

Aus dem Institut für
Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle

**Die Implementierung der Elektrobetäubung
im zugelassenen Schlachtbetrieb
beim Rind**

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

von Christopher Andreas Aichinger
aus München

München 2003

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. R. Stolla

Referent: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. W. Klee

Tag der Promotion: 18.Juli 2003

Für meine Familie

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampère
Abb.	Abbildung
ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosintriphosphat
BSE	Bovine Spongiforme Enzephalopathie
ECoG	Elektrocorticogramm
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
EU	Europäische Union
DCM	Dark Cutting Meat
DFD	Dark Firm Dry
h	Stunde
Hz	Hertz
Kap.	Kapitel
M.	Musculus
M. long. dorsi	Musculus longissimus dorsi
Min.	Minute
PSE	Pale Soft Exsudative
Tab.	Tabelle
ult.	Ultimativ
V	Volt
vgl.	vergleiche
ZNS	Zentrales Nervensystem

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATUR	3
2.1	Elektrobetäubung – Ältere Forschungen und Entwicklung	3
2.2.	Rechtliche Grundlagen	9
2.2.1	Tierschutzgesetz.....	9
2.2.2	Tierschutz-Schlachtverordnung.....	9
2.2.3	Fleischhygienegesetz.....	10
2.3	Betäubungsverfahren beim Rind	11
2.3.1	Allgemeines.....	11
2.3.2	Bolzenschußbetäubung.....	11
2.3.3	Schuß-Schlag-Betäubung	14
2.3.4	Elektrobetäubung	15
2.4	Physiologische Grundlagen	17
2.4.1	Epileptiformer Anfall und EEG / ECoG.....	17
2.4.2	Epileptiformer Anfall und Neurotransmitter.....	19
2.4.3	Epileptiformer Anfall und sichtbare Veränderungen am Tier.....	21
2.4.4	Herzaktion und EKG	23
2.4.5	Bewußtsein und mögliche Untersuchungsparameter.....	25
2.4.6	Die Verhältnisse der cerebralen Blutversorgung beim Rind.....	28
2.5	Der Stromfluß und mögliche Beeinträchtigungen	30
2.6	Elektrobetäubung und BSE-Problematik	33

2.7	Elektrobetäubung und Fleischqualität	34
2.7.1	pH-Wert-Entwicklung.....	34
2.7.1.1	Physiologische und biochemische Vorgänge im lebenden Muskel.....	35
2.7.1.2	Physiologische und biochemische Vorgänge im Muskel post mortem.....	36
2.7.2	Einfluß der Elektrobetäubung auf die pH-Wert-Entwicklung.....	37
3	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	40
3.1	Der Schlachtbetrieb	40
3.2	Die Elektrobetäubungsanlage	40
3.3	Tiermaterial	43
3.4	Untersuchungsmethoden	45
3.4.1	Instrumente und Geräte	45
3.4.2	Methodik zur Überwachung des Betäubungserfolges	45
3.4.3	Methodik der EKG-Überwachung.....	46
3.4.4	Methodik der pH-Wert-Messung	47
4	ERGEBNISSE	48
4.1	Parameter zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität	48
4.1.1	Regelmäßige Atmung.....	48
4.1.2	Gerichtetes Sehen	53
4.1.3	Regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen.....	57
4.1.4	Lidreflex.....	62
4.1.4.1	Lidreflex mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen.....	63
4.1.4.2	Lidreflex ohne regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen	64

4.1.5	Schnappatmung	65
4.1.6	Tonisch-klonische Krämpfe	66
4.2	Objektive Überprüfung der Betäubungsqualität / EKG	68
4.2.1	EKG	68
4.2.2	Herzschlag mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen	70
4.3	Nachbetäubung / Bolzenschuß	71
4.3.1	Bolzenschuß mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen	75
4.3.2	Bolzenschuß und Abwehrbewegungen	79
4.4	Beurteilung der Fleischqualität / pH-Wert-Messung	84
5	DISKUSSION	89
5.1.	Beurteilung der Untersuchungsparameter bezüglich der Betäubungsqualität	89
5.1.1	Parameter zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität	89
5.1.2	EKG – Objektive Überprüfung der Betäubungsqualität	92
5.2	Beurteilung der Nachbetäubung	93
5.3	Beurteilung der pH-Wert-Messung	95
5.4	Beurteilung der Betäubungsqualität der Elektrobetäubung	96
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	99
7	ZUSAMMENFASSUNG	101

8	SUMMARY	103
9	LITERATURVERZEICHNIS	105

1 EINLEITUNG

Das Prinzip der Elektrobetäubung ist seit vielen Jahrzehnten bekannt und wurde erstmals an der Universität München im Jahre 1928 bei der Rinderschlachtung erprobt. Zahlreiche wissenschaftliche Forschungen trugen zum Verständnis und zur Verwirklichung dieses Verfahrens bei. Während die Betäubung durch elektrischen Strom in der Schweineschlachtung bereits in den 40er Jahren zur Methode der Wahl wurde, setzte sich bei den Rindern das Bolzenschußverfahren durch.

Im Zuge der BSE-Krise der letzten Jahre ergaben sich viele Konsequenzen, um die Menschen vor dem Konsum möglicherweise infektiösen Rindfleisches zu schützen. Intensive Untersuchungen der Betäubungstechniken ließen Zweifel an der Unbedenklichkeit der konventionellen Verfahren aufkommen. Der Einsatz des penetrierenden Bolzenschußverfahrens nämlich birgt die Gefahr der Verbreitung von ZNS-Material über den Kreislauf im Anschluß an die Betäubung. Einen weiteren Aspekt stellt die Kontamination sowohl des Schlachttierkörpers als auch der Mitarbeiter durch aus dem Einschußloch austretendes Nervengewebe dar. Eine Betäubung der Tiere mit elektrischem Strom gilt dagegen als sichere Methode bezüglich des Verbraucherschutzes, da weder massive Verletzungen des Schädels und des ZNS-Gewebes verursacht werden noch eine Verschleppung von Risikomaterial durch eine weiterhin bestehende Herzaktion ermöglicht wird.

Vor diesem Hintergrund wurde die Technologie der Elektrobetäubung von Rindern in einem zugelassenen Schlachtbetrieb in Deutschland eingeführt. Es handelt sich dabei um die erste auf dem europäischen Festland installierte Betäubungsanlage. Das Verfahren der elektrischen Betäubung von Rindern ist in Neuseeland weiterentwickelt worden und ist dort seit vielen Jahren in der Praxis erfolgreich etabliert. Zwar kann bei der Implementierung einer Anlage dieses Typs an die dortigen Erfahrungen angeknüpft werden, dennoch mußte das Verfahren an die europäischen Verhältnisse angepaßt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Qualität der Rinderbetäubung mit Strom im Sinne des Tierschutzes, aber auch des Arbeitsschutzes erstmals in einem routinemäßigen

Schlachtbetrieb unter Praxisbedingungen überprüft. Dabei sollte der Betäubungserfolg an einer großen Zahl einzelner Tiere sowohl visuell als auch durch den Einsatz von technischem Gerät untersucht werden. Zur Feststellung von postmortalen Veränderungen in der Muskulatur und Einflüssen der Elektrobetäubung auf die Fleischqualität wurden die pH-Werte bei verschiedenen Betäubungsstromstärken gemessen.

2 LITERATUR

2.1 Elektrobetäubung – Ältere Forschungen und Entwicklung

Schon im 18. Jahrhundert wurde der elektrische Strom als Möglichkeit zur Erzeugung eines narkoseähnlichen Zustandes entdeckt. Es werden mehrere Wissenschaftler erwähnt, die mit verschiedenen Tierspezies die Wirkung einer gezielt angelegten elektrischen Spannung auf den Organismus untersuchten (WARRINGTON, 1974). Erstmals stellte man unterschiedliche physiologische Phänomene fest, deren Intensität erheblich von Stromstärke und Spannung abhing. Variiert wurde der Effekt des elektrischen Stromes mit Apparaten, die ein segmentiertes Rad enthielten, um die Spannung zu unterbrechen und somit eine hochfrequente Abfolge von Stromstößen pro Sekunde zu erreichen (LEDUC, 1902). Die Wissenschaftler konnten, nachdem sie Anode und Kathode jeweils am Rumpf und Kopf eines Hundes plaziert hatten, tonisch-klonische Krämpfe der Muskulatur beobachten. Weiterhin beschrieben sie einen Verlust motorischer Funktionen, Bewußtseinstrübung und Verlust des Hörvermögens (LEDUC & ROUXEAU, 1903).

Elektrobetäubung unmittelbar vor der Schlachtung wurde im Jahre 1902 von BOCKELMANN an Rindern, Pferden, Schafen und einem Schwein untersucht. Dabei dienten ein Metallstück, plaziert in der Mundhöhle, sowie eine Schlinge um den haarlosen Teil des Schwanzes, als Elektroden. Die Spannung von 550 Volt wurde für eine Sekunde angelegt. Beschrieben wird ein sofortiges Niederbrechen des Tieres, gefolgt von Muskelzittern, Pulsversagen und Aussetzen der Atmung. Obwohl Bockelmann eine verlängerte Ausblutungszeit im Vergleich mit unbetäubt geschlachteten Tieren feststellen konnte, war letztendlich die Menge des aufgefangenen Blutes innerhalb der normalen Grenzen. Auch beim Vergleich der Fleischqualität konnten mit damaligen Methoden keine Veränderungen festgestellt werden.

Bei einem Experiment mit Hunden, durchgeführt von BATELLI im Jahre 1903, tauchte in der Literatur erstmals der Begriff des epileptiformen Anfalls im Zusammenhang mit der Elektrobetäubung auf. Die Unterteilung des Anfalls in ver-

schiedene Phasen mit typischen äußeren Erscheinungsbildern wird auch in der aktuellen Fachliteratur diskutiert. Bei einem Strom von 120 bis 200 V und 45 Hz zeigten die Hunde in einer 7-15 Sekunden andauernden Phase I tonische Muskelkrämpfe und die Atmung sistierte. Die 20-30 Sekunden andauernde Phase II war geprägt von klonischer Muskelaktivität. Je nachdem, wie lange die Versuchstiere der Spannung ausgesetzt waren, gestaltete sich Phase III. Zu beobachten war Übererregbarkeit bei kurzer (0,1-0,5 sec) und eine 10 bis 20 Minuten anhaltende Bewußtlosigkeit bei längerer (2-10 sec) Durchströmung (BATELLI, 1903).

In den folgenden Jahren nahm man Modifikationen am von LEDUC (1903) entwickelten Apparat vor, um die Polarisierung des erregten Gewebes zu reduzieren. Der direkte, in schneller Abfolge unterbrochene Stromfluß verursachte nämlich keine befriedigende in Wellenform abzuleitende Meßgröße (NAGELSCHMID, 1912). Blutdruckmessungen an elektrisch stimulierten Hasen, durchgeführt von LEDUC im Jahre 1909, brachten die Erkenntnis, daß Elektrobetäubung das kardiovaskuläre System beeinflusste.

Am Stuttgarter Schlachthof schließlich war es KÖSLER, der 1928 Elektrizität zur Immobilisierung von Rindern vor der Schlachtung benutzte. Die angewandte Spannung betrug 110-120 Volt. Der Strom floß zwischen einer Maulelektrode und einer Metallplatte, die auf der befeuchteten Lendenregion angebracht wurde. Die Resultate waren vergleichbar mit den Ergebnissen BOCKELMANNNS von 1902. Von einem Niedergehen der Tiere während des Stromflusses bis zur Wiedererlangung des Bewußtseins in 2 bis 3 Minuten wird berichtet (WARRINGTON, 1974).

Im Jahr darauf (1929) untersuchte MÜLLER am Schlachthof München die Durchführbarkeit einer Elektrobetäubung unmittelbar vor der Schlachtung, indem er einen hochfrequenten, unterbrochenen Stromfluß von 133 Hz verwendete. Er fand Bewußtseinsverlust und Muskelstarre, die im Anschluß an die Durchströmung auftrat. Zusammen mit WEINBERGER entwickelte MÜLLER an der tierärztlichen Fakultät der Universität München einen Apparat zur Elektrobetäubung von Schweinen. Eingesetzt wurde gewöhnlicher Strom von 200 Volt und mit Salzlösung befeuchtete Elektroden, die an Stirn, Rückgrat und Bauch der Schweine angelegt wurden. Nach einem 6 bis 10 Sekunden dauernden Stromfluß konnten folgende Erkenntnisse gewonnen wer-

den: heftige Muskelkontraktionen mit Kopfstrecken und konvexer Rückenlinie mit nachfolgender Muskeler schlaffung und starkem Zittern. Der sicheren Betäubung und dem leichten Blutentzug standen jedoch subkutane Blutungen, Wirbelfrakturen und Muskelblutungen bei schwereren Tieren wie Muttersauen gegenüber. Der erhöhte Blutgehalt des Schlachtkörpers machte darüberhinaus diese Betäubungsmethode nicht praktikabel (WARRINGTON, 1974).

Einen weiteren großen Schritt in der Erforschung der Elektrobetäubung machte MÜLLER 1932, indem er die anästhetische Wirkung einer cerebralen Anämie zuschrieb. Verursacht wurde diese durch einen von ihm so bezeichneten Elektrospasmus der blutführenden Gefäße. Er berief sich diesbezüglich auch auf die Versuche von KUSSMAUL & TENNER aus dem Jahre 1857, wonach beim experimentellen Verschluss der das Gehirn versorgenden Gefäße von cerebraler Anämie mit darauffolgenden tonisch-klonischen Krämpfen berichtet worden war. Weiterhin zeigten Versuche an Schweinen, daß der Betäubungserfolg größer war, wenn sich das Gehirn im zentralen Bereich des Stromflusses befand (MÜLLER, 1932).

Im Jahre 1932 gelang es CLARK & TWEED, die Auswirkungen der Elektrobetäubung auf den arteriellen und venösen Blutdruck bei Schafen zu kontrollieren. Nach Anlegen einer Spannung (50 V, 50 Hz) stieg der arterielle Blutdruck auf das dreifache des Ausgangswertes und fiel kontinuierlich sowohl bei noch fließendem Strom als auch nach Abschalten desselben. Eine wiederholte Reizung des Gewebes konnte keine Blutdruckerhöhung von dieser Stärke verursachen. Dem Urteil der Wissenschaftler zufolge, zeichneten die tonischen Muskelkontraktionen sowie eine Reizung des gesamten sympathischen Nervensystems für die Resultate verantwortlich. Demzufolge war Bewußtlosigkeit nicht proportional zu einem rapiden Blutdruckanstieg, da ja bei der zweiten Reizung kein vergleichbarer Wert festzustellen war. Dennoch waren die Tiere der zweiten Reizung entsprechend länger bewußtlos geblieben. MÜLLERS Theorie (1932), daß der Grund für die Bewußtlosigkeit in einer cerebralen Anämie zu sehen sei, war für CLARK & TWEED (1932) nicht haltbar, da die Versuchstiere trotz nachgewiesener Blutdruckerhöhung augenblicklich bewußtlos niederstürzten. Vielmehr nahm man nun an, daß der betäubende Effekt der elektrischen Spannung auf einer Art „confusional state“, also einem allgemein ausgelösten Zustand der Verwirrung oder Unordnung beruhte, der etwas mit dem Nervengewebe zu

tun haben mußte. Diese Auffassung lenkte damit die Forschungsbemühungen auch in Richtung Neurologie und konnte durch spätere Untersuchungen bestätigt werden.

Um die Tiefe der elektrischen Betäubung festzustellen, wurde 1932 erstmals durch HOBDAY der Korneal- oder Lidschlußreflex bei Berührung des Augapfels als ein geeignetes Untersuchungskriterium herangezogen (WARRINGTON, 1974). ROOS & KOOPMANS jedoch waren aufgrund von Vergleichen zwischen elektrischer und chemischer Betäubungsmethode nicht der Ansicht, daß sich mit Hilfe von Augenreflexen eine Bewußtlosigkeit des Tieres hinlänglich sicher bestimmen ließ. Generell trat ihrer Ansicht nach bei Elektrobetäubung welcher Stärke auch immer eine Stimulation der willkürlichen und unwillkürlichen Muskulatur am Augenlid auf, welche keine Rückschlüsse auf den Bewußtseinszustand zuließ (ROOS & KOOPMANS, 1934). In weiteren Studien wurden im Gehirn lokalisierte Reflexe untersucht, indem man gezielt Wechselstrom an Schädeln verschiedener Tierspezies anlegte. Wiederum verglichen sie die Effekte auf respiratorisches und vasomotorisches Zentrum im verlängerten Mark mit denen einer chemisch herbeigeführten Narkose. Im Gegensatz zur letztgenannten trat bei der Elektronarkose stets eine Aktivitätszunahme der Muskulatur auf und keine Erschlaffung. Einen eindeutigen narkotisierenden Effekt, dem der chemischen Narkose vergleichbar, sahen die Wissenschaftler nicht (ROOS & KOOPMANS, 1934).

Im Jahre 1942 schließlich setzten GAULTIEROTTI et al. das Elektroenzephalogramm (EEG) als neue Meßmethode ein, um einzelne Gehirnregionen gezielter unter elektrische Spannung zu setzen und somit Aufschluß über den Bewußtseinszustand bei Hunden und Katzen zu erhalten. Bei Reizung des motorischen Anteils der Großhirnrinde stellte man eine tonisch-klonische Aktivität der Muskulatur fest ohne anästhetische Komponente. Erst als der Strom im Bereich Zwischenhirn / Hypothalamus angelegt wurde, stellten sich Muskelkrämpfe ein. Die Tiere waren dabei sofort bewußtlos (GAULTIEROTTI et al., 1942).

CROFT & HUME (1956) versuchten wiederum, den Betäubungserfolg bei Schlachtieren mittels einer Einteilung des elektrischen Schocks in drei Phasen zu beurteilen. Erste oder tonische Phase mit Beugung aller Gliedmaßen und anschließender Streckung der Hinterbeine bei geschlossenen Augenlidern (bis 10 sec). Zweite oder klo-

nische Phase mit sich steigender Relaxation, Gehbewegungen der Hinterhand und geöffneten Lidern mit nach oben rotierten Augäpfeln (ca. 30 sec). Dritte oder Erholungsphase mit beginnender Wahrnehmung der Umwelt und gerichtetem Sehen.

Schon im Jahre 1952 hatte CROFT weitreichende Forschungen über Bewußtsein und Schmerzwahrnehmung nach elektrischer Betäubung betrieben. Elektrounfälle bei Menschen, die eine Paralyse der willkürlichen Muskulatur, jedoch Schmerzempfinden bei vollem Bewußtsein zur Folge hatten, ließen nämlich Zweifel an der Betäubungsmethode aufkommen. Ein derartiger Zustand der „elektrischen Curarisierung“ konnte Bewußtlosigkeit und Analgesie vortäuschen. Aus diesem Anlaß versuchte CROFT, Schmerzwahrnehmung nach der Betäubung anhand des „cardiac pain reflex“, also einer Zunahme der Herzfrequenz bei Zufügung eines Schmerzstimulus, nachzuweisen. Die Verwendung des Elektrokortikogramms (ECoG) und Elektrokardiogramms (EKG), welche auch heute zu den Meßmethoden der Wahl zählen, stellte ein Novum auf diesem Gebiet dar. Den betäubten Versuchshasen wurden regelmäßig Schmerzstimuli zugefügt, doch erst 5 bis 8 Minuten nach der Elektrobetäubung konnte eine Steigerung der Herzfrequenz zusammen mit Veränderungen im ECoG festgestellt werden, kurz bevor willkürliche Muskelbewegungen zurückkehrten. CROFT ordnete demnach das Wiederkehren des Schmerzempfindens der oben genannten Phase II zu, was vor allem für elektrisch betäubte Tiere vor der Schlachtung von außerordentlicher Bedeutung war. Das Entbluten durch Eröffnung der Halsgefäße kam in der Regel nicht über Phase I hinaus. In dieser Zeit wählte CROFT das maximal stimulierte Gehirn in einem Zustand der Erschöpfung, resultierend in einer tiefen Bewußtlosigkeit. Bei Variation von Stromstärke, Spannung, Frequenz und Dauer der Applikation stellte sich die Stromstärke als der entscheidende Faktor für die Betäubungsqualität heraus. Zu niedrige Ampere-Werte konnten durch die anderen Parameter nicht kompensiert werden. Außerdem stellte sich heraus, daß Futter- und Wasseraufnahme, Hautwiderstand, Rasse, Geschlecht, sowie eine nicht zu unterschätzende individuelle Resistenz der Tiere gegenüber der Elektrizität, den Betäubungserfolg beeinflussten (CROFT, 1952).

Weitere Versuche unternahmen BREAZILE et al. 1963, indem sie Schafe auf den Betäubungsprozeß konditionierten. Bei noch unterschwelliger Betäubung, also noch vorhandenem Bewußtsein, wurden den Tieren Schmerzreize zugefügt, welche zeit-

gleich akustisch begleitet waren. Es folgten Veränderungen im ECoG, Erhöhung der Herzfrequenz, steigende Atemfrequenz und Blutdruckanstieg. Nach der Elektrobetäubung der Tiere fehlte die konditionierte Reaktion für 3 bis 10 Minuten. Die Ursache für das Fehlen des erlernten Reflexes schrieben die Wissenschaftler einer retrograden Amnesie zu. Demnach bedingt die Elektrobetäubung tiefgreifende Veränderungen des Bewußtseinsstatus und eine tatsächliche Schmerzunempfindlichkeit (BREAZILE et al., 1963).

Behandlungsversuche der Schizophrenie von Menschen in den 30er Jahren mittels „electro-convulsant therapy“ (CERLETTI & BINI, 1938) und freiwillige Probanden hatten den Zustand der Bewußtlosigkeit und Analgesie nach Elektrobetäubung bestätigt.

Weitere wichtige Forschungen folgten, die aufgrund des wissenschaftlichen Standes und ihrer Aktualität vor dem Hintergrund der BSE-Problematik im Rahmen dieser Arbeit unter Kapitel 2.4 bis 2.7 Erwähnung finden sollen.

2.2 Rechtliche Grundlagen

2.2.1 Tierschutzgesetz (TierSchG)

Das seit 1933 geltende Schlachtrecht (Gesetz über das Schlachten von Tieren vom 21. April 1933, RGBl. I, S. 203) bestimmt, dass warmblütige Tiere vor Beginn der Blutentziehung durch Kopfschlag, Bolzenschuss oder auch mittels elektrischen Stromes zu betäuben sind. Mit dem Ersten Gesetz zur Änderung des Tierschutzgesetzes vom 12. August 1986 (BGBl. I, S. 1309) wurden der Betäubungsgrundsatz und Ermächtigungsbestimmungen in das Tierschutzgesetz aufgenommen (SCHWABENBAUER, 1989).

Nach § 4a Abs. 1 TierSchG in der Fassung vom 25. Mai 1998 dürfen warmblütige Tiere nur geschlachtet werden, wenn sie vor Beginn des Blutentzugs betäubt wurden. Eine Betäubung kann nach § 4a Abs. 2 TierSchG unterbleiben, wenn sie bei Notschlachtungen nach den gegebenen Umständen nicht möglich ist oder die zuständige Behörde eine Ausnahmegenehmigung erteilt hat.

Nach § 4b TierSchG ist der Bundesminister für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft ermächtigt, mit Zustimmung des Bundesrates, bestimmte Betäubungsverfahren näher zu regeln, vorzuschreiben, zuzulassen oder zu verbieten, um sicherzustellen, dass den Tieren nicht mehr als unvermeidbare Schmerzen zugefügt werden.

2.2.2 Tierschutz-Schlachtverordnung (TierSchIV)

Regelungen zur Durchführung des Schlachtvorganges finden sich in der TierSchIV. Die Betäubung der Tiere ist gemäss § 13 der TierSchIV so vorzunehmen, „...dass sie schnell und unter Vermeidung von Schmerzen und Leiden in einen bis zum Tod anhaltenden Zustand der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit versetzt werden“.

Nach Anlage 3 Teil I der TierSchIV ist die Elektrobetäubung als ein tierschutzgerechtes Betäubungsverfahren zugelassen. Während der Kopfdurchströmung muß das

Gehirn zwischen den Elektroden liegen und eine Stromstärke von 2,5 Ampere innerhalb der ersten Sekunde erreicht sein. Bei über 6 Monate alten Rindern muß weiterhin zusätzlich eine mindestens 8 Sekunden dauernde Herzdurchströmung ausgeführt werden. Der Blutentzug hat nach Anlage 2 TierSchIV bei einer Hängendentblutung innerhalb von max. 20 Sekunden zu erfolgen.

In § 12 der TierSchIV werden Fixationsmöglichkeiten für die Tiere gefordert, damit der Elektrodenansatz während der Durchströmung sichergestellt ist.

Der für die Elektrobetäubung Verantwortliche benötigt nach § 4 Abs. 2 TierSchIV eine für das Betäubungsverfahren und die zu betäubende Tierart spezifische Sachkundebescheinigung.

2.2.3 Fleischhygienegesetz (FIHG)

Im FIHG sind Regelungen bezüglich der hygienischen Anforderungen der fleischverarbeitenden Betriebe aufgeführt, sowie Kennzeichnungs- und Untersuchungspflichten für Fleisch, weiterhin Verkehrsfähigkeit, Tauglichkeit und andere Bestimmungen. Das FIHG definiert den Genußwert des Fleisches.

In der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung nach dem Fleischhygienegesetz und dem Geflügelfleischhygienegesetz vom 19. 02. 2002 (AVVFIHV) sind die Details der Untersuchungsmethoden bezüglich der Fleischqualität vorgegeben.

Die Messung des pH-Wertes in Schlachttierkörpern ist in Kap. III, 4 der AVVFIHV geregelt (siehe auch Kap. 3.4.4).

2.3 Betäubungsverfahren beim Rind

2.3.1 Allgemeines

Die Betäubung von Schlachttieren hat zum Ziel, einen Zustand der Bewußtlosigkeit und Wahrnehmungslosigkeit herbeizuführen, bis das Tier durch Entbluten getötet wird. Es muß sichergestellt sein, dass während dieser Phase keine Erholung bzw. Wiedererlangung des Bewußtseins möglich ist. Weiterhin soll durch die Betäubung eine ausreichende Immobilisierung der Tiere erreicht werden, damit das Schlachtpersonal sicher und unverzüglich die Entblutung vornehmen kann (BLACKMORE u. DELANY, 1988).

Entsprechend der aktuellen Rechtslage (§ 13 TierSchIV; vgl. Kap. 2.2) der Bundesrepublik Deutschland und der Europäischen Union, müssen Wiederkäuer vor der Schlachtung betäubt werden, um ihnen unnötige Schmerzen, Leiden, Aufregung oder Verletzungen zu ersparen (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Allgemein übliche und erlaubte Betäubungsmethoden beim Rind sind:

- Bolzenschußbetäubung (Konventionelle Methode, zugelassen nach Anlage 3 Teil I der TierSchIV)
- Schuß-Schlag-Betäubung (bisher nur zu Forschungszwecken zugelassen)
- Elektrobetäubung (Alternative Methode, zugelassen nach Anlage 3 Teil I der TierSchIV)

2.3.2 Bolzenschußbetäubung

Die Betäubung von Rindern unmittelbar vor der Schlachtung findet heute in der Bundesrepublik Deutschland fast ausschließlich mittels Bolzenschußverfahren statt. Diese seit Jahrzehnten verwendete Betäubungsmethode, bei der ein durch Patronen, Druckluft oder Federspannung getriebener Metallbolzen den Schädelknochen der Schlachttiere durchschlägt und ca. 8 cm weit in das Gehirn vordringt (TROEGER, 1990), gilt als sicher und zuverlässig bei optimaler Schußposition. Diese befindet sich nach ILGERT (1985) „...im Schnittpunkt zweier imaginärer Linien, die von der Horn-

mitte im Bereich des Hornansatzes des linken bzw. rechten Hornes zur Mitte des rechten bzw. linken Auges ziehen.“

Um die Effektivität und Geschwindigkeit der Schlachtprozedur zu erhöhen, fanden Weiterentwicklungen statt. Da, bedingt durch explosive Patronen, Bolzenschußapparate eine Mindestzeit an Abkühlung benötigen, wurden sog. „Type A pneumatic stunner“ entwickelt, deren Bolzen sich durch Druckluft wieder in die Ausgangsposition bringen lassen. Beim sog. „Hantover-Gerät“ bzw. „Type B pneumatic stunner“, der im Zuge der BSE-Problematik (vgl. Kap. 2.6) 1993 EU-weit verboten wurde, wird Druckluft nebst Wiederladefunktion zusätzlich in die Schädelhöhle des Tieres injiziert. Die damit einhergehende Deformierung des Gehirns mit verlängertem Mark erhöht die Arbeitssicherheit des Schlachtpersonals beim Anschlingen und weiteren Bearbeiten des Schlachttierkörpers aufgrund fehlender reflektorisch bedingter Kickbewegungen. Derselbe Effekt wird mit dem seit 2000 in der EU verbotenen „Rückenmarkszerstörer“ erzielt, ein flexibler Metall- oder Kunststoffstab, welcher im Anschluß an den Bolzenschuß durch das hinterlassene Loch in den Schädel eingeführt wird, um Gehirnstrukturen nachhaltig zu zerstören. Neben den weiter unten (Kap. 2.6) erläuterten Risiken, die ein solches Verfahren hinsichtlich einer Verbreitung von ZNS-Material in verschiedene Regionen des Schlachttierkörpers birgt, bestehen auch Bedenken aufgrund bakterieller Kontaminationsgefahr (MACKEY u. DERRICK, 1979).

Der Traumatisierungsgrad von Schädel und Gehirn in Form von Zerreißen und Quetschung sowie einer Gehirnerschütterung durch die vorwärts gerichteten Druckwellen des Aufpralls (LAMBOOY, 1982) hängt im wesentlichen von der Schußposition sowie der Auftreffgeschwindigkeit des Projektils ab. Diese liegt bei ungefähr 100 m/s (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

GREGORY (1998) teilt die Gehirnerschütterung in 4 Stufen ein. Zuerst erscheint das Tier leicht disorientiert mit beeinträchtigtem Denkvermögen. In Stufe 2 zeigt das Tier mangelhafte Koordination mit weiter verschlechtertem Denkvermögen. In der nächsten Stufe sackt das Tier zu Boden, jedoch ist die Atmung intakt. Schließlich liegt das betäubte Tier kraftlos am Boden und zeigt keine Atemtätigkeit. In dieser Situation hätte ein permanenter Ausfall der Atmung einen progressiven Sauerstoffmangel zur

Folge mit anhaltendem und bleibendem Funktionsausfall des Gehirns. Dieser Zustand der Stufe 4 sollte mit der Bolzenschußbetäubung stets erreicht werden.

Den betäubenden Effekt schreibt man verschiedenen durch den eindringenden Bolzen und die Erschütterung verursachten anatomischen sowie physiologischen Veränderungen zu. Wie oben schon angesprochen, kommt es zur Durchtrennung von Nervenbahnen sowie zu Verletzungen verschiedenster Regionen des Gehirns. Aufgrund der Aufprallgeschwindigkeit auf den knöchernen Schädel und der enormen Scherkräfte erleidet das Gehirn mannigfaltige Quetschungen, Zerreißen und sog. Coup- und Contre-coup-Verletzungen, sowie Torsionen am Gehirnstamm mit Auslöschung der Atemfunktion. Haemorrhagien können zu intracerebralen Drucksteigerungen führen, welche im Extremfall eine Minderperfusion der Gehirnkapillaren zur Folge haben. Eine anhaltende Ischämie, also Sauerstoffmangel des Nervengewebes, würde die Bewußtlosigkeit permanent aufrechterhalten. Im Moment der Betäubung wird weiterhin eine Unterbrechung der Reizweiterleitung an den Synapsen aufgrund des plötzlichen Druckgradienten diskutiert (GREGORY, 1998).

Natürlich können die genannten Verletzungen in ihrer Ausprägung variieren und, trotz zum Teil irreversibler Veränderungen, kann eine Tötung des Tieres allein durch den Bolzenschuß nicht garantiert werden. Der Entblutestich muß daher nach Anlage 2 der TierSchIV unverzüglich nach Betäuben und bei einer Hängendentblutung innerhalb von 60 Sekunden erfolgen.

Im Übrigen kann der Betäubungserfolg auch durch andere Parameter beeinflusst werden. So spielen die Ladungsstärke an sich, die richtige Bolzengröße, sowie die ordnungsgemäße Pflege der Bolzenschußgeräte eine Rolle. Die häufigste Ursache für eine mangelhafte Betäubung aber ist der falsche Ansatz des Schußapparates am Kopf des Tieres aufgrund verkehrt konstruierter Betäubungsboxen mit übermäßiger Kopffreiheit oder ungeschultem Personal (VON MICKWITZ, 1982). Um diesen Problemen zu begegnen, sind eine Reihe von Vorschriften in der TierSchIV erlassen worden (JOHANNSEN, 2002).

2.3.3 Schuß- Schlag- Betäubung

Erst in jüngerer Vergangenheit wurden intensive Forschungen hinsichtlich dieser Betäubungsmethode unternommen. Die Bundesanstalt für Fleischforschung (BAFF) betreut mehrere Projekte, die sich mit der Schuß-Schlag-Betäubung beschäftigen (Moje et al., 2002). Aufgrund der weiter unten ausführlicher beschriebenen BSE-Problematik (Kap. 2.6) entstand gerade in den letzten Jahren die Notwendigkeit, alternative Betäubungsverfahren zur etablierten Bolzenschußmethode zu entwickeln, um einen routinemäßigen Einsatz auch in größeren Schlachtbetrieben zu ermöglichen.

Dieses nicht penetrierende Verfahren, auch „concussion stunning“ genannt, hat die bereits weitgehend dargestellten Auswirkungen der Gehirnerschütterung zum Ziel. Es ist dem Prinzip der Bolzenschußbetäubung ähnlich und stellt gewissermaßen eine Modifikation derselben dar. Anstelle des penetrierenden Bolzens sind pilzförmige Metallplatten auf einem herkömmlichen Bolzenschußapparat angebracht. Die Tiere werden durch einen stumpfen Schlag auf die Stirn betäubt, wobei Erschütterung und veränderte Druckverhältnisse besonders sensible Hirnareale, vor allem den Hirnstamm, traumatisieren (MÄNNL, 1994). Eine Kopffixation ist für einen sicheren Betäubungserfolg unbedingt erforderlich und geht über eine Einschränkung der Kopffreiheit hinaus.

