bis 30 cm hinter der  
Krippenwand anzutreffen waren (Abb. 56 ).

Auch in Standquerrichtung lag die Häufigkeitsverteilung in einem vergleichs-  
weise engen Bereich, allerdings in etwas abgeschwächter Form gegenüber der Häu-  
figkeitsverteilung in Standlängsachse (Abb. 57). 84 % lagen in einem Bereich  
von 60 bis 90 cm von der linken Standbegrenzung für das rechte Karpalgelenk  
entfernt und 82 % im gleichen Bereich für das linke Karpalgelenk. Daraus re-  
sultierte eine annähernd symmetrisch zur Standmittelachse angeordnete Vertei-  
lung der Berührungspunkte beider Karpalgelenke.

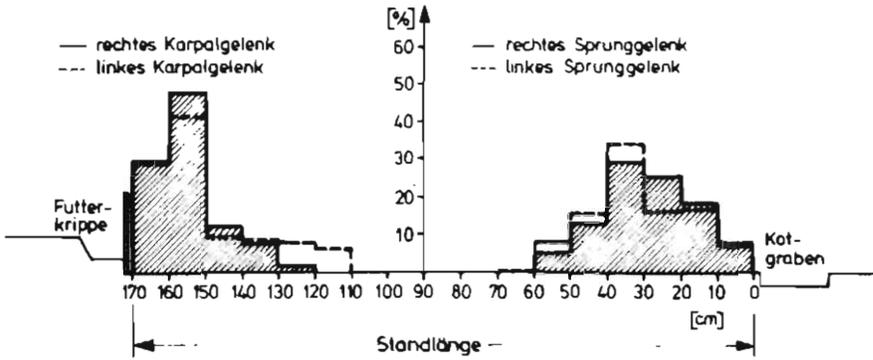


Abb. 56 : Häufigkeitsverteilung der Berührungspositionen der Karpal- und Sprunggelenke in Standlängsrichtung

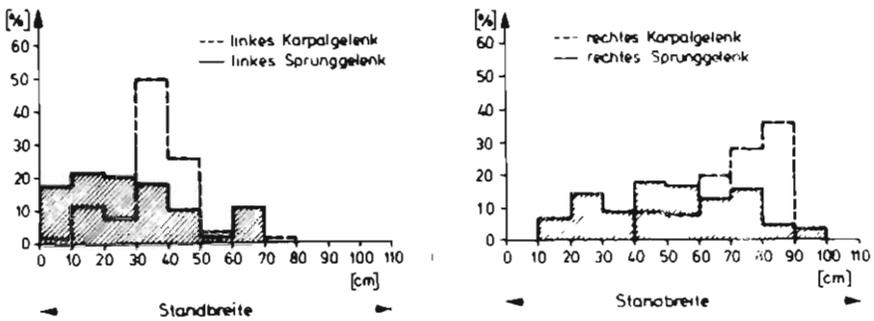


Abb. 57 : Häufigkeitsverteilung der Berührungspositionen der Karpal- und Sprunggelenke in Standquerrichtung

Im Bereich der Hinterextremitäten war, ähnlich wie bei den Trittpositionen, die Häufigkeitsverteilung in den beiden Koordinatenrichtungen unschärfer ausgeprägt. In Längsrichtung des Standplatzes entfielen auf das linke Sprunggelenk ca. 82 % der Berührungspunkte innerhalb von 40 cm von der hinteren Standplatzkante, auf das rechte Sprunggelenk kamen ca. 86 % aller Berührungspunkte innerhalb derselben Strecke (Abb. 56). Dagegen verteilten sich die Berührungspunkte in Querrichtung des Standplatzes auf eine größere Strecke so, daß 90 % der Berührungspunkte innerhalb von 70 cm beim linken Sprunggelenk und der gleiche Prozentanteil beim rechten Sprunggelenk in einem Bereich von 80 cm lagen (Abb. 57). Die gegenüber der Querrichtung geringere Streuung in der Standlängsrichtung dürfte ihre Ursache im verringerten Bewegungsspielraum gegenüber der Standquerrichtung haben.

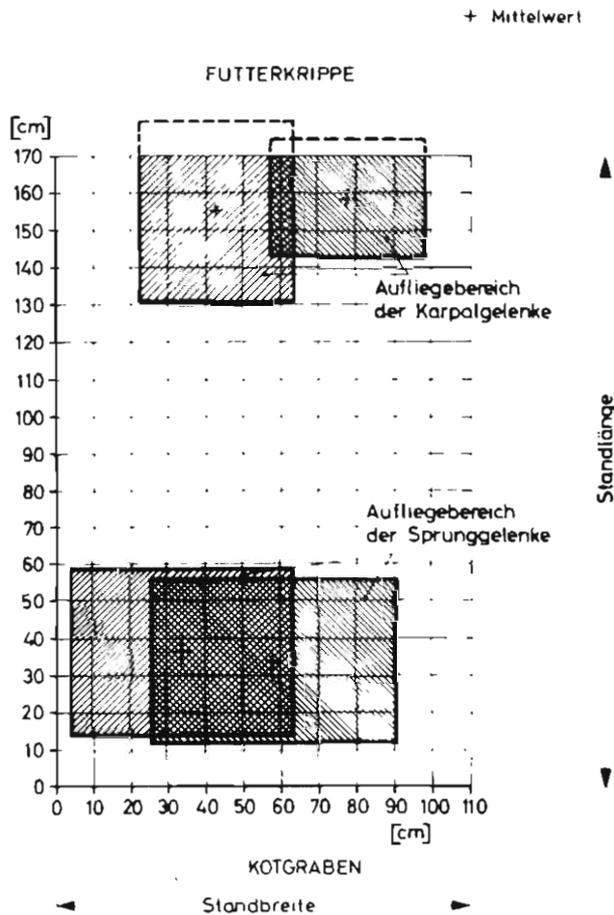


Abb. 58: Bereiche der aufliegenden Karpal- und Sprunggelenke der Versuchstiere auf der Standplatzfläche (stat. Irrtumswahrscheinlichkeit = 10 %)

Aus der Verteilung der Berührungspositionen in Standlängs- und -querrichtung ergeben sich Flächenstücke, die im Liegebereich der Vorderextremitäten zu einer quadratischen und im Bereich der Hinterextremitäten zu einer rechteckigen Form führen, wenn 90 % aller möglichen Berührungspositionen innerhalb dieser Bereiche liegen (Abb. 58). Sie repräsentieren die Bereiche, die auf der Standplatzfläche als weiche Unterlage beschaffen sein müssen, um den Anforderungen an die aufliegenden Gliedmaße zu entsprechen.

Die Streuung der Berührungspositionen um den Mittelwert in Querrichtung war im Bereich der Sprunggelenke deutlich höher als im Bereich der Karpalgelenke. Die Ursache der geringen Streuung lag in dem bereits erwähnten engen Bewegungsspielraum der vorderen Körperhälfte. Die breiter gestreute Verteilung der Berührungspositionen der Sprunggelenke war neben dem seitlichen Bewegungsspielraum auf die Bewegungsfreiheit der jeweiligen inneren Hintergliedmaßen zurückzuführen.

Die Zuordnung der Aufliegebereiche der Gliedmaße untereinander entsprach grundsätzlich den Trittbereichen der Klauen. Auch bei der Streuung um den Mittelwert der Berührungspositionen der Karpalgelenke in y-Koordinatenrichtung verursachte die Krippenwand als vordere Standbegrenzung eine nicht symmetrische Verteilung, die durch die strichlierte Linienführung vor der Standplatzfläche zum Ausdruck kommt. In der Ausdehnung der Berührungsbereiche bestanden insofern Unterschiede, als sich die Mehrzahl der Berührungspositionen der Karpalgelenke nach den Standplatzseiten verlagert, was seine Ursache in dem verhältnismäßig weiten seitlichen Abstand der aufliegenden Karpalgelenksflächen finden dürfte. Im Bereich der Sprunggelenke ergab sich die weite Überlappung aus den Beinstellungen des gleichmäßig verteilten beidseitigen Liegens.

Es zeigte sich also aus der Ermittlung der Berührungspositionen, daß sie vornehmlich durch die Liegestellung des Tieres bestimmt waren und nicht durch Einflußfaktoren der Umgebung wie im Falle der Trittpositionen des stehenden Tieres. Die jeweiligen Positionen des stehenden und liegendes Tieres wurden trotz der Übereinstimmung der Berührungsflächen gegenübergestellt, um die Möglichkeit einer gegenseitigen Anpassung zu prüfen, die eine Differenzierung von Härtezonen für das Stehen und Liegen erlaubt.

#### 5.3.4 Vergleich der Trittpositionen mit den Berührungspunkten der Gelenke

Die Bereiche der Berührungspositionen von Klauen und Karpalgelenken bzw. Sprunggelenken deckten sich in etwa. Auch der Vergleich der auf die Planquadrate bezogenen Häufigkeitsanteile führte zu einer weitgehenden Konkurrenz der Berührungsstellenbereiche. Das würde bedeuten, daß sich hinsichtlich differenzierter Weichheitszonen keine Grenzen festsetzen ließen, welche das Treten räumlich von dem Aufliegen trennen könnten. Für den Bereich der Hinterextremitäten war eine differenzierte Härtezone tatsächlich nicht festzustellen, weil sich die Berührungsflächen nicht mit unterschiedlich ausgeprägten Häufigkeitsdichten bestimmten Flächenabschnitten des Bodens zuordnen ließen.

Dagegen bestanden, wenn auch geringe, Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung zwischen den Berührungspositionen bei fressendem Stehen und beim Liegen in Standlängsrichtung, die im Bereich der Vorderextremitäten dem Einfluß der fressenden Tätigkeit zuzuschreiben waren. Während beim Stehen durch die Freßmotivation die Verteilung der Trittpositionen durch Krippenwand und Anbindevorrichtung eingegrenzt wurde, traf ein gerichteter Bewegungstrieb für das Liegen nicht zu, was zu einer weiteren Liegepositionsverteilung in Richtung der Standlängsachse führte. Die vergleichsweise seltene Positionsänderung ließ weiter den Schluß zu, daß die bei fressendem Stehen eingenommenen Positionen keine Einengung des Tieres darstellten. Deshalb wurde für einen Vergleich der Trittpositionen mit den Berührungspunkten der Gelenke von der Situation des fressenden Stehens ausgegangen (s. Abb. 50 und 56).

Eine Trennung zwischen hartem Untergrund für das Stehen und weichem Untergrund für das Liegen kann demnach 20 cm hinter der Krippenwand erfolgen. Nachdem der Bewegungsspielraum der Anbindevorrichtungen ausreichend groß zu sein scheint, wäre durch praktische Untersuchungen festzustellen, ob die harte Fläche bis 20 cm hinter der Krippenwand die Tiere zu einem nach rückwärts verlagerten Liegen veranlassen würde.

Die Differenzierung in Härtezonen im Bereich der Vorderextremitäten erhält dadurch besondere Bedeutung, daß das höhere Gewicht auf den Vorderextremitäten (112) eine ebene und feste Unterlage für das Stehen und die Beanspruchung der Karpalgelenke beim Liegen, aber besonders während des Abliegevorganges, eine weiche Bodenfläche erfordert.

Eine weiche Bodenfläche für das Auftreffen der Karpalgelenke beim Abliegen ist wichtiger als für ihr Aufliegen beim liegenden Tier, weil die Gewichtsbelastungen im Liegen wesentlich geringer sind und sich außerdem die Aufliegefläche auf die Karpalgelenksunterseite und das Zehenbein verteilt. Im Moment des Aufliegens können sich dabei bis zu 85 % des Körpergewichtes auf die Karpalgelenke verlagern (97). Deshalb ist die Kenntnis der Auftreffbereiche eine Voraussetzung, um die flächenmäßige Härtedifferenzierung an die maximale Beanspruchung der Karpalgelenke beim Auftreffen auf den Boden anzupassen.

Nach METZNER (97) versammeln Rinder die Vorderbeine in der Vorbereitungsphase zum Abliegen bis zu maximal 90 cm hinter der Krippenwand, wobei dann die Karpalgelenke ca. 20 cm vor der letzten Standposition der Klaue auf den Boden auftreffen, also 70 cm hinter der Krippenwand. Nach Beobachtungen von KÄMMER und SCHNITZER (66) gelangt das innere Karpalgelenk ca. 20 cm vor dem äußeren auf den Boden, so daß eine maximal mögliche Entfernung für das Aufliegen der Karpalgelenke von der Krippenwand von 50 cm entsteht. Bei einer beginnenden Weichheitszone ab 20 cm hinter der Krippenwand resultiert ein Spielraum von 30 cm bis 50 cm, innerhalb dessen die Karpalgelenke auf den Boden auftreffen können.

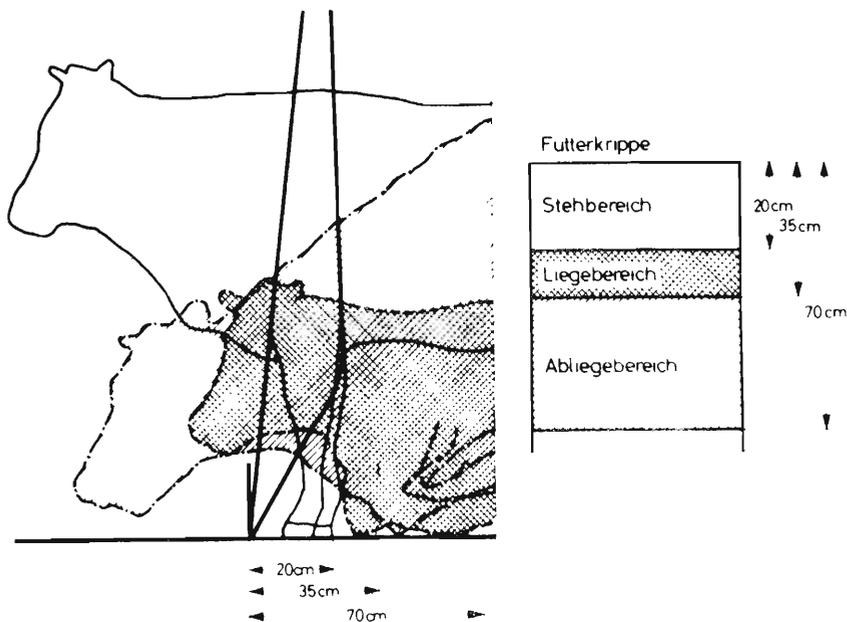


Abb. 59: Vorschlag einer Abgrenzung von Steh-, Liege- und Abliegeflächen für den Bereich der Vorderextremitäten im Anbindestand

Die Möglichkeit einer Härte differenzierung bietet sich an, indem die Standplatzfläche von der Krippenwand 20 cm für die Auftrittsfläche der Klauen fest und eben ausgebildet ist. Dann nimmt das Bodenmaterial eine weiche Beschaffenheit an, um den Anforderungen an die Abliegevorgänge und das Liegen zu genügen.

Die in Abbildung 59 eingezeichneten Positionen stellen ihre Zuordnung unter Berücksichtigung der Vorderextremitäten dar. Die Klaue steht auf der Standfläche innerhalb des harten Bereiches, wobei unter Ausnutzung der Längenauslenkung der Anbindungsart ein unbeengtes Stehen möglich ist. Das Auftreffen der Karpalgelenke auf den Boden beim Abliegen kann ohne Einengung durch die Anbindung in der weichen Zone erfolgen. Das Aufliegen der Karpalgelenke in der weichen Zone beim Liegen wird ebenfalls möglich; denn bei einer Auslenkung der Anbindungsvorrichtung von maximal 20 cm nach rückwärts, bei der für das Tier noch keine Einengung festzustellen war, entstand ein Abstand von der Krippenwand bis zum Mittelpunkt des aufliegenden Karpalgelenkes von 35 cm. Daraus ergibt sich ein Bereich von 15 cm Tiefe für die aufliegenden Karpalgelenke des bereits liegenden Tieres.

Eine Differenzierung nach harten und weichen Zonen bei den Hinterextremitäten bringt wegen der nicht auf enge Bereiche eingrenzenden Berührungspositionen solche Schwierigkeiten mit sich, daß eine Abgrenzung der Fläche für das Stehen und Liegen nicht vorgenommen werden kann. Diese Situation sowie die besondere Beanspruchung der Vordergliedmaßen aufgrund der höheren Belastungen führte zu der Fragestellung nach einer quantitativen Ermittlung der Härte in Abhängigkeit von der Form und der Empfindlichkeit der aufliegenden Extremitätenteile.