Es ist denkbar, dass über Hirnbasisblutungen und die nicht mehr intakte Blut-Hirn-Schranke BSE-Risikomaterial in den gesamten Körper ausgeschwemmt werden kann, zumal die Herzfunktion unbeeinträchtigt ist (JOHANNSEN, 2002). Der Beweis steht bis dato jedoch noch aus. Trotz dieses Restrisikos ist die Kontamination des Schlachttierkörpers mit möglicherweise BSE-haltigem Hirnmaterial verringert, da ein nicht penetrierendes Verfahren weder ein Eröffnen des Schädels noch eine Kontamination des Schußgerätes zur Folge hat, und damit einer möglichen Weiterverbreitung von Risikomaterial auf andere Tiere entgegenwirkt.

JOHANNSEN (2002) beschreibt weiterhin verbesserte Bedingungen für den Arbeitsschutz wegen der guten Ruhigstellung der Rinder im Anschluß an die Betäubung, fordert aber die Liegendentblutung, da ein Anschlingen und Aufziehen der Tiere zuviel Zeit beansprucht. Der Zeitraum von 60 Sekunden, in denen der Entbluteschnitt

zu erfolgen hat, erscheint bei diesem reversiblen Verfahren hinsichtlich eines Wiederkehrens des Bewußtseins nicht verantwortbar.

2.3.4 Elektrobetäubung

Wie der historischen Entwicklung zu entnehmen ist, beschäftigen sich Wissenschaftler schon seit langer Zeit mit der Elektrobetäubung. Ausgewachsene Rinder wurden erstmals 1928 an der Universität München vor der Schlachtung mit Hilfe des elektrischen Stroms betäubt (MÜLLER, 1931). In kommerziellen Schlachtbetrieben setzte sich die Elektrobetäubung jedoch nur bei der Schweineschlachtung durch und ist dort bis heute das gängigste Verfahren geblieben. Das penetrierende Verfahren durch Bolzenschuß ist in der Rinderschlachtung das weltweit verbreitetste und wurde vor Auftreten der BSE-Krise als sichere und effektive Methode kaum in Frage gestellt. Nicht zuletzt aufgrund von nachgewiesenen Kontaminationsgefahren der Schlachtierkörper durch BSE-haltiges Risikomaterial (vgl. Kap. 2.6) wurde der Ruf nach alternativen, nicht penetrierenden Betäubungsmethoden laut.

Die Elektrobetäubung ist ein Prozeß, bei dem elektrischer Strom durch das Gehirn geleitet wird. Dieser Strom führt zu einer Abfolge von Neurotransmitterveränderungen und massiver Depolarisation der Nervenzellmembranen, resultierend in einer sofortigen Bewußtlosigkeit. Diese Vorgänge laufen ähnlich wie bei einem generalisierten epileptischen Anfall ab (GREGORY, 1998). Die Zellverbände befinden sich nach MÄNNL (1994) in einem Zustand höchster Unkoordination und abnormer Aktivität. Im Gegensatz zur Betäubung durch Erschütterung sind bestimmte Regionen des Gehirns von erhöhter Ansprechbarkeit und Erregung, jedoch sind Signalverarbeitung und –weiterleitung vorübergehend zerstört. Dies macht den Charakter der Elektrobetäubung als ein reversibles Verfahren deutlich. Um eine irreversible Betäubung zu erreichen, muß über eine Durchströmung der Brust ein Herzstillstand erzielt werden, damit eine Sauerstoffversorgung über anhaltende Herzaktionen ausgeschlossen werden kann und somit die Erholungsphase des Gehirns auf ein Minimum reduziert wird (GREGORY, 1998).

Eine Elektrobetäubung, in deren Verlauf sich ein Herzstillstand ereignet, wird in der Fachliteratur zu der Kategorie „non-recovery“, also Betäubung ohne Erholung, gezählt. Man nimmt an, dass eine ausreichende Kopf-Körper-Durchströmung allein das Tier letztendlich tötet (COOK und DEVINE, 2002). Während der Entwicklung der Elektrobetäubung sind verschiedene Verfahren der Kopf-Körper-Betäubung entstanden, je nachdem, an welchen Körperregionen die Spannung angelegt wird. Vor allem bei den kleinen Wiederkäuern wurde die Elektrobetäubung aufgrund der praktikablen Handhabung der Betäubungsgeräte und der geringen Betriebskosten zum Verfahren der Wahl. Sog. „Head-only“-Betäubungsverfahren, die sich auf eine Kopfdurchströmung der Tiere beschränken, also keinen Herzstillstand zur Folge haben und eine Erholung wahrscheinlich ist, ordnet man der Kategorie „recovery“ zu. Schlachtungen nach islamischem Ritus (Halal) setzen ein schlagendes Herz voraus und machen deshalb von dieser Betäubungsmethode Gebrauch (SCHATZMANN, 2000).

Schon vor gut 20 Jahren wurde die Elektrobetäubung mittels Kopfdurchströmung in Neuseeland als Routineverfahren bei Halal-Schlachtungen (religiöse Schlachtung der Muslime) eingeführt, da diese Methode in Kombination mit anschließender Elektroimmobilisation zu verminderten reflektorischen Kickbewegungen der Schlachttiere führte und der Arbeitssicherheit zuträglich war. Man stellte fest, dass sich auch eine Kopf-Körper-Betäubung von ausreichender Dauer und Stärke in dieser Hinsicht positiv auswirkte (GREGORY, 1993).

In den 80er Jahren wurde das Neuseeländische System entwickelt und dort in 14 Rinderschlachtbetrieben installiert. Der Grund, warum sich dieses System im Vergleich mit vorherigen Anlagen erfolgreich etablieren konnte, liegt neben der guten Automatisierbarkeit in einer effektiven Fixation der Tiere und dem Einsatz separater Betäubungsströme. Das bedeutet, daß mittels unterschiedlicher Ableitungen innerhalb der Betäubungsbox der Strom bestimmte Körperregionen des Tieres durchfließt. (GILBERT, 1993). Den Bestimmungen der TierSchlV, wonach im Anschluß an eine Kopfdurchströmung (2,5 Ampere für 4 Sekunden) eine mindestens 8 Sekunden dauernde Herzdurchströmung erfolgen muß (bei Rindern über 6 Monaten), wird damit Rechnung getragen. Nicht zuletzt aufgrund der besonderen Verhältnisse der cerebralen Blutversorgung beim Rind, hat bei einer Hängendentblutung der Entblutestich innerhalb von 20 Sekunden zu erfolgen (JOHANNSEN, 2002).

2.4 Physiologische Grundlagen

2.4.1 Epileptiformer Anfall und EEG / ECoG

In der Humanmedizin wird mit Hilfe des Elektroenzephalogramms (EEG) die Großhirntätigkeit gemessen. Dazu werden zwei Elektroden am Kopf befestigt und dazwischenliegende Potentialschwankungen abgeleitet (BIRBAUMER und SCHMIDT, 1995). Während beim Menschen die Elektroden auf der Kopfhaut angelegt werden, erscheint diese Methode beim Tier nicht praktikabel. Um Bewegungsartefakte zu vermeiden, werden die Elektroden beim Tier, meist Stahlnadeln, subkutan auf oder in den knöchernen Schädel gesetzt (BAGER et al., 1990).

Im Elektrokortikogramm (ECoG) sind die registrierten Potentiale etwa um den Faktor 10 größer, da die Ableitung direkt von der Gehirnoberfläche erfolgt. Bei dieser invasiven Methode liegen die Meßelektroden der Dura mater oder der Kortex direkt auf. Vorteilhaft sind die genaueren Aufnahmen und das Erfassen kleiner elektrischer Potentiale sowie die Unempfindlichkeit gegenüber Artefakten. Das Einsetzen der Elektroden erfordert jedoch eine chirurgische Manipulation, die meistens nicht immer uneingeschränkt möglich ist (BAGER et al., 1990).

Wie schon erwähnt, stellt der epileptiforme Anfall der betäubten Tiere die Grundlage für den Bewußtseinsverlust dar. Die Bewußtlosigkeit erscheint dabei in ähnlicher Art und Weise wie diejenige, welche während eines sog. *Grand mal* epileptischen Anfalls bei Menschen auftritt. Leitet man unmittelbar nach dem Betäubungsstromfluß ein Elektroenzephalogramm (EEG) ab, erhält man ein vergleichbares EEG-Muster (COOK und DEVINE, 2002). Die epileptiforme Aktivität im Gehirn entsteht durch die Ausschüttung erregender Aminosäuren in den Extrazellulärraum (COOK et al., 1992), in deren Folge eine massive Depolarisierung der Nervenzellen im Gehirn stattfindet. Bei aufrechterhaltener Depolarisierung, erfahren die Nervenzellen sich wiederholende epileptiforme Entladungen (GREGORY, 1998). Diese hochsynchronen elektrischen Aktivitäten bedingen die charakteristischen Potentialschwankungen im EEG, welche unter physiologischen Bedingungen nicht auftreten (BIRBAUMER und SCHMIDT, 1995) (**Abb. 1**).

Epileptiforme Aktivität / tonisch-klonische Krämpfe / tiefe Bewußtlosigkeit / Analgesie	Erholungsphase bzw. gleitender Übergang in den Gehirntod bei bleibender Anoxie / Analgesie
---	--



Abb. 1: EEG nach Elektrobetäubung: große Potentialschwankungen während des Epileptiformen Anfalls; anschließende Phase „elektrischer Stille“ (nach COOK und DEVINE, 2002)

Der Anfall setzt 200 Millisekunden nach dem Betäubungsstrom ein und dauert laut Studien verschiedener Schaf- und Rinderrassen zwischen 19 und 68 Sekunden (GILBERT, 1993). Bei einer Kopfbetäubung ohne Fibrillation des Herzens folgt dem epileptiformen Status des Gehirns eine Phase der Erholung mit fortschreitendem Wiedererlangen des Bewußtseins. Voraussetzung ist, dass dem Gehirn Sauerstoff und Stoffwechselmetabolite über einen nach wie vor funktionierenden Blutkreislauf zugeführt werden müssen. Gesteigerte Beachtung gilt dabei den besonderen anatomischen Verhältnissen der Blutgefäße beim Rind und der weiteren Behandlung der Tiere nach der Betäubung. So ist das Aufziehen der Tiere am Schlachtband hinsichtlich einer Bewußtseinswiederkehr in die Überlegung mit einzubeziehen.

Wird neben der Kopfbetäubung auch ein Herzstillstand erzielt, reduziert sich sowohl die Zeitspanne des epileptiformen Anfalls als auch die Zeitspanne bis zum Erreichen der isometrischen Linie, was mit dem Gehirntod des Tieres gleichzusetzen ist. DEVINE et al. (1986) machen den enormen elektrochemischen Metabolismus zur Aufrechterhaltung der hypersynchronen elektrischen Aktivität während des Anfalls dafür verantwortlich. Der drastische Abfall der Blutzirkulation führt zu einer cerebralen Anoxie und stellt die Ursache für das Sistieren der Stoffwechselvorgänge dar (DEVINE et al., 1986). Ein rascher Abfall des EEGs unter einen Wert von 10 mV im Anschluß an die Anfallsaktivität, mit Amplituden bis zu 500 mV, gilt als Kennzeichen einer guten Betäubungsqualität und schließt in diesem Fall eine Rückkehr des Be-

wußtseins aus. Versuche mit Kälbern hatten ergeben, dass das EEG bei einseitiger Eröffnung der Halsgefäße und damit verzögerter Ausblutung über längere Zeit höhere Amplituden aufwies und nur langsam abfiel (DEVINE et al., 1986).

2.4.2 Epileptiformer Anfall und Neurotransmitter

Die Hirnfunktion hängt im Wesentlichen von der Kommunikation der Nervenzellen ab und wird durch die Ausschüttung von Überträgerstoffen, sog. Neurotransmittern, in den synaptischen Spalt gesteuert. In diesem komplexen neuronalen Netzwerk bestimmen diese Stoffe sowohl die Qualität als auch die Quantität der weitergeleiteten Information. Zu den wichtigsten erregenden oder exzitatorischen Neurotransmittern bei Säugetieren zählen die beiden Aminosäuren Glutamat und Aspartat (COOK und DEVINE, 2002). Gamma-Aminobutyrat (GABA) und Glycin sind die beiden wesentlichen hemmenden oder inhibitorischen Transmitter im Nervensystem (LÖFFLER und PETRIDES, 1997). Beide Systeme scheinen für eine ausgewogene Aktivität unter verschiedensten Umständen verantwortlich zu sein.

Wird am Gehirn ein Betäubungsstrom angelegt, so kommt es aufgrund der Überstimulation der Nervenzellen augenblicklich zu einem dramatischen Anstieg von Glutamat und Aspartat im Extrazellulärraum. Benachbarte Neuronen reagieren über spezifische Rezeptoren mit einer extremen Permeabilitätserhöhung gegenüber Calciumionen. LÖFFLER und PETRIDES (1997) sehen in dieser Calciumüberladung den Pathomechanismus für die Epilepsie. Es konnte bewiesen werden, dass die erhöhten Glutamatwerte eng mit den epileptiformen Aktivitäten im EEG korrelieren und damit die Voraussetzung für den ungebremsten neuronalen Erregungszustand sind (GILBERT, 1993).

COOK et al. (1992) konnten mittels Mikrodialyse Extrazellulärflüssigkeit vor und nach experimenteller Elektrobetäubung von Schafen und Kälbern gewinnen. In regelmäßigen Abständen wurden die Neurotransmitterveränderungen gemessen, wobei ein Teil der Tiere sich von der Betäubung erholen konnte, eine zweite Gruppe jedoch sofort durch Halsschnitt entblutet wurde. Wie schon erwähnt, steigen Glutamat und

Aspartat nach dem Stromfluß extrem an, sinken aber relativ rasch bei intaktem Kreislauf. Werden die Tiere im Anschluß an die Kopfbetäubung entblutet, bleiben die erregenden Neurotransmitter auf hohem Niveau und die epileptiforme Phase verlängert sich. Weiterhin sind subjektive Anzeichen von Bewußtsein nicht vorhanden (GILBERT, 1993).

Ebenso erheblich, jedoch im Vergleich mit den exzitatorischen Neurotransmittern zeitlich verzögert, steigt GABA nach einer Elektrobetäubung im Extrazellularraum an (COOK und DEVINE, 2002). Man schreibt diesem inhibitorischen Neurotransmitter, der je nach Gehirnregion Chloridkanal- bzw. Adenylat-cyclase-gekoppelte GABA-Rezeptoren besetzt, eine Schlüsselrolle in der Entstehung der Analgesie zu. Der GABA-Level sinkt in den folgenden 5-15 Minuten langsam ab. Während dieser Zeit sind keine Reaktionen auf Schmerzstimuli festzustellen, auch wenn sich im Experiment ein kopfbetäubtes Tier in der Erholungsphase, also nicht mehr im epileptiformen Zustand befindet und mitunter visuelle oder akustische Stimuli im Gehirn Potentiale auslösen und ein Wiederkehren des Bewußtseins erkennen lassen (GILBERT, 1993) (**Abb. 2**).

Betäubung	Epilept. Aktivität	Erholungsphase bzw. Gehirntod
2-4 Sek.	19-68 Sek.	variabel, abhängig von Anoxie

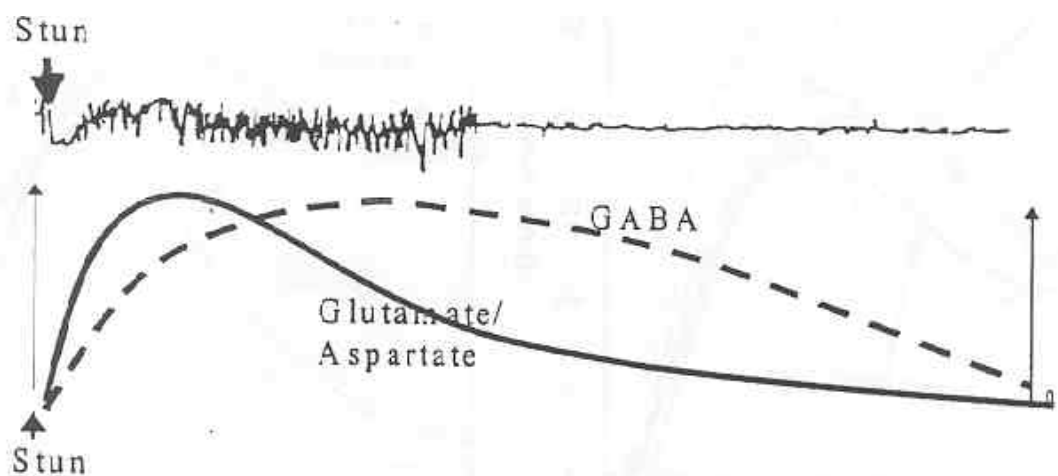


Abb. 2: Neurotransmitterveränderungen im Gehirn nach einer Elektrobetäubung in zeitlichem Bezug zum EEG (nach COOK und DEVINE, 2002)

Versuche von COOK et al. (1992), bei denen elektrobetäubte Schafe mit Rezeptoragonisten bzw. –antagonisten pharmakologisch vorbehandelt waren, haben die zentrale Rolle der Neurotransmitter bei der Bewußtlosigkeit und Analgesie bestätigt. So konnten sowohl die Länge der epileptiformen Phase als auch die der Analgesie dosisabhängig variiert werden. Auch der Einfluß der Betäubung auf die Herzfrequenz konnte durch Pharmaka variiert werden. Die Autoren sind der Meinung, dass der Betäubungsstrom allein nicht diese große Variation bei den auslösbaren Reflexen und der Dauer der analgetischen Komponente verursacht. Möglicherweise hat Stress vor der Schlachtung, der zu einer Ausschüttung von Endorphinen und GABA führt, einen entscheidenden Einfluss auf erhöhte Schmerzschwellen und individuelle Unterschiede bei der Reflexantwort (COOK et al., 1992).

2.4.3 Epileptiformer Anfall und sichtbare Veränderungen am Tier

Sobald am Kopf des Tieres eine Betäubungsspannung angelegt wird, bricht es augenblicklich zusammen und verbleibt während der Kopfdurchströmung in einer vollkommen ruhigen Stellung (SCHATZMANN und JÄGGIN-SCHMUCKER, 2000). Das stimulierte Gehirn und elektrische Impulse über das Rückenmark verursachen eine starre, tonische Muskelkontraktion des gesamten Körpers, welche auch nach Abschalten des Stromflusses für ungefähr 10 Sekunden anhält (GREGORY, 1998). Der Kopf des Tieres ist gestreckt und die Hintergliedmaßen sind unter den Körper gebeugt. Die Vordergliedmaßen erscheinen im Lauf der tonischen Phase in zunehmend starrer Streckung, können aber in Abhängigkeit von der Tierart, der Positionierung der Elektroden und der verwendeten Spannung auch zunächst gebeugt sein (GILBERT, 1993). Die Augenlider des Tieres schließen sich bei Stromfluß. Nach Absetzen der Betäubungsspannung sind bei meist geöffneten Augen nach oben rotierte Bulbi und ein ausgeprägter Nystagmus zu erkennen. Dieser Zustand hält auch in die klonische Phase hinein an (CROFT und HUME, 1956). Weiterhin ist aufgrund der epileptiformen Anfallsaktivität, welche die Funktion des Hirnstammes und der Medulla oblongata stört, ein sofortiges Aussetzen der Atmung zu beobachten (GREGORY, 1998).

Anschließend folgt eine ungefähr 15 bis 45 Sekunden dauernde Phase der konvulsiven, klonischen Krämpfe (GILBERT, 1993). Waren die starren Kontraktionen zuvor bei allen Tieren noch überwiegend gleich, treten nun Gliedmaßenbewegungen unterschiedlicher Stärke auf. Diese reichen von Zuckungen über Ruderbewegungen bis hin zu teilweise heftigen Kickbewegungen der Tiere, und sind bedingt durch die hypersynchrone Aktivität des Gehirns und gesteigerte spinale Reflexe (GREGORY, 1998). Bei einer transthorakalen Durchströmung mit Induktion eines Herzstillstandes im Anschluß an die Kopfdurchströmung, stellte SCHATZMANN (2000) wesentlich reduzierte Gliedmaßenbewegungen fest.

Im Laufe der klonischen Phase löst sich die generalisierte Verkrampfung zunehmend, bis das Tier schließlich ein Stadium der völligen Muskelrelaxation erreicht. Diese Phase ist zeitgleich mit der im EEG registrierbaren elektrischen Stille mit Werten unter 10 mV, welche unmittelbar auf die epileptiforme Aktivität folgt (STÜBER, 2000). Voraussetzung dafür ist der Blutentzug, welcher am besten während der tonischen Phase erfolgen sollte (GILBERT, 1993). Unterbleibt der Entblutungsstich, zeigt ein kopfbetäubtes Tier bei intaktem Kreislauf Symptome für eine Bewußtseinswiederkehr, wie z.B. Einsetzen regelmäßiger Atmung, Wahrnehmung der Umgebung, Aufrichten des Kopfes, oder Vokalisation (GRANDIN, 2001).

Bei Tieren, die nach der Betäubung im Hängen entblutet werden, ist ein schlaff herabhängender Kopf trotz möglicher Kickbewegungen der Beine, sowie ein locker geöffnetes Maul mit gerade heraushängender Zunge kennzeichnend für eine gute Betäubungsqualität. Das Tier hängt mit gerader Rückenlinie und entspanntem Schwanz (GRANDIN, 2001). Zu beobachten sind weiterhin lediglich angedeutete Atemzüge bei schlaff geöffnetem Maul und stereotypem Hervorstrecken der Zunge. Dieses als Schnappatmung bezeichnete Phänomen tritt reflektorisch auf, wenn Chemorezeptoren steigende Kohlendioxidspiegel aufgrund des Kreislaufstillstandes melden. Schnappatmung gilt als Hinweis für einen baldigen Hirntod des Tieres (GILBERT, 1993).

2.4.4 Herzaktionen und EKG

Eine Elektrobetäubung mit Kopf- und anschließender Brustdurchströmung hat das Ziel, eine sofortige Bewußtlosigkeit herbeizuführen und diese durch einen Herzstillstand dauerhaft aufrechtzuerhalten. Eine stillstehende Blutzirkulation nämlich führt zu cerebraler Hypoxie und verzögert bzw. verhindert maßgeblich eine Bewußtseinswiederkehr. Dies ist im Sinne des Tierschutzes vor allem für die Zeitspanne zwischen Betäubung und Entblutungsstich von außerordentlicher Wichtigkeit (BLACKMORE, 1989). Zu beachten sind hierbei die gesonderten Verhältnisse der Blutgefäßversorgung beim Rind (siehe 2.4.6).

Der Status quo der Herztätigkeit kann mit Hilfe des Elektrokardiogramms (EKG) ermittelt werden, indem zwischen verschiedenen Punkten an der Körperoberfläche Potentialdifferenzen abgeleitet und aufgezeichnet werden. Über das Reizleitungssystem des Herzens breiten sich in Form von Stromschleifen elektrische Impulse aus, welche den Herzschlag steuern. Das EKG-Gerät wandelt die von den Extremitäten abgeleiteten Impulse um und macht diese als EKG-Kurve sichtbar (N. N., 2002b).

Bei Betrachtung einer EKG-Kurve sieht man Ausschläge in positiver und negativer Richtung, sog. Zacken oder Wellen, die den Weg des elektrischen Impulses am Herzen beschreiben. Ein solcher, unter physiologischen Bedingungen, immer wiederkehrender Abschnitt, beginnt mit der P-Welle, welche die Erregungsausbreitung in den Vorhöfen anzeigt. Daran schließt sich eine gerade Linie, sog. PQ-Strecke an, beide Vorhöfe sind erregt und der Impuls befindet sich am AV-Knoten, dem Übergang zur Kammer. Die nun folgende QRS-Gruppe kennzeichnet die Erregungsausbreitung über die beiden Herzkammern. Der etwas über der Grundlinie liegenden Q-Zacke folgt die R-Zacke mit einem steilen und hohen Ausschlag. Daraufhin fällt die Kurve bis zur S-Zacke stark nach unten ab. Die folgende ST-Strecke zeigt wie die PQ-Strecke bei den Vorhöfen die Totalerregung des Ventrikelmyokards an. Die T-Welle läuft sanft aus und kennzeichnet die Erregungsrückbildung der Kammern (ANTONI, 1995).

Niederfrequente Wechselströme, wie sie bei einer Elektrobetäubung mit Herzdurchströmung verwendet werden (ca. 50 Hz), sind in der Lage, Herzkammerflimmern aus-

zulösen, wenn sie in die sog. relative Refraktärphase des Herzmuskelaktionspotentials treffen (DUDEL, 1995). Ein überschwelliger elektrischer Reiz vermag in der frühen Phase der Erregungsrückbildung (ansteigende T-Welle) bestimmte relativ refraktäre Bereiche des Herzmuskels erneut zu erregen. Es findet also eine Überschneidung bzw. ein Wiedereintritt (Reentry-Mechanismus) von Erregungsleitungsimpulsen in einen noch aktiven Impuls statt (N. N., 2002a). Kurze, kreisende Erregungswellen aufgrund verkürzter Refraktärzeiten resultieren in einer unkoordinierten elektrischen Aktivität des Herzens, es findet keine effektive Füllung und Kontraktion der Ventrikel statt und der Blutkreislauf sistiert (ANTONI, 1995).

Bei einer ventrikulären Fibrillation bzw. Herzkammerflimmern zeigt die EKG-Kurve einen totalen Ausfall synchroner Aktivität, die Potentialschwankungen sind sehr unregelmäßig und wechseln schnell in Frequenz, Form und Amplitude (BLACKMORE, 1989). Bei Versuchen mit 3 elektrobetäubten Rindern konnten bei nachgewiesenem Herzkammerflimmern keine Zeichen für eine Wiederkehr des Bewußtseins festgestellt werden, als man die Entblutung 2,5 Minuten hinauszögerte. Dagegen hatte ein mangelhafter Kontakt der Betäubungselektroden Herzraten bis zu 300/min zur Folge und die Tiere schienen das Bewußtsein wiederzuerlangen (BLACKMORE, 1989).

Wird ein Herzstillstand induziert bevor das Bewußtsein erloschen ist, z.B. bei Fehlbetäubungen, erfährt das Tier mit hoher Wahrscheinlichkeit Muskelschmerzen. Diese Art von Schmerz ist vergleichbar mit der sog. Angina pectoris beim Menschen und begründet sich auf einer Ischämie im Myokard, einem extrazellulären Anstieg von Wasserstoff- und Kaliumionen, und einem hohen Bradykinin-Spiegel (GREGORY, 1998).

Die spontane Rückkehr des fibrillierten Herzens in einen Sinusrhythmus hält GREGORY (1998) für ungewöhnlich. Ausnahmen sind kleinere Tierspezies wie z.B. Hasen. Andere Wissenschaftler dagegen halten nicht zuletzt aufgrund einer besseren Blutversorgung der vorderen Körperhälfte und einem möglichen Stoß der Bauchorgane auf das Herz nach dem Aufziehen der Tiere an den Hintergliedmaßen, eine spontane Wiedererlangung des Sinusrhythmus für denkbar (HENKE, 2002).

Von außerordentlicher Bedeutung ist die Lage des Herzens im Stromdurchgang während der Betäubung. Schon 1954 wird von einem Kind berichtet, das bei einem elektrischen Unfall mit einem Wechselstrom von 110 V und 6 Ampere lediglich eine elektrothermisch bedingte Nekrose der Unterlippe erlitt. Unfälle mit Strom enden bei Kleinkindern nicht selten tödlich. Die beiden Pole lagen jedoch sehr lokalisiert, der Hautwiderstand war aufgrund der feuchten Haut gering und die Einwirkungsdauer des Stromes sehr kurz. Lebenswichtige Organe schienen nicht betroffen zu sein und ein abgeleitetes EKG blieb unauffällig (WITTELS, 1954).

2.4.5 Bewußtsein und mögliche Untersuchungsparameter

Es ist schwierig, in der Literatur klare Definitionen für den Begriff Bewußtsein bei Tieren zu finden. Nach BIRBAUMER und SCHMIDT (1995) liegt dem Zustand des bewußten Erlebens und der Aufmerksamkeit eine ausreichend große Aktivierung bestimmter kortikaler Areale zugrunde, die von komplexen Kontrollsystemen gesteuert und mit Stammhirnanteilen, wie dem Hypothalamus, verschaltet werden.

Bei der Forschung, welche sich vor allem mit dem Eintritt des Verlustes der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit beschäftigte, wurden in Anlehnung an die Humanmedizin verschiedene Untersuchungsmethoden angewandt. Neben den bereits geschilderten Verfahren zur Überwachung der epileptiformen Aktivität nach einer Elektrobetäubung (EEG, ECoG), versuchte man mittels gezielter Stimulierung somatosensorischer Systeme, in den betreffenden Nervenbahnen und Rindenarealen Potentiale auszulösen, um Hinweise auf möglicherweise vorhandenes Bewußtsein zu erhalten. Diese im EEG meßbaren Potentiale wurden dabei durch akustische, visuelle oder schmerzhaft stimuli ausgelöst bzw. evoziert.

Versuche an elektrobetäubten Kälbern, deren kortikale Funktion durch die Reizung der Retina mittels Lichtblitzen gemessen wurde (visuell evozierte Potentiale, VEPs), machen die Schwierigkeiten deutlich, wenn Bewußtsein anhand dieser Potentiale definiert wird. GRANDIN (1985) nämlich sieht den Verlust von VEPs in einem Zusammenbrechen der Blutzufuhr zur Retina nach Durchtrennung der Carotiden begründet,

unabhängig von einer verminderten Blutzufuhr zum Gehirn. DALY (1985) dagegen wäht die Retina trotz Anoxie und Verlust spontaner Hirnaktivität noch viele Minuten funktionsfähig und hält daher diese Ergebnisse für eine Bewertung des Bewußtseinszustandes nicht für aussagekräftig.

GREGORY und WOTTON (1988) überprüften kortikale Potentiale, indem sie elektrisch betäubten Schafen Schmerzstimuli zufügten. Sie wiesen eine ausgeprägte Analgesie von über 9 minütiger Dauer nach, obwohl die Tiere längst für sensorische Stimuli empfänglich waren. Gerade im Hinblick auf eine humane Betäubungsmethode im Sinne des Tierschutzes, ist die Abklärung der Schmerzwahrnehmung im Anschluß an die Betäubung von enormer Wichtigkeit.

Schmerz ist laut der International Association for the Study of Pain, IASP, als „unangenehmes Sinnes- und Gefühlserlebnis, das mit tatsächlichen und/oder möglichen Gewebeschäden verbunden ist,“ definiert (HELLEBREKERS, 2000).

Eine objektive Einschätzung des Schmerzverhaltens von verschiedenen Tierarten basiert in erster Linie auf Beobachtungen und persönlichen Erfahrungen, die in der tierärztlichen Praxis oder bei gezielten Forschungsprogrammen diesbezüglich gemacht werden konnten. Diese objektiv sichtbaren bzw. meßbaren physiologischen Parameter versuchte man erst in jüngerer Zeit mittels bestimmter Schmerzbewertungsschemata in einen verbindlicheren Rahmen zu bringen, um die teilweise enormen persönlichen Divergenzen in der Beurteilung des Schmerzempfindens bei Tieren besser einzugrenzen. Von außerordentlicher Bedeutung kann ein speziesspezifisches Bewertungssystem bei der Anwendung und Dosierung von Analgetika bei der Schmerztherapie sein (HENKE und ERHARDT, 2001). Zusammenfassend kann zu den Schmerzbeurteilungsschemata gesagt werden, dass es sich hierbei meist um Bewertungs- oder Klassifizierungsskalen handelt, in denen der Grad der Abweichung vom normalen Verhalten eines bestimmten Tieres im Punktesystem ermittelt wird. Dabei werden schließlich mehreren Kategorien, wie z.B. Haltung, Lautäußerung, Palpation, Freßverhalten, Anstieg von Puls- und Atemfrequenz, Punkte zugeordnet und somit der individuelle Schmerzwert erhoben (HELLEBREKERS, 2000).

In Anlehnung an das Verhalten von Tieren während einer Narkose wurden 4 Stadien definiert, um die für einen chirurgischen Eingriff notwendige Betäubungstiefe ausreichend sicher einschätzen zu können. Stadium I ist das Analgesiestadium mit reduzierter bzw. erloschener Schmerzempfindung, enger Pupille, aber erhaltenem Pupillar-, Lid- und Kornealreflex. Am Ende dieser Phase steht der Verlust des Bewußtseins. Das Stadium II wird Exzitationsstadium genannt und umfaßt die Zeitspanne vom Moment des Bewußtseinsverlustes bis zum Auftreten regelmäßiger Atmung. Es treten unwillkürliche Bewegungen, wie z.B. Zappeln, auf, sowie unregelmäßige Atmung, Augenbewegungen und evtl. Lautäußerungen. Die Pupillen sind geweitet und die Reflexantwort vorhanden oder sogar erhöht. Im Stadium III, auch als Toleranzstadium bezeichnet, werden die Reflexe schwächer und die Pupillen sind nach anfänglicher Verengung maximal geweitet. Im Lauf dieser Phase ist das Schmerzempfinden völlig ausgeschaltet und die Muskeln relaxiert. Das Toleranzstadium ist für Operationen geeignet, beginnt mit dem Einsetzen regelmäßiger Atmung und endet mit dem Einstellen der Spontanatmung des Tieres. Das Stadium IV, Asphyxiestadium, ist erreicht, wenn die Zwerchfellatmung stillsteht und alle Reflexe ausgefallen sind. Es tritt Schnappatmung auf und der Puls wird schnell und flach. Ohne Gegenmaßnahmen tritt der Tod ein, sobald die Sauerstoffvorräte verbraucht sind (PADDLEFORD und ERHARDT, 1992; SCHATZMANN, 1997).