#### 5.4 Ermittlung tiergerechter Boden Härte

Der Kontakt zwischen Klaue sowie Karpal- und Sprunggelenk mit dem Boden stellt entgegengesetzte Anforderungen an die Härte des Bodens, die bislang qualitativ mit "hart" und "weich" benannt worden sind. Die Präzisierung der Anforderungen an die Härte wird jedoch notwendig, um tiergerechte Härteeigenschaften für die Bereiche zu finden, in denen die Trittstellen der Klauen mit den Berührungspunkten der Gelenke zusammentreffen.

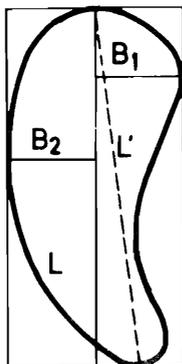
Wegen ihrer Gegensätzlichkeit mußten die entsprechenden Kennwerte getrennt für das Stehen und das Abliegen bzw. Liegen ermittelt werden. Dabei ergaben sich

die Anforderungen an die aufliegenden Gelenke beim Liegen aus denen beim Auftreffen des Karpalgelenkes, weil dies die stärkste Beanspruchung der Gelenkflächen darstellte.

#### 5.4.1 Bodenhärte für das Stehen

Die Anforderungen an die Bodenhärte für das Stehen sind dadurch gekennzeichnet, daß sie der Klaue einen festen und ebenen Stand ermöglichen müssen. Dies hängt neben dem Material von der aufliegenden Fläche und der einwirkenden Kraft ab. Sie bedingen einander wechselseitig, wobei eine tiergerechte Standsicherheit dann gegeben ist, wenn der Boden bei zunehmender Krafteinwirkung auf die Klaue kein weiteres Eindringen zuläßt. Die Begrenzung des Eindringens in den Boden wäre auch durch die Vergrößerung der Auftrittsfläche möglich, die beim Einsinken der Klauensohle in den Boden zustandekommt.

Über die Auftrittsflächen der Klauen und speziell derjenigen von Milchkühen gibt es nur wenige und teilweise widersprüchliche Angaben. Die Ursache dürfte vornehmlich in der Schwierigkeit einer geeigneten Flächenbestimmung zu suchen sein; denn es muß zwischen der Sohlenfläche und der eigentlichen Auftrittsfläche unterschieden werden.



- $B_1$  =Breite der axialen Klauenhälfte
- $B_2$  =Breite der abaxialen Klauenhälfte
- $B_1 + B_2$  =Gesamtbreite der Klaue
- $L$  =Länge der Klaue
- $L'$  =Länge zwischen den Berührungspunkten

Abb. 60: Berechnung der Klauensohlenfläche (FESZL, 41)

FESZL (41) schlägt eine Methode vor (Abb. 60), bei der Länge und Breite nach dem Schneiden der Klaue errechnet werden. Die Länge der Klaue wird als Länge

des einschließenden Rechtecks gemessen, während die Breite der Klaue als Summe der Breite der axialen Klauenhälfte ( $B_1$ ) und der Breite der abaxialen Klauenhälfte ( $B_2$ ) angegeben wird. Dieses Verfahren ist mit einem hohen Meßaufwand verbunden und für die Praxis nicht geeignet.

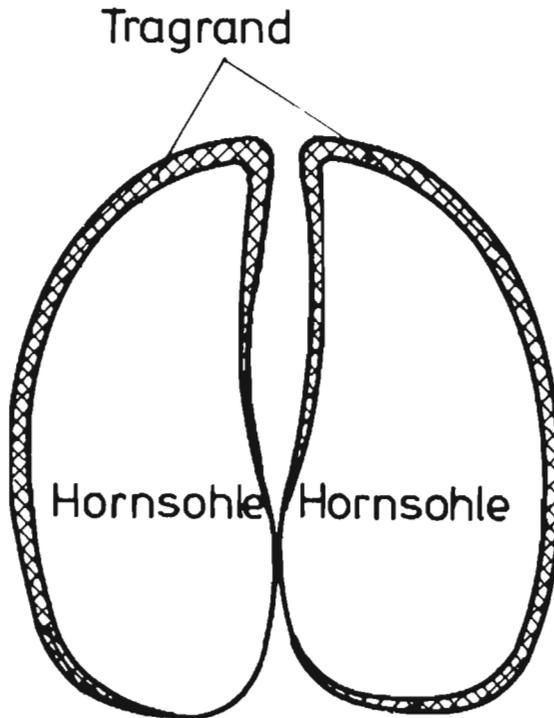


Abb. 61: Auftrittsfläche der Klauensohle (nach OBER und KIESL, 110)

Nach OBER und KIESL (110) tritt die Klaue nur mit dem harten Tragrand des Hornschuhs auf der Bodenfläche auf (Abb. 61), der ca. 25 % der Gesamtsohlenfläche ausmacht. Der Tragrand umschließt dabei die Hornsohle kreisförmig. SCHLICHTING (126) unterscheidet ebenfalls zwischen Sohlen- und Auftrittsfläche. Die Ermittlung der Sohlenfläche erfolgte aus Stempelabdrücken und Umrißzeichnungen von Klauen geschlachteter Rinder, deren Ergebnisse in Tabelle 13 getrennt nach Vorder- und Hinterklauen zusammengefaßt sind. Die schmale Auftrittsfläche nach OBER und KIESL weicht erheblich von den Ergebnissen bei SCHLICHTING ab und muß hinsichtlich ihrer Form und Größe angezweifelt werden.

SCHLICHTING nimmt dagegen eine um 30 % verringerte Auftrittsfläche gegenüber der Sohlenfläche an, woraus sich mit ca. 75 bis 80 cm<sup>2</sup> eine dreimal so große Auftrittsfläche ergibt, wie sie OBER und KIESL festgestellt haben.

Tab. 13: Durchschnittliche Auftrittsflächen von Rinderklauen verschiedener Rassen, getrennt nach Vorder- und Hinterextremitäten (126)

Tierart	vorn cm <sup>2</sup>	hinten cm <sup>2</sup>
Kühe	158,17	160,79
Mastbullen, Schwarzbunt	131,11	116,12
Mastbullen, Fleckvieh	187,23	138,93
Mastbullen, Angus	112,92	108,95

Keine der beschriebenen Meßmethoden berücksichtigt jedoch die Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Sohle und Boden beim Eindringen der Klaue in den Boden. Messungen hierfür am lebenden Tier sind technisch zu aufwendig und die Klauen geschlachteter Tiere befinden sich selten in einem brauchbaren Zustand. Deshalb wurden für eigene Messungen die Klauen geschlachteter Rinder so zugeschnitten, daß sie einen Klauensohlenzustand erreichten, wie er beim lebenden Tier rund vier Wochen nach dem Klauenschneiden vorzufinden ist. Zwölf in der Weise präparierte Klauen von Milchkühen, getrennt nach Vorder- und Hinterextremität, wurden hinsichtlich ihrer Kontaktfläche mit dem Boden in Abhängigkeit von der Eindringtiefe mit einer Methode untersucht, die speziell hierfür entwickelt werden mußte.

Zunächst sollte sich die Auftrittsfläche aus Gipsabdrücken bestimmen lassen, was zwar den Vorteil einer sehr exakten Niveauunterscheidung der Klauensohle, aber keine auswertbare Form der Zuordnung zur Auftrittsfläche zuließ. Deshalb wurde die Untersuchungsmethode dahingehend abgewandelt, daß die Klaue in eine Schaumgummimatte eindringt und die Auftrittsfläche sich aus dem Stempeldruck der mit Farbe bestrichenen Sohlenfläche ergibt. Entsprechend der Gestalt der Klauensohle wurden die Abdrücke bei 0 mm, 3 mm und 10 mm Eindringtiefe vorgenommen. Höhere Schichten als 10 mm zu berücksichtigen, hatte keine Bedeutung, weil sich der Winkel von Hornfläche zur Bodenfläche im Bereich des Klauenzwischenraumes immer mehr 90° näherte, so daß eine tragende Wirkung dieser Klauenflächenteile nicht mehr zu erwarten war. Die bearbeiteten Klauensohlen wiesen keine Erhöhung des schmalen Tragrandes auf, wie sie in Abbildung 61 gezeigt ist,

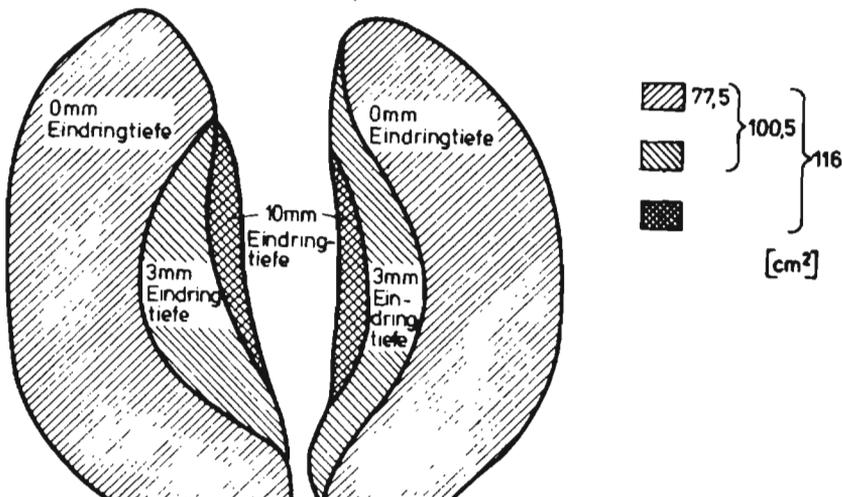
sondern stellten eine ebene Fläche dar, die sich an beiden Zehen in Richtung des Zehenzwischenspaltes nach oben verjüngte. Mithin kann nicht mehr von einer Auftrittsfläche allgemein gesprochen werden, sondern es muß der Bezug der Eindringtiefe in den Boden folgen. Die sich ergebenden Abdruckflächen wurden ausplanimetriert (Anhangtab. 18) und durch Mittelwert und Standardabweichung miteinander verglichen.

Die Vergrößerung der Auftrittsfläche trat bereits bei einer Eindringtiefe von 3 mm mit 22 % Flächenzuwachs von 75,2 cm<sup>2</sup> auf 91,9 cm<sup>2</sup> ein, während bei 10 mm Eindringtiefe die Auftrittsfläche sich um 34 % auf 101,4 cm<sup>2</sup> erhöhte (Tab. 14).

**Tab. 14 :** Mittelwert und Standardabweichung der Auftrittsflächen der Klauensohlen in cm<sup>2</sup>, getrennt nach Vorder- und Hinterklauen in Abhängigkeit von der Eindringtiefe

Klaue		Eindringtiefe mm		0		3		10	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s		
vorne	hinten	n = 12	79,7	6,0	94,4	5,4	107,3	9,61	
			73,2	9,7	91,0	9,0	101,4	7,3	
gesamt	75,2		9,1	91,9	8,2	101,4	8,3		

Die Fläche von Vorder- und Hinterklauen war statistisch nicht absicherbar verschieden (statistische Irrtumswahrscheinlichkeit = 5 %), was die Zusammenfassung der Auftrittsflächen sämtlicher Klauen ermöglichte.



**Abb. 62:** Auftrittsfläche der Klauensohle einer rechten Vorderklaue in Abhängigkeit von der Eindringtiefe in den Boden

Die Veränderung der Auftrittsfläche in Abhängigkeit von der Eindringtiefe ist in Abbildung 62 am Beispiel einer rechten Vorderklaue dargestellt. Die Ausdehnung der Auftrittsfläche bei 0 mm Eindringtiefe stimmt mit den von SCHLICHTING ermittelten Werten annähernd überein. Aus der Kenntnis dieser Flächenausmaße läßt sich auf den Druck der Klauen gegenüber dem Boden und damit auf die Standfestigkeit schließen.

#### Flächendruck der Kläue

Die über die Klaue auf den Boden wirkende Kraft ist nicht konstant, sondern variiert mit den Gewichtsverlagerungen des Tieres. Nach OBER und KIESL (112) verteilt sich das Körpergewicht auf die Vorder- und Hinterextremitäten mit 60 : 40 % Gewichtsanteilen. Daraus folgt, daß sich die Last bei Trittbewegungen für die Zeit, in der ein Bein nicht am Boden steht, auf das andere Bein verdoppelt. Mithin entfällt auf eine Vordergliedmaße bei normalem Stehen auf vier Beinen und einem Körpergewicht von 600 kg eine Kraft von 180 kg, während einer Trittbewegung jedoch 360 kg. Die Hinterextremität ist demnach mit 120 kg bzw. 240 kg belastet. Bei einer Krafteinwirkung auf die Klaue, die sich - bedingt durch Tierkörpergewicht und Gewichtsverlagerung - mit 1000 N bis 4000 N bewegen dürfte, variiert der Flächendruck auf eine Klaue von 1,4 bis 5,4 bar, sofern die Klaue nicht in den Boden eindringen kann und damit die Auftrittsfläche von 75,2 cm<sup>2</sup> konstant bleibt.

Unter der Annahme einer Eindringmöglichkeit in den Boden so, daß bei 1000 N Last die maximale Auftrittsfläche von 101 cm<sup>2</sup> erreicht ist, verringert sich der Flächendruck bei 1000 N um 0,4 bar auf 1,0 bar, bei 4000 N um 1,4 auf 4,0 bar. Dies weist wegen des tiefen Eindringens bei vergleichsweise geringer Krafteinwirkung auf das Vorhandensein eines weichen Bodens hin. Umgekehrt müßte jedoch die sich vergrößernde Auftrittsfläche die Eindringtiefe verkürzen.

Da die Beziehung zwischen Krafteinwirkung und Verminderung des Flächendruckes durch das Eindringen der Klaue Folgen für die Bewertung tiergerechter Standfestigkeit hat, wurde die Situation der auftretenden Klaue simuliert. Hierzu diente als Methode das Absenken einer Klauennachbildung unter definierter Kraft auf Bodenbeläge unterschiedlicher Härte.

Die Nachbildung bestand aus einer Stahlgußklaue, die aus dem Abdruck einer der untersuchten Rinderklauen gegossen worden ist. Ihre Auftrittsfläche betrug entsprechend den Messungen zur Auftrittsflächenbestimmung bei Nichteindringen der Klaue  $86,5 \text{ cm}^2$ , bei 3 mm Eindringtiefe  $100,5 \text{ cm}^2$  und bei 10 mm Eindringtiefe  $116,0 \text{ cm}^2$ .

Die Kraft zum Absenken der Klaue wurde in einer Universalprüfmaschine für Zug- und Druckspannungen erzeugt; ein vertikal bewegliches Joch senkte die Klaue mit konstanter Geschwindigkeit auf die eben unter dem Joch liegenden Bodenbeläge ab. Dabei baute sich die Kraft als Funktion des Eindringweges auf, so daß die Eindringtiefe einen Maßstab für die Boden Härte darstellte. Zur Unterscheidung der Boden Härte wurden die in Tabelle 10 beschriebenen Gummi- und PVC-Beläge verwendet.

Die unterstellten Krafteinwirkungen repräsentierten das ruhige Stehen auf den Beinpaaren bzw. das Stehen bei Entlastung eines Beines. Auf den vier harten Belägen drang die Klaue nur ca. 2 mm tief ein, wobei der nahezu waagerechte Kurvenverlauf in Abbildung 63 ab ca. 1500 N Belastung auf eine geringe Einwirkung der sich vergrößernden Auftrittsfläche schließen läßt. Die Last auf der Klaue ruht demnach auf den randseitigen Flächenteilen, woraus sich ein Flächendruck von 3,0 bar bei 2000 N und von 4,8 bar bei 4000 N Normalkraft ergibt. Das Eindringen in den weichen Belag (B1) vollzog sich in der Weise, daß bei 1000 N Krafteinwirkung bereits die maximal mögliche Auftrittsfläche mit dem Belag in Berührung kam. Die je Krafteinheit abnehmende Eindringtiefe setzte indessen erst bei ca. 2000 N ein, indem bei Verdoppelung der Kraft auf 4000 N nur mehr eine zusätzliche Eindringtiefe von 6 mm geschah, wohingegen von Null bis 2000 N die Klaue 16 mm tief eindrang.