Obwohl sich die unter der Wirkung einer chemischen Narkose erforschten Stadien nicht uneingeschränkt auf eine Betäubung mittels elektrischen Stromes umsetzen lassen, sind doch einige Aspekte für die Überprüfung der betäubenden Wirkung bedeutsam. Im Anschluß an die Phase der tonisch-klonischen Krämpfe gilt regelmäßige Atmung als ein Zeichen für wiederkehrendes Bewußtsein (WOTTON, 1995), während Schnappatmung den Gehirntod wegen Sauerstoffmangel ankündigt (GRANDIN, 2001). Augenreflexe sind nach BLACKMORE und DELANY (1988) wenig aussagekräftig. Untersuchungen von GRANDIN (2001) beziehen Augenreflexe nach einer 60-sekündigen Erholungszeit im Anschluß an den Betäubungsstromfluß jedoch mit ein. Bei nicht oder nicht rechtzeitig erfolgtem Entblutestich sind außerdem ein willkürliches Aufrichten des Kopfes oder Körpers im Hängen, sowie gerichtete Augenbewegungen Anzeichen für ein Wiederkehren des Bewußtsein.

2.4.6 Die Verhältnisse der cerebralen Blutversorgung beim Rind

Die permanente Aufrechterhaltung der Bewußtlosigkeit nach einer Elektrobetäubung steht in enger Korrelation mit der Sauerstoffversorgung des Gehirns. Die im arteriellen Blut transportierten Stoffwechselmetabolite und Sauerstoff sind während und im Anschluß an den epileptiformen Anfall entscheidende Faktoren für die Reintegration der Hirntätigkeit.

Die Blutversorgung des Gehirns wird bei den Wiederkäuern durch das Rete mirabile epidurale rostrale, welches von der A. maxillaris gespeist wird, gewährleistet. Ursprünglich stellt die A. carotis interna, die zusammen mit der A. occipitalis aus der A. carotis communis hervorgeht, die Blutzufuhr zum Gehirn sicher. Postnatal wird der extrakraniale Teil der A. carotis interna jedoch innerhalb von 8 Wochen zu einem Bindegewebsstrang abgebaut. Die anatomische Besonderheit liegt beim Rind in einer Ausdehnung des stark ausgebildeten Rete mirabile epidurale rostrale nach caudal, welches schließlich mit Ästen der Aa. condylaris und occipitalis, sowie mit der A. vertebralis, anastomosiert. Bei Schaf und Ziege sind diese Strukturen kaum ausgebildet (NICKEL et al., 1992).

Es besteht damit beim Rind die Möglichkeit der Blutversorgung unter Umgehung der A. carotis communis, welche bei der Schlachtung durchtrennt wird. Über 20 % der Blutzufuhr zum Gehirn kann nach Untersuchungen von BALDWIN und BELL (1963) bei Rindern durch diese Gefäßverbindungen geschehen. Untersuchungen an Pavianen, bei denen man durch einen artifiziellen Gefäßverschluß eine progressive Ischämie des Gehirns erzeugte, zeigten, daß die Hirnaktivität erst erlischt, wenn die cerebrale Blutzufuhr nur noch 15 bis 18 % beträgt (BRANSTON et al., 1984). Bei Versuchen an Kälbern kommt ein Sistieren der Gehirntätigkeit vermutlich schon bei einem Absinken der Durchblutung auf 39 % des Normalwertes zustande (BAGER et al., 1988).

EEG-Studien bei unbetäubten Schafen und Kälbern, die durch Inzision der Halsgefäße entblutet wurden, zeigen wesentliche Unterschiede in der Zeitdauer bis zum Erreichen der isoelektrischen Linie, also permanenter Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit. So waren Schafe und Lämmer in 2 bis 7 Sekunden bewußtlos (EEG

< 10 mV). Bei den Kälbern hingegen traten Hinweise auf Bewußtlosigkeit erst 65 bis 85 Sekunden nach dem Entblutungsschnitt auf. Zudem zeigten einige Kälber ein periodisches Wiederaufleben möglicher Sensibilität im EEG für über 300 Sekunden nach dem Schlachten. Der Grund dafür liegt vermutlich in einer höheren Blutzufuhr zum Gehirn über die bei der Schlachtung unversehrte Vertebralarterie (NEWHOOK und BLACKMORE, 1982).

Obwohl das EEG brauchbare Informationen bei der Überwachung des Bewußtseinsstatus liefert, sind nach BAGER et al. (1990) fortdauernde Signale über 10 mV im EEG keine zwingenden Hinweise für Bewußtsein. Die verlängerten EEG-Aktivitäten können bei Kälbern, die durch Ausblutung getötet wurden, aber auch bei zuvor elektrotäubten Kälbern, durchaus in der Blutverteilung durch die Vertebralarterie begründet sein (BAGER et al., 1990).

Neuere Forschungen, bei denen die Vertebralarterien von Kälbern ligiert wurden, bestreiten, dass diese Gefäßverbindung allein für verlängerte kortikale Aktivitäten verantwortlich ist. Im Vergleich mit kleinen Wiederkäuern trat eine endgültige Bewußtlosigkeit auch hier verzögert auf (SHAW et al., 1990). Diese Versuche könnten weiterhin die Ergebnisse von BALDWIN und BELL (1963) bestätigen, wonach die bei der Schlachtung ebenfalls unversehrte A. spinalis ventralis neben der Vertebralarterie ein wichtiger Faktor beim individuell sehr unterschiedlichen Aktivitätsverlust im EEG sein kann. Die A. spinalis ventralis wird von Ästen der Aorta gespeist, deren Blutdruck unmittelbar nach der Schlachtung weniger stark abfällt als der Blutdruck der Carotiden und der Vertebralarterie, welche über die A. occipitalis mit den Halsgefäßen anastomosiert. Diese Möglichkeit ist aber noch nicht hinlänglich erforscht worden (SHAW et al., 1990).

2.5 Der Stromfluß und mögliche Beeinträchtigungen

Im Laufe des vergangenen Jahrhunderts wurden teils durch Experimente teils durch Zufall viele unterschiedliche Wirkungen des elektrischen Stromes auf den Organismus entdeckt (siehe 2.1). Ströme niedriger Stärke konnten beispielsweise bei der Schmerzkontrolle von Nutzen sein, wenn bestimmte Gehirnregionen stimuliert wurden (GREGORY, 1998). Dieses als Elektroanalgesie bezeichnete Phänomen tritt auch bei elektrisch betäubten Tieren auf und hält weit länger an als die Bewußtlosigkeit. So riefen Schmerzstimuli bei Schafen und Kälbern für mehr als 10 Minuten keine Reaktionen hervor (COOK und DEVINE, 2002).

Das Ziel der Elektrobetäubung ist die Auslösung eines epileptiformen Anfalls, indem das Gehirn im Stromfluß zweier Elektroden liegt. Der wichtigste Parameter ist dabei die Stromstärke, welche im Ohmschen Gesetz als Relation der Spannung zum Widerstand definiert ist (STÜBER, 2000). Bei konstanter Spannung hängt also die im Nervengewebe zu erreichende Stromstärke vom Widerstand der durchströmten Medien und Gewebeschichten ab. Um den Widerstand zu reduzieren und damit eine zu geringe Stromstärke im Gehirn zu vermeiden, sollten die Applikationsstellen und die Elektroden selbst befeuchtet sein. Dies ist auch im Hinblick auf Kohlenstoffablagerungen von Bedeutung (GILBERT, 1993). Um eine bestimmte Stromdichte im Gehirn zu erreichen und nachteilige Widerstandsverhältnisse zu überwinden, werden heute Betäubungsspannungen von mindestens 250 Volt empfohlen (MÄNNL, 1994). Bei amerikanischen Rindern, die in Feedlots gehalten werden, war der Ansatz der Brustelektrode aufgrund dicker Schmutz- und Kotalagerungen im Sternbereich problematisch, sodass die Brustdurchströmung nicht ausreichend sichergestellt werden konnte (GREGORY, 1993). Dies zeigt, daß der Außenwiderstand (Elektrode – Haut) im Gegensatz zum relativ konstanten Innenwiderstand des Tieres sehr variabel ist.

Um die gewünschte Betäubungsqualität zu erhalten, sind gewisse minimale Betäubungszeiten einzuhalten. Eine Fibrillation des Herzens beispielsweise wird bei einer Durchströmung unter 1 Sekunde unwahrscheinlicher. Derselbe Effekt wird bei Stromstärken von mehr als 6 Ampere beobachtet (GREGORY, 1998). Weiterhin kann eine sichere Betäubung nur mit niederfrequenten Strömen zwischen 50 und 200 Hz erzielt werden (STÜBER, 2000).

Untersuchungen zur Stromverteilung in Schweineköpfen von KOCH et al. (1996) belegen, dass nur ein Teil des Stromes über Öffnungen des isolierenden knöchernen Schädels, vor allem entlang der Augenbahnen und Blutgefäße, in das Gehirn fließt. Jedoch führt ein regulärer Betäubungsstrom selbst bei suboptimalem Ansatz der Elektroden nur zu einer etwa 20 % geringeren Stromdichte. Die Verteilung des Stromes im Gehirn bleibt auch bei Variation des Elektrodenansatzes stets gleich. Die Ergebnisse wurden an abgetrennten Köpfen erzielt, sodass Faktoren wie Blutverlust und Zerfall der Gehirnzellen nach dem Tod berücksichtigt werden müssen. Normalerweise ist der Gesamtwiderstand des Gehirns höher, da die Integrität der Zellmembranen die Ionenbewegung einschränkt. Außerdem wird ein großer Teil des Betäubungsstromes unter Umgehung des Gehirns über die Nackenmuskulatur abgeleitet. Aus diesen Gründen wird bei lebenden Tieren eine geringere Stromdichte erreicht werden können (KOCH et al., 1996).

Die Lage des Gehirns in der Strombahn ist für eine direkte und unmittelbare Durchströmung zur Auslösung des epileptiformen Anfalls außerordentlich bedeutend. **Abbildung 3** zeigt eine Kopfdurchströmung zwischen Flotzmaul und Nacken. Die besten Resultate wurden bei den Elektrodenansätzen Ohrgrund/Ohrgrund, Orbita/Orbita und Stirn/Unterkiefer erzielt (MÄNNL, 1994). Ein Ansatz der Kopfelektroden zu weit caudal im Nacken führt zu einer Durchströmung des Rückenmarks unter Umgehung des Gehirns. Durch die Paralyse der motorischen Nerven erscheint das Tier immobilisiert, ist jedoch nicht bewußtlos. Bei ausgelöstem Herzstillstand verliert das Tier sein Bewußtsein aufgrund der cerebralen Anoxie erst langsam. Dies ist unter tierschutzrechtlichen Aspekten nicht akzeptabel (COOK et al., 1991).

In der **Abbildung 4** ist der Stromfluß bei einer ordnungsgemäßen Kopf-Brust-Durchströmung anhand einer Betäubungsanlage neuseeländischer Bauart dargestellt.

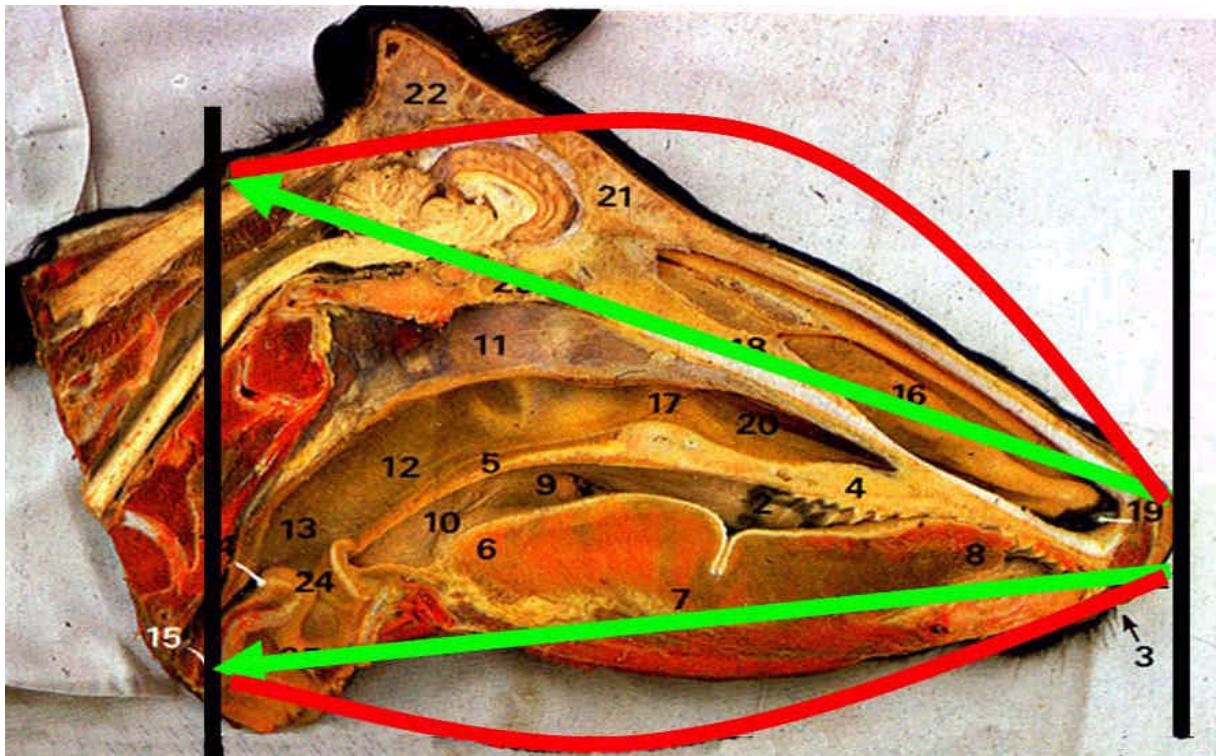


Abb. 3: Schematische Darstellung der Kopfdurchströmung zwischen Flotzmaul und Nacken am quergeschnittenen Rinderschädel (nach PAVAUX, 1982)

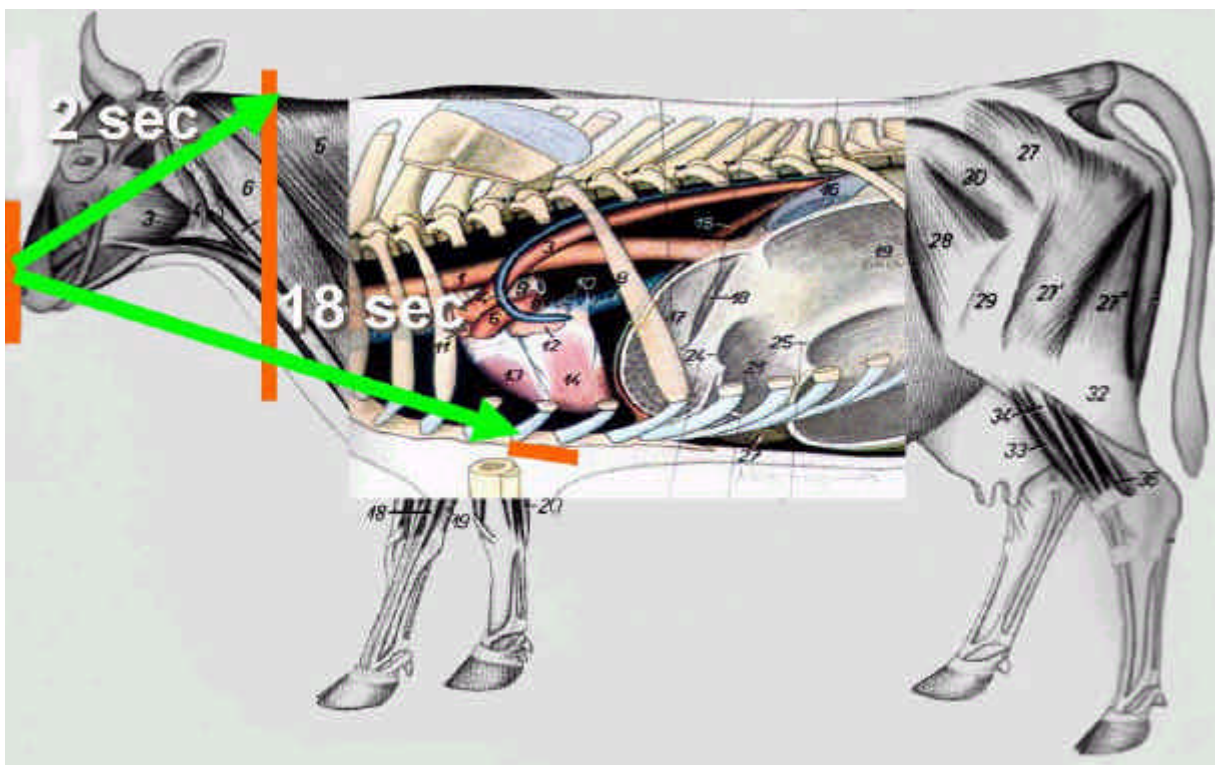


Abb. 4: Schematische Darstellung der Kopf-Brust-Durchströmung und der Position der Elektroden bei einer Elektrobetäubungsanlage neuseeländischer Bauart (nach POPESKO, 1984)

2.6 Elektrobetäubung und BSE-Problematik

Die BSE-Problematik hat in den vergangenen Jahren zu einer Vielzahl von Untersuchungen und Forschungsprogrammen geführt, um eine Gefährdung des Verbrauchers durch den Verzehr von Rindfleisch auszuschließen bzw. das Risiko einer Kontamination des Fleisches mit ZNS-haltigem Material zu minimieren. Neben Veränderungen in der Schlacht- und Zerlegetechnik (v.a. Absaugung des Rückenmarks, Ausfräsung des Rückenmarkskanals) wurden auch die konventionellen Betäubungsverfahren hinsichtlich der Gefahr einer Abschwemmung von ZNS-Emboli in den Körper neu bewertet (JOHANNSEN, 2002).

Im Jahre 1996 fanden GARLAND und Mitarbeiter makroskopisch sichtbare Teile von Gehirngewebe in den Pulmonalarterien, welche nach der Verwendung eines penetrierenden und Luft in den Schädel injizierenden Bolzenschußgerätes dorthin abgeschwemmt wurden. Diese Modifikation des Bolzenschusses ist zwar in Europa verboten, jedoch konnte noch keine wissenschaftliche Untersuchung belegen, dass andere penetrierende Verfahren in dieser Hinsicht ausreichend sicher sind.

Es wurden innovative Techniken entwickelt, wodurch die Nervengewebe-spezifischen Proteine Syntaxin 1-B und Annexin V im Blut nachgewiesen werden konnten (ANIL et al., 1999). Diesbezüglich positive Resultate erbrachten Betäubungsversuche mit konventionellem Bolzenschuß und anschließendem Einsatz des sog. Rückenmarkzerstörers. Versuche von MACKEY und DERRICK (1979) hatten gezeigt, dass Markerbakterien, welche am Bolzen angebracht wurden, nach dem Betäubungsschuß in Milz- und Muskelgewebe entdeckt werden konnten. Bei der Bewertung des Kontaminationsrisikos muß weiterhin die Tiefe und Geschwindigkeit des eindringenden Bolzens, sowie die Menge des zerstörten und möglicherweise dislozierten Nervengewebes berücksichtigt werden (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Obwohl das innovative Betäubungsverfahren der Schuß-Schlag-Betäubung hinsichtlich des Verbraucherschutzes im Vergleich mit der Bolzenschußbetäubung zum jetzigen Zeitpunkt kaum Vorteile erkennen läßt, so ist doch eine Gefährdung der Mitarbeiter am Schlachtband reduziert. Der stumpfe Schlag verursacht keine Eröffnung

des Schädels, sodass ein Austreten von Hirnmaterial unterbleibt und weder die Mitarbeiter noch der Schlachttierkörper kontaminiert werden (MOJE et al., 2002).

Das Risiko einer Abschwemmung von BSE-infektiösem Material soll auch unter Verwendung des üblichen Bolzenschußverfahrens ohne Rückenmarkzerstörer gegeben sein, wie erst kürzlich Untersuchungen bei Schafen ergeben haben (JOHANNSEN, 2002). Derzeit kann eine Verbreitung möglicherweise infektiösen ZNS-Gewebes nur durch den Einsatz der Elektrobetäubung mit induziertem Herzstillstand mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden. Dieses Verfahren wird daher im Sinne des Verbraucherschutzes empfohlen (JOHANNSEN, 2002).

2.7 Elektrobetäubung und Fleischqualität

2.7.1 pH-Wert-Entwicklung

Die Fleischqualität wird von einer Vielzahl sensorischer, ernährungsphysiologischer, hygienisch-toxikologischer und verarbeitungstechnologischer Eigenschaften bestimmt. Ein besonders wichtiger Parameter bei der Qualitätskontrolle und Beurteilung des Fleisches für die Verwertung als Nahrungsmittel ist der pH-Wert in der postmortalen Muskulatur. Die pH-Wert-Messung liefert objektive Hinweise bezüglich qualitätsrelevanter Eigenschaften wie Saffthaltevermögen, Zartheit, Festigkeit, Haltbarkeit und Geschmack (HOFMANN, 1987).

Die Geschwindigkeit des physiologischen pH-Wertabfalls post mortem ist unter anderem von der Tierart, aber auch von den einzelnen Muskelpartien selbst abhängig. Die AVVFIHV enthält Bestimmungen über die Durchführung der Messung, die tierart-spezifischen Meßstellen (nur für das Schwein vorgegeben) und Meßzeitpunkte, sowie die Richtwerte für eine abnorme Fleischsäuerung. Demnach liegt beim Rind eine beschleunigte Glykolyse vor, wenn der pH-Wert 45 Minuten nach der Schlachtung 6,0 oder geringer ist (sog. PSE-Fleisch). Beträgt der End-pH-Wert 48 Stunden nach

der Schlachtung 6,2 oder mehr, spricht man von einer verzögerten oder unvollständigen Glykolyse (sog. DFD-Fleisch, bei Jungbullen auch DCM).

Der pH-Wert der Rindermuskulatur ist direkt nach der Schlachtung neutral bis leicht alkalisch (HOFMANN, 1987). Innerhalb von 45 Minuten sinkt der pH-Wert bei konventionell betäubten Tieren (Bolzenschuß) auf 6,9 ab, und pendelt sich nach 36 bis 48 Stunden nach der Schlachtung ein mit Werten zwischen 5,3 und 6,0 (STÜBER, 2000). Diese Werte wurden im *M. longissimus dorsi* ermittelt.

2.7.1.1 Physiologische und biochemische Vorgänge im lebenden Muskel

Die kleinste kontraktile Einheit des Muskelgewebes ist das Sarkomer. Die Kontraktion des Muskels beruht auf der Gesamtheit aller sich verkürzenden Einheiten und wird durch ein Ineinandergleiten der Aktin- und Myosinfilamente gewährleistet. Zuvor wird eine von der Stärke des Muskelaktionspotentials abhängige Menge an Calcium-Ionen aus dem sarkoplasmatischen Retikulum ausgeschüttet, welche sich an Troponin binden. Daraufhin gibt der mit den Aktinfilamenten assoziierte Troponin-Tropomyosin-Komplex durch eine Konformationsänderung die Haftstellen für die Myosinköpfe am Aktin frei. Diese Verbindung sowie die erhöhte Calciumkonzentration führen nach HAMM (1981) zu einer Steigerung der ATPase-Aktivität des Myosins und schließlich zur hydrolytischen Spaltung des angelagerten ATP (Adenosintri-phosphat) zu ADP (Adenosindiphosphat). Die freiwerdende chemische Energie wird in mechanische Energie umgesetzt, die Myosinköpfe knicken ab und die Filamente schieben sich ineinander. Dieser entstandene Aktin-Myosin-Komplex ist äußerst stabil und „rigide“ („Rigorkomplex“), und kann nur durch eine erneute Anlagerung von ATP an das Myosin gelöst werden (sog. „Weichmacherfunktion“ des ATP). Bleiben Nervenimpulse aus, werden die Calcium-Ionen unter ATP-Verbrauch wieder aus dem Sarkoplasma gepumpt und die Verbindungsstellen der kontraktiven Filamente sind blockiert (RÜEGG, 1995; HAMM, 1981).

Zur Aufrechterhaltung des Muskelstoffwechsels ist ein ständig erneuerbarer Energieträger erforderlich. Die in Form von ATP gespeicherte chemische Energie wird bei Bedarf in kinetische Energie umgewandelt (s.o.). Das dabei entstehende energie-

ärmere ADP wird sofort regeneriert, indem das schnell verfügbare Kreatinphosphat seine Phosphatgruppe überträgt. Diese Reaktion benötigt keinen Sauerstoff und garantiert eine unmittelbare Energieversorgung. Die für die Synthese und Regeneration von ATP benötigte Energie wird im Muskel am effektivsten durch den Abbau von Glykogen (Speicherform der Glucose) zu Kohlendioxid und Wasser bereitgestellt. Diese Reaktion benötigt Sauerstoff und wird als aerobe Glykolyse bezeichnet. Über weitere Reaktionen (Citratcyclus, Atmungskette) werden schließlich aus einem Molekül Glucose 36 ATP gebildet (Oxidative Phosphorylierung) (STRYER, 1994). Befindet sich die Muskulatur bei starker Arbeit oder beim Schlachten im Zustand der Sauerstoffschuld, wird Glucose durch anaerobe Glykolyse über Pyruvat schließlich zu Lactat abgebaut. Dieser Stoffwechselweg liefert jedoch nur 2 ATP pro Molekül Glucose, ist aber sauerstoffunabhängig (STRYER, 1994). Vor allem die sog. „weiße“ Muskulatur mit hoher Arbeitsleistung bei geringer Ausdauer bezieht ihre Energie aus letztgenannter Reaktion. Im Vergleich mit der sog. „roten“ Muskulatur sind die Glykogenreserven hoch, die Blutversorgung, der Myoglobingehalt, und damit die oxidativen Stoffwechselprozesse aber verringert (STÜBER, 2000).

2.7.1.2 Physiologische und biochemische Vorgänge im Muskel post mortem

Beim Schlachten wird der Blutkreislauf abrupt unterbrochen und die Sauerstoffversorgung kommt zum Stillstand. Demzufolge muß die Muskelzelle ihren ATP-Bedarf zunächst über das Kreatinphosphat und anschließend über den Stoffwechselweg der anaeroben Glykolyse decken. Die Folge ist eine Anhäufung von Laktat (und Wasserstoffionen) in der Muskulatur. Der vor dem Schlachten vorhandene Glykogengehalt bestimmt die produzierte Laktatmenge und damit den zu erreichenden End-pH-Wert (SCHWÄGELE, 1999b). Sind alle Reserven in der Zelle metabolisiert, wird auch ATP selbst abgebaut. Wenn die ATP-Konzentration von etwa 5 $\mu\text{Mol/g}$ auf etwa 1 $\mu\text{Mol/g}$ Muskelgewebe absinkt, häufen sich Calcium-Ionen im Sarkoplasma an, weil sie nicht mehr aktiv zurückgepumpt werden können. Nun kommt es aufgrund der fehlenden „Weichmacherfunktion“ des ATP zur Ausbildung des irreversiblen Akto-Myosin-Komplexes, der Muskel befindet sich in der Totenstarre (Rigor mortis) (HAMM et al., 1980). Während der folgenden zweiten Phase der Fleischreifung wird dieser Rigor allmählich durch Proteolyse der myofibrillären Struktur gelöst.

Die Temperatur hat entscheidenden Einfluß auf die Geschwindigkeit der postmortalen chemischen Reaktionen. Die Muskeltemperatur beträgt zum Schlachtzeitpunkt zwischen 38° und 40°C (GEROLD, 1993). Je höher die Temperatur, desto schneller wird Glykogen abgebaut und der End-pH-Wert erreicht. Die Totenstarre tritt bei pH-Werten um 5,9 ein. Wird der Schlachtierkörper nach der Schlachtung rasch gekühlt, werden die Reaktionen verlangsamt und damit der Eintritt des Rigor mortis hinausgezögert. Es besteht jedoch die Gefahr einer sog. irreversiblen Kälteverkürzung („cold shortening“) vor allem der dunkelroten Muskulatur, wenn Temperaturen unter 15°C erreicht werden, bevor die Totenstarre eintritt (SCHWÄGELE, 1999b). Die Folge sind Zähigkeit und erhöhter Tropfsaftverlust des Fleisches, welche auch durch Reifung nicht mehr verändert werden können (GEROLD, 1993).

Um ein rasches Herunterkühlen der Schlachtierhälften zu erleichtern und „cold shortening“ zu vermeiden, bedient man sich der postmortalen Elektrostimulation der Muskeln. Die elektrischen Impulse simulieren die natürlichen Nervenimpulse und führen daher zu einer postmortalen Muskelkontraktion (WICHLACZ et al., 1992). Die Energiereserven werden schneller verbraucht und der Rigor mortis tritt demzufolge früher ein (SCHWÄGELE, 1999b). Die pH-Wert-Abnahme ist von der Stimulationsspannung abhängig und verläuft im Vergleich mit nicht stimuliertem Fleisch mit etwa 2fach höherer Geschwindigkeit (0,3 pH-Einheiten anstatt normalerweise 0,16 pro Stunde). Die Zeitspanne bis zum Erreichen des End-pH-Wertes (etwa 5,5) kann somit auf etwa 1/3 reduziert werden (M. longissimus dorsi). Der rigor mortis kann bei Stimulation des M. longissimus dorsi mit 100 Volt schon nach 3,5 Stunden eintreten, wenn ein pH-Wert von etwa 6,0 erreicht ist (SPECHT und KUNIS, 1989).

2.7.2 Einfluß der Elektrobetäubung auf die pH-Wert-Entwicklung

Neben vielen anderen Faktoren beeinflusst auch die Betäubungsart die postmortalen Vorgänge in der Muskulatur. Bei der Elektrobetäubung werden große Teile des Körpers vom Strom durchflossen und dabei motorische und vegetative Nervenbahnen stimuliert. Es kommt zu tonisch-klonischen Krämpfen und daher zu einem gesteigerten Energiebedarf der Muskulatur. Da der Kreislauf bei erfolgreich ausgelöstem Herzkammerflimmern stillsteht, wird ATP im anoxischen Muskelgewebe schließlich über

eine gesteigerte anaerobe Glykolyse nachgebildet. Dies führt aufgrund des raschen Anstiegs von Laktat und Wasserstoffionen zu einem beschleunigten pH-Wert-Abfall in der Muskulatur (TROEGER und WOLTERSDORF, 1989).

Versuche von DEVINE et. al. (1984) zeigen, daß eine Ganzkörperdurchströmung („head to body“) im Vergleich zur Kopfbetäubung („head only“) einen schnelleren pH-Wert-Abfall zur Folge hat. So wurde bei einer Betäubungsdauer von 1,4 Sekunden ein pH von 6,0 nach ca. 7 Stunden erreicht. Der pH-Wert der kopfbetäubten Tiere lag nach dieser Zeitspanne noch über 6,4. Weiterhin konnte die Abhängigkeit des pH-Wertes von der Betäubungsdauer nachgewiesen werden. Floß der Strom 120 Sekunden, fiel der initiale pH noch rapider ab und der Rigor mortis war nach spätestens 3 Stunden erreicht. Ähnliche Resultate hatten PETERSEN und BLACKMORE (1982) bei Versuchen mit Lämmern. Im Vergleich mit Tieren, die entweder unbetäubt waren oder durch Bolzenschuß oder nur durch Kopfdurchströmung betäubt wurden, wiesen Lämmer, bei denen gleichzeitig Kopf und Vordergliedmaßen durchströmt wurden („head to foreleg“), deutlich niedrigere initiale pH-Werte auf.

Untersuchungen von SPECHT und KUNIS (1989) ergaben nach Elektrobetäubung initiale pH-Wert-Absenkungen in der postmortalen Muskulatur weiblicher Rinder von ca. 0,3 bis 0,4, ähnlich wie nach einer Elektrostimulation. Männliche Tiere dagegen wiesen aufgrund abnorm verlaufender Glykolyse häufig einen etwa 0,3 bis 0,4 Einheiten höheren End-pH auf, was auf unerwünschtes DFD-Fleisch hinweist. Besonders in Kombination mit Elektrostimulation treten bis zu 50 % DFD-Fleisch auf. Der Grund für dieses Phänomen scheint an dem höheren Stress der Bullen vor der Schlachtung und während der Elektrobetäubung zu liegen, wobei die Glykogenvorräte in den jeweils überbeanspruchten Muskeln verbraucht werden. Physische Erschöpfung und sozialer Stress können eine deutliche individuelle Variation bei der pH-Wert-Entwicklung haben und DFD-Fleisch begünstigen, insbesondere in Verbindung mit Elektrostimulation (FJELKNER-MODIG und RUDÉRUS, 1983a).

Einen positiven Einfluß hat die generelle Beschleunigung der Glykolyse auf die Fleischqualität, da ein rasches Erreichen des End-pH-Wertes zur beschleunigten Ausbildung der Totenstarre führt und somit eine unerwünschte Kälteverkürzung ver-

mieden werden kann. Auch die Fleischzartheit wird durch die Elektrobetäubung positiv beeinflusst (SPECHT und KUNIS, 1989).

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Der Schlachtbetrieb

Die Untersuchungen bezüglich der Elektrobetäubung wurden in einem industriellen Schlachtbetrieb im südlichen Bayern in der Zeit von November 2001 bis November 2002 durchgeführt. Es handelt sich hierbei um einen der größten auf Rinder spezialisierten Betriebe in Deutschland mit einer Schlachtgeschwindigkeit von 70 bis 72 Tieren pro Stunde. Die Elektrobetäubungsanlage vom neuseeländischen Typ ist die erste in Deutschland und auf dem europäischen Festland zur routinemäßigen Rinderschlachtung installierte Anlage.

3.2 Die Elektrobetäubungsanlage

Bei der untersuchten Anlage (**Abb. 5**) handelt es sich um ein Gerät der Firma Jarvis aus Neuseeland. In dieser Betäubungsbox sind drei verschiedene Elektroden untergebracht, welche an die Rinder herangefahren werden. Eine Elektrode befindet sich am Flotzmaul des Tieres. Die Elektroden des Halses sind paarig angeordnet und fungieren gleichzeitig als Halsfixierung. Die dritte Elektrode sitzt an der Brust der Tiere. Alle drei Elektroden verfügen über ein integriertes Bewässerungssystem (**Abb. 6**).