Auswirkungen der sich vergrößernden Auftrittsfläche auf die Eindringtiefe können daher nicht nachgewiesen werden. Vielmehr ist die Abnahme des Eindringzuwachses auf die Verfestigung des Bodenmaterials im Bereich der Sohlenrandzonen zurückzuführen. Das feste Stehen der Klaue auf dem Boden hängt nicht nur von der Widerstandsfähigkeit des Bodenmaterials, sondern auch von der Härte der Klauensohle ab, die nach OBER und KIESL (110) einen harten Tragrand und eine weiche Hornsohle aufweist. Zur Beurteilung einer tiergerechten Standfestigkeit

war jedoch die Präzisierung der Härtegrade der Klauensohle notwendig. Deshalb wurde eine entsprechende Härtemessung nach DIN 53 456 (33) an Klauen geschlachteter Rinder vorgenommen; denn das in der DIN-Norm beschriebene Kugeldruckverfahren ließ den höchsten Grad an Vergleichbarkeit der Meßergebnisse erwarten. Die Meßstellen verteilten sich auf die ringförmigen Randzonen, die mit der Auftrittsfläche bei nicht in den Boden eindringender Klaue identisch waren, und auf die in der Mitte liegenden Bereiche nahe dem Klauenzwischenspalt.

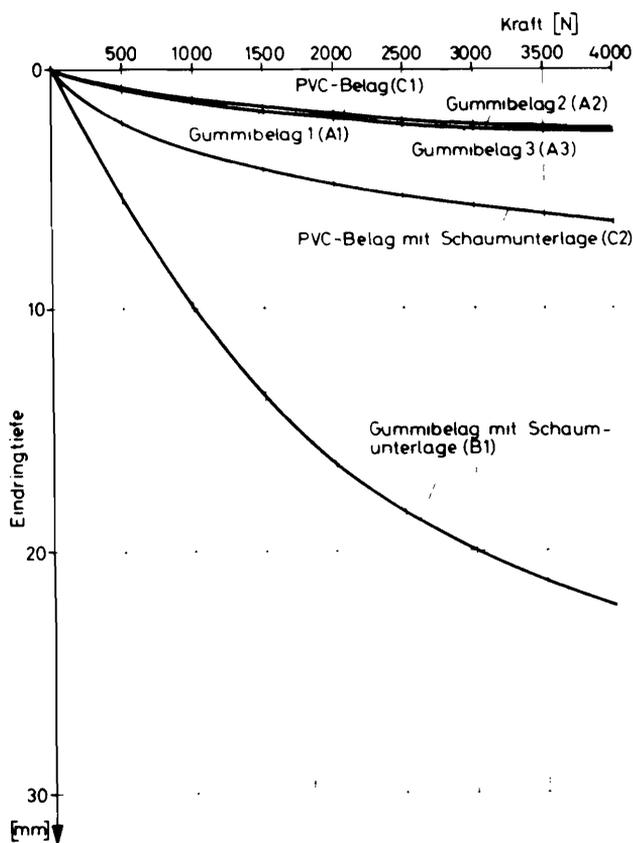


Abb. 63 : Eindringtiefe der Stahlgußklaue in verschiedene Bodenbeläge in Abhängigkeit von der einwirkenden Kraft

Die Härtegrade lagen in den Randzonen der Sohlenflächen zwischen 2,87 bar und 7,06 bar, während in den mittleren Bereichen die Härtegrade zwischen 1,46 bar und 3,26 bar schwankten (Tab. 15). Damit wiesen die Randzonen eine im Durchschnitt um 100 % höhere Härte auf als die mittleren Bereiche. Diese Härteunterschiede deuten darauf hin, daß zwischen den Kontaktflächen der Randzonen und des Bodens ein Druckausgleich durch die Verformung des Bodenbelages auch

bei sehr harten Belägen geschieht, wohingegen die Kontaktflächen der Klauen-  
sohle im mittleren Bereich keine tragende, sondern mehr eine stabilisierende  
Funktion übernehmen können.

Tab. 15: Härte an Randzonen und im mittleren Bereich der Sohlen von  
Klauen geschlachteter Rinder in bar  
(Kugleindruckversuch nach DIN 53 456, Kraft  $F = 132,4 \text{ N}$ )

Meßstelle	Eindringtiefe mm in 60 sec.	Härte bar
Mitte 1	0,58	1,46
Mitte 2	0,30	2,83
Mitte 3	0,26	3,26
Mitte 4	0,46	1,84
Mitte 5	0,34	2,55
Rand 1	0,20	4,24
Rand 2	0,30	2,87
Rand 3	0,12	7,06
Rand 4	0,19	4,58

#### Tiergerechte Standsicherheit

Da die Tragefläche der Klauensohle im wesentlichen aus den beschriebenen Rand-  
bereichen besteht, hängt der spezifische Flächendruck vornehmlich von der ein-  
wirkenden Kraft ab. Eine tiergerechte Standfestigkeit kann unter diesen Umständen  
dann angenommen werden, wenn das Bodenmaterial unter der Randzone der Klauen-  
sohle bei einer Krafteinwirkung, die höher ist als die bei ruhigem Stehen, ein  
weiteres Eindringen der Klaue nicht zuläßt.

Unter dieser Annahme wirkt sich die Eindringmöglichkeit solange nicht auf die  
Standfestigkeit des Tieres negativ aus, als ein fester Widerstand des Bodens  
unter der Klaue bei normalem Stehen eintritt. Dieser Zusammenhang wird in  
Abbildung 64 erläutert, in der mögliche Kennlinien der Eindringtiefe von Klauen  
in Abhängigkeit von der auf sie einwirkenden Kraft aufgetragen sind.

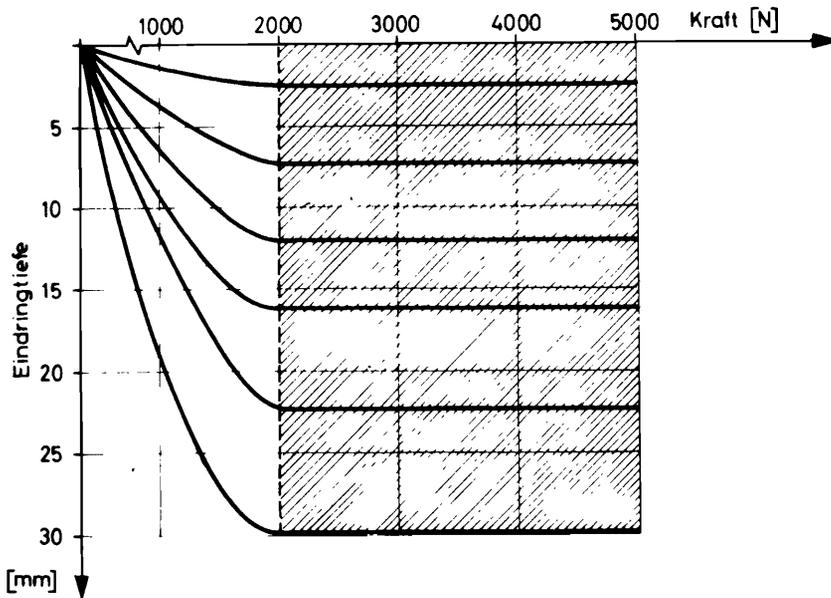


Abb.64 : Eindringtiefe der Rinderklaue für tiergerechte Stand-  
sicherheit in Abhängigkeit von der einwirkenden Kraft

Bis sich eine Kraft von 2000 N aufgebaut hat, mit welcher die Belastung beim ruhigen Stehen angenommen ist, dringt die Klaue in den Boden ein. Bei weiterer Zunahme der Kraft bleibt die Eindringtiefe jedoch konstant. Die Verfestigung des Bodenbelages als Ursache der konstant bleibenden Eindringtiefe bewirkt einen festen Halt für die Klauen, auf die das Körpergewicht bei Trittbewegungen verlagert wird. Außerdem verhindert der Widerstand des Bodenbelages ein seitliches Abknicken im Hufgelenk, das dann zustande käme, wenn durch die flächenverkleinernde Wirkung des Abkantens der Klauensohle der sich erhöhende spezifische Druck ein Nachgeben des Bodenmaterials ermöglichen würde.

Zwar ist die Eindringtiefe der Klaue unter der Bedingung eines ausreichenden Bodenwiderstandes bei ruhigem Stehen für die Standfestigkeit nicht von Bedeutung. Aber die Möglichkeit eines Eindringens beeinflusst die Rutschfestigkeit von Bodenbelägen positiv, worauf aber im Zusammenhang dieser Arbeit nicht weiter eingegangen wird. Außerdem ergeben sich bei der Eindringmöglichkeit in den Boden Ansatzpunkte für Härteeigenschaften, die auch den Anforderungen der aufliegenden Gelenksflächen entsprechen können.

#### 5.4.2 Bodenhärte für das Abstützen des Körpers auf die Karpalgelenke

Mit den Karpalgelenken treffen beim Abliegevorgang empfindliche Gliedmaßeanteile mit einer hohen Belastung auf den Boden auf, weil sich zwischen Gelenkknöcheln und Hautgewebe keine druckmildernden bzw. druckabfangenden Schichten befinden. Dies beansprucht sowohl die Haut als auch die Gelenkknöcheln, die zwischen Elle und Speiche einerseits und Mittelfußknöcheln andererseits gelagert sind und durch Bänder miteinander in Verbund gehalten werden.

Durch die flächenvergrößernde und damit druckreduzierende Wirkung eines weichen Bodens lassen sich die mechanischen Beanspruchungen auf die Karpalgelenke reduzieren. Deshalb wurden Untersuchungen über Gestalt und Ausmaß der gefährdeten Gelenkflächen sowie über das resultierende Druckverhalten beim Eindringen in Bodenmaterialien angestellt. Aus deren Ergebnissen sollten Kennwerte einer den Anforderungen der aufliegenden Gelenkflächen entsprechenden Weichheit abgeleitet werden, wobei die Untersuchungen sich an den Verhältnissen der aufliegenden Karpalgelenke orientierten, deren Abstützen auf den Boden beim Hinlegen die höchsten Ansprüche an die Härteeigenschaften des Bodens stellen. Um zunächst die mechanischen Einwirkungen auf die Gelenkflächen zu verdeutlichen, werden die Abliegevorgänge beschrieben.

Nach KÄMMER und SCHNITZER (66) unterteilt sich der Abliegevorgang in drei Phasen (Abb. 65). In Phase 1 beugt das Tier nach dem Versammeln aller vier Beine unter den Körper eine Vorderextremität und stützt sich auf dem Karpalgelenk ab, womit die Phase 2 eingeleitet wird. Frühestens mit dem Aufsetzen dieser Extremität knickt auch das andere Vorderbein ein, womit die Belastung auf das bereits abgestützte Karpalgelenk übergeht. Sodann ruhen beide Karpalgelenke auf dem Boden.

Dem folgt das Vortreten der Hinterhand. Eine der Hinterextremitäten wird vor die andere gesetzt und entlastet, und das Rind legt sich auf die entlastete Seite der Nachhand ab. Das Seitwärtstreten der Hintergliedmaßen während dieser Phase vermittelt den Eindruck, daß das Tier die Hinterhand plaziert.

In Phase 3, in der sich die Vorhand noch auf den Karpalgelenken abstützt, folgen zum Schluß zwei bis vier Tritte auf den Karpalgelenken nach vorne, bis die

Brust aufliegt. Im gesamten Ablauf des Abliegens tritt zwischen Stehen und Liegen nur einmal deutlich ein relativ stabiler Zustand auf: Dies ist die Stellung nach Beendigung der Phase 1, in der das Tier auf den Karpalgelenken steht. Besonders bemerkenswert ist der letzte Teil der Phase 2, in dem die Hinterhand zu Boden fällt. Der Verlauf kann durch das Tier nur beschränkt beeinflusst werden. Hiervon ist die äußere Hinterextremität betroffen, die sich unter dem liegenden Körper befindet und dessen hervortretender Teil die seitliche Sprunggelenksfläche darstellt.

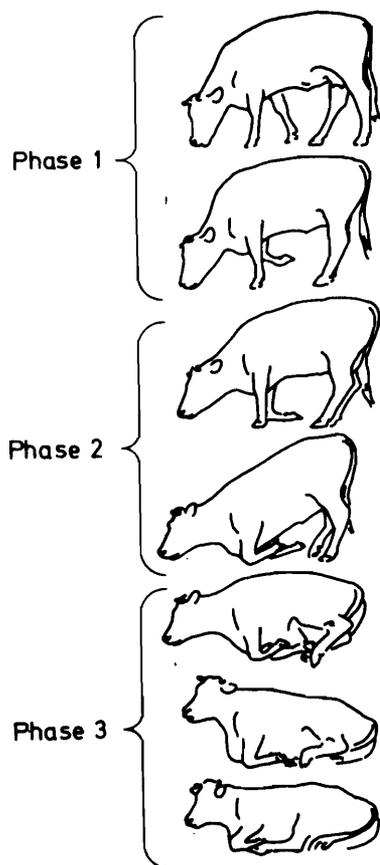


Abb. 65: Abliegevorgang beim Rind (KÄMMER und SCHNITZER, 66)

Der Aufstehvorgang bringt für die Gliedmaßen keine grundsätzlich neuen Belastungsarten. Die während der Aufstehphase wirkende Kraft auf die Karpalgelenke bleibt unter der des Abliegens, weil der Stoß im Moment des aufstretenden Gelenkes entfällt.

Kontaktfläche des Karpalgelenkes mit dem Boden

Die Kenntnis der Druckverhältnisse zwischen Karpalgelenk und Boden erforderte zunächst die Bestimmung der belasteten Gelenksflächen. Hierfür mußte eine Meßmethode gefunden werden, die bei der Fülle an Variationsmöglichkeiten in der Situation der auf den Karpalgelenken abgestützten Vorhand reproduzierbare Werte lieferte. Die Variationsmöglichkeiten ergeben sich hauptsächlich dadurch, daß die Beweglichkeit der Extremitäten stets, wenn auch geringe, voneinander verschiedene Aufliegesituationen schafft. Außerdem stellt das Karpalgelenk durch die Vielzahl seiner durch Bänder zusammengehaltenen Gelenksknochen einen in Grenzen unter Druck formbaren Körper dar.

Zur Vereinfachung mußte aber die Fläche mit der Unterstellung einer starren kalottenförmigen Gestalt bestimmt werden.

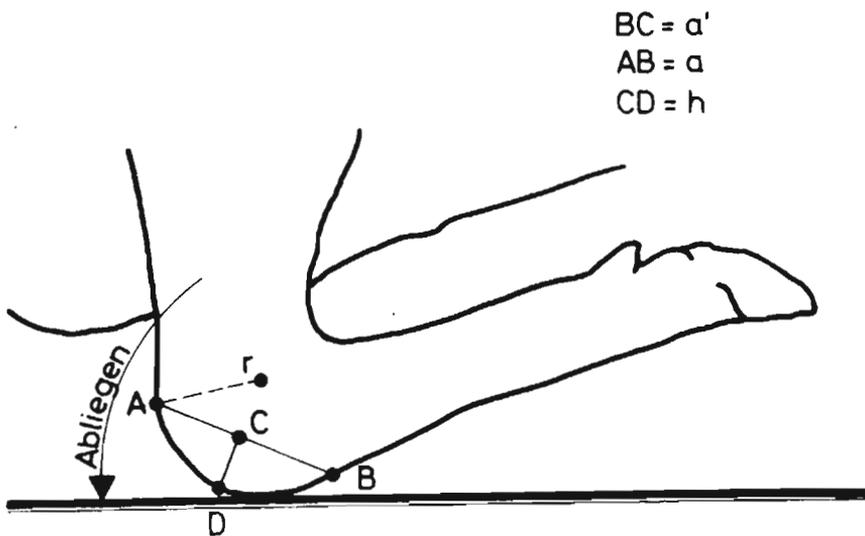


Abb. 66: Kalottenförmiges Eindringen des abgewinkelten Karpalgelenkes in den Boden

Abbildung zeigt die Form des auf dem Boden ruhenden Karpalgelenkes. Die Aufliegefläche stellt den in den Boden eindringenden Teil der kalottenförmigen Gelenksfläche dar. Die Berechnung der Manteloberfläche des eindringenden Kugelsegmentes erfolgt nach Gleichung

$$(5) \quad M = 2 \pi \cdot r \cdot h$$

Dabei gilt:  
M = Kontaktfläche zwischen Gelenk und Boden  
r = Radius des Kreisbogens AB  
h = Eindringtiefe

Der Radius des Kreisbogens hängt von der Krümmung der Gelenksfläche ab, wobei seine Ableitung durch den in Abbildung 67 dargestellten Kugelabschnitt erläutert wird.