Der Einlauf der Rinder in die Box erfolgt durch einen Gang aus dem Stallbereich, anschließend wird die Einlauffür geschlossen. Nachdem ein Tier an das vordere Ende der Box gelaufen ist, werden die Halselektroden geschlossen, wodurch gleichzeitig der Kopf fixiert wird. Anschließend wird durch einen Hebemechanismus der Kopf nach oben gedrückt, sodass das Flotzmaul Kontakt mit der Flotzmaulelektrode bekommt. Erst zu diesem Zeitpunkt fließt zwischen den Elektroden Strom.

Die vollautomatisch ablaufende Betäubung kann in zwei Phasen unterteilt werden. Bei der ersten Phase, welche 4 Sekunden dauert, findet der Stromfluß im Tier von der Flotzmaul- zu den Halselektroden statt. Dabei beträgt die Stromstärke 3,2 Ampere bei einer Spannung von 270 bis 330 Volt. Die Durchströmung des Gehirns erzeugt beim Tier einen epileptiformen Anfall, die Rinder sind innerhalb von weniger

als 200 Millisekunden bewusstlos. Die Tiere brechen schlagartig in den Hintergliedmaßen ein und verharren während der Durchströmung mit rigide gestreckten Vordergliedmaßen in hundesitziger Stellung (**Abb. 7**). Bei der zweiten Phase wird der Strom zwischen Flotzmaul- und Brustelektrode, welche von unten aus der Boxenecke herausfährt, angelegt. Daraus resultiert ein Herzkammerflimmern, was klinisch einem Herzstillstand gleichzusetzen ist. Nach 18 bis 22 Sekunden ist der Vorgang der Betäubung abgeschlossen. Die Rinder werden anschließend konventionell über eine Wippe ausgeworfen, angeschlungen, aufgezogen und entblutet.

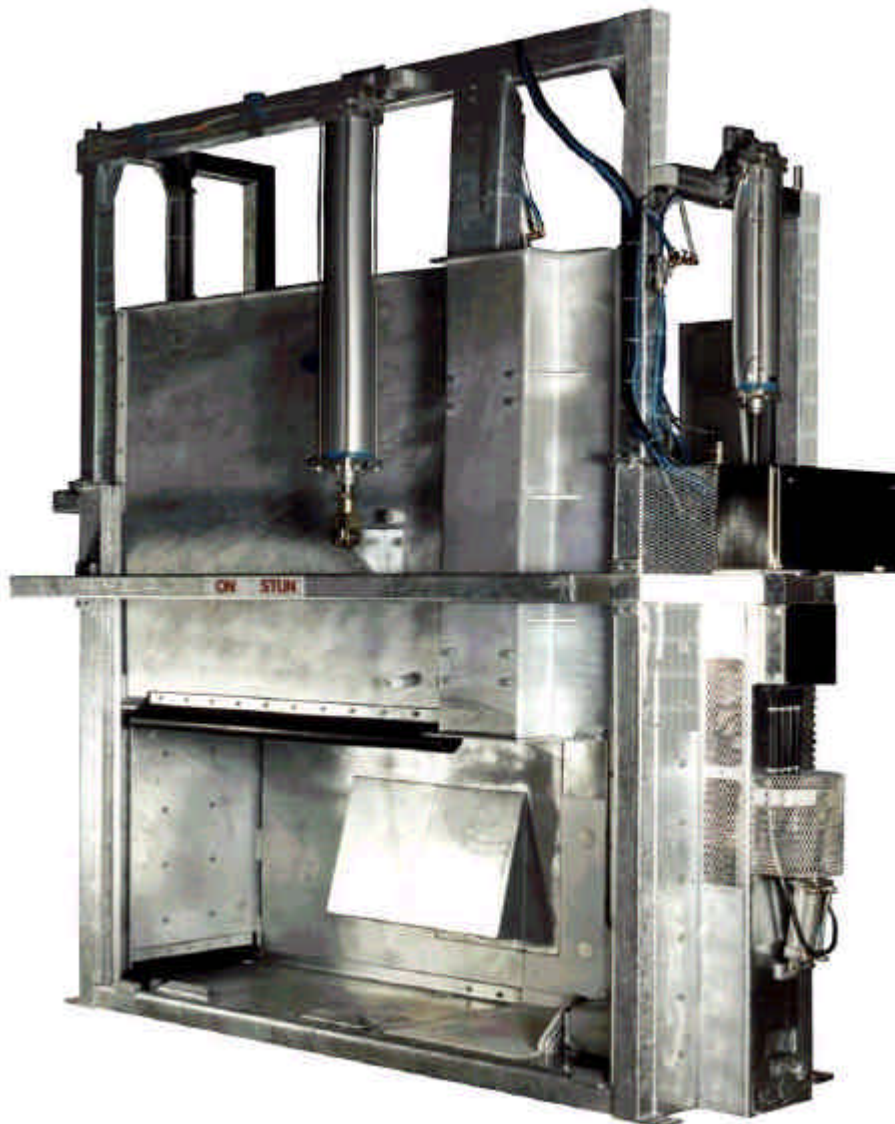


Abb. 5: Schrägansicht einer Elektrobetäubungsanlage vom neuseeländischen Typ.
Blick durch die geöffnete Seitenwand auf das Auswurfblech.



Abb. 6: Betäubungselektroden von oben: Flotzmaulelektrode (große Metallplatte), Herzelektrode (Mitte), Nackenelektroden (links und rechts)



Abb. 7: Rückansicht der Betäubungsbox. Das Rind ist gut fixiert und während der Durchströmungsphase in den Hintergliedmaßen eingeknickt

3.3 Tiermaterial

In dieser Studie wurden während und unmittelbar nach einer Elektrobetäubung insgesamt 619 Rinder untersucht.

Das Alter der weiblichen Tiere schwankte erheblich, zumeist handelte es sich aber um ältere Milchkühe oder Tiere aus der Färsenmast. Die männlichen Tiere stammten fast ausschließlich aus der Bullenmast und waren folglich selten älter als 3 Jahre.

In der Geschlechterverteilung waren 242 Tiere männlich und 377 Tiere weiblich (**Abb. 8**)

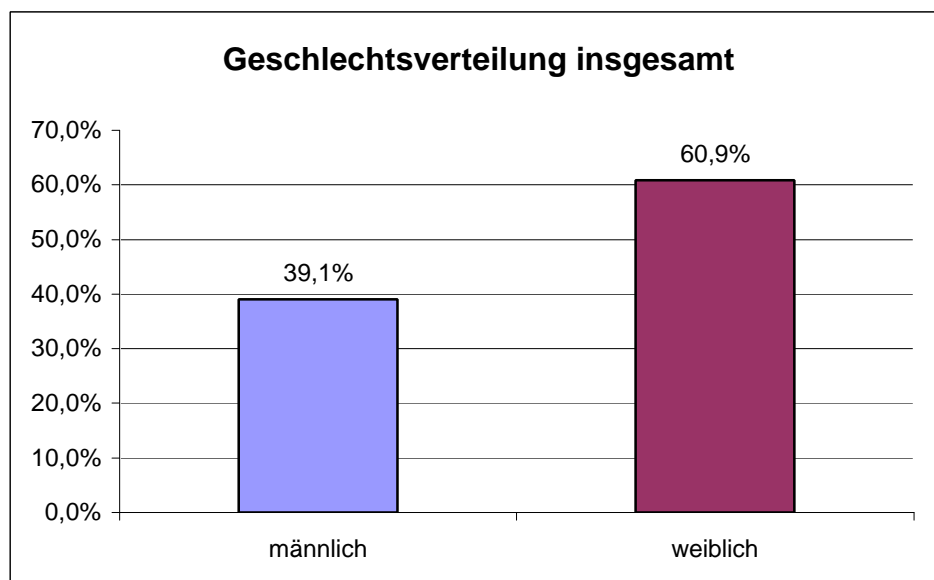


Abb. 8: Geschlechtsverteilung der insgesamt 619 Tiere

Die Rassenverteilung der 619 untersuchten Tiere stellte sich folgendermaßen dar: Über 50 % der Tiere zählten zur Rasse Fleckvieh. Die Rassen Braunvieh und Schwarz-Bunte waren mit je rund einem Viertel beteiligt. 0,8 % der Tiere wurden als sonstige Rassen eingestuft, z.B. Charolais, Limousin, Weiß-Blaue Belgier oder Kreuzungen, die keiner der Hauptgruppen zugeordnet werden konnten. Aufgrund der geringen Tierzahl und damit mangelnder Aussagekraft werden die sonstigen Rassen in dieser Studie im Folgenden nicht berücksichtigt (**Abb. 9**).

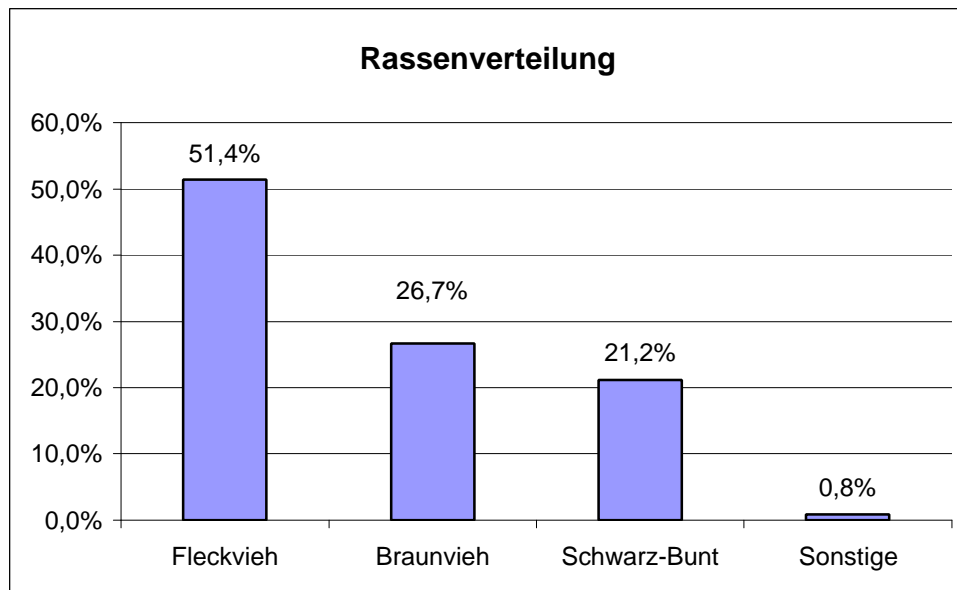


Abb. 9: Rassenverteilung der 619 Tiere dieser Studie

Die Geschlechterverteilung innerhalb der jeweiligen Rassen divergierte bei Betrachtung der Rasse Fleckvieh. Hier lag der Anteil männlicher Tiere mit 64,2 % deutlich höher als beim Braunvieh (10,3 %) oder den Schwarz-Bunten (13 %). (**Abb. 10**)

Während bei den beiden letztgenannten Rassen vornehmlich die Milchleistung bei der Zucht im Vordergrund steht, Bullenkälber also allenfalls vereinzelt gemästet werden, repräsentiert das Fleckvieh eine Zweinutzungsrasse mit einem dementsprechend hohen Anteil aus der Bullenmast stammender Tiere.

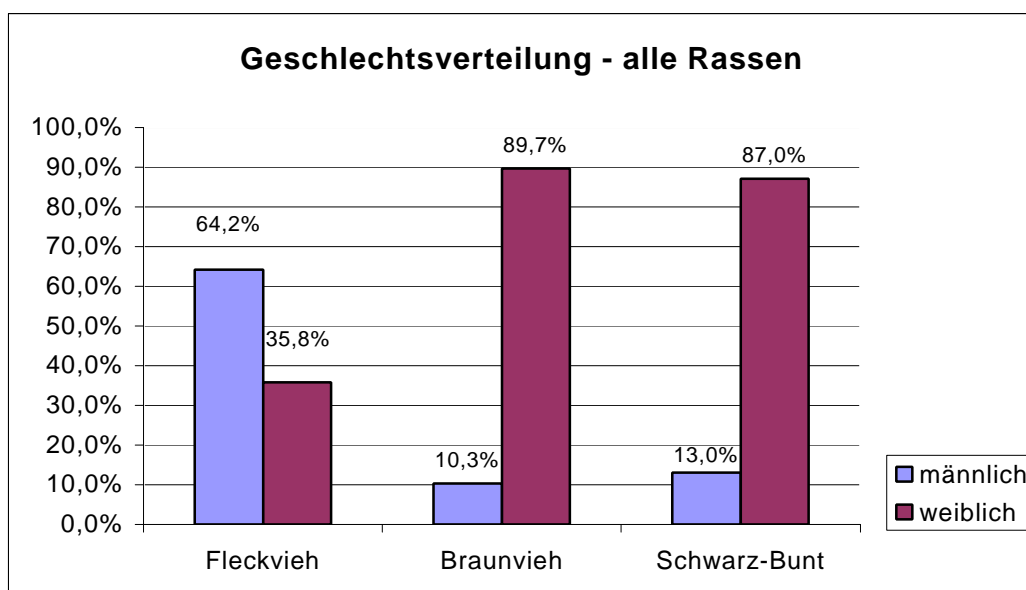


Abb. 10: Geschlechtsverteilung innerhalb der einzelnen Rassen

3.4 Untersuchungsmethoden

3.4.1 Instrumente und Geräte

Meßgeräte

- EKG („Cardiovit AT-4“, Fa. Schiller)
- pH – Meter (portabel, elektrometrisch, Glaselektrode)
- Digitalkamera (Canon G2)

3.4.2 Methodik zur Überwachung des Betäubungserfolges

Die betreffenden Tiere dieser Studie wurden unmittelbar nach dem Auswurf aus der Betäubungsbox auf drei zeitlich versetzten Positionen beobachtet. Dabei wurden verschiedene relevante Parameter zur Beurteilung des Betäubungserfolges herangezogen. Im folgenden Schema (**Abb. 11**) sind die Beobachtungspositionen während der Betäubung und Entblutung der Rinder dargestellt.

Der Verantwortliche auf Position 2 untersucht die betäubten Tiere vom Zeitpunkt des Auswurfs aus der Box bis zum Anschlingen, Aufziehen und Beginn der Entblutung (ca. erste 20 Sekunden). Er beschränkt sich auf Untersuchungsparameter zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität (Regelmäßige Atmung, Gerichtetes Sehen, Schnappatmung, tonisch-klonische Krämpfe, Lidreflex, Abwehrbewegungen) und notiert etwaige Nachbetäubungen und sonstige Besonderheiten.

Auf Position 1 findet noch im Liegen des Tieres die Überwachung der Herzfunktion mittels EKG statt. Diese Untersuchung wird unter 3.4.3 genauer dargestellt.

Der Mitarbeiter auf Position 3 vermerkt zusätzlich zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität (siehe Position 2) die Anzahl mittels Bolzenschuß nachbetäubter Tiere, sowie Rasse und Geschlecht aller Rinder. In fließendem Übergang zu Position 2 werden hier alle Tiere etwa ab dem Zeitpunkt des Entblutestichs einige Minuten beobachtet.

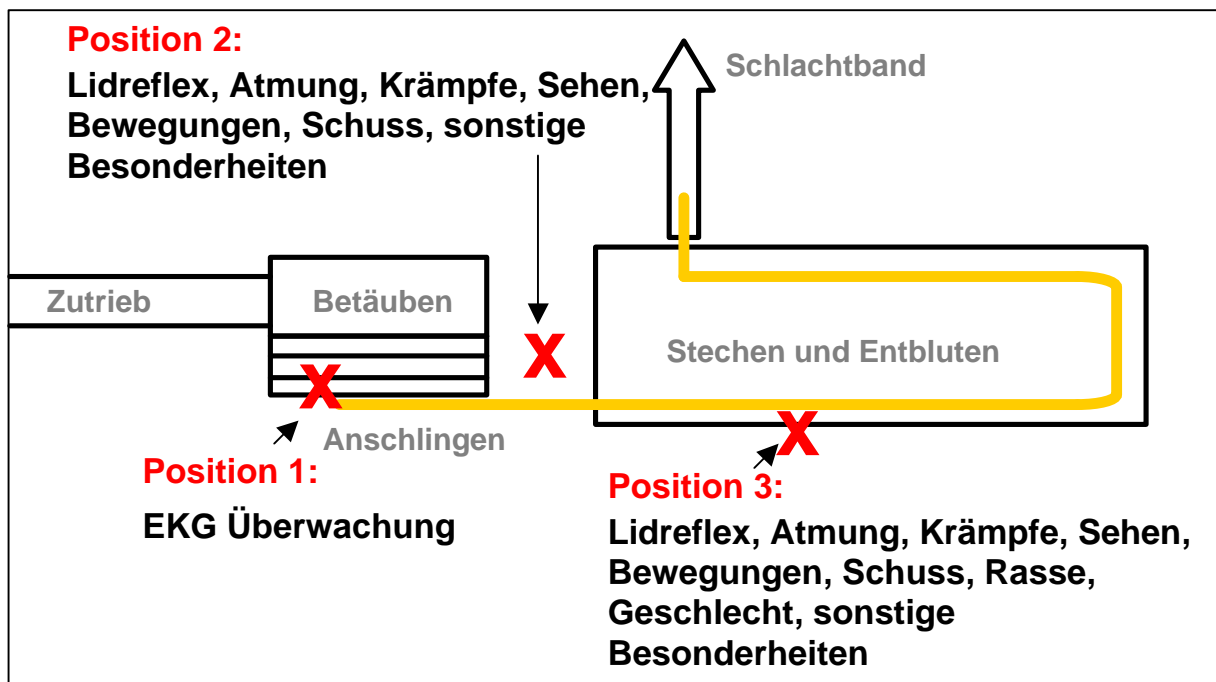


Abb. 11: Schema der Untersuchungspositionen

3.4.3 Methodik der EKG-Überwachung

Zur Überprüfung des durch die Brustdurchströmung ausgelösten Herzkammerflimmerns, wurde mittels einfacher Ableitung ein Elektrokardiogramm erstellt. Ein Mitarbeiter befestigte dazu drei Krokodilklemmen jeweils im Ellbogenbereich der vorderen rechten Gliedmaße, proximal des Tarsus der linken Hintergliedmaße und an der rechten Kniefalte (Bezugselektrode). Die Ableitung fand im Liegen des Tieres statt und während der tonischen Krampfphase. Ein zweiter Mitarbeiter bediente das portable EKG-Gerät, signalisierte den Kollegen Nulllinie oder Herzaktion und war für die Datenspeicherung zuständig. Bei einigen Tieren erwies sich eine EKG-Ableitung als äußerst schwierig, da die Hautdicke vor allem der Fleckviehbullen ein Anlegen der Klemmen erschwerte oder bereits klonische Krämpfe und Ruderbewegungen der Tiere einsetzten und erhebliche Bewegungsartefakte zur Folge hatten.

3.4.4 Methodik der pH-Wert-Messung

Die pH-Wert-Messung erfolgte 45 Minuten, 6 Stunden und 18 Stunden nach der Schlachtung. Die Messung des End-pH-Wertes (pH ult.) fand aufgrund der Routine des Schlachtbetriebes nach 18 Stunden statt. Die Messungen wurden direkt an den Schlachttierhälften, gemäß den Vorgaben des Fleischhygienegesetzes (AVVFIHV, Kap. IV, 6) jeweils am M. longissimus dorsi (zwischen 13. Brustwirbel und 1. Lendenwirbel) und M. adductor (ca. 5 cm vom kaudalen Ende der Beckensymphyse im Winkel von 120° oberhalb der Symphyse) durchgeführt. Zuvor wurde im betreffenden Muskel mit einem Messer vorgestoichen. Das pH-Meter wurde schräg nach unten zur Messung eingestochen. Zeitgleich zur pH-Wert-Messung wurde die jeweilige Temperatur des Muskels ermittelt und zusammen mit dem dazugehörigen pH-Wert in dem portablen pH-Meter abgespeichert.

Die untersuchten Tiere wurden in zwei Gruppen eingeteilt, welche jeweils mit einer unterschiedlichen Stromstärke betäubt wurden:

Gruppe 1: 193 Rinder, Betäubungsstromstärke 3,0 Ampere

Gruppe 2: 178 Rinder, Betäubungsstromstärke 3,7 Ampere

4 ERGEBNISSE

Zur Feststellung bzw. Überwachung des Betäubungserfolges wurden folgende Parameter untersucht und miteinander verglichen, sowie nach Aussagekraft und Relevanz geordnet.

4.1 Parameter zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität

4.1.1 Regelmäßige Atmung

Von besonderer Bedeutung scheint die Beobachtung von Atembewegungen zu sein. Der durch die Elektrobetäubung ausgelöste epileptiforme Anfall resultiert in einer kompletten Erschöpfung der Impulsweiterleitungsfunktion der durchströmten Gehirnareale und somit auch des verlängerten Marks mit Sitz des Atemzentrums. Normale, rhythmische und regelmäßige Atembewegungen im Anschluß an die Betäubung oder den Entblutestich setzen sowohl eine funktionierende Medulla oblongata als auch intaktes Rückenmark und die Atmungsmuskulatur versorgenden Nervenbahnen voraus. Regelmäßige Atemzüge sind ein Hinweis auf einen funktionierenden Hirnstamm und damit wiederkehrendes Bewußtsein.

Fehlende regelmäßige Atmung dagegen weist auf einen Ausfall des Hirnstammes infolge eines ‚Override‘ durch die epileptiforme Anfallsaktivität hin und sollte bei guter Betäubung vorherrschen.

Falsch negative Befunde können bei Rückenmarkstrennungen oder –quetschungen auftreten.

Von den 619 in dieser Studie beobachteten Rindern zeigten 88 Tiere im Zeitraum unmittelbar nach Elektrobetäubung und Entblutestich (erste 30 Sekunden) – entsprechend der Beobachtungsposition 2 im Versuchsaufbau (**Abb. 11**) – regelmäßige Atemzüge. Dies entspricht 14,2 %. Drei Tiere wurden als unklar befundet (**Abb. 12**).

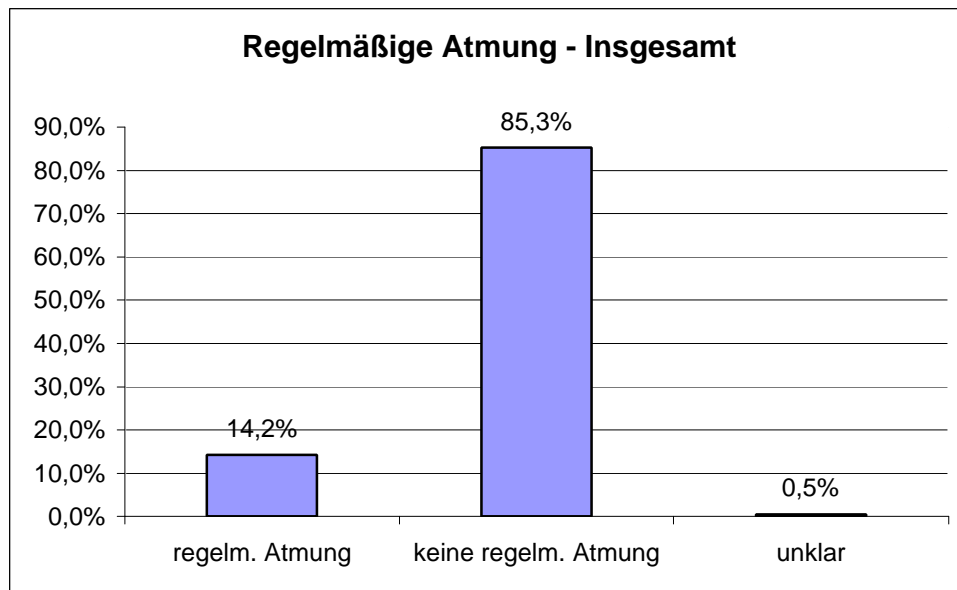


Abb. 12: Prozentualer Anteil der regelmäßige Atmung zeigenden Tiere in Bezug auf alle 619 Tiere

Bei den 88 Rindern mit regelmäßiger Atmung lag die Geschlechtsverteilung bei 32 männlichen und 56 weiblichen Tieren (**Abb. 13**).

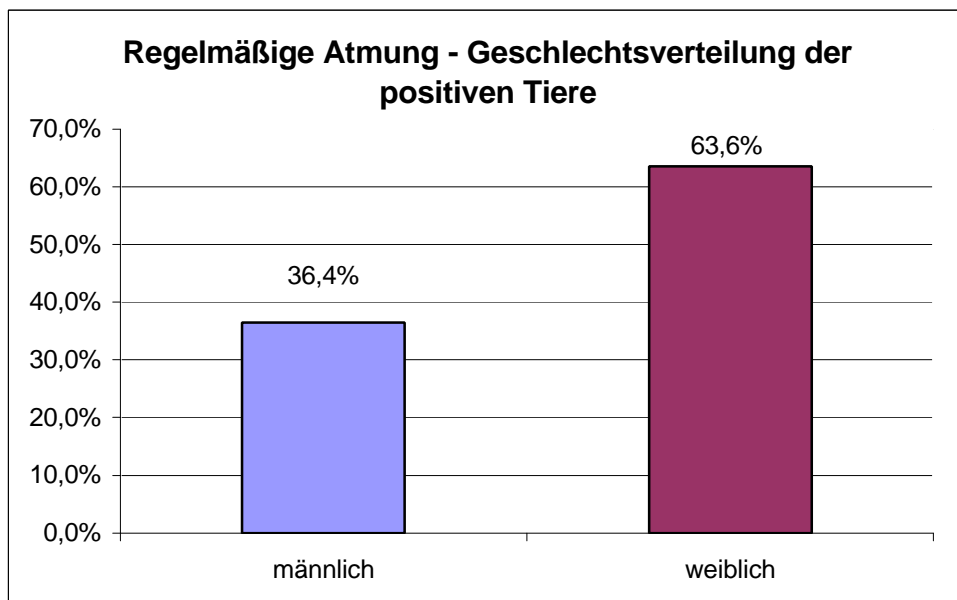


Abb. 13: Geschlechtsverteilung der Tiere, die regelmäßige Atmung zeigten

Betrachtet man alle 242 männlichen Tiere dieser Studie, so ergibt sich mit 32 Tieren, die regelmäßige Atmung zeigten, ein Anteil von 13,2 %. Bei zwei Tieren konnte der Parameter regelmäßige Atmung nicht eindeutig beurteilt werden.

Bei den 377 weiblichen Tieren verhält es sich ähnlich. Hier betrug der Anteil der regelmäßige Atmung zeigenden Tiere 14,9 %. Ein Tier konnte nicht eindeutig beurteilt werden und mußte als unklarer Fall gewertet werden (**Abb. 14**).

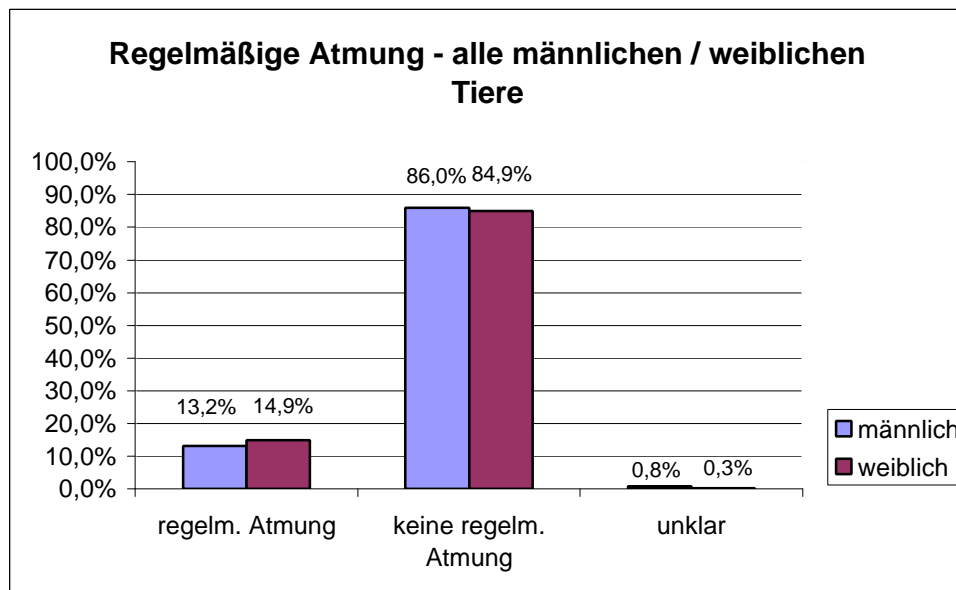


Abb. 14: Prozentualer Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere mit regelmäßiger Atmung bezogen auf die Gesamtanzahl der männlichen oder weiblichen Tiere

Bei den jeweiligen Rassen stellt sich der Anteil der Tiere mit regelmäßiger Atmung folgendermaßen dar:

50 von 318 Fleckvieh-Rindern zeigten regelmäßige Atmung , sowie 19 der 165 Braunvieh- und 19 der 131 Schwarz-Bunten-Rinder (**Abb. 15**).

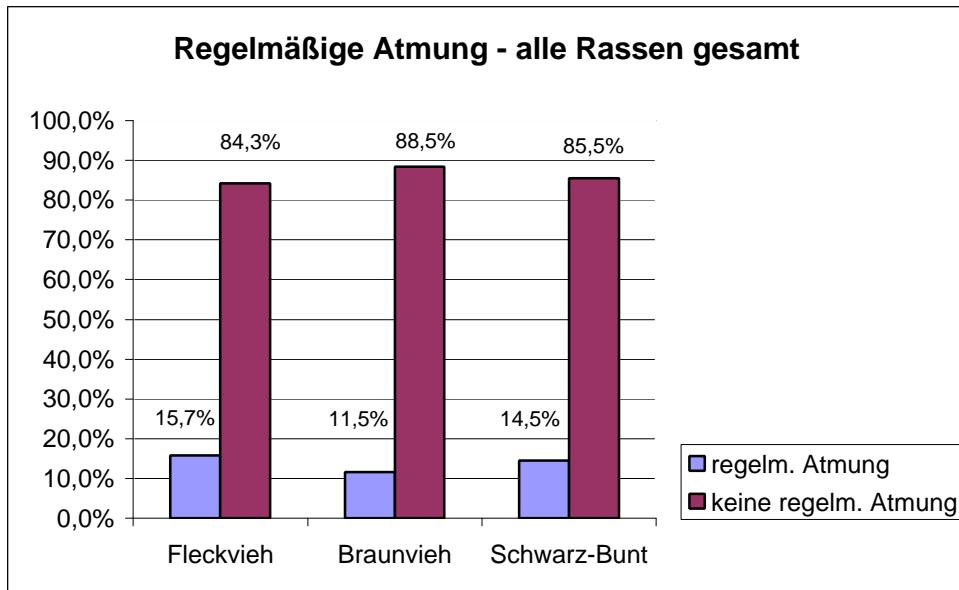


Abb. 15: Prozentualer Anteil der Tiere mit regelmäßiger Atmung, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

Beim Fleckvieh war die Geschlechterverteilung der regelmäßige Atmung zeigenden Tiere ausgeglichen. 26 männliche und 24 weibliche Tiere.

Bei den Rassen Braunvieh und Schwarz-Bunt waren je 3 Tiere mit regelmäßiger Atmung männlich, die anderen 16 weiblich (**Abb. 16**).

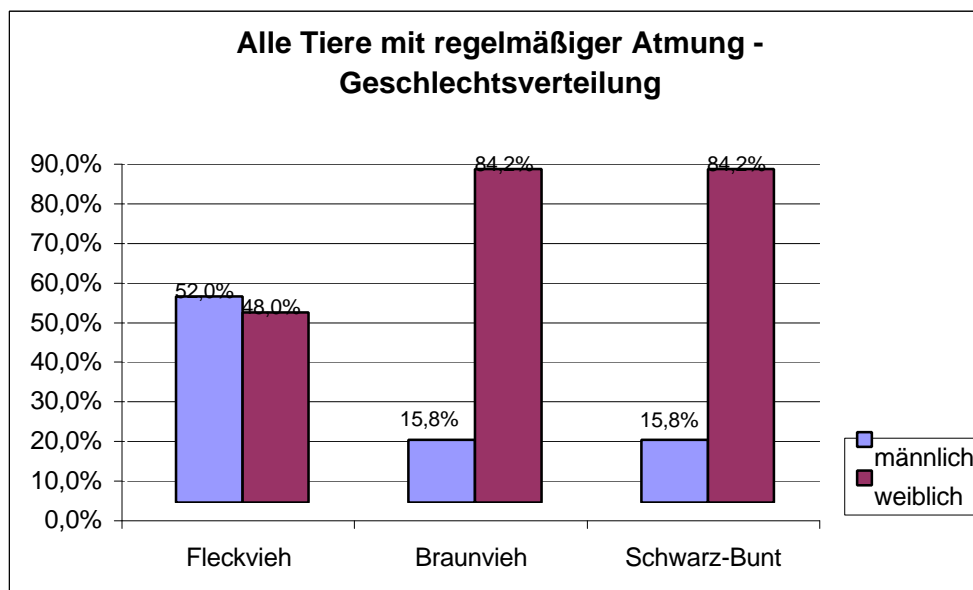


Abb. 16: Geschlechtsverteilung der Tiere mit regelmäßiger Atmung, geordnet nach Rassen

Die folgende **Abbildung 17** zeigt den prozentualen Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere, die regelmäßige Atmung zeigten, in Bezug auf die jeweilige Gesamtzahl männlicher oder weiblicher Tiere einer Rasse.

Somit machen die 26 positiven Fleckviehbullen einen Anteil von 12,8 % bei den insgesamt 204 Fleckviehbullen. Bei den männlichen Tieren der Rassen Braunvieh und Schwarz-Bunt beläuft sich der Anteil auf jeweils 17,6 % an der Gesamtzahl männlicher Tiere einer Rasse.

Betrachtet man die weiblichen Tiere, so stellt sich heraus, dass Braunviehkühe mit 10,8 % und Schwarz-Bunt-Kühe mit 14 % in Bezug auf alle weiblichen Tiere einer Rasse hinter den männlichen zurückbleiben.

Deutlich wird in der Graphik, dass der Anteil der Fleckviehkühe von 21,1 % an allen weiblichen Tieren dieser Rasse fast doppelt so hoch liegt wie der Anteil der männlichen Vertreter der Rasse Fleckvieh.

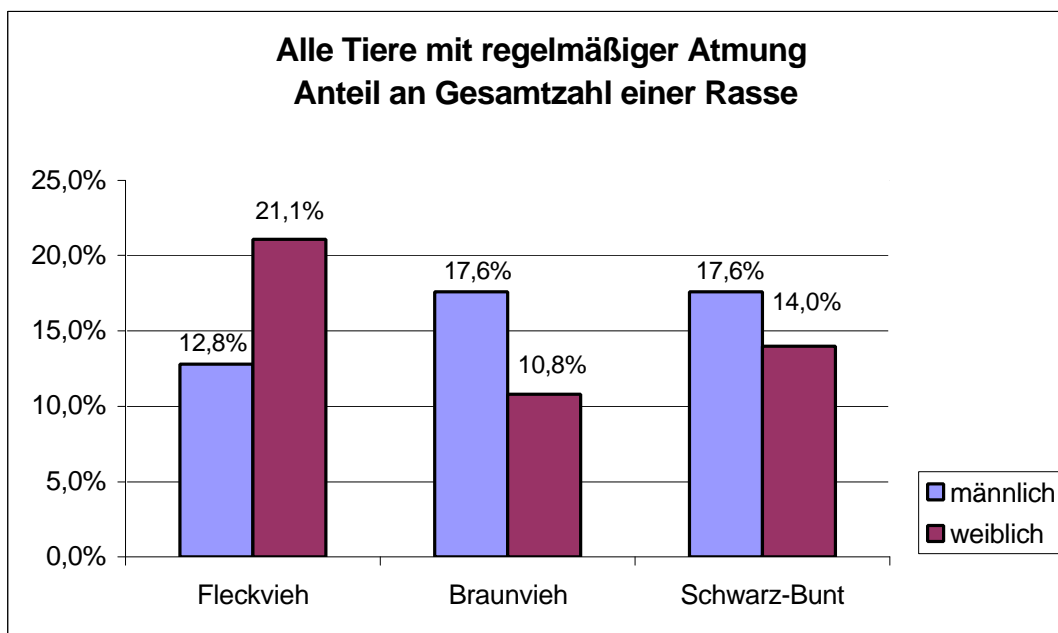


Abb. 17: Prozentualer Anteil der Tiere mit regelmäßiger Atmung, geordnet nach Rassen und Geschlecht, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

4.1.2 Gerichtetes Sehen

Der zweite Parameter von außerordentlicher Bedeutung für die Beurteilung von Bewußtsein oder ein Wiederkehren desselben stellt das gerichtete Sehen eines Tieres dar. Aktive Anteilnahme an der Umwelt, Reaktion auf Drohgebärden und offensichtlich funktionierende willkürliche Bulbusbewegungen lassen auf eine intakte optische Nervenbahnung und vermutliche Integrität zumindest des für das Sehen zuständigen kortikalen Areals schließen. Gerichtetes Sehen kann deshalb als ein Hinweis auf wiederkehrendes Bewußtsein gelten.

Ein ordnungsgemäß betäubtes Tier sollte nach oben rotierte Bulbi zeigen, meist vergesellschaftet mit Nystagmus und ausdruckslosem Starren.

537 von den 619 untersuchten Rindern zeigten keine Anzeichen für gerichtetes Sehen bei Beobachtungsposition 2 im Versuchsaufbau (**Abb. 11**).

76 Tiere dagegen mußten als positiv beurteilt werden. Dies entspricht einem Anteil von 12,3 % (**Abb. 18**)

Bei 6 Tieren konnte der Parameter gerichtetes Sehen nicht eindeutig beurteilt werden. Diese unklaren Fälle machten 1 % aus.

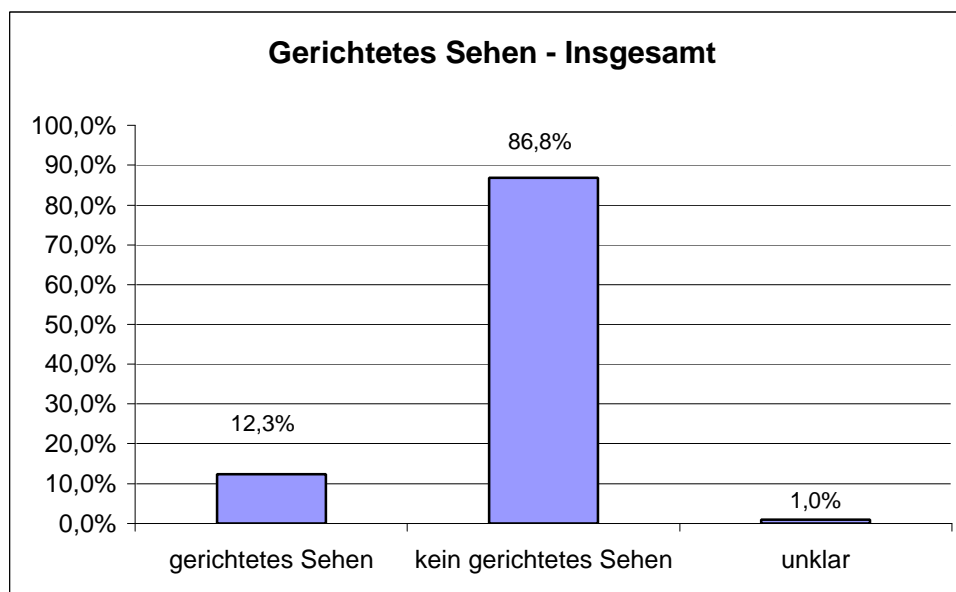


Abb. 18: Prozentualer Anteil der gerichtetes Sehen zeigenden Tiere in Bezug auf alle 619 Tiere dieser Studie

Von den insgesamt 76 Tieren, die gerichtetes Sehen zeigten, waren 22 männlich und 54 weiblich. In Prozent entspricht das 28,9 % zu 71,1 % (**Abb. 19**).

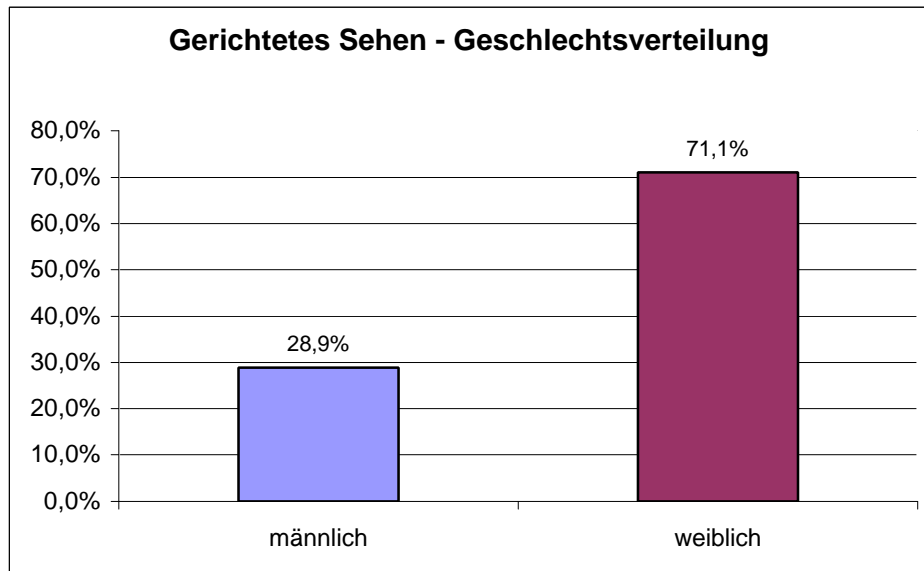


Abb. 19: Geschlechtsverteilung der Tiere, die gerichtetes Sehen zeigten

Bei Betrachtung aller 242 männlichen Tiere dieser Studie ergibt sich mit 22 männlichen Rindern, die gerichtetes Sehen zeigten, ein Anteil von 9,1 %. Bei 4 männlichen Tieren konnte der Parameter nicht eindeutig beurteilt werden. Diese Tiere wurden als unklar bewertet.

Von den insgesamt 377 weiblichen Tieren zeigten 54 gerichtetes Sehen. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 14,3 % an allen weiblichen Tieren dieser Studie. Zwei weibliche Tiere konnten bezüglich des Parameters gerichtetes Sehen nicht eindeutig beurteilt werden und wurden als unklar eingestuft (**Abb. 20**).

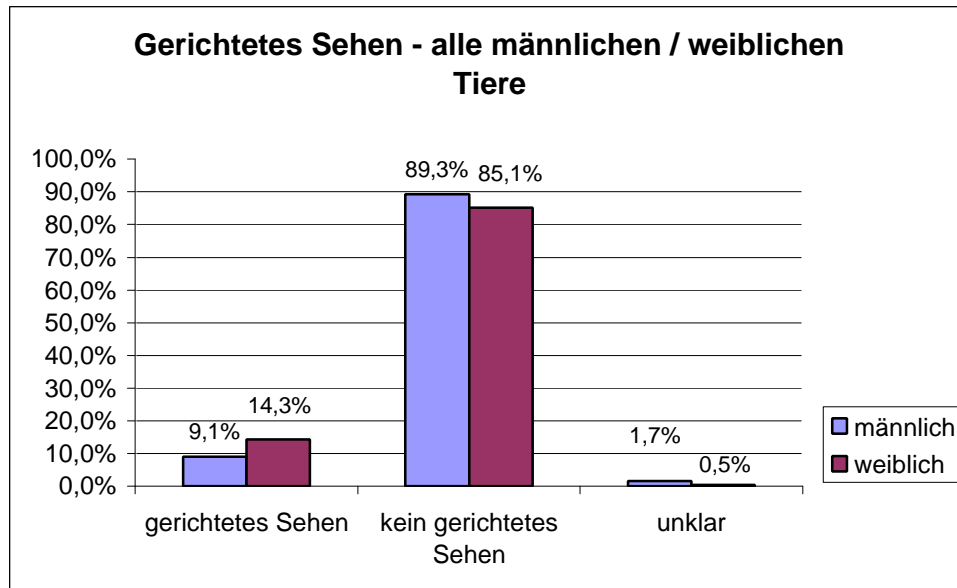


Abb. 20: Prozentualer Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere mit gerichtetem Sehen bezogen auf die Gesamtzahl männlicher oder weiblicher Tiere

Der Anteil der Tiere mit gerichtetem Sehen innerhalb der einzelnen Rassen ist in **Abbildung 21** dargestellt. Beim Fleckvieh zeigten 42 Tiere gerichtetes Sehen, was einem Anteil von 13,2 % entspricht. Beim Braunvieh zeigten 8,5 % der Tiere gerichtetes Sehen. Die Schwarz-Bunten hatten einen Anteil von 15,3 % an Tieren mit gerichtetem Sehen.

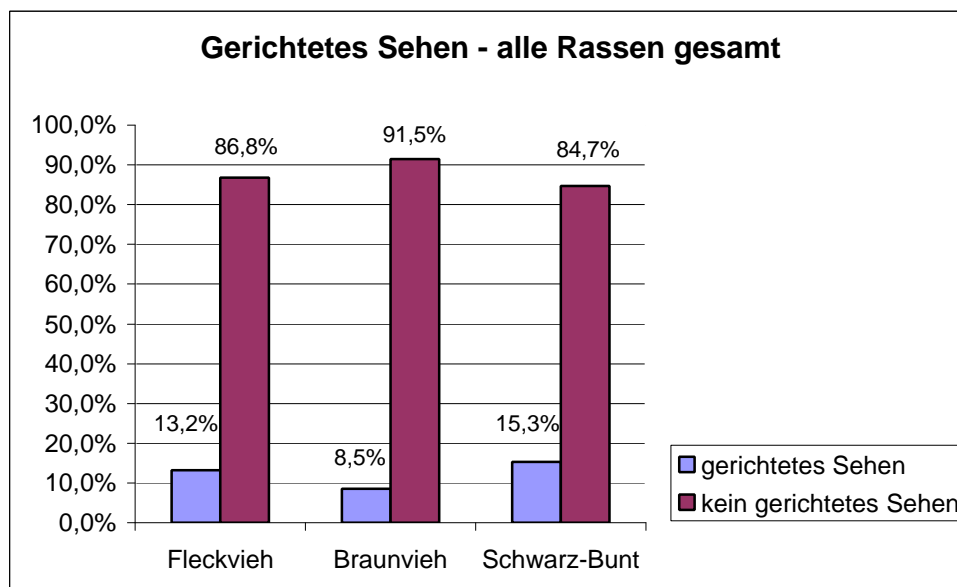


Abb. 21: Prozentualer Anteil der Tiere mit gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

Die Geschlechterverteilung innerhalb der jeweiligen Rassen stellt sich wie folgt dar: 16 Fleckviehbullen hatten gerichtetes Sehen. Dies entspricht 38,1 % gegenüber 61,9 % der 26 weiblichen Fleckvieh-Rinder.

Bei der Rasse Braunvieh war die Verteilung männlich – weiblich 14,3 % zu 85,7 %.

Bei den Schwarz-Bunten zeigten die Tiere mit gerichtetem Sehen eine Geschlechterverteilung von 20 % männlichen zu 80 % weiblichen Rindern (**Abb. 22**).

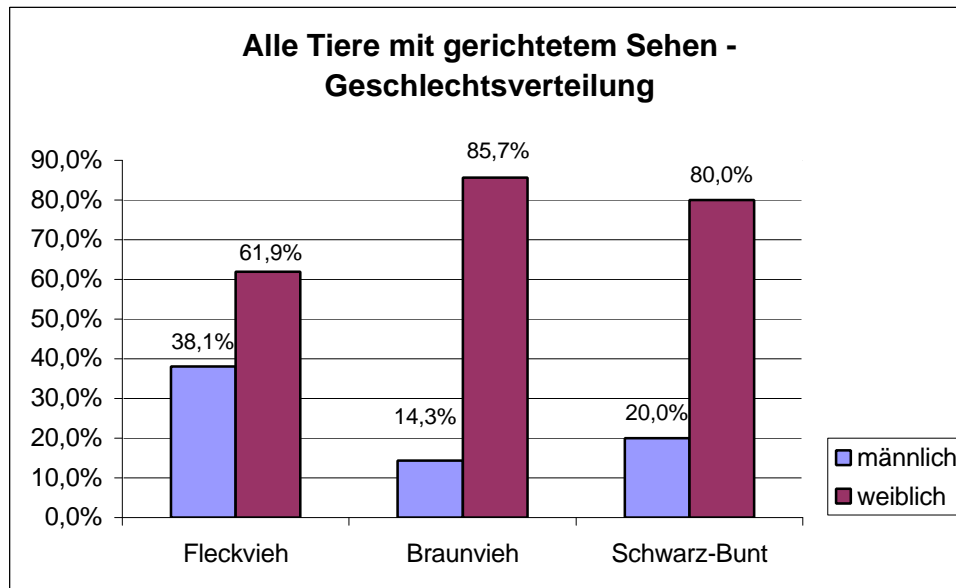


Abb. 22: Geschlechtsverteilung der Tiere mit gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen

Wie schon beim vorherigen Parameter regelmäßige Atmung zeigt **Abbildung 23** den prozentualen Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere mit gerichtetem Sehen in Bezug auf die Gesamtzahl männlicher oder weiblicher Tiere der jeweiligen Rasse.

Von 204 Fleckviehbullen waren 16 Tiere mit gerichtetem Sehen aufgefallen. Dies entspricht 7,8 %.

Von insgesamt 17 männlichen Rindern beim Braunvieh zeigten 2 Tiere gerichtetes Sehen. Dies entspricht 11,8 %.

Bei den männlichen Tieren der Rasse Schwarz-Bunt waren 4 von insgesamt 17 mit gerichtetem Sehen aufgefallen, entsprechend 23,5 %.

Bei den weiblichen Tieren zeigten beim Braunvieh 8,1 % gerichtetes Sehen. Schwarz-Bunte-Kühe waren mit 14 % Tieren, die gerichtetes Sehen zeigten, in Bezug auf alle weiblichen Tiere dieser Rasse vertreten.

Den höchsten Anteil an Tieren mit gerichtetem Sehen stellten die Fleckvieh-Kühe mit 22,8 %.

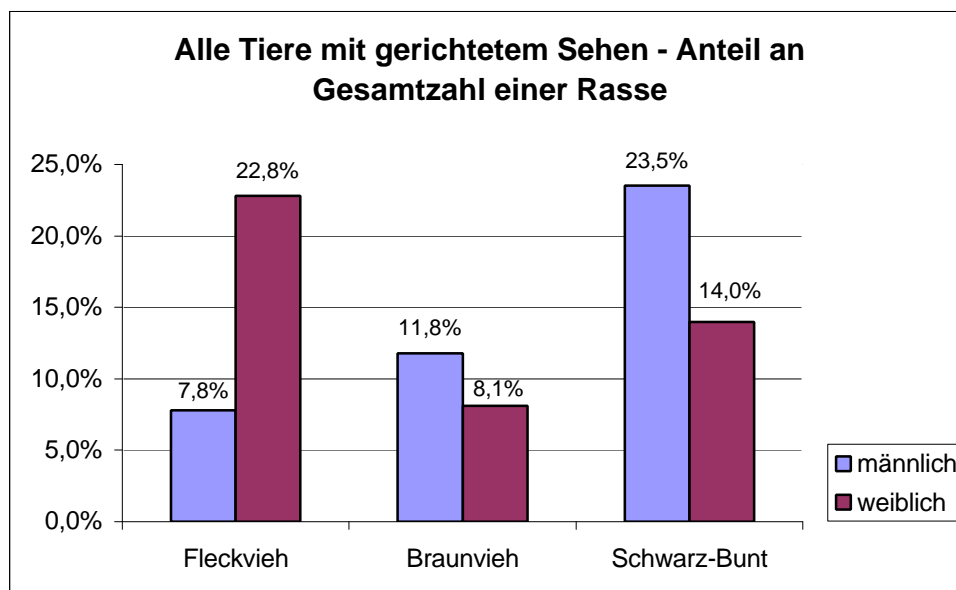


Abb. 23: Prozentualer Anteil der Tiere mit gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen und Geschlecht, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

4.1.3 Regelmäßige Atmung und Gerichtetes Sehen

Um den Bewußtseinsstatus der betäubten Tiere besser einschätzen zu können und die Aussagekraft der getesteten Parameter zu steigern, werden nun regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zusammengenommen. Das bedeutet, dass ausschließlich Tiere, bei denen beide Parametern positiv bewertet wurden, berücksichtigt sind.

Unter dieser Voraussetzung traten bei 65 Tieren von insgesamt 619 gleichzeitig regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen auf (**Abb. 24**).

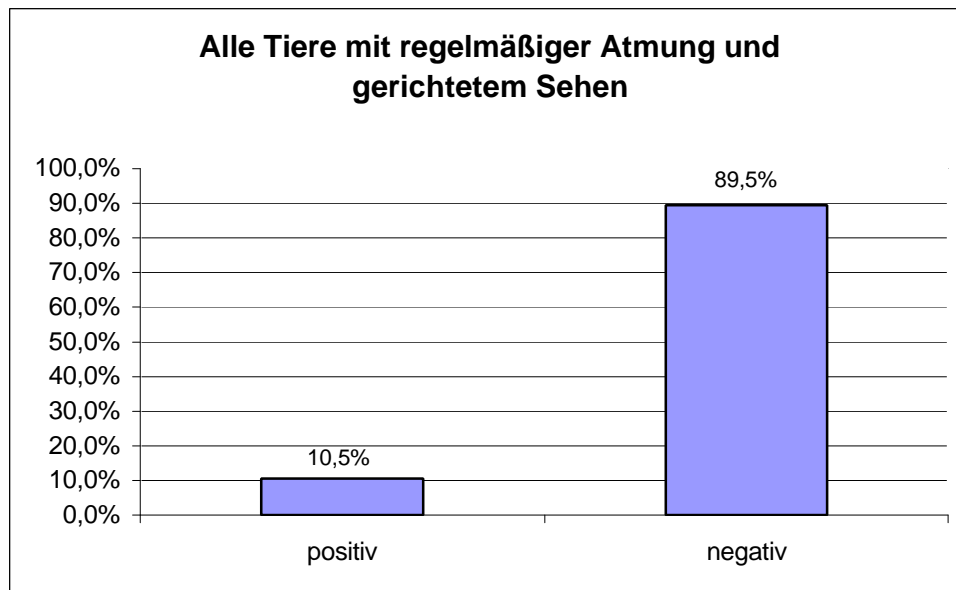


Abb. 24: Prozentualer Anteil der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen in Bezug auf alle 619 Rinder

Bei den 65 Tieren, die sowohl regelmäßige Atmung als auch gerichtetes Sehen zeigten, lag die Geschlechtsverteilung bei 17 männlichen und 48 weiblichen Tieren (**Abb. 25**).

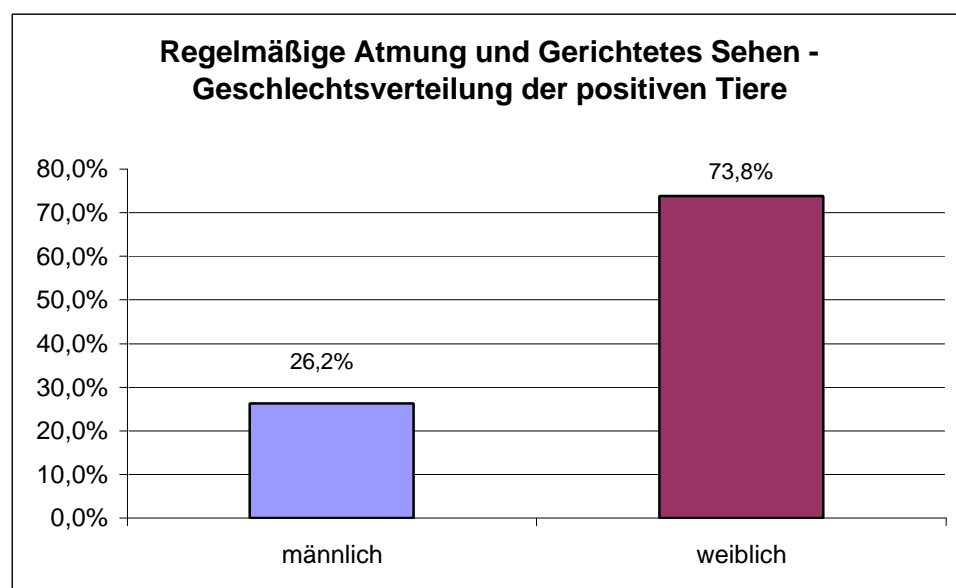


Abb. 25: Geschlechtsverteilung der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen

Betrachtet man alle 242 männlichen Tiere dieser Studie, so ergibt sich mit 17 positiven Tieren ein Anteil von 7 %.

Bei den 377 weiblichen Tieren zeigten 48 regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen. Dies entspricht 12,7 % (**Abb. 26**).

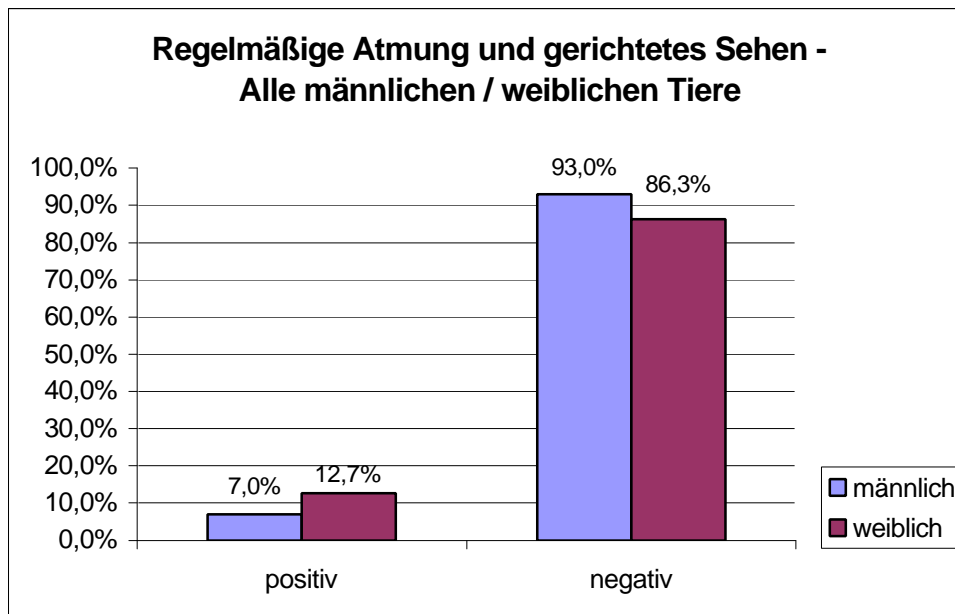


Abb. 26: Prozentualer Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen bezogen auf die Gesamtanzahl der männlichen oder weiblichen Tiere

Innerhalb der einzelnen Rassen ist der Anteil der positiven Tiere wie folgt:

34 von 318 Fleckvieh-Rindern zeigten regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen, entsprechend 10,7 %.

Von den 165 Braunvieh-Rindern zeigten 12 Tiere beide Parameter. Dies entspricht einem Anteil von 7,3 %.

Bei den 131 Schwarz-Bunten wiesen 19 Tiere regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen auf, entsprechend 14,5 % (**Abb. 27**).

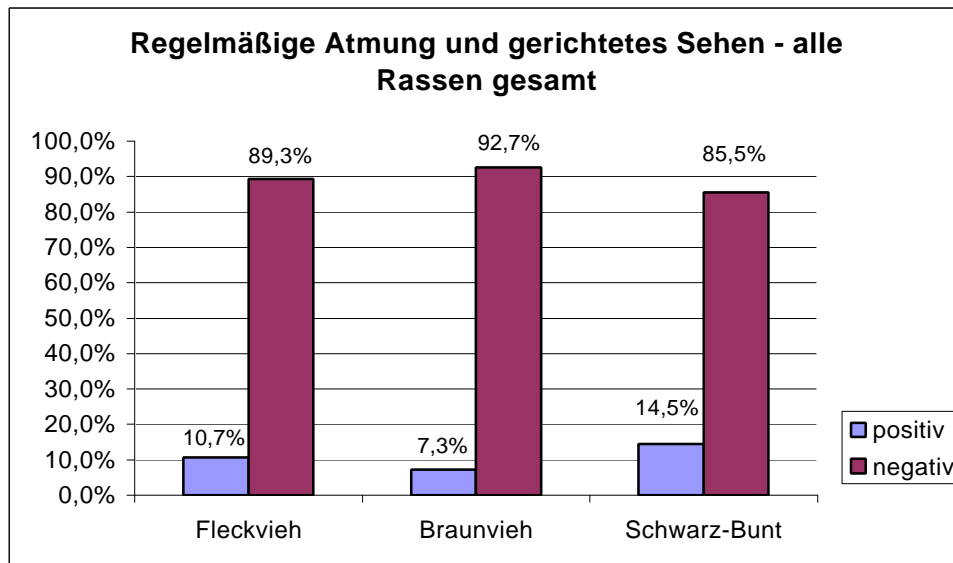


Abb. 27: Prozentualer Anteil der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

Beim Fleckvieh lag die Geschlechterverteilung der Tiere, die beide Parameter zeigten, bei 12 männlichen und 22 weiblichen.

Die Rasse Braunvieh teilte sich in 2 männliche und 10 weibliche Tiere auf.

Die Schwarz-Bunten hatten 3 männliche und 16 weibliche Tiere, die gleichzeitig regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigten (**Abb. 28**).

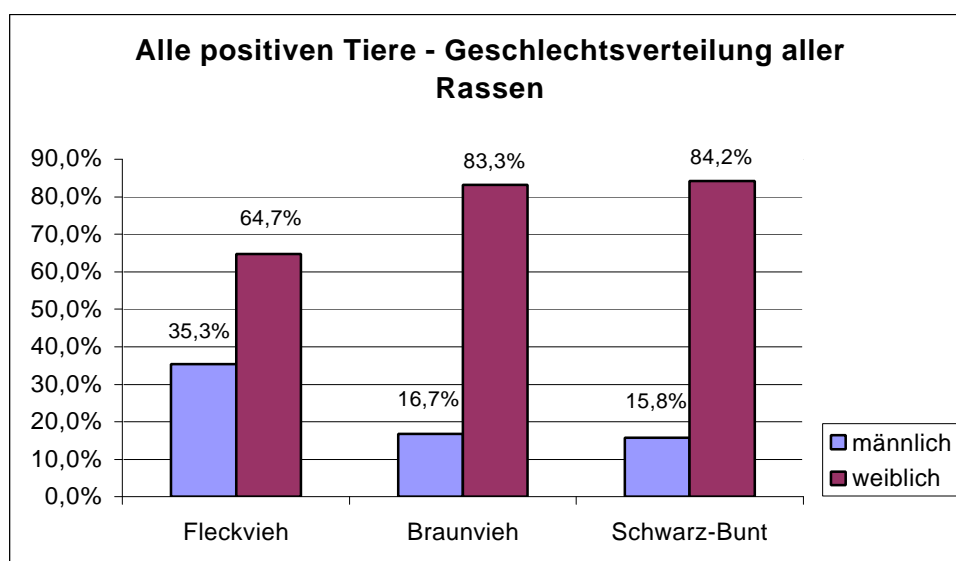


Abb. 28: Geschlechtsverteilung der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen

Die folgende **Abbildung 29** zeigt wiederum den prozentualen Anteil männlicher oder weiblicher Tiere mit sowohl regelmäßiger Atmung als auch gerichtetem Sehen in Bezug auf die Gesamtzahl männlicher oder weiblicher Tiere der jeweiligen Rasse.

Die 12 positiven Fleckviehbullen stellen demnach einen Anteil von 5,9 % an den insgesamt 204 männlichen Tieren dieser Rasse.

Beim Braunvieh sind es 11,8 % und bei den Schwarz-Bunten 17,6 % der männlichen Tiere, wobei die Aussagekraft bei 204 Fleckviehbullen höher liegt.

Bei Betrachtung der Gruppe der weiblichen Tiere wird deutlich, daß Braunvieh-Kühe mit 6,8 % und Schwarz-Bunt-Kühe mit 14 % in Bezug auf alle weiblichen Tiere einer Rasse, anteilmäßig hinter den männlichen Tieren zurückbleiben.

Noch deutlicher als bei getrennter Auswertung der Parameter regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen (s.o.) ist hier der Anteil der Fleckvieh-Kühe mit 19,3 % an allen weiblichen Tieren dieser Rasse. Der Wert ist im Vergleich mit den Fleckviehbullen über 3 mal so hoch (**Abb. 29**).

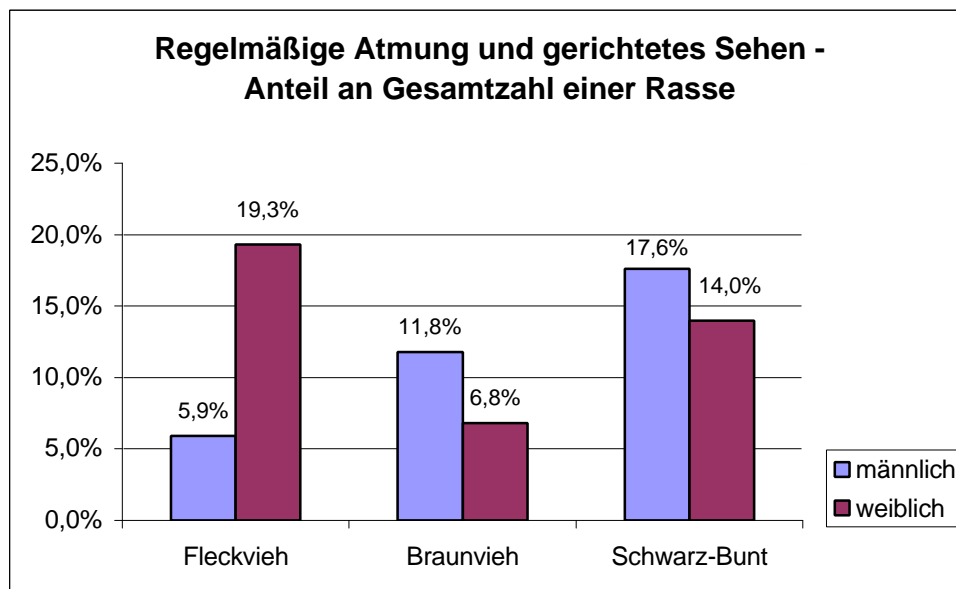


Abb. 29: Prozentualer Anteil der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen und Geschlecht, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

4.1.4 Lid- / Kornealreflex

Als nächster Parameter wird der Lid- oder Kornealreflex überprüft, der durch eine Berührung der Kornea ausgelöst wird. Dieser polysynaptische Schutzreflex verläuft über afferente Nervenbahnen des Nervus Trigeminus und wird im Hirnstamm über Interneurone auf efferente Motoneurone des Nervus Fazialis, die den Musculus orbicularis oculi innervieren, umgeschaltet. Ein fehlender Reflex kann auf Schädigungen im Bereich der Reflexzentren hinweisen, welche dicht bei lebenswichtigen Hirnstammzentren liegen.

Von den insgesamt 619 untersuchten Rindern konnte bei 104 Tieren, entsprechend 16,8 %, der Lidreflex bei Berührung und sanftem Druck auf den Bulbus ausgelöst werden (**Abb. 30**). Der Parameter wurde in Beobachtungsposition 2 im Versuchsaufbau (**Abb. 11**) getestet.