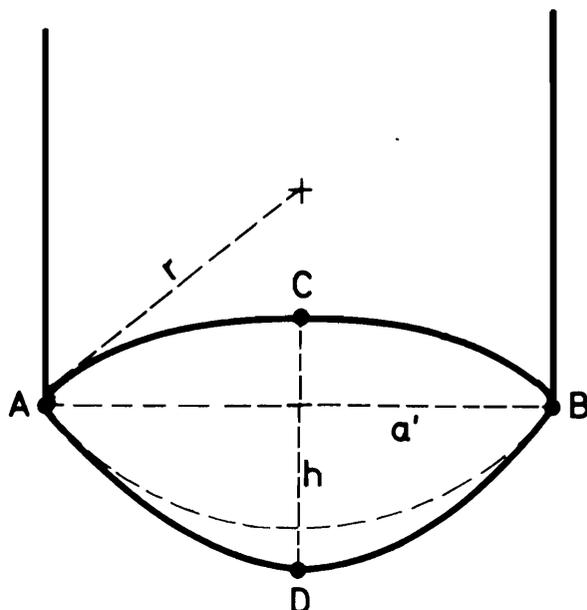


Abb. 67: Geometrische Darstellung eines Kugelsegmentes zur Bestimmung seiner Manteloberfläche

Für den Kreisradius der Schnittebene in AB gilt Gleichung

$$(6) \quad a'^2 = h \cdot (2r - h)$$

Umgeformt ergibt sich

$$(7) \quad r = \frac{a'^2 + h^2}{2h}$$

Um  $r$  zu berechnen, wurden die Strecken  $a'$  aus der Strecke AB und  $h$  aus der Strecke CD an elf Tieren gemessen. Die Ergebnisse sind in Anhangtabelle 19. zusammengefaßt.

Der Kreisradius in der Schnittebene der linken Karpalgelenke betrug im Mittel 7,89 cm, der der rechten Gelenke 8,02 cm, die Differenz beider Mittelwerte war nicht signifikant voneinander verschieden (statistische Irrtumswahrscheinlichkeit = 5 %). Ebenso bestand zwischen den Mittelwerten der Kugelsegmenthöhe kein

signifikanter Unterschied ( $\bar{h}_{\text{links}} = 5,77 \text{ cm}$ ;  $\bar{h}_{\text{rechts}} = 5,91 \text{ cm}$ ). Dementsprechend resultierte aus Gleichung (12) ein mittlerer Kugelabschnittsradius von 8,49 cm am linken und 8,25 cm am rechten Karpalgelenk, sowie ein Mittelwert über alle Karpalgelenke von 8,36 cm.

Wie aus Gleichung (5) hervorgeht, hängt die Kontaktfläche von der Eindringtiefe des Karpalgelenkes in den Boden ab, woraus als Wechselbeziehung zwischen Krafteinwirkung auf die Gelenksoberfläche und Eindringtiefe ein jeweiliger Druckausgleich besteht.

#### Druckverteilung auf die Gelenksfläche

Der Druck an jedem Punkt der aufliegenden Gelenksfläche nimmt ab, wenn er sich auf eine größer werdende Fläche verteilt. Diese Druckverminderung bewirkt die kalottenförmige Gestalt der aufliegenden Gelenksfläche. Aus der Bestimmung der höchstmöglichen, tragenden Gelenkfläche ließ sich also die maximale Druckverteilung ermitteln. Dies geschah rechnerisch unter Einbeziehung der Karpalgelenkmaße und der auf den Boden einwirkenden Kraft sowie durch die Simulation des Eindringvorganges mit einem Prüfstempel in der Universalprüfmaschine.

Anders als bei der ebenflächigen Klauensohle nimmt die kugelförmige Oberfläche des Karpalgelenkes mit dem Eindringen in den Boden linear zu (Abb. 68). Vereinfachend wird dabei unterstellt, daß die auf das Gelenk wirkende Kraft über den gesamten Eindringweg konstant bleibt und entsprechend der Gewichtsverlagerung auf die Vorhand beim Abliegen 4000 N beträgt. Dagegen verringert sich der Flächendruck auf die Gelenksoberfläche mit zunehmender Eindringtiefe exponential (Abb. 80).

Dabei bezieht sich die Druckverteilung auf die durchschnittliche Fläche der gemessenen Karpalgelenke mit einem Kugelsegmentradius von 86 mm und auf die Fläche eines Prüfstempels mit dem Kugelsegmentradius von 120 mm. Während bei 5 mm Eindringtiefe und einem Kugelsegmentradius von 86 mm ein Druck von ca. 12 bar entsteht, reduziert er sich bei einem Kugelsegmentradius von 120 mm auf ca. 8 bar. Dringen die jeweiligen Kugelabschnitte jedoch 60 mm tief in den Boden ein, ergibt sich ein Druck von 2 bzw. 1 bar.

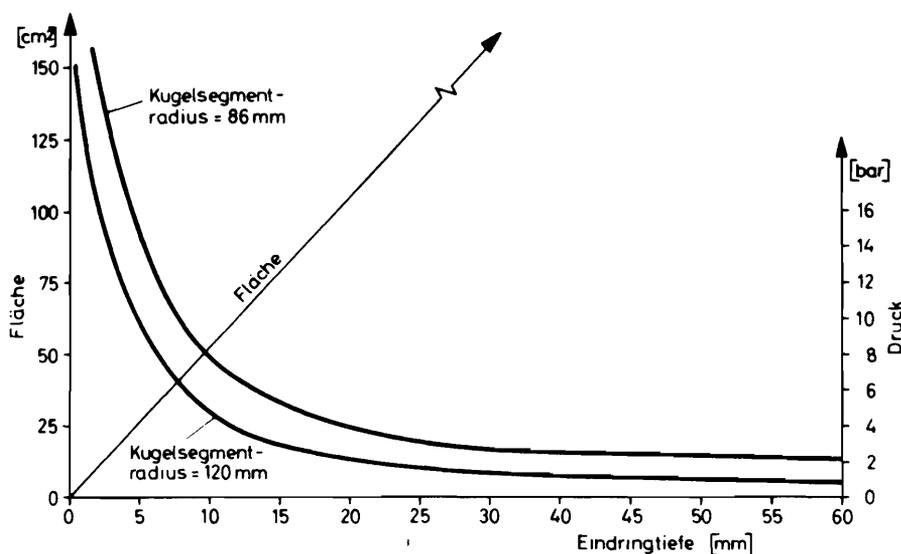


Abb. 68: Kontaktflächenzunahme und Druckverminderung von kalottenförmigen Körpern beim Eindringen in elastischen Boden

Die maximal tragende Oberfläche des Kugelsegmentes und damit die maximale Druckverteilung ist in Höhe der Schnittebene von AB (Abb. 66) erreicht, was einer Eindringtiefe von  $h = 5,8$  cm entspricht. Ein weiteres Eindringen des Karpalgelenkes würde deshalb keine zusätzliche Druckverminderung hervorrufen, weil die Kraftübertragung nur im Bereich der kreisförmigen Krümmung senkrecht zum Boden wirkt. Jedoch zeigt sich aus dem abnehmenden Verlauf des Flächen- druckes bei zunehmendem Eindringen in den Boden, daß ab einer Eindringtiefe von 30 mm der Flächendruck sich kaum noch verringert. Deshalb ist für eine optimale Druckverteilung eine Eindringtiefe von ca. 30 mm ausreichend. Die Eindringtiefe des Kugelsegmentes selbst ist eine Funktion der Boden Härte und des Oberflächenradius, wobei der sich aus Kraft und Kontaktfläche ergebende Druck ein Maß für die Boden Härte darstellt.

#### Notwendige Härte von verformbaren Bodenbelägen

Die Formulierung der Härteanforderungen machte die Verwendung objektiver und reproduzierbarer Meßmethoden notwendig, die sich an den Verhältnissen der mechanischen Belastung orientierten, wie sie der Wirklichkeit entsprechen.

Diesen Zweck erfüllte am ehesten ein Kugeleindruckversuch, weil er die Situation der eindringenden Gelenkflächen wiedergibt, und die Bestimmung der Berührungsfläche die Berechnung des Druckes ermöglicht, der eine anschauliche Maßzahl für den Verformungswiderstand von Bodenbelägen darstellt.

Härtemessungen an Stallbodenbelägen sind von BOXBERGER (22) nach DIN 53 456 entwickelt worden. Wegen der grobstrukturierten Materialbeschaffenheit der Stallbodenbeläge einerseits sowie wegen der Anwendbarkeit der Ergebnisse auf die der Wirklichkeit entsprechenden Druckverhältnisse andererseits wurden der Kugelradius des Prüfstempels mit 120 mm und die Eindringkraft mit 300 N festgelegt. In der Weiterentwicklung des Verfahrens wurde durch den Einsatz der bereits beschriebenen Universalprüfmaschine die Verwendung höherer Kräfte möglich. In Anlehnung an die von OBER und KIESL (110) sowie von SCHLICHTING (126) durchgeführten Gewichtsbestimmungen gelten die Kräfte von 2000 N und 4000 N als Vergleichsbasis, welche die Kraft bei normalem Stehen je Bein bei gleichmäßiger Gewichtsverteilung bzw. die bei Verlagerung auf jeweils eine Extremität des Beinpaars repräsentieren soll.

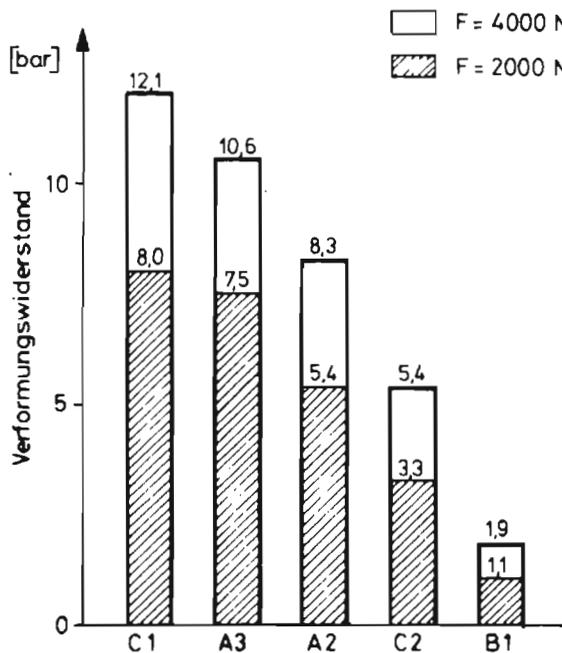


Abb. 69: Verformungswiderstand von Bodenbelägen (Kugeleindruckversuch,  $r = 120$  mm, Bezeichnung der Bodenbeläge s. Tab. 10)

Zwar weicht der Kugelsegmentradius des Prüfstempels von dem des abgewinkelten Karpalgelenkes ab, die Änderung der Druckverteilung durch die unterschiedliche Oberfläche des Kugelsegmentes bleibt indessen gering, was aus dem Kurvenverlauf des abnehmenden Flächendruckes bei einem Kugelsegmentradius von 120 mm und 85 mm hervorgeht (Abb. 66).

Aus den Härteprüfungen ergab sich eine Klassifizierung der Bodenbeläge, die für den Wahlversuch im Freßboxenlaufstall verwendet wurden. Der extrem weiche Gummibelag mit Schaumunterlage (B1) zeigte einen Verformungswiderstand von 1,1 bar bei einer Kraft von 2000 N und von 1,9 bar bei 4000 N auf den Prüfstempel. Demgegenüber ergab sich für den harten PVC-Belag ohne Schaumschicht ein Verformungswiderstand von 8,0 bzw. 12,1 bar (Abb. 69).

Mit der Härtebestimmung werden die Anforderungen an den Boden charakterisiert, die tiergerechte Druckverhältnisse zwischen Gelenk- und Bodenfläche sicherstellen. Ihre Kenntnis bildet zusammen mit der über die Härteanforderungen der Klaue an den Boden die Grundlage, um Schlüsse über eine mögliche Vereinbarkeit der Anforderungen des Tieres beim Stehen und Abliegen bzw. Liegen zu ziehen.

In der wechselseitigen Abhängigkeit von Krafteinwirkung, Eindringtiefe und Druckverteilung des Karpalgelenkes nimmt die Variierung der Krafteinwirkung den entscheidenden Platz ein, den spezifischen Flächendruck zu bestimmen, weil Eindringtiefe und Eindruckfläche in einem festen Verhältnis zueinander stehen. Somit können Härteeigenschaften des Bodenbelages als tiergerecht für die Situation der aufliegenden Gelenksflächen gelten, wenn das Karpalgelenk bei 4000 N Last 30 mm in den Boden einsinkt. Der spezifische Flächendruck beträgt dann ca. 2,8 bar. Diese Druckverteilung entspricht den Anforderungen des Tieres, weil auch bei weiterem Eindringen in den Boden der spezifische Flächendruck auf die Gelenksfläche kaum abnimmt. Bodenflächen dieses Härtegrades schließen eine tiergerechte Druckverteilung auch bei einer geringeren Kraft als 4000 N ein, da die Eindringtiefe in den Boden nicht durch die Belagshärte, sondern durch den Umfang der Krafteinwirkung bestimmt ist.

Die Festlegung auf eine Eindringtiefe von 30 mm, die entsprechend dem in Abbildung 68 dargestellten Druckverhalten um 5 mm ohne wesentliche Druck-

änderungen streuen kann, gibt in etwa die Härteeigenschaften des im Rahmen des Wahlversuches im Freßboxenlaufstall verwendeten Gummibelages mit Schaumunterlage (B1) wieder. Sie können daher als ein Modell tiergemäßer Bodenbeläge für die aufliegenden Gelenke angesehen werden. Die Ergebnisse der Eindruckversuche zeigten darüber hinaus, daß bei diesem Belag der Zuwachs der Eindringtiefe bei einer Kraftzunahme von 2000 N auf 4000 N nur 6 mm betrug und in der Gesamteindringtiefe hinter der des eintauchenden Karpalgelenkes zurückblieb (Abb. 70). Die geringe Strecke von 6 mm stellt damit ein Indiz für ein ausreichend festes Stehen dar.

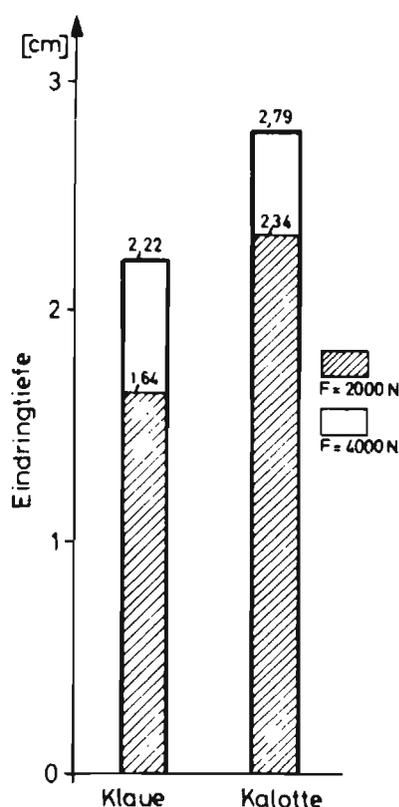


Abb. 70: Eindringtiefe der Stahlgußklaue und des kalottenförmigen Prüfstempels ( $r = 120 \text{ mm}$ ) in den Gummibelag mit Schaumunterlage

#### 5.4.3 Tiergemäße Härteeigenschaften der Bodenbeläge

Der grundsätzliche Unterschied zwischen der Situation der aufliegenden Klaue und des aufliegenden Karpalgelenkes besteht darin, daß die Standfestigkeit für die Klaue eine Begrenzung der Eindringtiefe durch die Härte des Belages

erfordert, während bei den Karpalgelenken die Begrenzung der Eindringtiefe sich aus der gleichmäßigen Verteilung des Druckes auf den Boden ergeben soll. Dem entsprechend verläuft die Kennlinie optimaler Härte für die Klaue, aufgetragen als Weg über der Kraft (s. Abb. 34), und die Kennlinie optimaler Härte für das in den Boden eintauchende Karpalgelenk, aufgetragen als Druck über der Eindringtiefe (s. Abb. 68). Unter Berücksichtigung der Härteeigenschaften des erwähnten Gummibelages mit Schaumunterlage, der für das Liegen eindeutig bevorzugt und für das Stehen nicht abgelehnt wird, ist die Formulierung eines Kompromisses in zwei Stufen möglich:

- 1) Die Anforderungen an die Boden Härte beim Abliegen haben wegen der Verletzungsmöglichkeiten der Gelenke mit ihren Nachfolgeschäden Vorrang. Durch die ringförmige Randzone der Klauensohle tritt ein stabilisierender Effekt hinsichtlich der Standfestigkeit bei dem weichen Boden dadurch ein, daß die Kraft auf den außerhalb der Randzone liegenden Schwerpunkt wirkt.
- 2) Der Tritt- und Liegebereich der Vorderextremitäten wird zusätzlich in eine harte Zone für das ebene und feste Stehen der Klaue und in eine weiche Zone für das Auftreffen der Karpalgelenke bei den Abliegebewegungen sowie für das Aufliegen der Gelenke beim liegenden Tier unterteilt. Die Differenzierung in Flächen unterschiedlicher Härte rechtfertigt sich daraus, daß auf der Vorhand höhere Belastungen sowohl im Stehen als auch bei den Abliegevorgängen gegenüber der Hinterhand auftreten.

Damit ist der Versuch unternommen, die Härteeigenschaften von Bodenbelägen unter dem Gesichtspunkt der Anforderungen vom Tier her zu beschreiben. Inwieweit die hier ermittelten Kennwerte technisch und ökonomisch realisierbar sind, läßt sich im Rahmen dieser Arbeit nicht beantworten. Nachdem Härte- und Wärmeeigenschaften nur einen Teil einer Vielzahl von Faktoren darstellen, die eine tiergerechte Stand- und Liegefläche bestimmen, bedarf es weiterer Untersuchungen, woraus auch im Hinblick auf die praktische Verwendbarkeit von Bodenbelägen eine Korrektur der hier vorliegenden Kennwerte notwendig werden kann.

## 6. Weitere Forschungsansätze

Mit den Versuchsanstellungen und deren Ergebnissen sind Fragen offengeblieben bzw. neu entstanden, die zur Festigung und Vertiefung der in vorliegender Arbeit abgeleiteten Kennwerte bearbeitet werden sollten.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, daß die Rinder eine geringe Wärmeabgabe an den Boden bevorzugen, was jedoch im Widerspruch zur allgemeinen Kälteunempfindlichkeit steht. Deshalb sollten Untersuchungen in der Richtung fortgeführt werden, die unter sonst konstanten Bedingungen den Tieren die Auswahl von Liegeflächen unterschiedlicher Wärmeeigenschaften ermöglichen. Dabei ließen sich zusätzlich Aufschlüsse über das Wärmeabgabeverhältnis an den Boden und an die Luft erzielen, wenn die Auswahl der unterschiedlich wärme-gedämmten Liegeflächen in Abhängigkeit von der Lufttemperatur erfolgen würde.

Zur Absicherung der Kennwerte für tiergerechte Wärmeeigenschaften des Bodens sind in weiteren Untersuchungen Kühe mit unterschiedlicher Milchleistung einzubeziehen, nachdem sich die Kälte- und Wärmeeinwirkung in den bisherigen Versuchen als nicht gesundheitsschädigend erwiesen hat. Damit könnten Ergebnisse über die Wärmeabgabe in den Boden vertieft und hinsichtlich der Bevorzugung bestimmter Wärmeeigenschaften neu gewonnen werden.

Um die Wärmeabgabe an den Boden noch genauer bestimmen und mit dem Tierverhalten in Beziehung setzen zu können, bedarf es der Ermittlung der auf dem Boden aufliegenden Hautflächen. Während bei Kleintieren entsprechende Untersuchungsmethoden keine Schwierigkeiten bereiten (49), müssen für ausgewachsene Rinder erst Methoden entwickelt werden. Neben der Kenntnis der aufliegenden Fläche würde diese Untersuchung exakte Daten vermitteln, mit welchen Flächen die Extremitäten auf der Liegefläche aufliegen, woraus die bisher vorliegenden Ergebnisse über die mechanischen Beanspruchungen präzisiert werden könnten.

Neben der Ergänzung der Untersuchungen über die Tritt- und Auflegebereiche der Extremitäten im Stehen, Liegen und Abliegen durch Wiederholungen mit anderen Rassen fehlen zur Absicherung der Kennwerte für tiergerechte Boden Härte grundlegende Kenntnisse über die Beanspruchbarkeit der aufliegenden Gelenks-

teile. Dabei sollten Kennwerte der Widerstandsfähigkeit von Haut- und Knochengewebe sowie Kennwerte der Zugfestigkeit von Sehnen und Bändern in labormäßigen Versuchen ermittelt werden, um sie mit der Situation des Tieres im Stall vergleichen zu können. Hierzu wären Gewicht und Auftreffgeschwindigkeit der Karpal- und Sprunggelenke beim Abliegen zu bestimmen sowie die tatsächliche Zugbelastung von Sehnen und Bändern im Hufbereich unter Bedingungen eines ebenen und festen bzw. eines weichen und verkantbaren Stehens zu messen.

Mit den tiergerechten Härteeigenschaften von Bodenbelägen hängt der Zustand der Rutschsicherheit wegen des Eindringens der Klaue in den Boden zusammen. Daneben wird die Rutschfestigkeit durch die Materialkonsistenz der Bodenbeläge bestimmt, wobei die unterschiedlichen Wechselwirkungen von Haft- und Gleitreibung auf Bodenbelägen eine intensive Untersuchung erforderlich machen.

Die Anforderungen an die Wärme- und Härteeigenschaften beziehen sich auf die Bedürfnisse des Tieres. Die Umsetzung der Anforderungen in Übereinstimmung mit einer langen Lebensdauer zu bringen, stellt ein Fabrikations- und Kostenproblem dar, das wegen der nicht eindeutig den Bodeneigenschaften zuordenbaren Schadmerkmale und Verhaltensweisen des Tieres nur schwer hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit in der Praxis bewertet werden kann und deshalb Gegenstand einer eigenen Untersuchung sein sollte.

## 7. Zusammenfassung

Die zunehmende Umstellung auf einstreulose Stallsysteme im Bereich der Milchviehhaltung zwingt zu einer Gestaltung der Standplatzfläche, die den Eigenschaften der Einstreu gleichkommt, bzw. sie verbessert. Dabei sind Wärmeeigenschaften und Boden Härte von herausragender Bedeutung, weil durch sie unmittelbare Einwirkungen auf den Körper und damit Verhaltensreaktionen verursacht werden, die im weitesten Sinne zu Schäden am Tier führen, wenn die Bodeneigenschaften nicht den Erfordernissen des Tieres entsprechen. Hinsichtlich der Anforderungen an die Wärmeeigenschaften sollten Daten über die abgegebenen Wärmemengen vom Tier an den Boden ermittelt werden, um sie optimal auf die physiologischen Gegebenheiten des Tieres abstimmen zu können.

Bei der Bodenhärte repräsentieren der Bodenkontakt der Klauensohle beim Stehen einerseits und der Karpal- und Sprunggelenke beim Liegen sowie bei den Abliege- und Aufstehbewegungen andererseits die Situation entgegengesetzter Anforderungen, indem die Klaue einen festen und ebenen Widerstand finden muß und für die Gliedmaßenteile ein Eintauchen in den Boden zur größtmöglichen Druckverteilung notwendig wird. Deshalb bestand das Ziel vorliegender Arbeit darin, anhand geeigneter Parameter Kennwerte für die Anforderung an Wärmedämmung und Bodenstärke zu ermitteln, die als Maßstab zur Herstellung tiergerechter Stand- und Liegefläche dienen können.

### 1. Wärmeeigenschaften

Die Wärmeabgabe der Tiere an die Umwelt hängt in erster Linie vom leistungsbedingten Stoffumsatz und den Thermoregulationsmechanismen der Hautgefäße ab, wobei der Kontaktfläche zwischen Boden und Tier besondere Bedeutung zukommt. Wärmestrommessungen an Bodenbelägen ergaben Wärmedurchgangsmengen zwischen 30 und 300  $\text{W/m}^2$ , die am liegenden Tier ohne weitere Einwirkungsmöglichkeiten in einem Fall ein Wärmedefizit, im anderen Fall einen Wärmeüberschuß auslösen müßten.

Deshalb wurden auf einer Weide die Wärmeeigenschaften von Liegeplätzen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen untersucht, um von der Liegedauer der Tiere auf die Akzeptierung der festgestellten Wärmedurchgänge zu schließen. Die abgegebenen Wärmeströme der aufgesuchten Liegeflächen lagen dabei vornehmlich in einem Bereich zwischen 50 und 100  $\text{W/m}^2$ . Das Liegeverhalten war jedoch wegen zahlreicher überlagernder Einflüsse nicht eindeutig den Wärmeeigenschaften des Bodens zuzuordnen.

Dagegen löste die Variation der Liegeflächentemperatur in einem Versuchstand Änderungen im Steh- und Liegeverhalten aus, die zu den unmittelbar vom Tier zum Boden gemessenen Wärmemengen in Beziehung gesetzt wurden. Die Ausschaltung eines Aufheizeffektes der Liegefläche ermöglichte die Wahrnehmung der Wärmestromreduzierung durch gefäßverengende Reaktionen der Haut.

Dabei zeigte sich, daß die Versuchstiere bis zu einer Wärmeabgabe von 150  $\text{W/m}^2$  nicht von sich aus wärmeregulierend eingriffen. Die Reduzierungs-

möglichkeit durch Gefäßverengung lag im Bereich von ca.  $120 \text{ W/m}^2$  bei Temperaturdifferenzen von 40 bis  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  zwischen Tierkörper und Liegefläche. Die Liegezeiten verkürzten sich bei gleichzeitiger Erhöhung der Liegefrequenz unter zunehmenden extremen Temperaturbelastungen, wobei das Ausmaß der Verhaltensänderung durch individuelle Tiereinflüsse nicht einheitlich war.

Aus den wärmeregulatorischen Verhalten läßt sich folgern, daß die Tiere Wärmeabgaben von  $150 \text{ W/m}^2$  bis zum Wärmestromgleichgewicht zwischen Körper und Boden bevorzugen. Das registrierte Liegeverhalten weist darüber hinaus auf eine tendenzmäßige Bevorzugung geringer Wärmeabgabe zwischen 15 und  $50 \text{ W/m}^2$  hin. Deshalb scheint hinsichtlich der Wärmeeigenschaften eine möglichst hohe Wärmedämmung erforderlich zu sein.

## 2. Bodenhärte

Aus Verhaltensbeobachtungen bei freier Wahlmöglichkeit verschieden harter Bodenflächen in einem Freßboxenlaufstall ging eine eindeutige Bevorzugung weicher Belagsarten für das Liegen und zumindest kein Meiden für das Stehen hervor. Anderen Untersuchungen zufolge lehnen Tiere das Stehen auf nicht fester Unterlage jedoch ab.

Um zu prüfen, ob der Gegensätzlichkeit der Anforderungen an die Bodenhärte für Klauen und Gliedmaßen im Anbindestand durch Flächenzonen unterschiedlicher Härte zu begegnen ist, wurden die Trittpositionen der Klauen sowie die Aufliegepunkte der Karpal- und Sprunggelenke im Liegen registriert. Es zeigte sich, daß im Bereich der Vorderextremitäten die Möglichkeit einer differenzierten Härtezone besteht, indem auf eine bis zu 20 cm hinter der Krippenwand reichende harte Fläche eine weiche Bodengestaltung folgen sollte. Dadurch vermag das Tier mit den Vorderbeinen auf der harten Fläche zu stehen und sich auf der weichen Fläche abzulegen und zu liegen. Der Trittbereich der Hinterextremitäten deckt sich nahezu vollständig mit dem der aufliegenden Sprunggelenke, was eine Härte differenzierung der Flächen für Stehen und Liegen hier verbietet.

Zur Quantifizierung der Bodenhärte muß nach Stehen einerseits und Abliegen als der Situation, bei der die höchste Beanspruchung eines Körpergelenkes

auftritt, andererseits unterschieden werden. Der widerstandsfähigen, nahezu ebenen Sohlenfläche der Klauen steht die kugelförmige empfindliche Gelenksfläche gegenüber. Optimale Härte für das Stehen ist dann gegeben, wenn die Klaue aber einer Kraft von 2000 N, die in etwa der Kraft entspricht, die bei ruhigem Stehen auf eine Klaue wirkt, einen festen Widerstand findet. Dagegen ist die optimale Belagshärte für das auftreffende Karpalgelenk dann vorhanden, wenn bei einer Kraft von 4000 N, welche die Spitzenbelastung durch das Auftreffen auf den Boden repräsentiert, das Gelenk ca. 30 mm in den Belag einsinkt, wobei sich die Kraft in einem degressiven Verlauf auf eine Fläche von ca. 90 cm<sup>2</sup> verteilt. Ein weiteres Eindringen in den Boden bei den gegebenen Flächenausmaßen der Karpalgelenke brächte kaum zusätzliche Druckminderung. Diese hier quantifizierten Anforderungen an die Härteeigenschaften konnten an einem für Versuchszwecke hergestellten Bodenbelag erfüllt werden.

8. Literaturverzeichnis

- (1) ALBRIGHT, J.L.;  
ALLISTON, C.W.:  
Effects of Varying the Environment upon  
the Performance of Dairy Cattle  
J. Anim. Sci. 32 (1966), S. 566 - 577
- (2) ALTHAMMER, A.:  
Stand- und Liegeflächen im Rindvieh- und  
Schweinstall  
Betonverlag GmbH, Düsseldorf 1961
- (3) ANDREAE, U.;  
PAPENDIECK, Th.:  
Verhalten von Milchkühen bei der Wahl  
ihrer Liegeboxen im Laufstall  
Tierzüchter 23 (1971), S. 432 - 435
- (4) ANONYM:  
Probleme der einstreulosen Haltung  
von Rindern und Schweinen  
Deutsche Agrartechnik 16 (1966), S. 38 - 40
- (5) ASCHOFF, J.:  
Der Anstieg der Rectaltemperatur bei um-  
schriebener Abkühlung der Körperoberfläche  
Pflüglers Archiv 248 (1944), S. 149 - 157
- (6) ASCHOFF, J.:  
Hauttemperatur und Hautdurchblutung im  
Dienste der Temperaturregulation  
Klin. Wochenschr. 36 (1958), S. 193 - 202
- (7) AUERNHAMMER, H.  
PESK (Programm zur Erstellung statisti-  
scher Kenndaten)  
In: Programmbibliothek der Landtechnik  
Weihenstephan, Weihenstephan 1976
- (8) AUERNHAMMER, H.:  
AUFMUR (Aufbauende multiple Regression)  
In: Programmbibliothek der Landtechnik  
Weihenstephan, Weihenstephan 1976
- (9) AUERNHAMMER, H.:  
PLANQU (Planquadratauswertung)  
In: Programmbibliothek der Landtechnik  
Weihenstephan, Weihenstephan 1976
- (10) BÄHR, H.:  
Untersuchungen über die Wärmeableitung  
von Stallfußböden  
Deutsche Agrartechnik 17 (1967), S. 115 - 117
- (11) BÄHR, H.:  
Untersuchungsmethoden zur Prüfung der  
Wärmeableitung von Stallfußböden  
Mh. vet. med. 22 (1967), S. 27 - 32
- (12) BALCH, C.C.:  
Sleep in ruminants  
Natur 175 (1955), S. 940 - 941