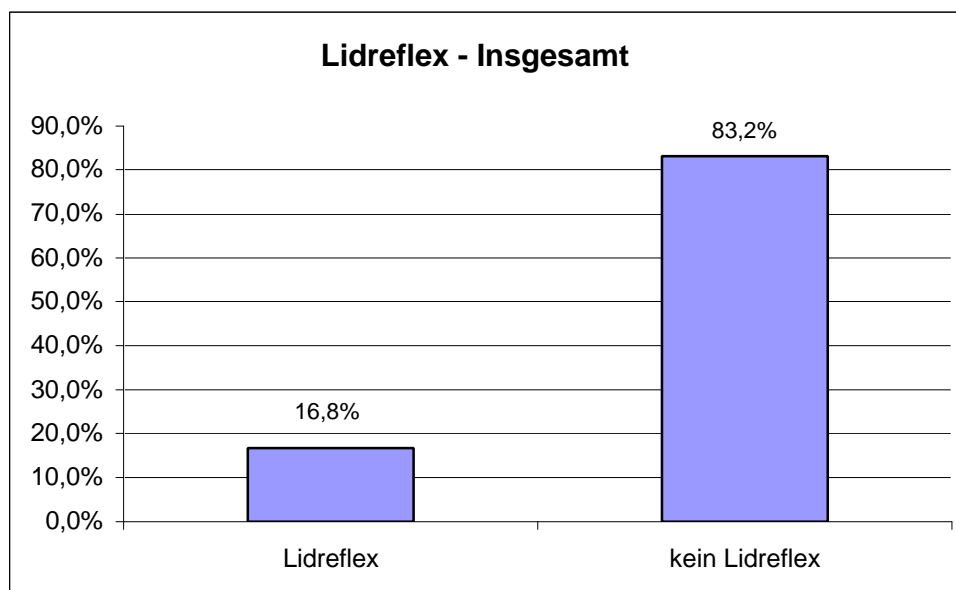


Abb. 30: Prozentualer Anteil der Rinder mit positivem Lidreflex in Bezug auf alle 619 Tiere dieser Studie

Von diesen 104 Tieren mit Lidreflex waren 34 männlich, entsprechend 32,7 %. Der weibliche Anteil betrug 67,3 %, mit 70 Tieren (**Abb. 31**).

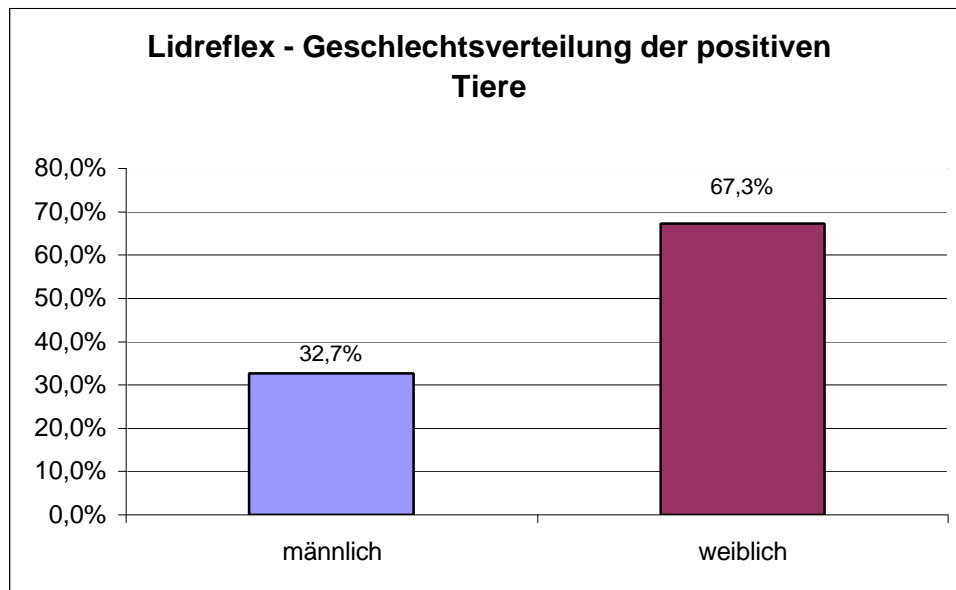


Abb. 31: Geschlechtsverteilung der Tiere, die positiven Lidreflex hatten

4.1.4.1 Lidreflex mit Regelmäßiger Atmung und Gerichtetem Sehen

Um festzustellen, ob auszulösender Lidreflex mit den Parametern regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen korreliert, wurden in nachfolgender **Abbildung 32** nur diejenigen Tiere gewertet, die alle drei Parameter gleichzeitig zeigten.

Unter dieser Voraussetzung zeigten 59 Tiere sowohl positiven Lidreflex als auch regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen. Das bedeutet, dass bei 65 Tieren mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen (s.o.) auch 59 Tiere Lidreflex hatten. Dies entspricht 90,8 % (**Abb. 32**).

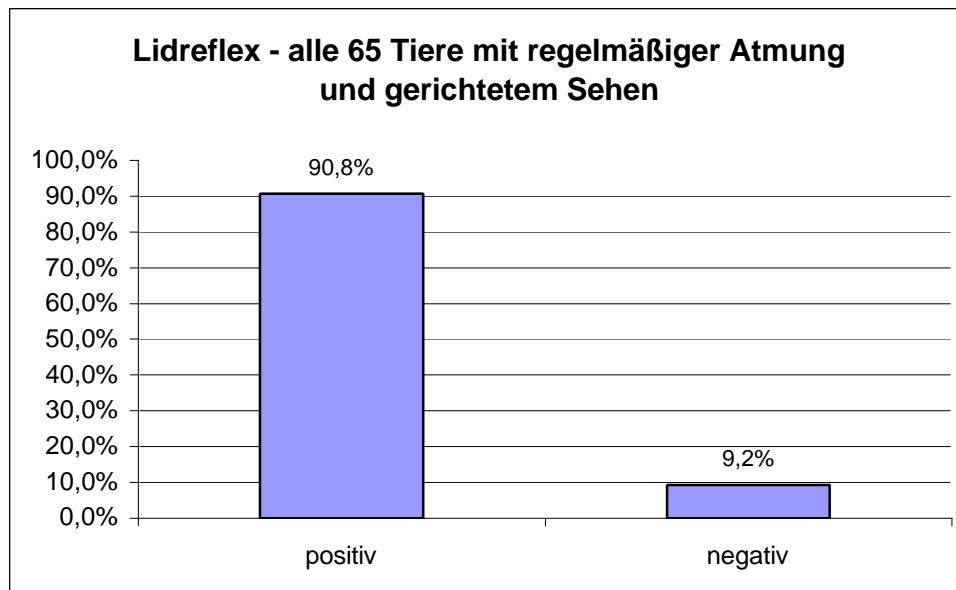


Abb. 32: Prozentualer Anteil der Tiere mit positivem Lidreflex, regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen in Bezug auf die 65 Rinder mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen

4.1.4.2 Lidreflex ohne Regelmäßige Atmung und Gerichtetes Sehen

Von den insgesamt 104 Tieren mit Lidreflex zeigten demnach 59 Rinder alle drei Parameter, nämlich Lidreflex, regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen. Folglich verbleibt eine Differenz von 45 Tieren, welche zwar positiven Lidreflex zeigten, bei denen jedoch keine regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen festgestellt werden konnte.

Bei den insgesamt 554 Tieren, die als gut betäubt eingestuft wurden, machen diese 45 Tiere mit Lidreflex einen Anteil von 8,1 % (**Abb. 33**).

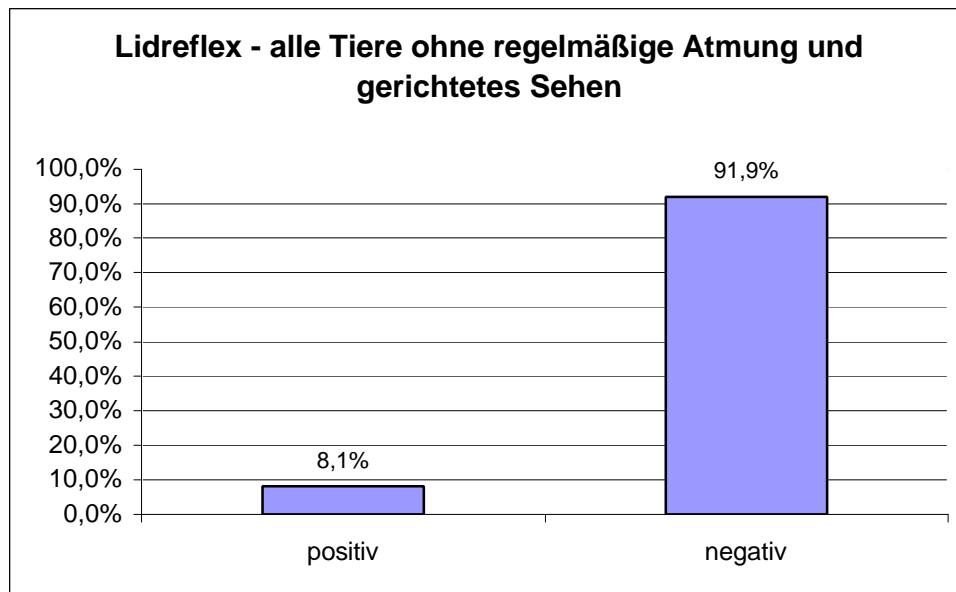


Abb. 33: Prozentualer Anteil der Tiere mit positivem Lidreflex und ohne regelmäßige Atmung und gerichtetem Sehen in Bezug auf alle 554 Tiere ohne regelmäßige Atmung und gerichtetem Sehen

4.1.5 Schnappatmung

Dieser Parameter ist regelmäßig bei betäubten Tieren zu beobachten. Häufig tritt Schnappatmung erst nach den oben beschriebenen Parametern auf, also nach Verstreichen einer gewissen Zeitspanne, sodass diese Tiere oft unter Beobachtungsposition 3 im Versuchsaufbau (**Abb. 11**) erfaßt wurden. Schnappatmung stellt sich als ein stereotypes Hervorstrecken der Zunge aus dem schlaff geöffneten Maul mit lediglich angedeuteten Atemzügen dar. Chemorezeptoren signalisieren einen ansteigenden Kohlendioxidgehalt des Blutes aufgrund des Atem- und Herzstillstandes, sowie des rapiden Blutverlusts an sich. Daraus resultieren reflektorisch bedingte Erscheinungen, die man als Schnappatmung bezeichnet.

Der prozentuale Anteil der Schnappatmung zeigenden Tiere gemessen am gesamten Tiermaterial beträgt 19,2 %. Dies entspricht 119 von 619 Tieren (**Abb. 34**).

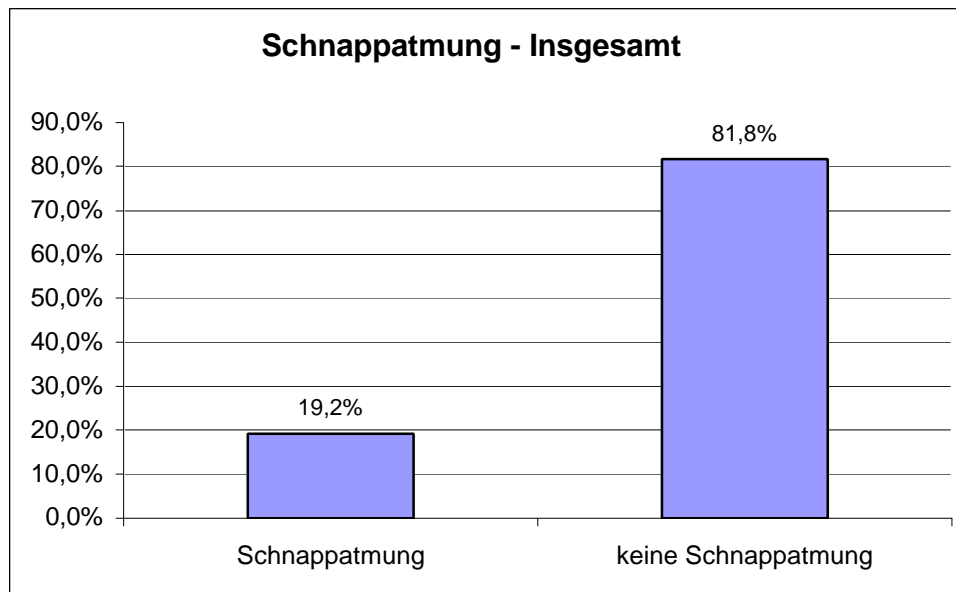


Abb. 34: Prozentualer Anteil der Tiere mit Schnappatmung in Bezug auf alle 619 Rinder dieser Studie

4.1.6 Tonisch – klonische Krämpfe

Ebenso wie der oben ausgeführte Parameter Schnappatmung sind tonisch-klonische Krämpfe der Muskulatur der betäubten Tiere regelmäßig zu beobachten, jedoch nicht in allen Fällen in dermaßen deutlicher Ausprägung, sodass ein beträchtlicher Teil der Tiere aus der Wertung fielen, sobald Krämpfe zu schwach erkennbar oder nicht in der klassischen Kombination von tonisch zu klonisch auszumachen waren. In der Tat zeigen nahezu alle Tiere nach dem Auswurf aus der Betäubungsbox einen tonischen Kontraktionszustand vor allem der Extensoren-Muskeln, was eine Streckung der Gliedmaßen unter extremer Spannung zur Folge hat. Im Anschluß daran tritt stets ein Nachlassen der Muskelkontraktion auf, jedoch ist die Ausprägung der nun folgenden klonischen Krampfphase sehr unterschiedlich. Der Wechsel von Muskelkontraktionen und Muskeler schlaffungen in unregelmäßiger Folge bedingt sog. Ruderbewegungen, auch als Kickbewegungen oder carcass kicking bezeichnet, deren Stärke zwischen nicht bzw. kaum erkennbar und sehr deutlich ausgeprägt schwanken kann. Wichtig ist, diese stereotypen Bewegungsabläufe von bewußten Abwehrbewegungen der Tiere zu unterscheiden. Klonische Muskelkrämpfe treten in der Regel nicht vor 20

Sekunden nach dem Betäuben auf und werden häufig erst in Beobachtungsposition 2 im Versuchsaufbau offensichtlich, d.h. bei bereits erfolgtem Entblutestich.

Von den 619 Versuchstieren wurden schließlich 69 Tiere mit deutlichen tonisch-klonischen Krämpfen erfaßt, dies entspricht 11,1 %. Zwei Tiere wurden als unklar eingestuft (**Abb. 35**).

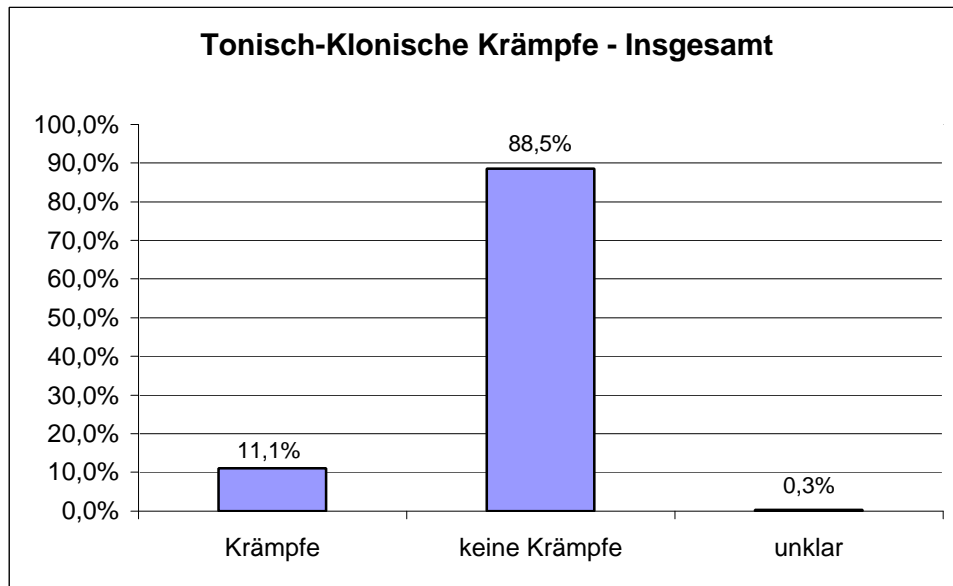


Abb. 35: Prozentualer Anteil der Tiere mit tonisch-klonischen Krämpfen in Bezug auf alle 619 Tiere dieser Studie

4.2 Objektive Überprüfung der Betäubungsqualität / EKG

4.2.1 EKG

Unmittelbar nach dem Auswurf aus der Betäubungsbox wurde den Tieren noch in Seitenlage mittels Krokodilklemmen ein EKG abgeleitet, um den Betäubungserfolg, der einen Herzstillstand mit einschließt, zu überprüfen.

Insgesamt kamen 300 Tiere in die Wertung. Aufgrund mancher Gefahrensituation beim Anlegen der EKG-Klemmen durch Krämpfe und Zuckungen vor allem der Bullen, sowie aufgrund einiger Bewegungsartefakte, aber auch einfach wegen der Schlachtgeschwindigkeit, mußten häufig Tiere ausgelassen werden.

Von den 300 Rindern zeigten 285 Tiere Herzkammerflimmern auf dem EKG. Dies entspricht 95 %. Lediglich bei 15 Tieren konnte Herzaktion im EKG nachgewiesen werden, entsprechend 5 % (**Abb. 36**).

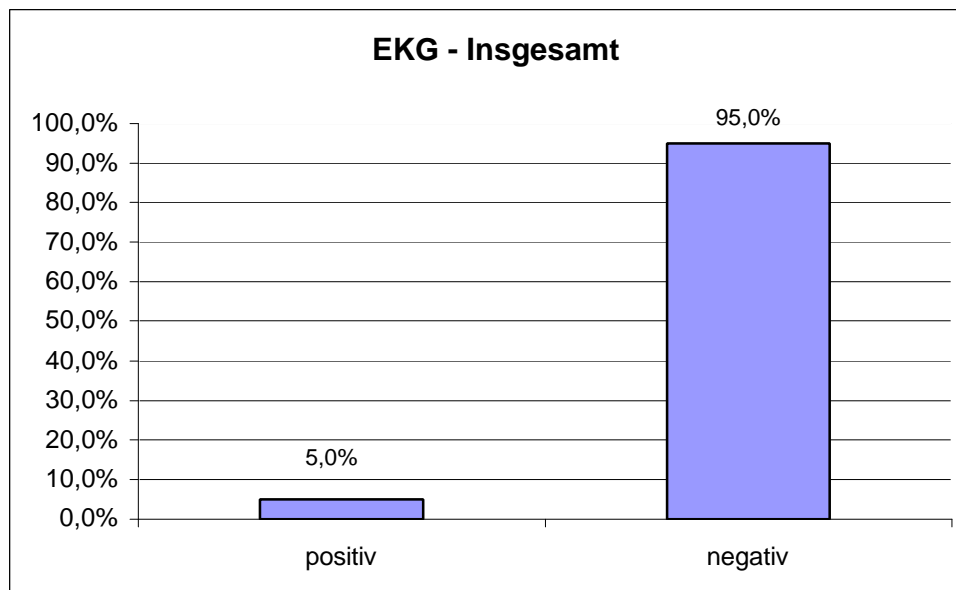


Abb. 36: Prozentualer Anteil der Tiere mit Herzaktion im EKG bezogen auf alle 300 getesteten Rinder

Von den 15 Tieren mit Herzaktion waren 9 Rinder männlich und 6 weiblich. Dies entspricht 60 % zu 40 % (**Abb. 37**).

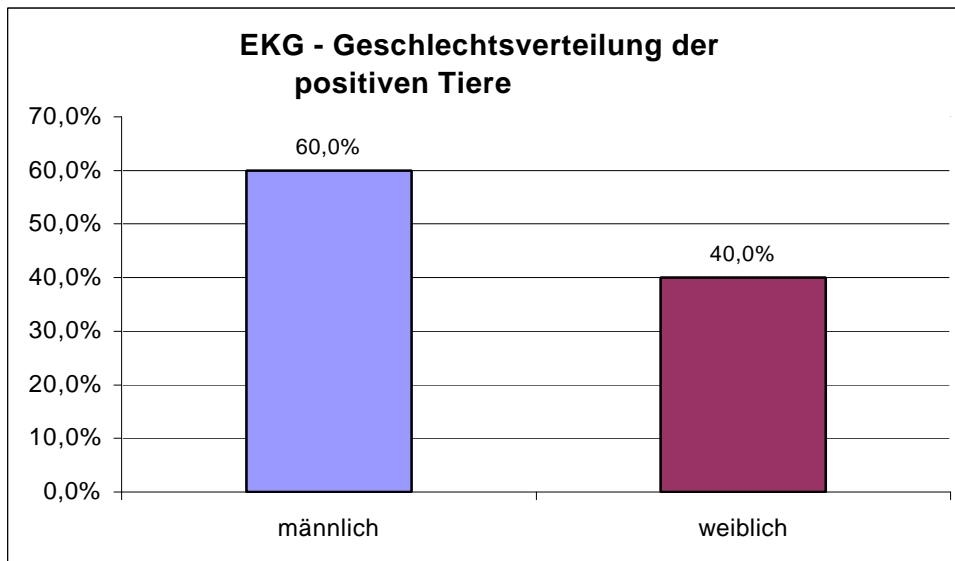


Abb. 37: Geschlechtsverteilung der Tiere, die Herzaktion zeigten

Der Anteil der Tiere mit Herzaktion innerhalb der einzelnen Rassen ist in **Abbildung 38** dargestellt. 5 von 138 Fleckvieh-Rindern zeigten Herzaktion, entsprechend 3,6 %. Von 99 getesteten Braunvieh-Rindern waren 7 mit Herzschlag gefunden worden, dies entspricht 7,1 %. Bei den 61 getesteten Schwarz-Bunten-Rindern waren 2 Tiere mit Herzaktion aufgefallen. Dies entspricht 3,3 %.

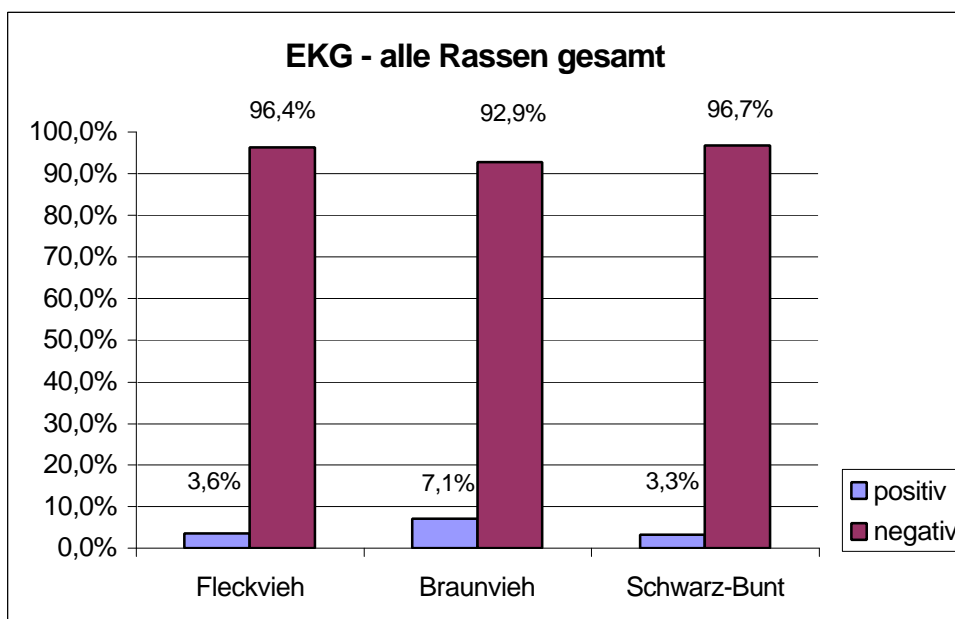


Abb. 38: Prozentualer Anteil der Tiere mit Herzaktion im EKG, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

4.2.2 Herzschlag mit Regelmäßiger Atmung und Gerichtetem Sehen

Um festzustellen, ob bei 15 ermittelten Tieren mit Herzaktion auch gerichtetes Sehen und regelmäßige Atmung vorhanden war, werden nun diese 3 Parameter zusammen genommen. Das Ergebnis von einem Tier, das alle Parameter gleichzeitig aufwies, läßt erkennen, daß ein vermutlich mangelhafter Betäubungszustand eines Tieres nicht unbedingt mit der Herzaktion korreliert (**Abb. 39**).

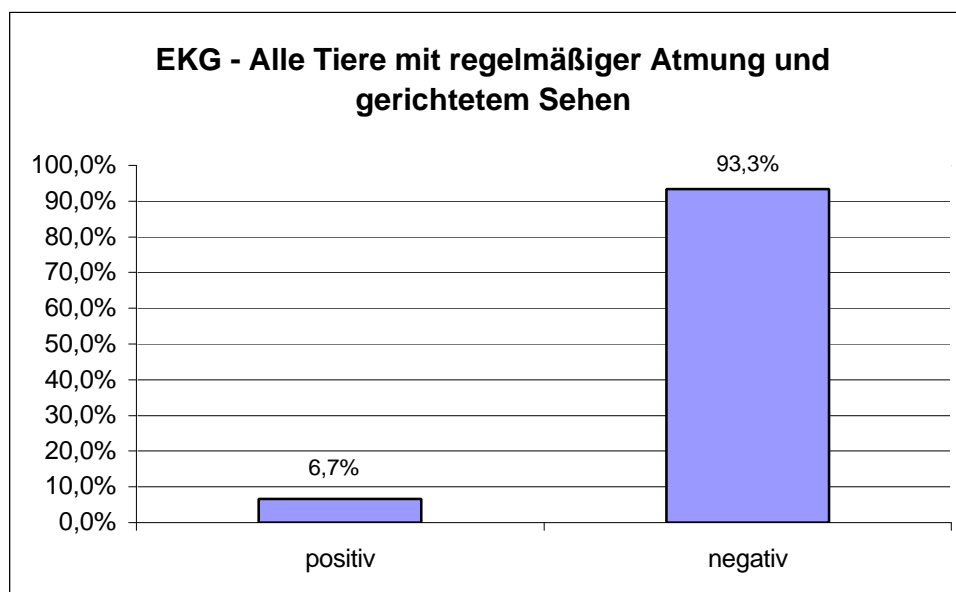


Abb. 39: Prozentualer Anteil der Tiere mit Herzaktion, regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen bezogen auf alle 65 Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen

Um festzustellen, ob Tiere mit Herzaktion evtl. später Parameter, die auf wiederkehrendes Bewußtsein deuten, zeigen, wurden die in Beobachtungsposition 3 (**Abb. 11**) ermittelten Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen mit den 15 positiven Tieren beim EKG kombiniert.

Bei der Auswertung konnte jedoch kein Tier, das alle 3 Parameter zeigte, ermittelt werden. Das bedeutet, dass keines der 15 Rinder mit Herzaktionen bei späterer Beobachtung regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigte.

4.3 Nachbetäubung / Bolzenschuß

Die folgenden Tabellen zeigen die Verhältnisse bei den mit Bolzenschuß nachbetäubten Tieren. Es wurde eine Anzahl von Rindern, die vornehmlich wegen oben beschriebener Parameter ein wiederkehrendes oder offensichtliches Bewußtsein vermuten ließen, vom verantwortlichen Schlachtpersonal mit einem patronengetriebenen Bolzenschußgerät betäubt. Dies war ebenso der Fall, wenn zu heftige Kick- oder Abwehrbewegungen der Tiere ein rasches und sicheres Entbluten erschwerten und der Arbeitsschutz für die Angestellten nicht garantiert war.

Es wurden von insgesamt 619 Rindern dieser Studie 105 Tiere mit der Bolzenschußmethode nachgeschossen. Dies entspricht 17 % (**Abb. 40**).

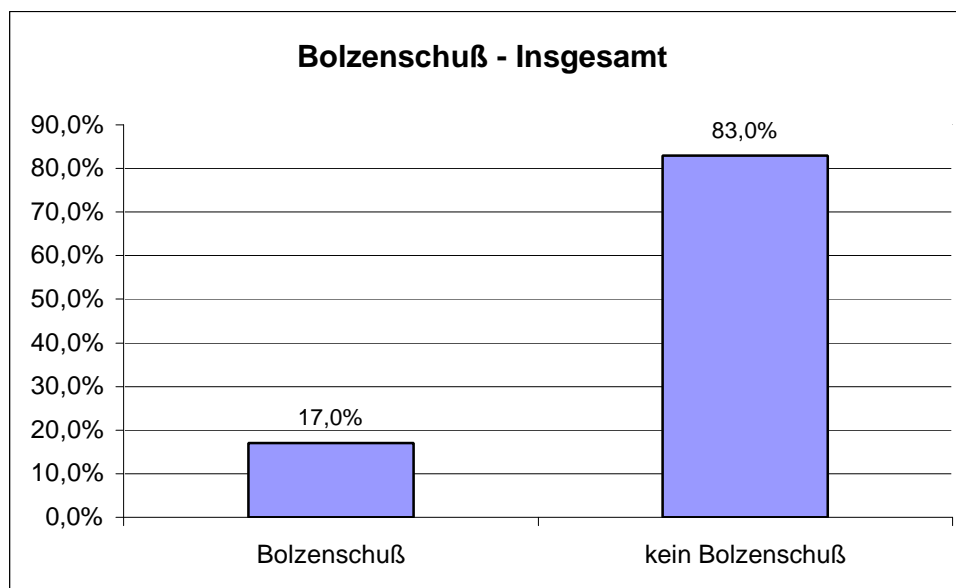


Abb. 40: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere in Bezug auf alle 619 Tiere

Die Geschlechtsverteilung der 105 nachgeschossenen Tiere ist relativ ausgeglichen und beläuft sich auf 56 männliche und 49 weibliche Tiere (**Abb. 41**).

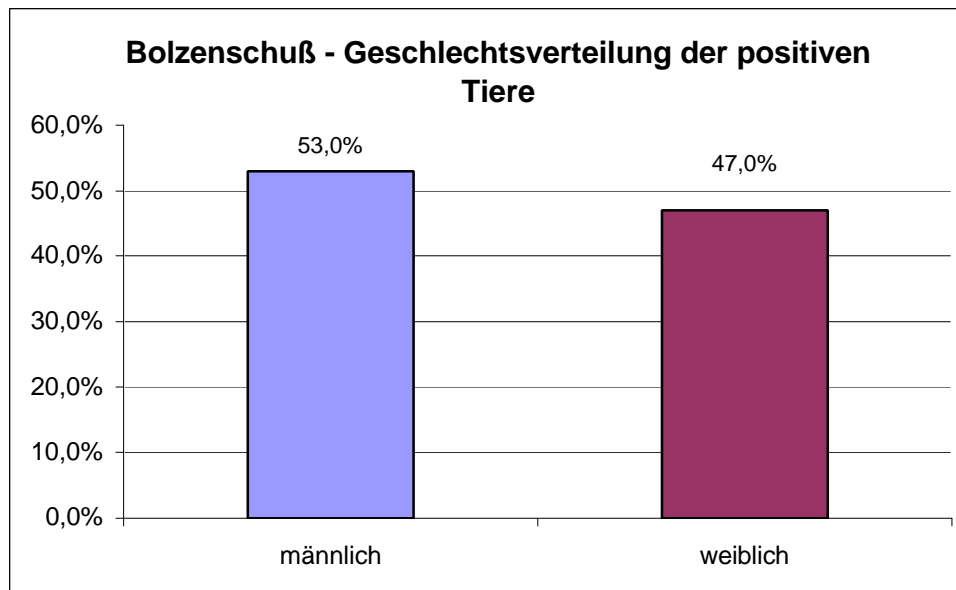


Abb. 41: Geschlechtsverteilung der nachbetäubten Tiere

Betrachtet man alle 242 männlichen Tiere dieser Studie, so ergibt sich mit 56 nachbetäubten männlichen Rindern ein Anteil von 23 %.

Bei den 377 weiblichen Tieren beträgt der Anteil der mit Bolzenschuß nachbetäubten Tiere 13 % (**Abb. 42**).

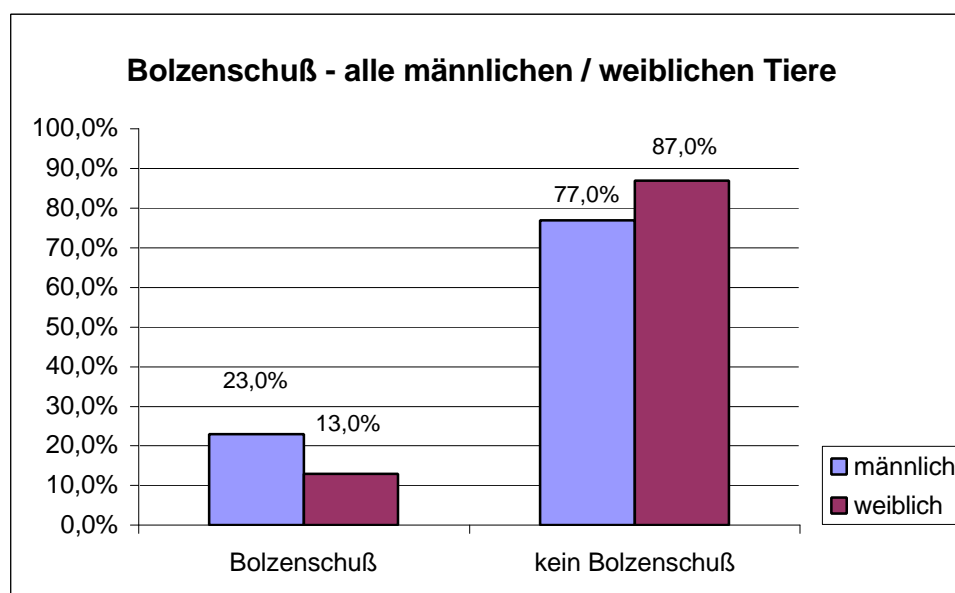


Abb. 42: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere bezogen auf die Gesamtanzahl der männlichen oder weiblichen Tiere

Bei den jeweiligen Rassen stellt sich der Anteil der nachgeschossenen Tiere folgendermaßen dar:

72 von insgesamt 318 Fleckvieh-Rindern mußten nachbetäubt werden, sowie 17 von 165 Braunvieh-Rindern und 16 von 131 Schwarz-Bunten (**Abb. 43**).