- (13) BARTHELMUS, W.: Untersuchungen über die Wärmeableitung der Stallböden in Schweinezucht- und -mastställen  
Diss. München 1973
- (14) BAUER, W.: Zur Wärmeproduktion landwirtschaftlicher Nutztiere - ein Beitrag zu stallklimatischen Berechnungsgrundlagen  
Agrartechnik 23 (1973), S. 82 - 85
- (15) BÄUMELER, R.: Gliedmaßenbelastung der Milchkühe beim Abliegen und Aufstehen in Abhängigkeit vom Anbindesystem  
Dipl.-Arbeit Zürich 1974
- (16) BERMAN, A.: Thermoregulation in Intensively Lactating Cows in Near-Natural Conditions  
J. Physiol. (London) 215 (1971), S. 477 - 489
- (17) BIANCA, W.: Heat Tolerance in Cattle, its Concept, Measurement Dependence on Modifying Factors  
Int. J. Biomet. 5 (1961), S. 5 - 30
- (18) BIANCA, W.;  
BLAXTER, K.L.: The Influence of the Environment on Animal Production and Health under Housing Conditions  
Int. Tierzuchtkongreß 8 (1961), S. 113 - 147
- (19) BLAXTER, K.L.: The Energy Metabolism of Ruminants  
Hutchison (1962) London
- (20) BLAXTER, K.L.;  
WAINMAN, F.W.: Environmental Temperature and the Energy Metabolism and Heat Emission of Steers  
J. Agr. Sci. 56 (1961), S. 81 - 90
- (21) BLECH, K.: Erfahrungen eines Tierarztes mit Aufstallungsformen für Rindvieh  
KTBL Manuskriptdruck 22, 1970
- (22) BOXBERGER, J.: Einstreulose Stallhaltung, Möglichkeiten und Grenzen  
Beton-Landbau 8 (1971), S. 83 - 88
- (23) BOXBERGER, J.: Untersuchungen und Ergebnisse über neuere elastische Stallbodenbeläge  
KTBL-Schrift Kunststoffe in der Landwirtschaft, Darmstadt 1972
- (24) BOXBERGER, J.;  
STANZEL, H.;  
LASSON, E.: Meßergebnisse über Wärmeströme und Druckverhalten bei Bodenbelägen für Milchvieh  
Prakt. Tierarzt (1975), S. 86 - 92

- (25) BOXBERGER, J.;  
SCHÖN, H.:  
Stehen Ihre Tiere im richtigen Stall?  
Sonderdruck aus "dlz" 26 (1975)
- (26) BROWNLEE, A.:  
Studies in the Behaviour of Domestic  
'Cattle in Britain  
Bull. Anim. Behaviour 1 (1950), S. 11 - 20
- (27) BUKVAY, J.:  
Bewegungsaktivität der Kühe bei verschie-  
dener Aufstallung  
Zivočišná výroba 14 (1969), S. 431 - 438
- (28) CAMARA, S.:  
Untersuchungen über den Klauenabrieb  
bei Rindern  
Diss. Kiel 1970
- (29) CAMMERER, J.S.:  
Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie  
Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidel-  
berg 1962
- (30) COENEN, J.:  
Die Gitterrostaufstallung für Kühe  
Bericht des LK Rheinland, Lehranstalt  
für Tierhaltung, Haus Riswich, 1972
- (31) DAMM, Th.:  
Die Verbreitung von tiergerechten Auf-  
stallungsformen für Milchvieh im norddt.  
Raum  
Verlag für wissenschaftliche Arbeiten in  
der Landwirtschaft, Schriftenreihe Rind,  
H. 2, 1975
- (32) DIETZ, O.;  
GÄNGEL, H.;  
KOCH, K.:  
Die Erhaltung der Gliedmaßen- und Klauen-  
gesundheit unter modernen Produktionsbe-  
dingungen  
Mh. f. Vet. Medizin 26 (1971), S. 241 - 246
- (33) DIN 52 614  
Bestimmung der Wärmeableitung von  
Fußböden (1963)
- DIN 51 949  
Fußbodenbeläge - Druckbiegeversuche  
an flexiblen Belägen
- DIN 18 908  
Fußböden für Stallanlagen - Spaltenböden
- DIN 53 456  
Härteprüfung durch Eindruckversuch  
Beuth-Vertrieb GmbH Berlin - Köln - Frank-  
furt/Main
- (34) DUBBEL:  
Taschenbuch für den Maschinenbau, Teil 1  
Springer-Verlag Berlin 1970

- (36) DUCHO, P.;  
JANAC, J.:  
Automation of Farm Animals Breeding and  
its Influence on Stable Floor Design -  
Experimental Evaluation  
Acta techn. Agr. XI, Uni. Agr. Nitra,  
CSSR, 1973
- (36) EBENDORF, W.;  
KEHR, K.;  
TEMPLIN, F.:  
Empfehlungen zur Vorbeuge von Klauenschäden  
bei der Inbetriebnahme von Neuanlagen der  
Milchproduktion mit einstreuloser Bewirt-  
schaftung  
Tierzucht 27 (1973), S. 136 - 138
- (37) EICHHORN, H.:  
Die fotografische Beobachtung des Ein-  
flusses von Stallhaltungsformen auf die  
Tiergewohnheiten  
Tierzüchter 18 (1966), S. 834 - 837
- (38) EKESBO, I.:  
Die Einwirkung von verschiedenen Stall-  
typen auf den Gesundheitszustand der  
Milchkühe  
Wissenschaft und Fortschritt, Mai 1967, S. 208
- (39) ELLENBERGER, W.;  
BAUM, H.:  
Handbuch der vergleichenden Anatomie  
der Haustiere  
Springer-Verlag 1974, 18. Auflage
- (40) EWBANK, R.:  
A possible correlation, in one herd,  
between certain aspects of the lying  
behaviour of tied-up dairy cows and the  
distribution of subclinical mastitis  
among the quarters of their udders  
Vet. Rec. 78 (1966), S. 299 - 300
- (41) FESZL, L.:  
Biometrische Untersuchungen der Boden-  
fläche der Rinderklauen und die Belastungs-  
verteilung auf die Extremitätenpaare  
Zentralblatt f. Vet. Med., Reihe A,  
Band 15 (1968), S. 844 - 866
- (42) FINDLAY, J.D.:  
Farm Animals and High Temperatures  
Brit. agric. Bull (1953), 6, S. 212 - 216
- (43) GARY, L.A.:  
Behaviour of Cherolais Cattle on Pasture  
J. Anim. Sci. 30 (1970), S. 203 - 206
- (44) GOODALL, A. M.:  
Arterio-Venous Anastomoses in the Skin  
of the Head and Ears of the Calf  
zitiert bei LYHS, L. (87)
- (45) GRAVERT, H.:  
Die Widerstandsfähigkeit der Rinderklauen,  
ein ökonomischer Faktor der industriellen  
Milch- und Fleischproduktion  
Kurzbericht Int. Symp. Industrialisierung  
der Tierzucht 25.8.1970

- (46) GRAVERT, H.;  
RIEMANN, U.;  
CAMARA, S.: Die Erbllichkeit der Klauenabnutzung  
bei Rindern  
Züchtungskunde 41 (1969), S. 194
- (47) GRÖBER, H.;  
ERK, S.;  
GRIGULL, U.: Wärmeübertragung  
3. Auflage  
Springer-Verlag, Berlin, Göttingen,  
Heidelberg 1963
- (48) GROMMERS, F.J.: Heat Loss from Animals by Conduction  
to the Floor  
Europ. Ass. Anim. Prod. Comm. on Animal  
Management and Health, Hungary 1970
- (49) GROMMERS, F.J.  
et al.: Estimating Animal-Floor-Contact Areas  
J. Anim. Sci. 30 (1970), S. 552 - 555
- (50) GROMMERS, F.J.  
et al.: Swine-Floor Contact Area as a Function  
of Body Weight and Pasture  
J. Animal Sci. 31 (1970), S. 1232 - 1234
- (51) GROTH, W.: Anforderungen der Tierhygiene an neu-  
zeitliche Rindviehställe  
KTBL Manuskript Nr. 22  
Bericht der Tagung am 14.10.1969 in  
Weihenstephan
- (52) GRUNERT, E.;  
FRERKING, H.: Beobachtungen über die Zunahme von  
hochgradigen Zitzenverletzungen in den  
letzten 15 Jahren im norddeutschen Raum  
Deutsche tierärztliche Wochenschrift, 76  
(1969), S. 1 - 7
- (53) HANNUSCH, D.: Der Umbau von Milchviehställen als Er-  
gebnis funktioneller, bautechnischer und  
investitionsabhängiger Überlegungen  
KTBL-Bauschriften H. 2, 1969
- (54) HANNUSCH, D.: Vergleichende Messungen zur Wärmeabfüh-  
rung auf Spaltenböden  
Bauen auf dem Lande (1970), 2
- (55) HAPP, E.: Der Einfluß neuzeitlicher Haltungsformen  
auf die Milchleistung  
Der Tierzüchter 18 (1966), S. 734 - 735
- (56) HASSENBERG, L.: Ruhe und Schlaf bei Säugetieren  
Neue Brehm-Bücherei, Ziesen Verlag  
Wittenberg (1965)
- (57) HAUPTMANN, J.: Verhalten von Milchkühen in modernen  
Stallanlagen  
Tierzucht 23 (1969), S. 491 - 494

- (58) HEIDERMANNS, K.: Grundzüge der Tierphysiologie  
Gustav Fischer Verlag Stuttgart 1957
- (59) HEIDRICH, H.-D.;  
ARCULARIS, K.;  
GÜNTHER, M.;  
MARKAU, W.;  
WOLL, E.: Zur Entstehung einiger Gesundheits-  
schäden bei Kühen in Kotrostanbindeställen  
Monatshefte für Veterinärmedizin 23  
(1968), S. 856 - 861
- (60) HERZ, A.;  
STEINHAUF, D.: Untersuchungen zur Thermoregulation  
beim Schwarzbunten Rind in Israel  
1. Mitt., Prüfung von Umwelteinflüssen  
an vier verschiedenen Standorten  
Int. Tierzucht und Zücht. Biologie 90  
(1973), S. 204 - 214
- (61) HESSELBARTH, K.: Auswirkungen der einstreulosen Aufstallung  
auf die Tiere und ihre Produktion  
Baubrief Echem 11 (1967), S. 10 - 14
- (62) HILLEBRAND, W.: Wärmestromdichten und Temperaturen zwischen  
liegenden Kühen und dem Stallfußboden in  
verschiedenen Laktationsstadien  
Diplomarbeit Weißenstephan, 1973
- (63) HIMMEL, U.: Untersuchungen zum Verhalten von Kühen  
auf der Weide  
Diss. Jena 1964
- (64) HUBER, G.;  
AVERDUNK, G.;  
KOLLER, G.: Zum Liegeverhalten von Mastbullen im An-  
binde- und Laufstall  
Sonderdruck aus "Bayerisches Landwirtschaft-  
liches Jahrbuch" 51. Jahrg. Heft 3, 1974
- (66) KALICH, J.: Neue Stallformen und ihre Auswirkungen auf  
das Tier  
Bayer. Landw. Jahrbuch 45 (1968), S. 542 - 556
- (66) KÄMMER, P.;  
SCHNITZER, U.: Die Stallbeurteilung am Beispiel des Aus-  
ruhverhaltens von Milchkühen  
KTBL Darmstadt 1975
- (67) KAUL, H. G.: Stalllufttemperatur und Gestaltung der  
Liegeflächen für die Tiere  
Agrartechnik 25 (1975), S. 81 - 83
- (68) KIRCHGESSNER, M.: Tierernährung  
DLG-Verlag Frankfurt/Main 1970
- (69) KLEIBER, H.: Liegezeitenvergleich von Leistungskühen bei  
Anbindehaltung mit Stroheinstreu und stroh-  
loser Haltung auf Gummimatten  
Archiv f. Tierzucht 9 (1966), S. 139 - 143

- (70) KLEIBER, H.: Probleme und Maßnahmen bei der Haltung von Milchvieh in großen Produktionseinheiten  
Tierzucht 19 (1965), S. 471 - 477
- (71) KLEIBER, M.: Der Energiehaushalt von Mensch und Haustier  
Verlag Paul Parey, Hamburg 1969
- (72) KLEIN-HESSLING, P.: Gesundheitsschäden bei der einstreulosen Gitterrostaufstallung  
Der Tierzüchter 18 (1966), S. 79 - 81
- (73) KNEZEVIC, P.: Stallklauenbildung und Leistungen des Rindes  
Mitt. Tierheilkunde 66 (1960), S. 1 ff
- (74) KOCH, G.: Ethologische Studien der Rinderherden unter verschiedenen Haltungsbedingungen  
Diss. München 1968
- (75) KOLB, E.: Lehrbuch der Physiologie der Haustiere  
Gustav Fischer Verlag Jena, 1967
- (76) KOLLER, G.: Optimale Tierhaltung durch konstruierte Umwelt?  
Kraftfutter 55 (1972), S. 458 - 460
- (77) KOLLER, G.;  
MATZKE, P.;  
SÜSS, M.: Forderungen an die tiergerechte Gestaltung von Anbinde- und Laufställen  
Verlag für wissenschaftliche Arbeiten in der Landwirtschaft, Schriftenreihe Rind Heft 2, 1975
- (78) KÖNEKAMP, A.H.: Tagesablauf von Kühen auf der Weide  
zitiert bei PORZIG, E. (113)
- (79) KROMAYER, C.: Zum Verhalten von Kühen in Boxenliegeställen  
Fragen der Verhaltensforschung bei Rind und Schwein, Internat. Kolloquium am 25./26. März 1965 in Leipzig
- (80) LIEBENBERG, O.: Physiologische und psychologische Fragen bei der Haltung von Rindern in Großbetrieben  
Tierzucht 19 (1965), S. 490 - 496
- (81) LIEBENBERG, O.: Verhaltensforschung beim Rind unter besonderer Berücksichtigung der Großgruppenhaltung bei Milchkühen  
Inform. sozialist. Landwirtsch. Bez. Schwerin 4 (1966), Nr. 9, S. 502 - 506

- (82) LIEBENBERG, O.: Ein Beitrag zur Verhaltensforschung bei der Gruppenhaltung von Kälbern und Milchkühen in Laufställen  
Sitzungsber. Dtsch. Akad. Landwirtschaft Berlin 15 (1966), S. 5 - 24
- (83) LÖFFLER, K.: Anatomie und Physiologie der Haustiere  
Ulmer Verlag Stuttgart 1970
- (84) LÖFFLER, K.: Zur Blutgefäßversorgung der Haut des Rindes  
Berl. und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 79 (1966), S. 365 - 367
- (85) LORENZ, K.: Über tierisches und menschliches Verhalten  
Aus dem Werdegang der Verhaltenslehre  
München 1965, Piper, Gesammelte Abhandlungen Band 1
- (86) LUSTIG, W.L.;  
CAMMERER, J.S.: Messung der Wärmeabgabe von Mensch und Tier  
Allgemeine Wärmetechnik 5 (1954),  
S. 146 - 153
- (87) LYHS, L.: Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere  
VEB G. Fischer Verlag Jena, 1971
- (88) LYHS, L.: Grundlagen und neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Temperaturregulation  
Monatshefte für Veterinärmedizin 22 (1967),  
S. 721 - 726
- (89) MATTIG, W.: Die neuen Maßeinheiten  
Mitteilungen der DLG (1974), S. 667 - 960
- (90) MATZKE, P.;  
KOLLER, G.: Haltungsbedingte Euterschäden beim Milchvieh  
Der Tierzüchter 23 (1971), S. 558 - 560
- (91) MATZKE, P.;  
KOLLER, G.: Haltungsbedingte Beinschäden beim Rind  
Der Tierzüchter 23 (1971), S. 505 - 506
- (92) MATZKE, P.;  
KOLLER, G.;  
SÜSS, M.: Verhüten von Haltungsschäden  
II Milchvieh in Freß- und Liegeboxenställen  
DLP, 97 (1974), S. 5
- (93) Mc LEAN, J.A.: The Partition of insensible Losses of Body Weight and Heat from Cattle under various climatic Conditions
- (94) MEYER-ÖTTING, K.: Reaktion von Milchrindern unterschiedlicher Nutzungsrichtung auf Formen strohloser Aufstallung  
Diss. Göttingen 1974