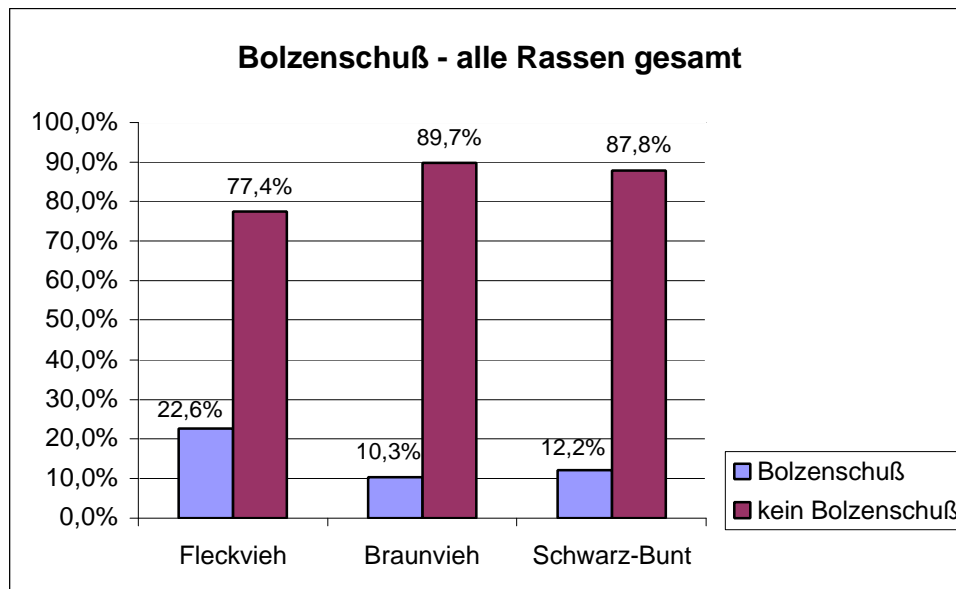


Abb. 43: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

Bei der Rasse Fleckvieh lag die Geschlechterverteilung der nachgeschossenen Tiere bei 49 männlichen zu 23 weiblichen, also 68 % zu 32 %.

Beim Braunvieh war das Verhältnis männlich zu weiblich 3 zu 14, also 17,6 % männliche zu 82,4 % weiblichen.

Ähnlich war es bei den Schwarz-Bunten. Hier wurden 4 männliche und 12 weibliche Tiere nachgeschossen, also 25 % männliche zu 75 % weiblichen (**Abb. 44**).

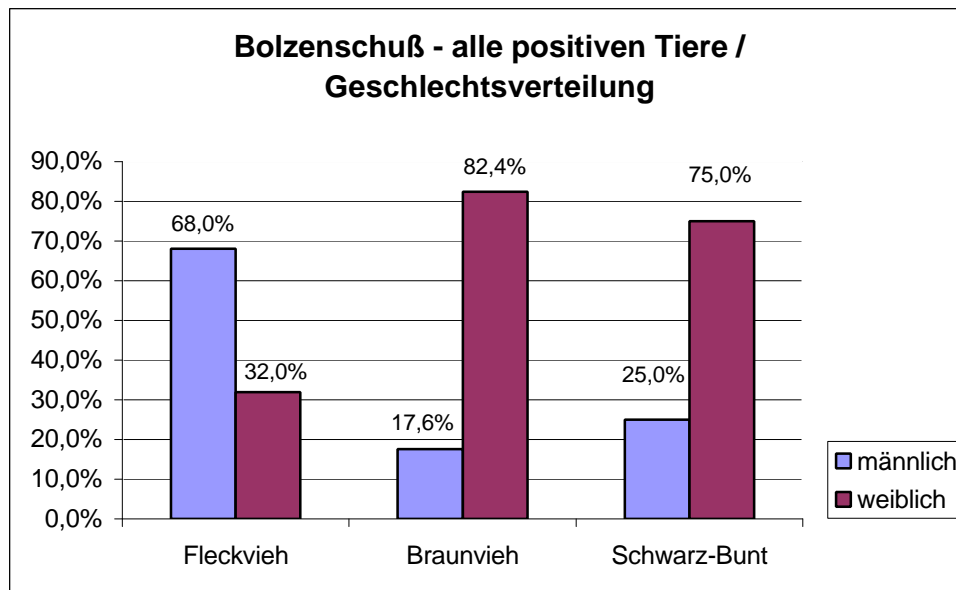


Abb. 44: Geschlechtsverteilung der nachbetäubten Tiere, geordnet nach Rassen

Die folgende **Abbildung 45** zeigt wiederum den prozentualen Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere, die nachgeschossen wurden, in Bezug auf die jeweilige Gesamtzahl männlicher oder weiblicher Tiere einer Rasse.

Somit machen die 49 geschossenen Fleckviehbullen einen Anteil von 24 % bei den insgesamt 204 Fleckviehbullen. Bei den männlichen Tieren der Rasse Braunvieh beläuft sich der Anteil auf 17,6 % und bei der Rasse Schwarz-Bunte auf 23,5 % an der Gesamtzahl männlicher Tiere einer Rasse.

Betrachtet man die weiblichen Tiere, so stellt sich heraus, daß Braunvieh-Kühe mit 9,5 % und Schwarz-Bunt-Kühe mit 10,5 % in Bezug auf alle weiblichen Tiere einer Rasse, anteilmäßig hinter den männlichen Tieren zurückbleiben.

Es wird jedoch deutlich, wie schon bei den Parametern regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen, daß die Fleckvieh-Kühe mit einem Anteil von 20,2 % an allen weiblichen Tieren dieser Rasse deutlich höher liegen (**Abb. 45**).

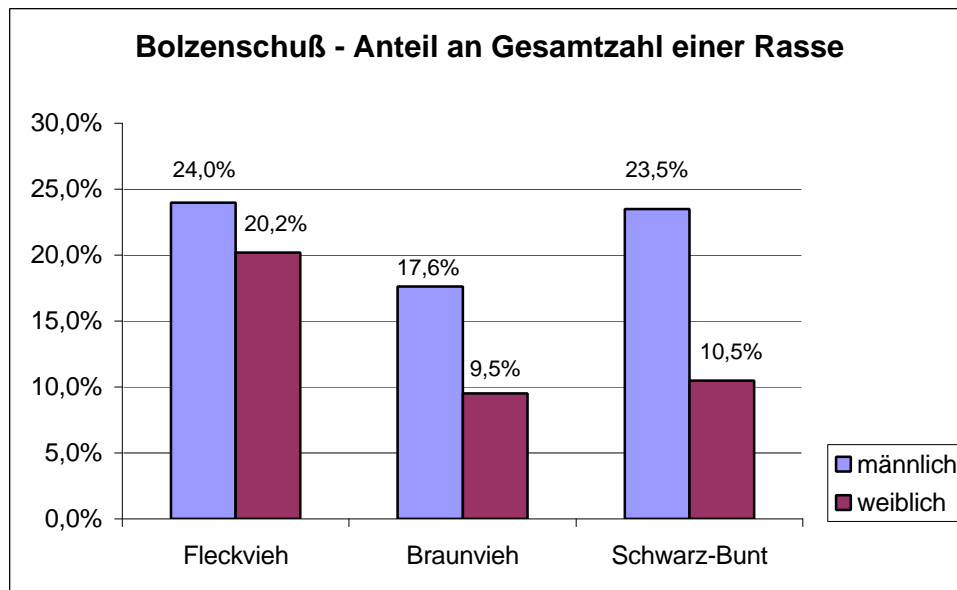


Abb. 45: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere, geordnet nach Rassen und Geschlecht, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

4.3.1 Bolzenschuß mit Regelmäßiger Atmung und Gerichtetem Sehen

Um eine signifikante Korrelation zwischen nachgeschossenen Tieren und vermutlich wiederkehrendem Bewußtsein (vgl. Kap. 2.4.5) nachzuweisen, werden nun Bolzenschuß und die Parameter Regelmäßige Atmung und Gerichtetes Sehen zusammengekommen.

Tatsächlich wiesen 49 Tiere alle drei Parameter gleichzeitig auf. Das heißt, daß die meisten der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen auch nachbetäubt wurden. Die 49 Tiere entsprechen 7,9 % an der Gesamtzahl der 619 Rinder dieser Studie (**Abb. 46**).

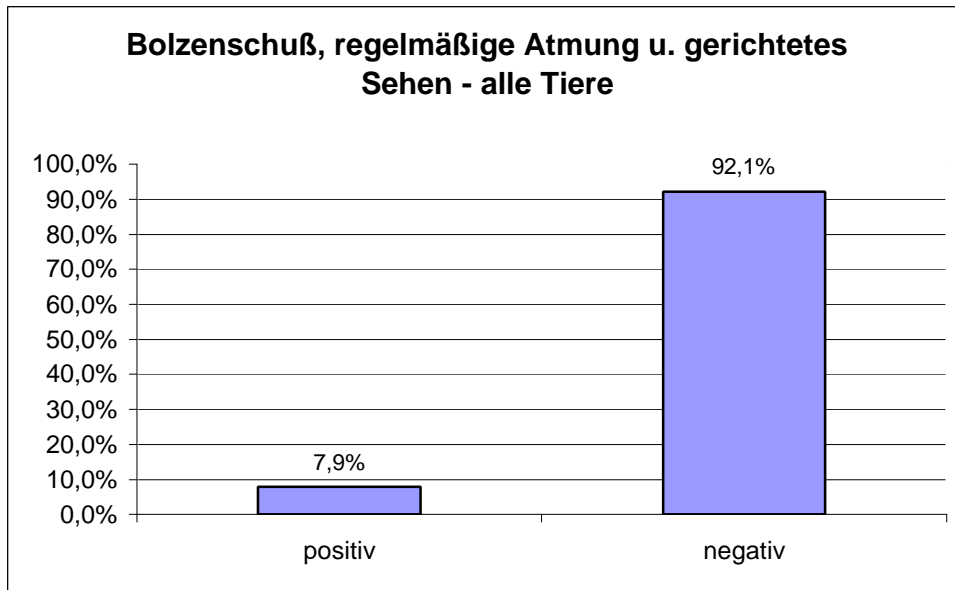


Abb. 46: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen bezogen auf alle 619 Tiere

Die Geschlechterverteilung der 49 nachbetäubten Tiere, die auch regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigten, beläuft sich auf 12 männliche und 37 weibliche Tiere, also 24,5 % zu 75,5 % (**Abb. 47**).

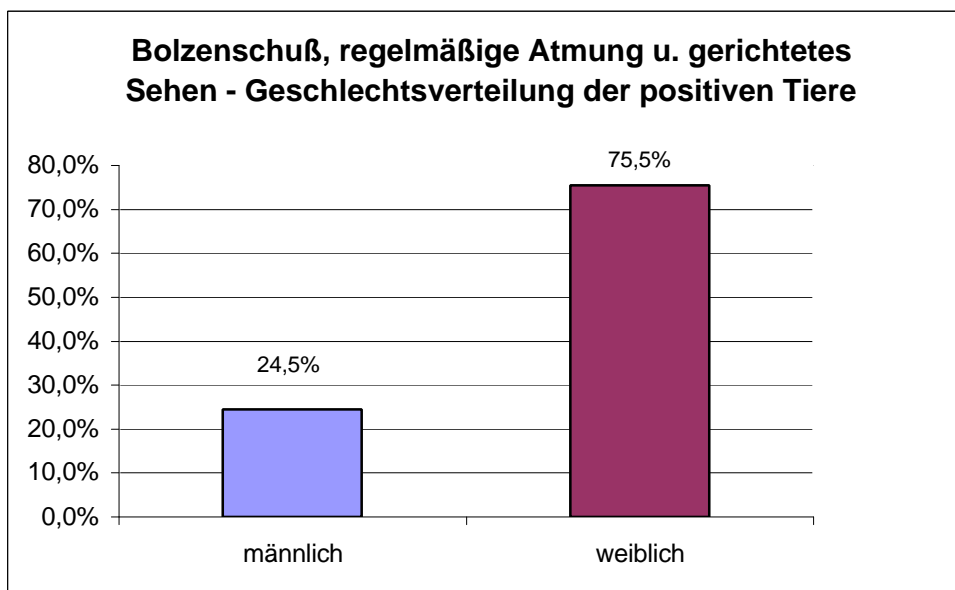


Abb. 47: Geschlechtsverteilung der Tiere, die nachbetäubt wurden und regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigten

Innerhalb der einzelnen Rassen ist der Anteil der positiven Tiere wie folgt:
25 von 318 Fleckvieh-Rindern wurden nachgeschossen und wiesen regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen auf, entsprechend 7,9 %.

Beim Braunvieh beläuft sich der Anteil der 9 positiven Tiere auf 5,5 %.

Die Schwarz-Bunten hatten mit 15 Tieren einen Anteil von 11,5 % (**Abb. 48**).

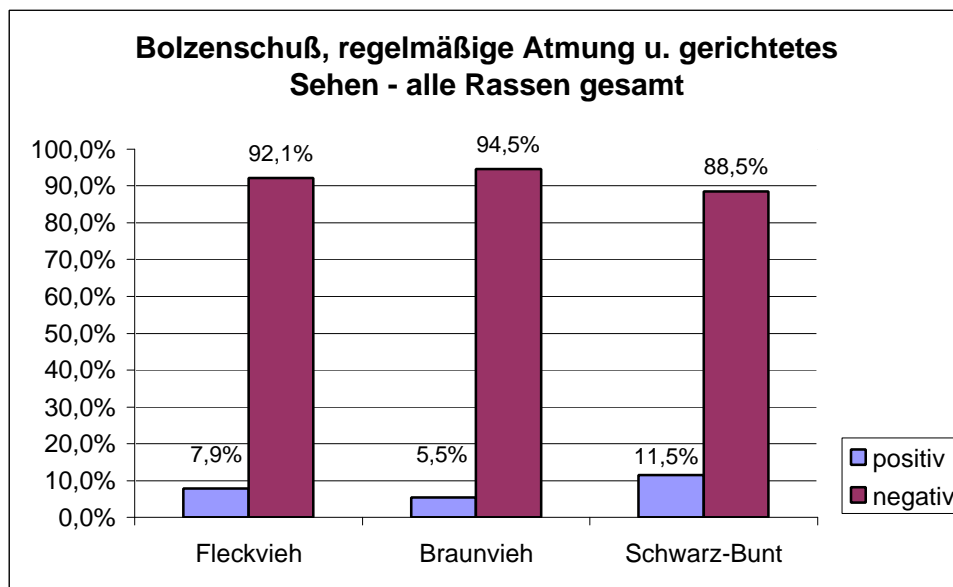


Abb. 48: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

Beim Fleckvieh lag die Geschlechterverteilung der Tiere, die nachgeschossen wurden und zusätzlich regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigten, bei 8 männlichen und 17 weiblichen.

Bei der Rasse Braunvieh lag das Verhältnis männlich zu weiblich bei 1 zu 8.

Die Schwarz-Bunten wiesen 3 männliche und 12 weibliche Tiere auf, die gleichzeitig alle drei Parameter zeigten.

Die prozentualen Verhältnisse sind in der folgenden **Abbildung 49** dargestellt.

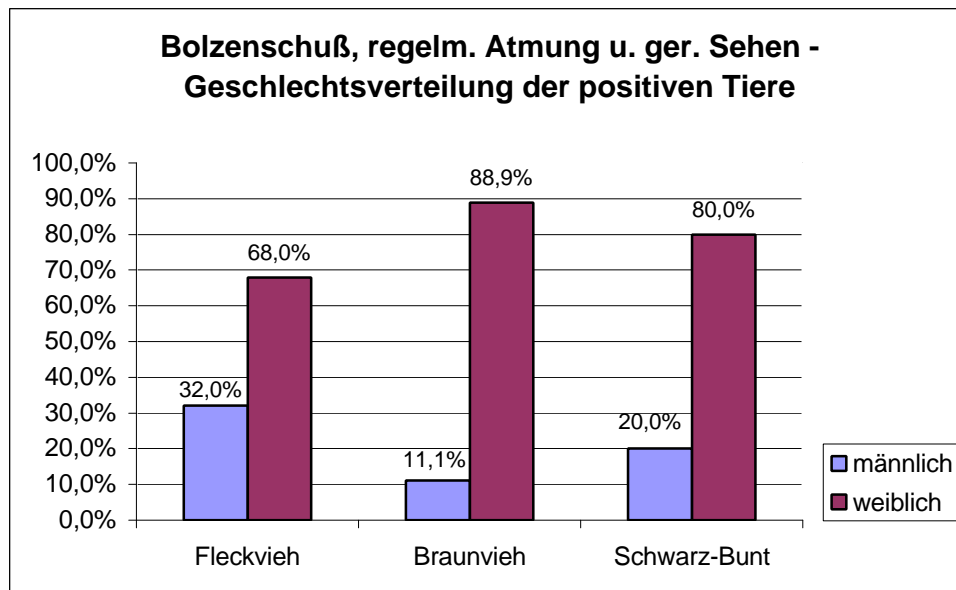


Abb. 49: Geschlechtsverteilung der nachbetäubten Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen

Die folgende **Abbildung 50** zeigt wiederum den prozentualen Anteil männlicher oder weiblicher Tiere mit allen drei Parametern in Bezug auf die Gesamtzahl männlicher oder weiblicher Tiere der jeweiligen Rasse.

Die 8 positiven Fleckviehbullen stellen demnach einen Anteil von 3,9 % an den insgesamt 204 männlichen Tieren dieser Rasse. Beim Braunvieh sind es 5,9 % und bei den Schwarz-Bunten 17,6 % der männlichen Tiere, jedoch aufgrund der geringen Tierzahl mit geringerer Aussagekraft.

Betrachtet man die weiblichen Tiere, so stellt sich heraus, daß die Fleckvieh-Kühe mit 17 Tieren einen Anteil von 14,9 % an den insgesamt 114 weiblichen Tieren dieser Rasse haben. Die Braunvieh-Kühe haben einen Anteil von 5,4 % an den 148 weiblichen Tieren dieser Rasse. Bei den Schwarz-Bunten machen die 12 positiven weiblichen Tiere einen Anteil von 10,5 % gemessen an der Gesamtzahl weiblicher Tiere dieser Rasse (**Abb. 50**).

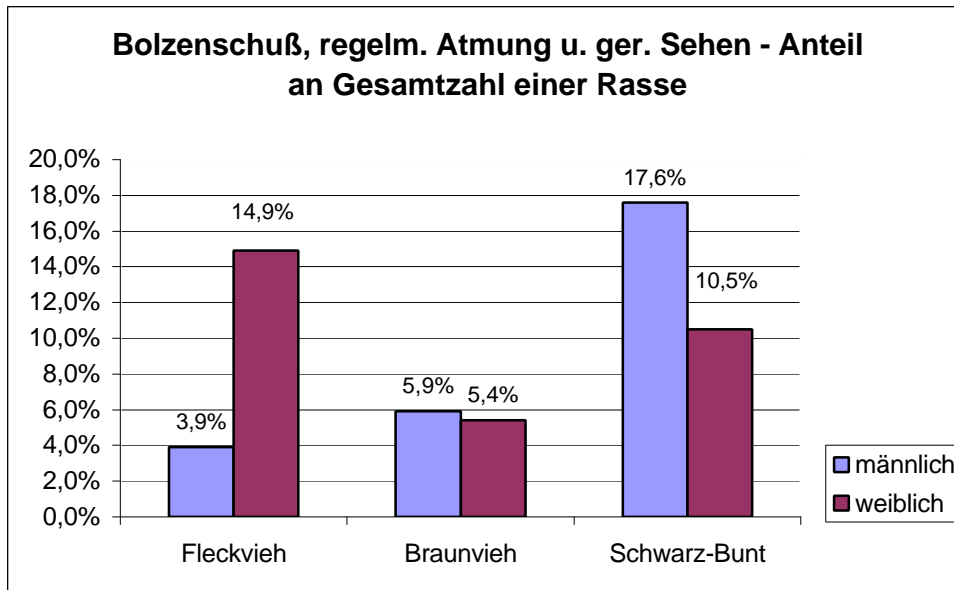


Abb. 50: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen, geordnet nach Rassen und Geschlecht, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

4.3.2 Bolzenschuß und Abwehrbewegungen

Wie bereits oben festgestellt wurde, zeigten 49 der nachgeschossenen Tiere gleichzeitig regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen. Offenbar sind also bei den insgesamt 105 mit Bolzenschuß nachbetäubten Rindern mehr als die Hälfte ohne klare Hinweise auf wiederkehrendes Bewußtsein geschossen worden. Wie aus der folgenden Graphik hervorgeht, wurden Tiere mit starken Ruder- oder Abwehrbewegungen, die teilweise schwierig von starken klonischen Krämpfen zu unterscheiden waren, nachbetäubt, um ein für das Schlachtpersonal gefahrloses und sicheres Entbluten der Tiere zu ermöglichen.

Von den insgesamt 619 Tieren wurden demnach 23 mit Bolzenschuß nachbetäubt, weil sie Abwehrbewegungen zeigten. Dies entspricht 3,7 % (**Abb. 51**).

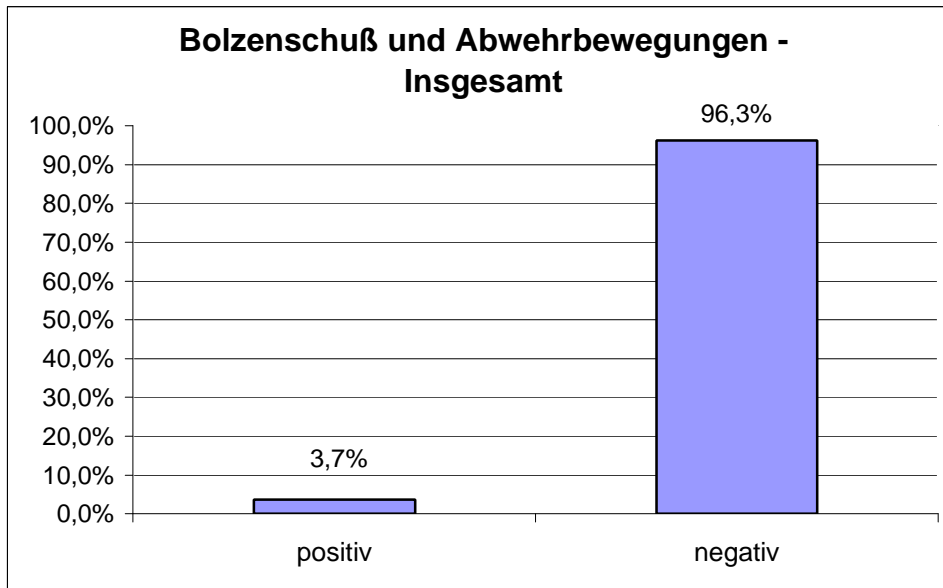


Abb. 51: Prozentualer Anteil der Tiere, die nachbetäubt wurden und Abwehrbewegungen zeigten, bezogen auf alle 619 Rinder dieser Studie

Die Geschlechtsverteilung der 23 Rinder, die Abwehrbewegungen zeigten und mit Bolzenschuß nachbetäubt wurden, liegt bei 15 männlichen und 8 weiblichen Tieren, entsprechend 65,2 % zu 34,8 % (**Abb. 52**).

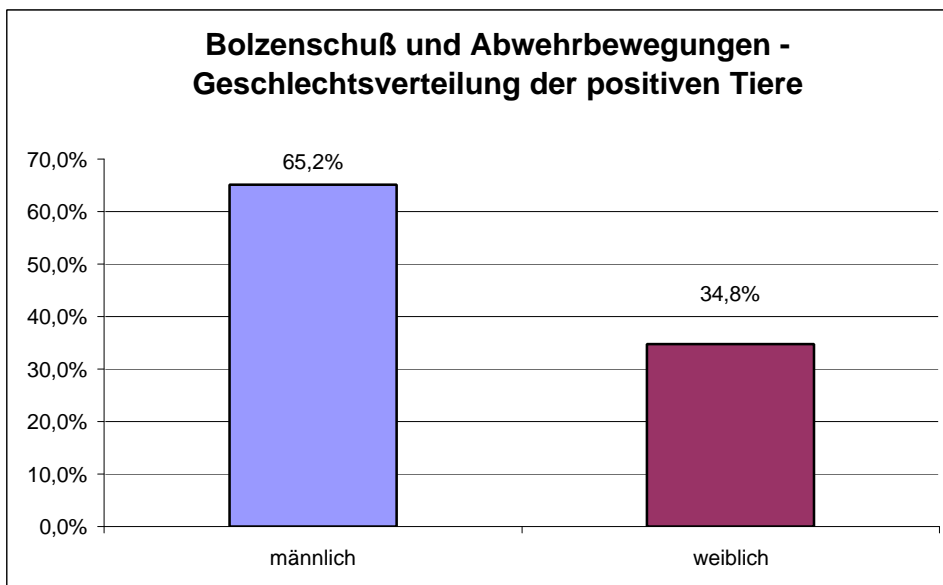


Abb. 52: Geschlechtsverteilung der nachbetäubten Tiere mit Abwehrbewegungen

Betrachtet man alle männlichen Rinder dieser Studie, so ergibt sich mit 15 nachbetäubten männlichen Tieren, die Abwehrbewegungen zeigten, ein Anteil von 6,2 % an allen 242 Tieren.

Bei den insgesamt 377 weiblichen Rindern beträgt der Anteil der nachbetäubten und Abwehrbewegungen zeigenden Tiere 2,1 % (**Abb. 53**).

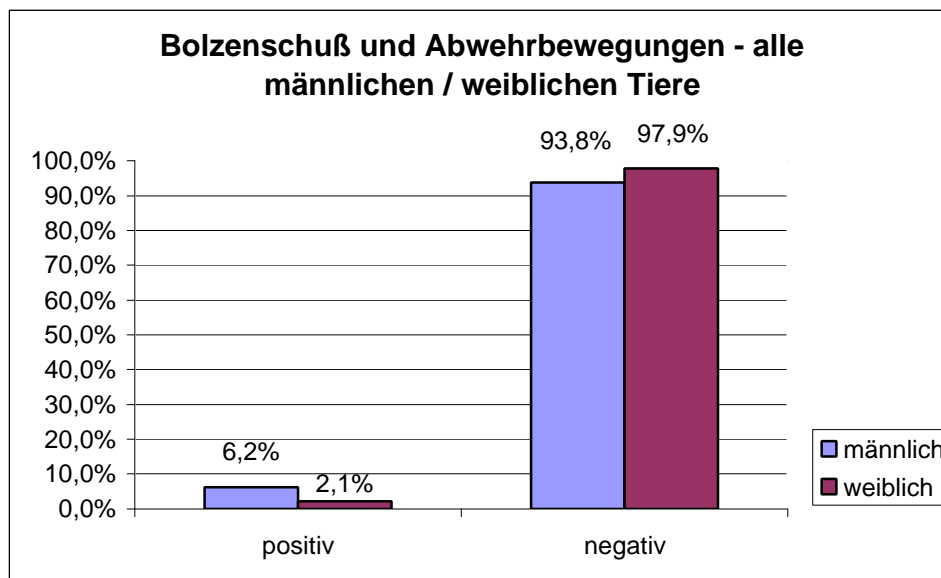


Abb. 53: Prozentualer Anteil der männlichen oder weiblichen Tiere, die nachbetäubt wurden und Abwehrbewegungen zeigten, bezogen auf die Gesamtanzahl männlicher oder weiblicher Tiere

Innerhalb der einzelnen Rassen stellt sich der Anteil der nachbetäubten Tiere, die Abwehrbewegungen zeigten, folgendermaßen dar:

18 von 318 Fleckvieh-Rindern wurden nachgeschossen und zeigten Abwehrbewegungen. Dies entspricht 5,7 %.

Beim Braunvieh konnte lediglich ein positiver Fall nachgewiesen werden. Dies entspricht bei 165 Rindern 0,6 %.

Bei den insgesamt 131 Schwarz-Bunten Rindern wurden 4 Tiere nachbetäubt und wiesen Abwehrbewegungen auf. Dies entspricht einem Anteil von 3,1 % (**Abb. 54**).

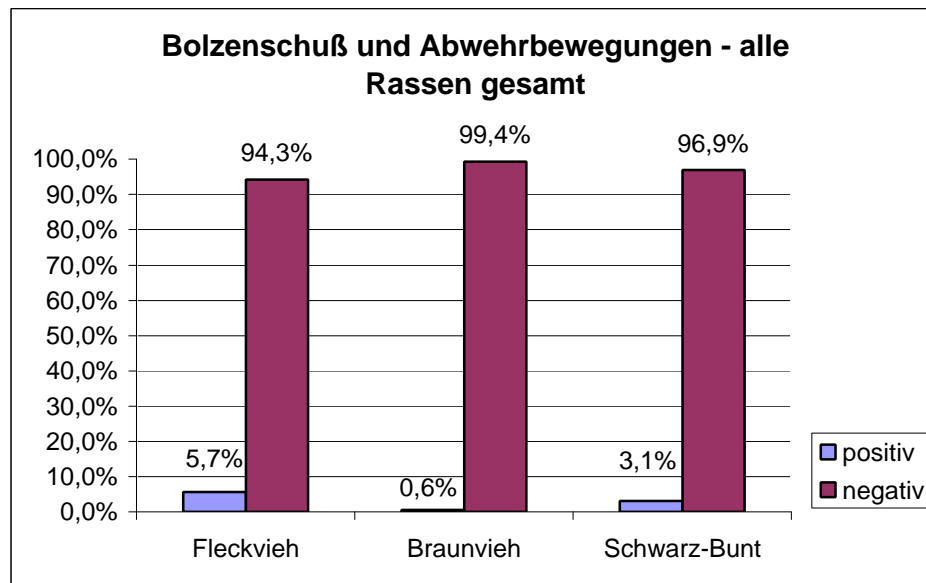


Abb. 54: Prozentualer Anteil der nachbetäubten Tiere mit Abwehrbewegungen, geordnet nach Rassen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Tiere in den einzelnen Rassen

In der folgenden **Abbildung 55** wird die Geschlechterverteilung der nachbetäubten und Abwehrbewegungen zeigenden Tiere bei der Rasse Fleckvieh dargestellt. Aufgrund mangelnder männlicher Tiere bei den Rassen Braunvieh und Schwarz-Bunte und somit geringer Aussagekraft, werden diese nicht berücksichtigt.

Die Geschlechterverteilung der 18 nachgeschossenen und Abwehrbewegungen zeigenden Fleckvieh-Rinder beläuft sich demnach auf 15 männliche und 3 weibliche. Dies macht mit 83,3 % zu 16,7 % einen deutlichen Überhang zugunsten der männlichen Seite offensichtlich (**Abb. 55**).

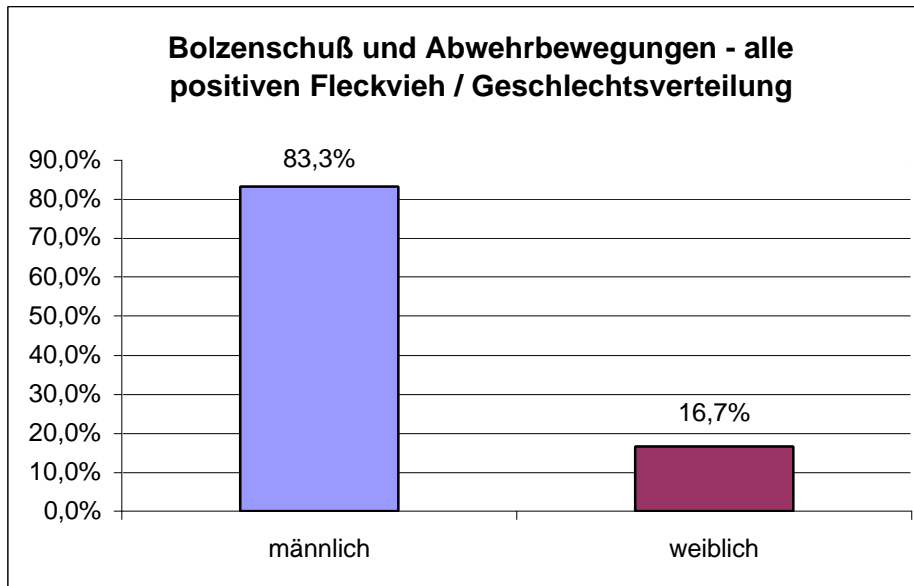


Abb. 55: Geschlechtsverteilung der Tiere, die nachbetäubt wurden und Abwehrbewegungen zeigten, bei der Rasse Fleckvieh

4.4 Beurteilung der Fleischqualität / pH-Wert-Messung

Die Messungen der pH-Werte wurden am M. longissimus dorsi und M. adductor jeweils 45 Minuten, 6 Stunden und 18 Stunden nach der Schlachtung durchgeführt. Dabei wurden zwei Gruppen gebildet, um die pH-Wert-Entwicklung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Betäubungsstromstärken (3,0 und 3,7 Ampere) darzustellen.

Die statistische Auswertung der gemessenen pH-Werte ergab, dass sowohl im M. adductor als auch im M. longissimus dorsi keine signifikanten Unterschiede zwischen konventioneller Bolzenschußbetäubung und einer Betäubung mit elektrischem Strom beim End-pH-Wert bestehen. Dagegen ergaben die Messungen des initialen pH-Wertes (pH 45 Min.) einen deutlich rascheren initialen pH-Wert-Abfall bei der Elektrobetäubung im Vergleich zur Bolzenschußbetäubung.

Um den Einfluß der Betäubungsstromstärke auf den pH-Wert-Verlauf festzustellen, wurde eine Gruppe von 193 Rindern mit einer Stromstärke von 3,0 Ampere betäubt. Die Messungen der pH-Werte im M. adductor sind in der **Tabelle 1** und in **Abbildung 56** verdeutlicht.