- (95) MEYER-ÖTTING, K.  
et al.: Zum Verhalten von Milchkühen bei unterschiedlichen Haltungsbedingungen  
Tierzüchter 27 (1975), S. 142 - 146
- (96) MEISSNER, R.;  
FUCHS, G.: Lahmheitsursachen und prophylaktische Maßnahmen zur Verhütung von Klauenschäden in Rinderanlagen mit strohloser Haltungsform  
Tierzucht 24 (1970), S. 331
- (97) METZNER, R.: Unveröffentlichtes Manuskript
- (98) MOUNT, L.E.: The Heat-Loss from new-born Pigs to the Floor  
Res. Vet. Sci. 8 (1967), S. 175
- (99) NACHTIGALL, W.: Biotechnik  
UTB Quelle & Meyer, Heidelberg 1971
- (100) NEHRING, K.: Lehrbuch der Tierernährung und Futtermittelkunde  
Neumann Verlag Radebeul, Berlin 1963
- (101) NICHELMANN, M.: Physiologische Regulationsmechanismen der Nahrungsaufnahme  
Mh. Vet. Med. 25 (1970), S. 513 - 528
- (102) NICHELMANN, M.: Besonderheiten der physikalischen Temperaturregulation beim Kaninchen  
Mh. Vet. Med. 27 (1972), S. 782 - 789
- (103) NICHELMANN, M.: Der Wärmehaushalt beim Rind  
In: LYHS, L. (87)
- (104) NICHELMANN, M.;  
LYHS, L.: Physiologische Mechanismen der Temperaturregulation bei landwirtschaftlichen Nutztieren  
Arch. Tierzucht, 16 (1973), S. 285 - 302
- (105) NICHELMANN, M.;  
ROTT, M.;  
ROHLING, H.;  
LYHS, L.: Berechnung der Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe beim Broilerkaninchen  
Archiv für Tierzucht 17 (1974), S. 139 - 145
- (106) NICHELMANN, M.;  
THOMAS, E.;  
LYHS, L.: Beziehungen zwischen Umgebungstemperatur und Energieumsatz  
Mh. Vet. Med. 29 (1974), S. 656 - 661
- (107) NICHELMANN, M.;  
ROTT, M.;  
ROHLING, H.: Untersuchungen zur evaporativen Wärmeabgabe beim Kaninchen  
Mh. Vet. Med. 29 (1974), S. 261 - 266
- (108) OBER, J.: Die Wärmeleitung von Fußbodenflächen in Viehställen  
Bauen auf dem Lande, 16 (1965), S. 40 - 42

- (109) OBER, J.: Holzpflasterbelag für Stand- und Liegeplätze  
Mitt. DLG, 83 (1968), S. 37 - 38
- (110) OBER, J.;  
KIESL, H.P.: Stallfußböden  
Ein Erfahrungsbericht  
Schr. Reihe der ABTL Nordrhein-Westfalen  
H. 11 (1970)
- (111) OBER, J.;  
KIESL, H.P.: Wärmeableitung von Stand- und Buchtenfußböden mit und ohne Einstreu und mit perforierter Fläche in Viehställen  
Bayer. Landw. Jahrb. 41 (1964), S. 971 - 986
- (112) OBER, J.;  
KIESL, H.P.: Differenzierte Gewichtsbestimmungen an Rindern und Schweinen als Grundlagen von Belastungsannahmen für Balken von perforierten Stallfußböden  
Bayer. Landw. Jahrb. 42 (1965), S. 971 ff
- (113) PORZIG, E.: Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere  
Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1969
- (114) PORZIG, E.: Die Bedeutung verhaltenswissenschaftlicher Untersuchungen bei Rindern  
Mh. Vet. Med. 30 (1975), S. 241 - 244
- (115) RAISCH, E.;  
SCHROPP, K.: Die thermoelektrische Temperatur- und Wärmeflußmessung  
Mitt. Forschungsheim f. Wärmeschutz  
H. 8, 1930
- (116) RECKNAGEL-SPRENGER  
(Hrsg.) SPRENGER, E.: Taschenbuch für Heizung, Lüftung, Klimatechnik  
56. Auflage  
R. Oldenbourg-Verlag München-Wien 1970
- (117) REDECKER, R.: Hautdurchblutungs- und Hauttemperaturmessungen unter Wärmebelastung beim Deutschen Schwarzbunten Rind  
Diss. Hannover, 1972
- (118) REINBRECHT, L.: Untersuchungen zum Verhalten von Milchkühen im Anbindestall und im Laufstall  
Kühn Archiv Band 83 (1969), S. 337 - 388
- (119) REINDERS, H.: Wärmeaustausch durch Strahlung  
VDI-Verlag Düsseldorf 1961
- (120) REINER, W.M.: Verhaltensforschung bei Nutztieren  
KTBL-Schrift 174  
Landwirtschaftsverlag Hiltrup 1973

- (121) RIST, M.: Zur Wärmeableitung von Tierlagerbelägen  
Schweizerische Landwirtsch. Forschung 1  
12 (1973), S. 81 - 102
- (122) RIST, M.: Kurzstände für Milchvieh  
Bauen auf dem Lande 22 (1971), S. 219 - 223
- (123) SACHS, L.: Statistische Auswertungsmethoden  
2. Auflage  
Springer-Verlag Berlin 1969
- (124) SAMBRAUS, H.H.: Zum Liegeverhalten der Wiederkäuer  
Züchtungskunde 43 (1971), S. 187 - 198
- (125) SCHEURMANN, E.: Die Ruhelagen des Kalbes  
KTBL Frankfurt 1971
- (126) SCHLICHTING, M.C.: Belastungen von Stallböden durch  
landwirtschaftliche Nutztiere I und II  
Der Tierzüchter 22 (1970), S. 642 - 644,  
S. 710 - 711
- (127) SCHNABEL, W.: Prüfung von Fußbodenbelägen und Boxen-  
abtrennungen in einstreulosen Boxenlauf-  
ställen  
Betriebswirtschaftl. Mitteilungen der  
Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein  
Nr. 150, 1967, S. 3 - 13
- (128) SCHNITZER, U.: Abliegen, Liegestellungen und Aufstehen  
beim Rind im Hinblick auf die Entwick-  
lung von Stalleinrichtungen für Milchvieh  
KTBL-Bauschrift 10, 1971
- (129) SCHÖBESCH, O.: Technopathien als Folge von Massentier-  
haltung  
Tierärztl. Umschau 26 (1971), S. 370 - 377
- (130) SCHOLZ, K.;  
HIMMEL, U.;  
LIPS, C.: Problematik, Methodik und Ergebnisse von  
Untersuchungen zum Verhalten der Rinder  
und Schweine in Großbeständen  
Archiv Tierzucht 7 (1964), S. 3 - 20
- (131) SEATH, D.M.;  
MILLER, G.D.: The relative importance of high  
temperature and high humidity  
J. Dairy Sc. 29 (1946), S. 465 - 471
- (132) SEUFERT, H.: Verbesserungen an Aufstallungsformen für  
Rindvieh mit Hilfe photographischer Tier-  
beobachtung  
KTBL-Manuskript Nr. 22  
Bericht der Tagung am 14.10.1969 in Weihen-  
stephan

- (133) SEUFERT, H.: Liegeboxenlaufställe  
Arbeitsgemeinschaft zur Verbesserung  
der Agrarstruktur in Hessen e. V.  
H. 32, 1975
- (134) STANZEL, H.: Temperatur- und Wärmestromverlauf auf  
einstreulosen Kuhliefleichen  
Tierärztl. Umschau 12 (1972), S. 583 ff
- (135) STOTTMEISTER, W.;  
LAMPRECHT, P.: Die Verhaltensweise der Kühe bei ein-  
streuloser Aufstallung und reduziertem  
Krippenabschnitt  
Deutsche Landwirtschaft 17 (1966), S. 352 - 356
- (136) SÜSS, M.: Beitrag zum Verhalten von Milchkühen in  
Frei- und Laufställen und herkömmlichen Laufställen  
Diss. Wien 1973
- (137) THIEM, M.: Einführung in die Technische Wärmelehre  
Carl Hauser Verlag, München 1967
- (138) TSCHIRCH, H.R.: Untersuchungen über das Verhalten von  
Milchkühen bei unterschiedlichen Hal-  
tungs-  
formen  
Diss. München 1969
- (139) WANDER, J.F.: Aufgaben der Arbeitsplatzgestaltung  
in der tierischen Produktion  
Landbauforschung Völkenrode 22 (1972),  
S. 133 - 136
- (140) WANDER, J.F.: Haltungsgerechte Einrichtung von An-  
binde- und Laufställen  
Landtechnik 23 (1968), S. 781 - 783
- (141) WANDER, J.F.: Tierverhalten als Beurteilungsmaßstab  
für Stallbauten  
Der Tierzüchter 23 (1971), S. 243 - 245
- (142) WANDER, J.F.: Verhaltensforschung beim Rind  
KTBL-Tagungsberichte 1971
- (143) WANDER, J.F.: Verhaltensuntersuchungen an Rindern in  
Anbinde- und Laufställen  
KTBL-Tagungsbericht "Neuzeitliche Rin-  
derställe und Tiergesundheit" 1969
- (144) WANDER, J.F.: Ergebnisse von Wahl- und Leistungsver-  
suchen mit Kühen in Leichtbauten  
Der Tierzüchter 26 (1974), S. 497 - 499

- (145) WANDER, F.J.;  
FRICKE, W.: Verhaltensuntersuchungen an Milchkühen als Planungsgrundlage für Kurzstände Landbauforsch. Völkenrode 17 (1967), S. 43 - 54
- (146) WEBER, A.: Liegeflächen aus Kunststoff in Viehställen Bauen auf dem Lande 18 (1967), S. 192 ff
- (147) WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik Gustav Fischer Verlag Stuttgart 1972
- (148) WENNER, H.-L.;  
SCHÖN, H.: Moderne Stallformen in der Rindviehhaltung Mitt. DLG 82 (1967), S. 1561 - 1566
- (149) WITTKÉ, G.: Physiologie der Haustiere Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg 1972
- (150) ZANNIER-TANNER, E.: Vergleichende Verhaltensuntersuchungen über das Hinlegen und Aufstehen bei Huftieren Z. Tierpsychol. 22 (1965), S. 696 - 722
- (151) ZEEB, K.: Kurzstandaufstallung und Rinderverhalten Zuchtwahl und Besamung (1969), S. 16 - 17
- (152) ZEEB, K.: Verhaltensforschung und Haustierhaltung Der Tierzüchter 16 (1964), S. 74 - 76
- (153) ZEEB, K.: Methodik der angewandten Verhaltensforschung Tagungsbericht KTBL Frankfurt 1972
- (154) BIANCA, W.: Die Anpassung des Haustieres an seine klimatische Umgebung Schweiz. landw. Forschung 10 (1971), S. 155 - 205
- (155) GÜNTHER, M.: Klauenkrankheiten VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1974
- (156) WANDER, J.F.: Erfahrungen mit Stallfußböden aus Kunststoffen in Rinderställen Vortragssammlung der Jahrestagung 1973 der Gesellschaft für Kunststoffe in der Landwirtschaft e. V., KTBL Darmstadt
- (157) Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Betriebswirtschaftliche und landtechnische Datensammlung für die Landwirtschaftsberatung in Bayern München 1966

9. Anhang

Anhangtab. 1: Übersicht über Wärmeströme und Randbedingungen bei Weideliegeflächen

Datum	Tageszeit	Lufttemperatur (°C)	Wärmestrom Anf. Ende (W/m <sup>2</sup> )	Wetter	Geländebe- schaffenheit	Liegeplatzbe- dingungen	Zahl der liegenden Tiere	
10. 7. 1974	Vormittag	17	103	72	bedeckt	offen	Grasnarbe	23
10. 7. 1974	Nachmittag	19	70	67	bedeckt	offen	Grasnarbe	3
11. 7. 1974	Vormittag	17	121	74	bedeckt/Reg.	offen	Grasnarbe	12
11. 7. 1974	Nachmittag	22	68	65	bedeckt	offen	Grasnarbe	28
16. 7. 1974	Nachmittag	30	18	51	Sonne	offen	Grasnarbe	5
22. 7. 1974	Vormittag	22	48	65	Sonne	offen	Grasnarbe	16
24. 7. 1974	Vormittag	22	90	74	bedeckt	offen	Grasnarbe	9
24. 7. 1974	Nachmittag	23	75	62	bedeckt	offen	Grasnarbe	9
25. 7. 1974	Vormittag	18	115	84	bedeckt	offen	Grasnarbe	11
25. 7. 1974	Nachmittag	18	94	70	bedeckt	offen	Grasnarbe	12
30. 7. 1974	Vormittag	26	-66	-8	Sonne	offen	Kies	14
30. 7. 1974	Nachmittag	29	39	51	Sonne	offen	Kies	8
12. 8. 1974	abends	14	165	74	wolkenlos	offen	Kies	6
16. 8. 1974	Vormittag	28	3	42	Sonne	offen	Kies	3
3. 9. 1974	Nachmittag	22	109	59	bedeckt	offen	Kies	3
6. 9. 1974	Vormittag	22	93	93	Sonne	offen	Kies	3
11. 9. 1974	Vormittag	15	219	118	Sonne	offen	Kies	7
13. 9. 1974	Vormittag	16	168	124	Sonne	offen	Erdreich	3
30. 9. 1974	Vormittag	12	259	123	Sonne	offen	Grasnarbe	3

Anhangtab. 2 : Korrelationen zwischen Bodentemperatur und Liegeverhaltensparametern bei Tier 3

VARIABLE	MITTELWERT	STANDARDABWEICHUNG	KORRELATION MIT ZIELGRÖSSE
2 FREQUTAG	3.23333	1.25075	0.63805
3 DAUERTAG	244.66667	87.97466	0.26711
4 FREQUAC	6.63333	1.95613	0.39964
5 DAUERNAC	507.50000	115.69691	-0.06244
6 MITTELTG	83.60000	34.23308	-0.14030
7 MITTELNT	81.13333	22.64377	-0.38707
8 TRANS1+	9.86667	2.95639	0.53437
9 TRANS2+	752.16667	175.01076	0.09299
10 TRANS3QU	11.96667	8.40970	0.64738
11 TRANS4QU	67343.33333	40099.18894	0.21972
12 TRANS5QU	47.70000	28.11326	0.37890
13 TRANS6QU	270495.83333	110135.69159	0.06064
14 TRANS7QU	8121.80000	5982.89280	0.09930
15 TRANS8QU	7078.26667	3622.43619	0.34333
16 TRANS9QU	105.80000	61.91897	0.51633
17 TRANS10Q	595362.50000	237382.86600	0.09275

ZIELGRÖSSE

1 BODENTEMPERATUR	293.40000	16.51457
-------------------	-----------	----------

EINFACHE KORRELATIONEN FÜR DIE EINGELESENEN 30 DATENSÄTZE

	2=PREQUTAG	3=DAUERTAG	4=PREQUAC	5=DAUERNAC	6=MITTELTG	7=MITTELNT	8=TRANS1+
2=PREQUTAG	1.00000						
3=DAUERTAG	0.24830	1.00000					
4=PREQUAC	0.68450	0.14955	1.00000				
5=DAUERNAC	-0.10902	0.46684	0.34777	1.00000			
6=MITTELTG	-0.61545	0.46888	-0.40186	0.43558	1.00000		
7=MITTELNT	-0.72314	0.16724	-0.72364	0.34999	0.70542	1.00000	
8=TRANS1+	0.87597	0.20400	0.95125	0.18398	-0.52627	-0.78474	1.00000
9=TRANS2+	0.05275	0.81130	0.30508	0.89576	0.52365	0.31544	0.22418
10=TRANS3QU	0.97771	0.11184	0.68048	-0.17198	-0.65559	-0.74983	0.86388
11=TRANS4QU	0.24371	0.97169	0.12555	0.39760	0.41059	0.12616	0.18818
12=TRANS5QU	0.66401	0.13562	0.97862	0.29814	-0.39942	-0.69876	0.92341
13=TRANS6QU	-0.12666	0.42141	0.35434	0.99398	0.42944	0.34700	0.18087
14=TRANS7QU	-0.61279	0.30675	-0.38569	0.33255	0.95953	0.62361	-0.51444
15=TRANS8QU	-0.69275	0.08643	-0.71702	0.29792	0.65819	-0.98560	-0.76751
16=TRANS9QU	0.85151	0.14368	0.94314	0.13073	-0.54311	-0.78310	0.92428
17=TRANS10Q	0.06995	0.80113	0.33778	0.88855	0.48794	0.27464	0.25308
	9=TRANS2+	10=TRANS3QU	11=TRANS4QU	12=TRANS5QU	13=TRANS6QU	14=TRANS7QU	15=TRANS8QU
9=TRANS2+	1.00000						
10=TRANS3QU	-0.05747	1.00000					
11=TRANS4QU	0.75129	0.11222	1.00000				
12=TRANS5QU	0.26527	0.67058	0.10956	1.00000			
13=TRANS6QU	0.86894	-0.17989	0.35764	0.31205	1.00000		
14=TRANS7QU	0.37404	-0.61302	0.27110	-0.38454	0.33740	1.00000	
15=TRANS8QU	0.24040	-0.70378	0.04373	-0.68517	0.30314	0.59807	1.00000
16=TRANS9QU	0.15865	0.86159	0.12678	0.95372	0.13669	0.51990	-0.75577
17=TRANS10Q	0.99012	-0.03703	0.76595	0.29998	0.87162	0.34806	0.20113
	16=TRANS9QU	17=TRANS10Q					
16=TRANS9QU	1.00000						
17=TRANS10Q	0.19109	1.00000					

1)  
Anhangtab. 3: Signifikanz der Mittelwertunterschiede des Wärmestromes am Anfang, in der Mitte und am Ende der Liegeperiode zwischen den Temperatureinstellungen bei 20°C in den Versuchsabschnitten I und II

Temperatur Tier		Versuchsabschnitt					
		I			II		
		1/3	1/5	3/5	1/3	1/5	3/5
max.	1	-	-	-	+	+	-
	2	-	+	+	-	-	-
	3	-	-	-	+	-	+
Mitte	1	-	-	-	+	-	-
	2	-	+	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
Ende	1	-	-	-	+	-	-
	2	-	-	-	+	-	-
	3	-	-	-	-	-	-

1)  
Anhangtab. 4: Signifikanz der Mittelwertunterschiede des Wärmestromes am Anfang, in der Mitte und am Ende der Liegeperiode zwischen den Temperatureinstellungen bei 20°C und Kühltemperaturen in den Versuchsabschnitten I und II

Temperatur Tier		I			II		
		2/1	2/3	2/5	2/1	2/3	2/5
max.	1	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+
Mitte	1	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+
Ende	1	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+

1)  
Anhangtab. 5: Signifikanz der Mittelwertunterschiede des Wärmestromes am Anfang, in der Mitte und am Ende der Liegeperiode zwischen den Temperatureinstellungen bei 20°C und 35°C im Versuchsabschnitt II

Temperatur Tier		Versuchsabschnitt II		
		4/1	4/3	4/5
max.	1	+	+	+
	2	+	+	+
	3	+	+	+
Mitte	1	+	+	+
	2	+	+	+
	3	+	+	+
Ende	1	+	+	+
	2	+	+	+
	3	+	+	+

1) statistische Irrtumswahrscheinlichkeit = 5 %.

Anhangtab. 6: Signifikanz der Mittelwertunterschiede des Wärmestromes am Anfang, in der Mitte und am Ende der Liegeperiode zwischen den Versuchstieren bei Temperatureinstellungen von 20°C in den Versuchsabschnitten I und II

Tier		Versuchsabschnitt					
		I			II		
Temperatur		1/2	1/3	2/3	1/2	1/3	2/3
max.	1	-	+	+	-	-	-
	3	-	-	-	+	-	+
	5	+	+	+	+	+	-
Mitte	1	-	-	+	-	-	-
	3	-	-	-	+	+	+
	5	-	-	-	+	+	+
Ende	1	-	+	+	+	-	-
	3	-	-	-	+	-	+
	5	-	-	-	-	-	-

Anhangtab. 7: Signifikanz der Mittelwertunterschiede des Wärmestromes am Anfang, in der Mitte und am Ende der Liegeperiode zwischen den Versuchstieren bei Temperatureinstellungen von -15°C, -4°C und 35°C

Tier		Versuchsabschnitt					
		I			II		
Temperatur		1/2	1/3	2/3	1/2	1/3	2/3
max.	2	+	+	+	+	+	+
	4	-	-	-	+	+	-
Mitte	2	+	+	+	+	+	+
	4	-	-	-	+	+	+
Ende	2	+	+	+	+	+	-
	4	-	-	-	+	+	+

Anhangtab. 8: Mittelwerte der Wärmestromdichte am Anfang, in der Mitte und am Ende der Liegeperiode in den Versuchsabschnitten I und II

Tier	Versuchsabschnitt	I				II				
		1	2	4	5	1	2	3	4	5
1	max.	143,8	567,3	142,8	131,0	131,0	477,8	167,1	51,8	154,8
	Mitte	109,0	466,1	106,8	101,8	101,8	346,4	128,0	42,4	128,0
	Ende	108,2	412,3	107,8	94,9	94,9	311,4	112,7	44,0	104,8
2	max.	151,6	678,3	132,9	109,0	132,0	444,3	113,1	14,7	114,4
	Mitte	114,7	538,9	103,4	94,1	104,8	289,0	96,2	8,3	95,1
	Ende	110,4	491,0	104,3	90,6	105,6	254,0	91,2	14,7	96,6
3	max.	122,1	477,1	136,4	117,3	133,8	420,7	154,6	29,1	128,7
	Mitte	96,9	400,4	110,4	85,4	104,4	270,6	116,4	24,9	108,3
	Ende	95,3	370,6	103,8	84,8	99,0	247,8	108,3	24,9	104,8

Anhangtab. 9: Signifikanz<sup>1)</sup> der Mittelwertunterschiede der Liegedauer, der Liegefrequenz und der durchschnittlichen Liegedauer je Liegen zwischen den Temperatureinstellungen mit 20°C in den Versuchsabschnitten I und II

Temperatur Tier		Versuchsabschnitt											
		I						II					
		1/3		1/5		3/5		1/3		1/5		3/5	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Dauer	1	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
	3	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-
Frequenz	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	2	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+
	3	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Ø Dauer	1	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+
	2	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-

Anhangtab. 10: Signifikanz<sup>1)</sup> der Mittelwertunterschiede der Liegedauer, der Liegefrequenz und der durchschnittlichen Liegedauer je Liegen zwischen den Temperatureinstellungen von 20°C und den Kühltemperaturen in den Versuchsabschnitten I und II

Temperatur Tier		Versuchsabschnitt											
		I						II					
		2/1		2/3		2/5		2/1		2/3		2/5	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Dauer	1	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-
	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
	3	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-
Frequenz	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-
	3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Ø Dauer	1	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	3	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+

Anhangtab. 11: Signifikanz<sup>1)</sup> der Mittelwertunterschiede der Liegedauer, der Liegefrequenz und der durchschnittlichen Liegedauer je Liegen zwischen den Temperatureinstellungen mit 20°C und den Heiztemperaturen in den Versuchsabschnitten I und II

Temperatur Tier		Versuchsabschnitt											
		I						II					
		4/1		4/3		4/5		4/1		4/3		4/5	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Dauer	1	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	2	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-
	3	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-
Frequenz	1	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-
	2	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
	3	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Ø Dauer	1	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-
	2	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	3	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-

<sup>1)</sup> Statistische Irrtumswahrscheinlichkeit = 5 %

Anhangtab. 12: Signifikanz<sup>1)</sup> der Mittelwertunterschiede der Liegedauer, der Liegefrequenz und der durchschnittlichen Liegezeit je Liegen zwischen den Versuchstieren bei der Temperatureinstellung von 20°C in den Versuchsabschnitten I und II

Temperatur	Tier	Versuchsabschnitt											
		I						II					
		1/2		1/3		2/3		1/2		1/3		2/3	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Dauer	1	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
	3	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-
	5	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-
Frequenz	1	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
	5	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Ø Dauer	1	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
	5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-

Anhangtab. 13: Signifikanz<sup>1)</sup> der Mittelwertunterschiede der Liegedauer, der Liegefrequenz und der durchschnittlichen Liegezeit je Liegen zwischen den Versuchstieren bei der Temperatureinstellung von -15°C, -4°C, 35°C und 50°C

Temperatur	Tier	Versuchsabschnitt											
		I						II					
		1/2		1/3		2/3		1/2		1/3		2/3	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Dauer	2	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Frequenz	2	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Ø Dauer	2	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+
	4	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-

<sup>1)</sup> Statistische Irrtumswahrscheinlichkeit = 5 %

Anhangtab. 14: Mittelwerte der Liegedauer, der Liegefrequenz und der durchschnittlichen Liegedauer je Liegen der Versuchstiere bei den Temperatureinstellungen der Versuchsabschnitte I und II

Tier	Versuchsabschnitt																			
	I										II									
	Liegedauer in Minuten																			
	1		2		3		4		5		1		2		3		4		5	
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
1	153,3	338,3	103,3	235,0	173,3	451,7	101,7	198,3	251,7	456,7	251,7	456,7	123,3	406,7	143,3	356,7	155,0	393,3	191,7	401,7
2	306,7	563,3	216,7	366,7	293,3	546,7	226,7	450,0	320,0	570,0	343,3	580,0	250,0	486,7	350,0	645,0	330,0	653,3	281,7	600,0
3	321,7	523,3	100,0	365,0	281,7	493,3	151,7	350,0	285,0	368,3	220,0	646,7	195,0	608,3	300,0	605,0	260,0	545,0	331,7	570,0
Frequenz																				
1	1,0	3,0	1,3	4,7	1,0	3,0	2,7	5,3	1,7	3,0	1,7	3,0	2,3	4,0	2,0	3,3	1,3	2,3	1,0	2,7
2	4,0	6,7	5,7	12,0	5,0	7,0	8,3	19,3	4,0	6,7	4,7	9,0	4,7	7,3	5,0	9,0	5,3	9,7	3,7	6,7
3	4,0	6,3	2,3	5,7	3,3	6,0	5,3	8,3	2,3	3,7	2,7	8,0	2,0	5,7	3,0	7,0	4,0	8,3	3,3	7,3
Ø Liegedauer in Minuten																				
1	153,3	114,7	77,7	52,7	173,3	150,7	41,7	38,0	156,0	152,3	156,0	152,3	54,3	113,3	66,7	110,0	137,7	172,0	191,7	158,7
2	79,7	87,3	39,0	33,3	61,7	89,7	29,0	29,0	80,0	85,0	76,0	64,3	58,7	68,7	72,0	72,7	62,3	67,3	77,3	90,3
3	80,3	84,7	45,7	67,7	86,3	83,0	28,3	42,0	121,3	103,0	108,3	89,3	97,7	108,0	101,0	87,3	65,3	67,0	101,7	79,3

Anhangtabelle 15: Gesamtbeobachtungsdauer und Belegdauer von Standplätzen absolut und in % der Gesamtbeobachtungsdauer vom Standplatz mit gleicher Belagsart bei stehendem und liegendem Boxenaufenthalt

Belagsart	1. Tag					2. Tag					3. Tag					Beobachtungsdauer								
	Beobachtungsdauer					Beobachtungsdauer					Beobachtungsdauer					Beobachtungsdauer								
	gesamt	Boxenbelegung				gesamt	Boxenbelegung				gesamt	Boxenbelegung				gesamt	Boxenbelegung							
		Liegen		Stehen			Liegen		Stehen			Liegen		Stehen			Liegen				Stehen			
	min	min	%	min	%	min	min	%	min	%	min	min	%	min	%	min	min	$\bar{x}$	s	%	min	$\bar{x}$	s	%
D 1	2580	280	10,9	250	9,7	2640	420	15,9	160	6,1	2640	300	11,4	230	8,7	7860	1000	333,3	75,7	12,7	640	213,3	47,3	8,2
A 3	2580	60	2,3	120	4,7	2640	790	29,9	500	18,9	2640	150	5,7	180	6,8	7860	1000	333,3	398,0	12,6	800	266,7	204,3	10,1
A 2	2480	0	0	260	10,5	2640	610	23,1	80	3,0	2640	470	17,8	190	7,2	7760	1080	360,0	319,5	13,6	530	176,7	90,7	6,9
A 1	2580	490	19,0	120	4,7	2210	40	1,8	270	12,2	2200	540	24,5	700	31,8	6990	1070	356,7	275,4	15,1	1090	363,3	301,1	16,2
C 2	2260	670	26,7	750	33,2	2640	320	12,1	120	4,5	2640	480	18,2	280	10,6	7540	1470	490,0	175,2	19,0	1150	383,3	327,5	16,1
C 1	2580	290	11,2	260	10,1	2640	1050	39,8	660	25,0	2640	900	34,1	530	20,1	7860	2240	746,7	402,5	28,4	1450	483,3	204,0	18,4
B 1	2150	1250	58,1	490	22,8	2200	1330	60,5	360	16,4	2200	1130	51,4	280	12,7	6550	3710	1236,7	100,7	56,7	1130	376,7	106,0	17,3

Anhangtab. 16: Signifikanz<sup>1)</sup> der Mittelwertunterschiede der Trittpositionen in Koordinaten der Standlängs- (y) und -querrichtung zwischen ruhendem und fressendem Stehen bzw. Halsrahmen- und Senkrechthanbindung

Variation Ex- tre- mität	GR·FRE / GR·RUH		HR·FRE / HR·RUH		HR·FRE / GR·FRE		HR·RUH / GR·RUH	
	y	x	y	x	y	x	y	x
vorne links	++	++	++	++	++	++	++	++
vorne rechts	++	++	++	++	++	++	++	++
hinten links	++	-	++	-	++	++	++	+
hinten rechts	++	++	++	-	++	++	++	++

1) Statistische Irrtumswahrscheinlichkeit = 5 %

+ signifikant verschieden

++ hochsignifikant verschieden

RUH = Ruhen

FRE = Fressen

HR = Halsrahmenanbindung

GR = Senkrechthanbindung

Anhangtab. 17: Mittelwert ( $Y_Q; X_Q$ ) und Standardabweichung ( $Y_S; X_S$ ) der Trittpositionen in Koordination der Standlängs (Y) und -querrichtung (X) bei Halsrahmen- und Senkrechtanbindung und bei ruhendem und fressendem Stehen in cm

Variation		fressendes Stehen				ruhendes Stehen			
Anbin- dung	Extremi- tät	$Y_Q$	$Y_S$	$X_Q$	$X_S$	$Y_Q$	$Y_S$	$X_Q$	$X_S$
GR	vo li	150,9	13,5	37,1	9,4	147,1	14,1	38,8	10,3
	vo re	152,5	12,3	65,8	9,7	148,8	14,3	64,9	9,3
	hi li	53,6	13,9	43,5	14,8	41,0	14,5	42,9	17,0
	hi re	55,0	13,5	75,6	14,2	40,4	14,2	73,9	15,5
HR	vo li	155,8	7,4	32,3	7,7	150,2	9,7	35,5	7,4
	vo re	158,0	8,5	62,5	6,4	151,7	10,9	60,8	7,6
	hi li	49,6	12,6	40,9	16,3	39,0	12,5	41,1	17,3
	hi re	50,4	13,6	71,7	13,4	38,0	12,7	71,4	13,9

Anhangtab. 18: Durchschnittliche Auftrittsfläche und Standardabweichung bei Klauensohlen von Klauen geschlachteter Rinder in Abhängigkeit von der Eindringtiefe in einen Schaumgummibelag

Extremität	Auftrittsfläche in cm <sup>2</sup>					
	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
vorne	77,50	3,50	100,50	5,50	116,00	5,00
	86,50	0,50	92,83	5,35	109,00	1,00
	75,00	3,00	90,00	3,00	97,00	1,00
hinten	64,00	9,00	86,50	6,50	92,50	4,50
	70,00	3,00	77,50	0,50	100,50	4,50
	67,00	5,00	99,00	6,00	108,50	0,50
	63,00	3,00	82,50	7,50	95,00	2,00
	88,00	5,00	97,00	2,00	104,50	1,50
	83,50	2,50	93,50	0,50	98,00	1,00
	72,00	1,00	93,00	2,00	98,50	0,50
	86,50	3,50	106,00	1,00	109,50	0,50
	69,50	0,50	84,50	1,50	87,50	1,50

Anhangtab. 19 : Kreisradius der Schnittebene AB (= a'), Höhe des Kugelsegmentes (= h) und Kugelsegmentradius (= r) bei abgewinkelten Karpalgelenken in cm

Kuh Nr.	rechtes Karpalgelenk			linkes Karpalgelenk		
	a'	h	r	a'	h	r
1	8,50	6,0	9,02	8,50	6,0	9,02
2	7,50	5,5	7,86	7,50	5,5	7,86
3	7,50	5,5	7,86	7,50	5,5	7,86
4	8,00	7,0	8,07	8,00	5,5	8,57
5	8,00	5,5	8,57	9,00	5,5	10,11
6	8,00	6,0	8,33	8,25	6,0	8,67
7	8,00	6,0	8,33	8,00	5,5	8,57
8	7,75	5,5	8,21	8,25	6,0	8,67
9	7,50	6,5	7,58	7,50	6,5	7,58
10	8,50	6,0	9,02	8,25	6,0	8,67
11	7,50	5,5	7,86	7,50	5,5	7,86