	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
pH 45min adductor	6,28	6,27	5,89	6,75
pH 6h adductor	5,87	5,86	5,50	6,33
pH 18h adductor	5,60	5,60	5,38	6,05

Tab. 1: pH-Werte im M. adductor bei Betäubungsstromstärke 3,0 A

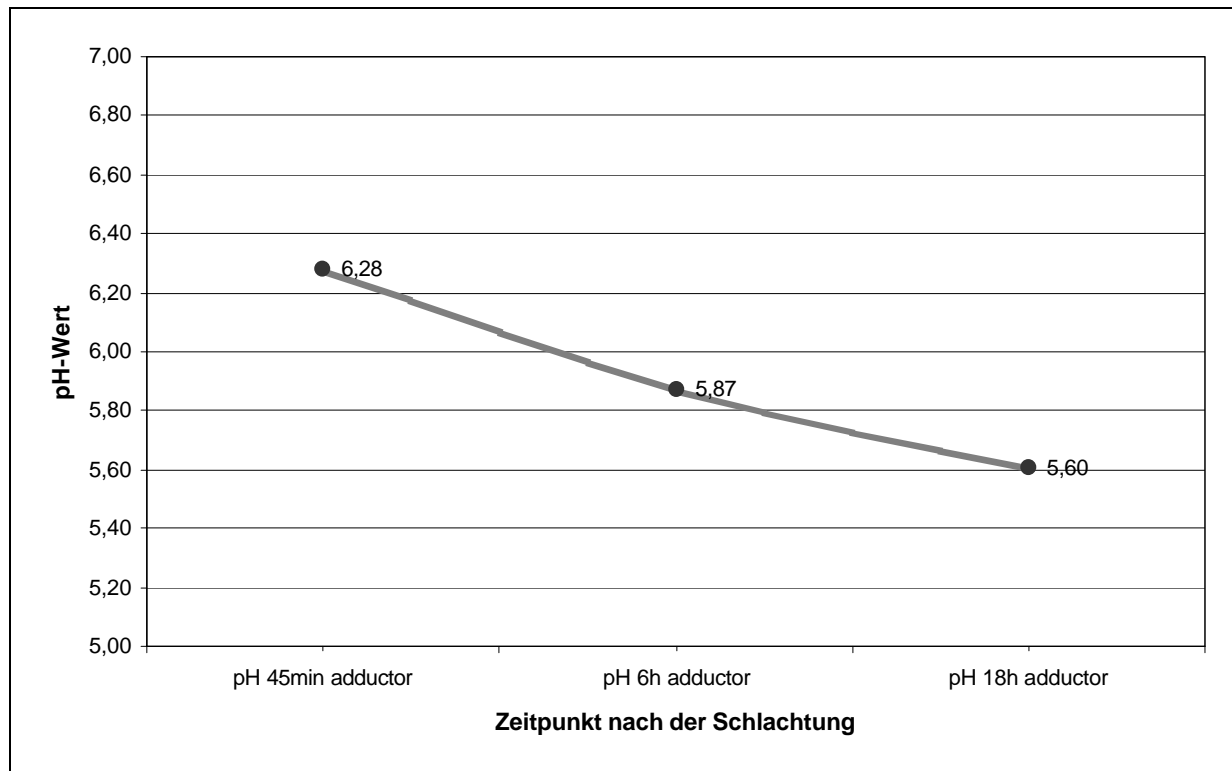


Abb. 56: pH-Wert-Verlauf des M. adductor bei Betäubungsstromstärke 3,0 A

Weiterhin wurde auch der pH-Wert-Verlauf im M. longissimus dorsi in Abhängigkeit des Zeitpunktes nach der Schlachtung ermittelt. Diese Ergebnisse sind in der **Tabelle 2** und in der **Abbildung 57** graphisch dargestellt.

	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
pH 45 min longissimus dorsi	6,34	6,34	5,93	6,92
pH 6h longissimus dorsi	5,87	5,85	5,60	6,66
pH 18h longissimus dorsi	5,62	5,60	5,39	6,17

Tab. 2: pH-Werte im M. long. dorsi bei Betäubungsstromstärke von 3,0 A

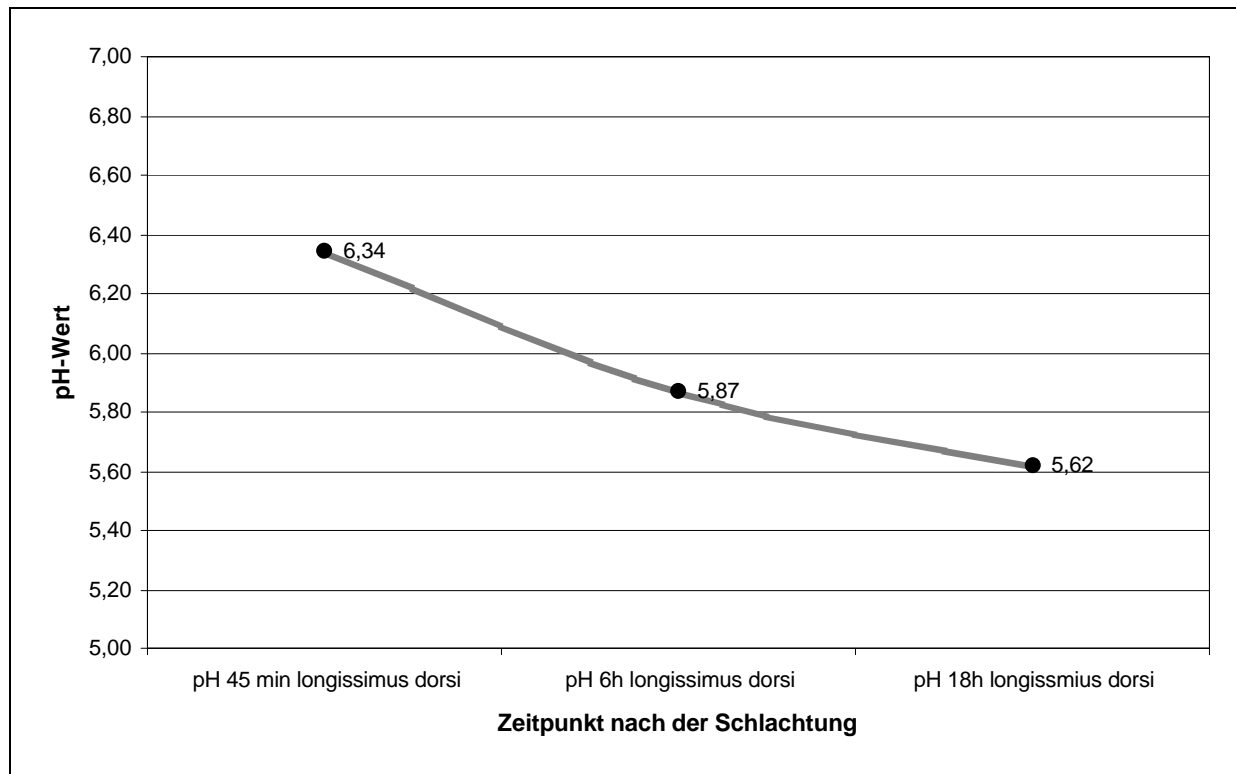


Abb. 57: pH-Wert-Verlauf im M. long. dorsi bei Betäubungsstromstärke 3,0 A

Bei der anderen 178 Rinder zählenden Gruppe betrug die Betäubungsstromstärke 3,7 Ampere. Bei der statistischen Auswertung der beiden Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede bei der pH-Wert-Entwicklung festgestellt werden.

Die **Tabelle 3** gibt die statistischen Parameter Mittelwert, Maximum, Minimum und Median aus den Einzelmessungen der pH-Werte des M. adductor wieder. Der pH-Wert-Verlauf ist in der dazugehörigen **Abbildungen 58** veranschaulicht.

	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
pH 45 min adductor	6,29	6,28	5,94	6,72
pH 6h adductor	5,88	5,86	5,53	6,39
pH 18h adductor	5,61	5,60	5,43	5,89

Tab. 3: pH-Werte im M. adductor bei Betäubungsstromstärke 3,7 A

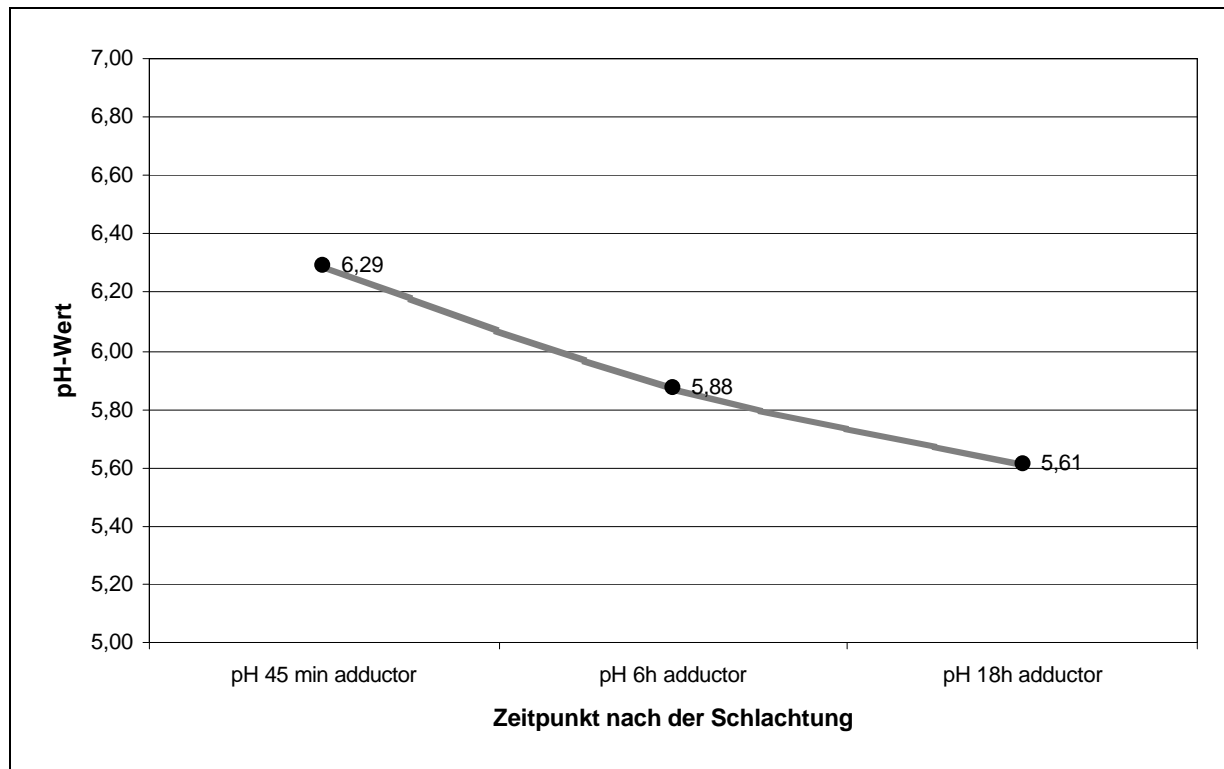


Abb. 58: pH-Wert-Verlauf im M. adductor bei Betäubungsstromstärke 3,7 A

Ebenso wurde der pH-Wert im M. longissimus dorsi ermittelt. Die Ergebnisse sind in der **Tabelle 4** und in der **Abbildung 59** dargestellt.

	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
pH 45 min longissimus dorsi	6,36	6,35	5,83	7,00
pH 6h longissimus dorsi	5,83	5,82	5,40	6,41
pH 18h longissimus dorsi	5,60	5,59	5,20	5,97

Tab. 4: pH-Werte im M. long. dorsi bei Betäubungsstromstärke 3,7 A

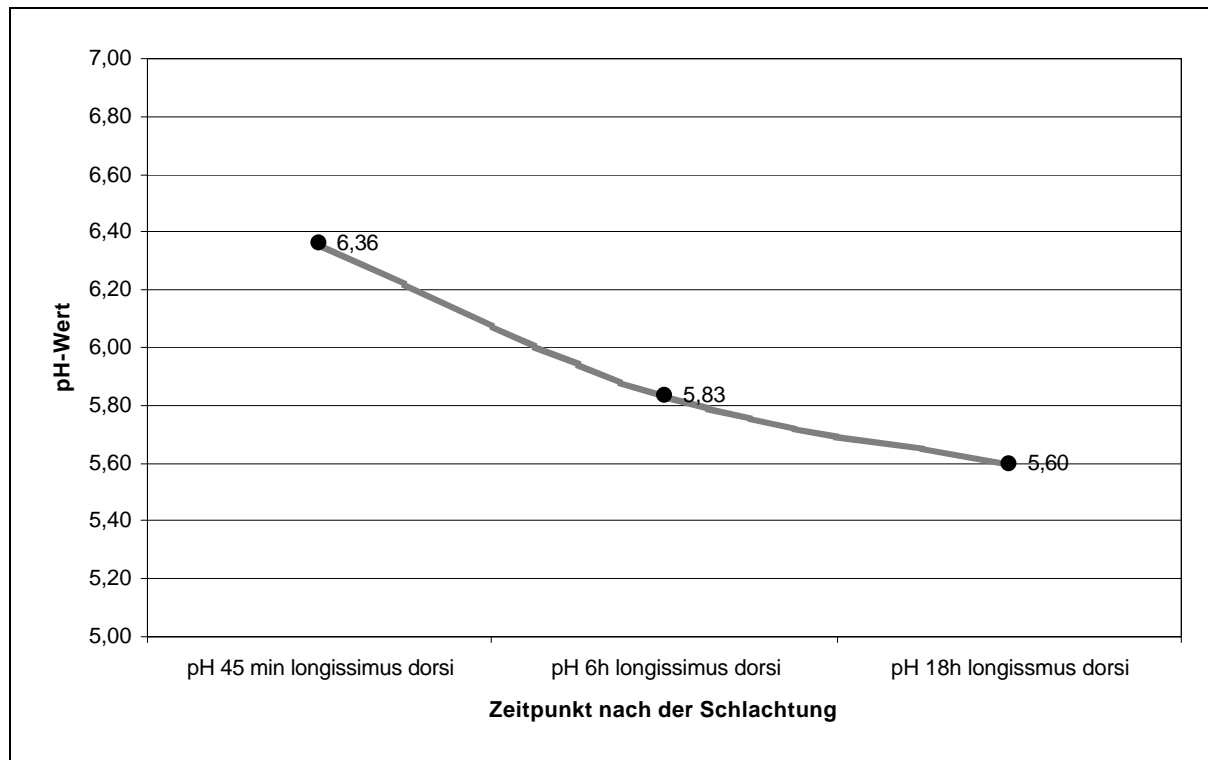


Abb. 59: pH-Wert-Verlauf im M. long. dorsi bei Betäubungsstromstärke 3,7 A

5 DISKUSSION

5.1 Beurteilung der Untersuchungsparameter bezüglich der Betäubungsqualität

5.1.1 Parameter zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität

Im Routinebetrieb eines Schlachtbetriebes ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, trotz lauter Umgebung und hoher Arbeitsgeschwindigkeit, bestimmte Verhaltensänderungen der Tiere zu erkennen und im Hinblick auf den Bewußtseinszustand eines Tieres verbindlich beurteilen zu können. Die Untersuchungen machen deutlich, dass mit einem positiven Parameter allein noch keine sicheren Schlüsse im Hinblick auf eine Bewußtseinswiederkehr gezogen werden können. Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse erwies sich die Kombination von besonders wichtig erachteten Parametern für eine Steigerung der Aussagekraft als sinnvoll.

Bei der Beurteilung des Bewußtseinsstatus im Anschluß an die Elektrobetäubung sind regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen der Tiere zwei wesentliche Parameter, welche auch in den meisten Fällen zusammen auftraten. Bei insgesamt rund 10 % der untersuchten Rinder konnten beide Parameter deutlich positiv beurteilt werden, d.h. die Wirkung der elektrischen Betäubung war nicht bzw. nicht lange genug erfolgreich, um Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit bis zum Eintritt des Todes durch Entbluten sicherzustellen. Zu berücksichtigen ist, dass sowohl regelmäßige Atmung als auch gerichtetes Sehen meistens 20-30 Sekunden nach der Betäubung auftraten, einem Zeitpunkt, bei dem der Entblutungsvorgang häufig noch nicht eingeleitet worden war. Es muß deshalb davon ausgegangen werden, dass trotz des ausgelösten Herzkammerflimmerns der rapide Blutdruckabfall noch nicht stattgefunden hat, sodass unter Umständen eine Erholung des Gehirns im Anschluß an die epileptiforme Aktivität möglich erscheint, zumal eine Rückkehr des Herzens in den Sinusrhythmus nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Denkbar wäre in diesem Fall eine Reoxygenierung des Blutes im Zuge regelmäßiger Atembewegungen. Zu beachten sind diesbezüglich auch die besonderen Verhältnisse der cerebralen Blut-

gefäßversorgung bei Rindern vor allem im Hinblick auf das sofortige Aufziehen der Tiere an den Hintergliedmaßen nach dem Auswurf aus der Betäubungsbox.

Während die betäubten Tiere beobachtet werden, muß auf eine Abgrenzung von Parametern, die Bewußtsein signalisieren, zu physiologischen Erscheinungen bei der Elektrobetäubung, wie z. B. Schnappatmung (s. unten), geachtet werden. Regelmäßige, rhythmische Atemzüge sind an der offensichtlich arbeitsfähigen Atmungsmuskulatur zu erkennen, und setzen ein funktionierendes Atemzentrum im verlängerten Mark sowie intakte Nervenbahnen voraus. Die epileptiforme Anfallsaktivität nach einer ausreichenden Kopfdurchströmung sollte aber zu einem sicheren Erlöschen dieser Funktionen führen. Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Betäubungsqualität sind weiterhin der Kopf und vor allem die Augen des Tieres. Ein ordnungsgemäß betäubtes Rind hat ausdruckslose Augen mit nach oben rotierten Bulbi und zeigt Nystagmus in unterschiedlich starker Ausprägung. Hinweise auf eine unzureichende Betäubung und Wiederkehr des Bewußtseins sind gerichtete Augenbewegungen, Fixierung von Gegenständen oder auch Reaktion auf Drohgebärden. Wenn Bulbusbewegungen oder Lidschlag offensichtlich willkürlich gesteuert werden, ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass optische Nervenbahnen und das zugehörige kortikale Areal funktionieren oder im Begriff sind, ihre Integrität wieder herzustellen.

Bei der Geschlechterverteilung der Tiere mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen konnte festgestellt werden, dass deutlich mehr weibliche Tiere bei der Beobachtung auffielen. Hervorzuheben sind die weiblichen Fleckvieh-Rinder mit 19,3 %, gefolgt von den weiblichen Schwarz-Bunten Rindern mit 14 %, gemessen an der jeweiligen Gesamtzahl weiblicher Tiere einer Rasse. Erwähnenswert ist auch die Tatsache, daß zahlreiche männliche Tiere aufgrund teilweise heftiger klonischer Krämpfe oder Ruderbewegungen sehr schwierig zu beurteilen waren.

Die Beurteilung der Betäubungsqualität mit Hilfe des Lidreflexes erwies sich als unbefriedigend. Ein Großteil der Tiere zeigte positiven Lidreflex bereits relativ früh nach der Betäubung, in einer Phase also, wo ein generalisierter tonisch-klonischer Krampfzustand vorherrschte, welcher wahrscheinlich auch die am Lidreflex beteiligten Muskeln beeinflusste. Zur gleichen Zeit waren alle anderen Anzeichen einer guten Be-

täubungsqualität vorhanden, sodaß die Aussagekraft des Lidreflexes allein bezweifelt werden muß. Bei 16,8 % aller untersuchten Rinder war Lidreflex durch sanften Druck auf die Kornea auslösbar. Davon zeigten nur etwa die Hälfte zusätzlich regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen. Die Ergebnisse belegen aber, dass bei Tieren, die im Verdacht stehen, das Bewußtsein wiederzuerlangen, zu über 90 % auch Lidreflex auslösbar ist. Nur zusammen mit den Parametern regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen kann demnach ein positiver Lidreflex hinweisend auf eine Erholung bestimmter Stammhirnregionen sein, welche in unmittelbarer Nachbarschaft wichtiger Reflexzentren liegen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Parameter Schnappatmung kein entscheidender Faktor bei der Beurteilung der Betäubungsqualität ist. Vielmehr handelt es sich hierbei um ein Phänomen, das bei erfolgreicher Elektrobetäubung mehr oder weniger deutlich in Erscheinung treten kann, aber nicht muß. Die Auswertung hat einen Anteil von rund 19 % an Tieren mit Schnappatmung ergeben. Dabei strecken die Rinder bei schlaff geöffnetem Maul stereotyp die Zunge hervor, wobei Atemzüge angedeutet werden, die Lunge jedoch nicht belüftet wird. Diese reflexartigen Erscheinungen weisen nicht auf eine Bewußtseinswiederkehr hin, sondern sind Kennzeichen einer steigenden Kohlendioxidkonzentration im Blut, die von Chemorezeptoren gemeldet wird. Häufig ist Schnappatmung im Anschluß an die oben erläuterten Parameter, vor allem aber während der Entblutungsphase zu beobachten. Schnappatmung ist von regelmäßiger Atmung abzugrenzen, was unter Routinebedingungen eines Schlachtbetriebes mitunter Schwierigkeiten bereiten kann und durch die Beobachtung durch mehrere Personen vereinfacht wird.

Die Aussagen, die bezüglich der tonisch-klonischen Krämpfe im Anschluß an die Betäubung gemacht werden können, stimmen weitestgehend mit den in der Literatur angegebenen überein. So sind das sofortige Niederstürzen der Tiere während der epileptiforme Anfall einsetzt, und die Gliedmaßenbewegungen im Anschluß an die Durchströmungsphase typische Zeichen für die Anfallsaktivität des Gehirns und unmittelbar einsetzende Bewußtlosigkeit. Die Ausprägung dieser Krämpfe ist unterschiedlich und schien bei den männlichen Tieren stärker zu sein. Deshalb ist der Anteil von rund 11 % an Tieren mit deutlichen tonisch-klonischen Krämpfen von relativ geringer Aussagekraft. Entscheidend ist das Auftreten des über das Stromflußende

hinaus anhaltenden tonischen Kontraktionszustandes, der bei nahezu allen Rindern unmittelbar nach dem Auswurf aus der Betäubungsbox festgestellt werden konnte und bis zu 20 Sekunden dauerte. Es folgte das Nachlassen der Muskelkontraktionen in der folgenden klonischen Krampfphase. Während bei vielen Tieren Bewegungen nicht bzw. kaum erkennbar waren, sind insbesondere bei den Bullen häufig stereotype Ruder- oder Kickbewegungen zu beobachten, welche unbedingt von willkürlichen, wahrnehmungsgekoppelten Abwehrbewegungen abgegrenzt werden müssen.

5.1.2 EKG – Objektive Überprüfung der Betäubungsqualität

Unmittelbar nachdem die Rinder aus der Betäubungsbox ausgeworfen worden waren, konnte bei 300 Tieren noch im Liegen ein aussagekräftiges EKG abgeleitet werden. Die überwiegende Mehrheit befand sich im tonischen Kontraktionszustand, sodass ein Anlegen der Krokodilklemmen und die Auswertung der EKG-Kurve gut möglich war. Der Betäubungsvorgang hat die Auflage und das Ziel, einen Herzstillstand herbeizuführen. Im Laufe der Untersuchungen konnte bei 285 Tieren Herzkammerflimmern festgestellt werden. Dies spricht für eine effektive und wirksame Betäubungsströmung in der Anlage. Leider konnte ein EKG nicht über längere Zeit hinweg abgeleitet werden, da sowohl die Schlachtroutine durch das Aufziehen der Tiere an den Hintergliedmaßen als auch die einsetzenden klonischen Krämpfe einer praktischen und technischen Durchführung entgegenstanden. Die Möglichkeit einer Rückkehr des Herzens in den Sinusrhythmus während des Aufziehens und der Zeitspanne bis zum Entblutungsstich konnte deshalb durch ein EKG nicht abgeklärt werden. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang der Stoß bzw. Druck der Bauchorgane und vor allem des Pansens auf das Herz. Das EKG ist demnach als Untersuchungsmethode im Schlachtbetrieb mit einigen Schwierigkeiten behaftet. Darüberhinaus verhinderten häufig früh einsetzende klonische Krämpfe mit heftigen Ruderbewegungen die Messungen oder verursachten bei bereits eingeleiteten Messungen erhebliche Artefakte. Besonders die Hautdicke vieler Fleckviehbullen erschwerte bzw. verhinderte das Ansetzen der Krokodilklemmen. Bei dieser Problematik ist auch an einen erhöhten Hautwiderstand während des Betäubungsstromflusses zu denken. Ein weiterer Grund für das Auslassen vieler Tiere war die hohe Schlachtbandgeschwindigkeit.

Um festzustellen, ob Herzaktionen bei den Tieren mit regelmäßiger Atmung und gerichtetem Sehen auftrat, wurden alle drei Parameter zusammengenommen. Es konnte jedoch bei allen 15 Tieren mit nachgewiesener Herzaktion lediglich ein Rind gefunden werden, das offensichtlich das Bewußtsein wiedererlangte. Von den 15 Tieren zeigte auch zu einem späteren Beobachtungszeitpunkt keines Anzeichen für Bewußtsein. Folglich scheint für eine Erholung der Gehirnfunktion nach dem Betäuben ein schlagendes Herz nicht relevant zu sein.

Wenn man die Ergebnisse der EKG-Untersuchung zugrunde legt, hatten die 65 Rinder, die in dieser Studie regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigten und das Bewußtsein wiederzuerlangen schienen, größtenteils Herzkammerflimmern. Daraus kann gefolgert werden, daß ein Herzstillstand nicht zwangsläufig den Tod eines elektrobetäubten Rindes bedeutet. Der Gehirntod ist mit hoher Wahrscheinlichkeit trotz Entblutungsvorgang für eine gewisse Zeitdauer hinausgezögert und hängt vermutlich von der individuellen Blutzufuhr zum Gehirn über die Vertebral- bzw. Spinalarterie, sowie der Wirksamkeit des jeweiligen Betäubungsvorganges ab.

5.2 Beurteilung der Nachbetäubung

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden insgesamt 17 % der Tiere mit einem patronengetriebenen Bolzenschußgerät vom verantwortlichen Schlachtpersonal nachbetäubt, sobald aufgrund oben erläuterten Parameter ein wiederkehrendes oder offensichtliches Bewußtsein angenommen werden mußte. Darüberhinaus erfolgte bei einer Anzahl von Rindern eine Bolzenschußbetäubung, da teilweise heftige Ruder- bzw. Abwehrbewegungen der Tiere den raschen Entblutestich verhinderten und der Arbeitsschutz für die Angestellten nicht gewährleistet war. Wenn man die Geschlechterverteilung und die Gesamtzahl aller männlichen bzw. weiblichen Rinder betrachtet, wird deutlich, dass wesentlich mehr männliche Tiere nachbetäubt wurden. Innerhalb der Gruppe aller weiblichen Tiere liegen die nachbetäubten weiblichen Fleckvieh-Rinder im Vergleich mit den weiblichen Braunvieh- und Schwarz-Bunte-Rindern rund doppelt so hoch. Dieser Wert korreliert in etwa mit den Ergebnissen, die in Bezug auf den Bewußtseinszustand ermittelt werden konnten. Aus diesem Grunde ist eine ge-

wisse rassespezifische Resistenz gegenüber der einwirkenden Betäubungsspannung denkbar bzw. als ein wichtiger Faktor bei einer möglichen Wiedererlangung des Bewußtseins im Anschluß an den epileptiformen Anfall nicht von der Hand zu weisen.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass knapp 8 % aller Tiere unter tierschutzrechtlichen Aspekten nachbetäubt worden sind. Das bedeutet, bei diesen Rindern waren Symptome, die auf ein Wiederkehren des Bewußtsein hinwiesen, für eine Nachbetäubung ausschlaggebend. Der Anteil der weiblichen Tiere an dieser Gruppe war mit 75 % signifikant höher als der Anteil der männlichen Tiere. Die Beobachtungen ergaben, dass weibliche Rinder nach der Betäubung bezüglich der klonischen Krampfphase wesentlich ruhiger waren und somit hinsichtlich der visuellen Parameter besser beurteilt werden konnten. Bei den männlichen Tieren waren dagegen die Ruderbewegungen im Laufe der klonischen Krämpfe oftmals sehr heftig, sodass eine Anzahl von Rindern aus der Sicht des Arbeitsschutzes nachbetäubt wurden, obwohl keine eindeutigen Anzeichen für Bewußtsein festgestellt werden konnten. Gerade bei den Bullen war deshalb die Abgrenzung willkürlicher Abwehrbewegungen zu zulässigen stereotypen Ruder- oder Kickbewegungen von außerordentlicher Wichtigkeit, um den Bewußtseinszustand beurteilen zu können. In diesem Sinne belief sich der Anteil der Tiere, welche die Parameter Bolzenschuß und Abwehrbewegungen in Kombination zeigten, auf 3,7 % in Bezug auf alle Rinder dieser Studie. Der Anteil der männlichen Tiere war diesbezüglich erwartungsgemäß hoch. Aufgrund der mangelnden Tierzahl bei den männlichen Braunvieh- und Schwarz-Bunten Rindern, sind daher hauptsächlich die Fleckviehbullen betroffen. Für die erfolgreiche Auslösung und Aufrechterhaltung eines Zustandes der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit sind, wie bereits angedeutet, eine Vielzahl von externen und internen Faktoren beteiligt. Gerade bei den Fleckviehbullen könnten neben einer Rassespezifität der psychische Erregungszustand vor dem Schlachten sowie die deutlich mächtigere Hautdicke die Wirkung der Elektrobetäubung beeinflussen.

5.3 Beurteilung der pH-Wert-Messung

Ein weiteres Hauptaugenmerk dieser Arbeit lag auf der Beurteilung der Fleischqualität elektrobetäubter Tiere anhand des pH-Wertes. Daher wurden bei insgesamt 371 Schlachttierhälften in vorgegebenen Zeitintervallen von 45 Minuten, 6 Stunden und 18 Stunden nach der Schlachtung mit Hilfe eines tragbaren Meßgerätes pH-Wert-Messungen durchgeführt. Aufgrund des Arbeitsablaufes im Schlachtbetrieb fanden die Erhebungen des End-pH-Wertes bereits nach 18 Stunden statt, obwohl sich der pH-Wert laut Literaturangaben nach diesem Zeitpunkt noch geringfügig verändern kann. Eine Tendenz hinsichtlich des endgültigen Wertes ist jedoch ausreichend sicher zu erkennen.

Die Auswertung der Meßdaten ergab einen signifikant niedrigeren initialen pH-Wert (nach 45 Minuten) elektrobetäubter Rinder im Vergleich zu konventionell betäubten Tieren. Der End-pH-Wert liegt aber auf gleichem Niveau und scheint unabhängig von der Betäubungsart zu sein. Mit diesen Ergebnissen konnten die Angaben, die in der Literatur gemacht wurden, weitgehend bestätigt werden. Weiterhin sind keine großen Unterschiede zwischen den Mm. adductor und longissimus dorsi festzustellen. Die Verwendung zweier unterschiedlicher Betäubungsstromstärken (3,0 und 3,7 Ampere) hatte darüber hinaus keinen relevanten Einfluß auf den postmortalen pH-Wert-Verlauf.

Die durch die Elektrobetäubung generalisierte Stimulierung des Nervensystems führt aufgrund einer Calciumionenausschüttung in den Muskelzellinnenraum zu einem gesteigerten Muskelstoffwechsel. Der Abbau der in Form von Glykogen gespeicherten Energieträger unter anaeroben Bedingungen resultiert schließlich in einer raschen Anhäufung von Laktat und Wasserstoffionen, der pH-Wert sinkt ab und die Totenstarre tritt bereits in der noch nicht vollständig heruntergekühlten Muskulatur ein. Dadurch wird nicht nur die unerwünschte Kälteverkürzung (cold shortening) der Muskeln verhindert, sondern es ergeben sich auch weitreichende Konsequenzen hinsichtlich der Umsetzungsgeschwindigkeit der an der Fleischreifung beteiligten Muskelenzyme. Lysosomale Proteasen werden durch den zügig fallenden pH-Wert aktiviert und können bei noch hohen Muskeltemperaturen effektivere und raschere Arbeit bei den Ab- und Umbauprozessen der myofibrillären Struktur leisten. Von

Vorteil ist außerdem die schlagartige Erhöhung der Calciumionen-Konzentration in den Muskelzellen infolge der elektrischen Stimulierung für die proteolytischen Enzyme. Bereits während der Betäubung werden diese bei noch annähernd physiologischem pH-Wert in ihrer Wirkung forciert. Aufgrund der oben ausgeführten Vorgänge wird die Fleischzartheit durch die Elektrobetäubung positiv beeinflusst.

5.4 Beurteilung der Betäubungsqualität der Elektrobetäubung

Sobald ein Rind in die Betäubungsbox eingelaufen ist, schließt der für die Betäubung verantwortliche Mitarbeiter die hydraulische Boxentür und das Tier wird durch die ebenfalls hydraulisch gesteuerten Nackenelektroden ausreichend sicher fixiert. Eine routinierte Arbeitsweise beim Eintreiben und Fixieren der Rinder ist unbedingt erforderlich, um Aufregung und Panik bei den Tieren zu verringern und wiederholte Fixierungsversuche durch die Nackenbügel zu vermeiden. Die im Laufe der Untersuchungen empfohlenen und durchgeführten Umbaumaßnahmen an den Elektroden gewährleisten sowohl einen weitgehend guten Kontakt als auch die erforderliche Lage der zu durchströmenden Organe in der Strombahn. Die Elektrobetäubungsanlage ist so konzipiert, dass jeder einzelne Betäubungsdurchgang abbricht, wenn die nötige Stromstärke nicht sofort erreicht wird. In diesem Fall muß der Durchgang wiederholt oder das Rind mit einem Bolzenschußgerät betäubt werden. Mit der 4sekündigen Kopfdurchströmung und der anschließend zugeschalteten 16-18 Sekunden dauernden Kopf-Brust-Durchströmung wird der geforderte epileptiforme Anfall im Gehirn, sowie das Herzkammerflimmern hinreichend zuverlässig ausgelöst.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Zeitspanne vom Auswurf der betäubten Rinder aus der Box bis zum Entblutestich aufgrund des konventionellen Anschlingens und Aufziehens der Tiere an den Hintergliedmaßen vor der Ausblutung in einigen Fällen unvermeidbar lang war. Wenn man die in der Literatur beschriebene synergistische Wirkung von epileptiformer Aktivität und Ausblutung für einen dauerhaften Bewußtseinsverlust voraussetzt, ist eine Erholung des Gehirns bei nicht frühzeitig erfolgtem Entblutestich denkbar. In diesem Zusammenhang dürfen die besonderen Verhältnisse in der cerebralen Blutgefäßversorgung nicht vergessen werden, zumal

trotz Herzkammerflimmern bis zur Ausblutung ein normaler oder sogar erhöhter Blutdruck vorherrscht. Obwohl die Rückkehr des Herzens in den Sinusrhythmus im Verlauf des Aufziehens als unwahrscheinlich gilt, kann dies, zusammen mit einer gewissen Reoxygenierung des Blutes bei regelmäßigen Atemzügen, nicht sicher ausgeschlossen werden. Ist der Herzstillstand von Dauer, tritt nach kurzer Zeit mit Sicherheit der Gehirntod aufgrund cerebraler Anoxie ein, aber gerade diese Zeitspanne kann von außerordentlicher Relevanz im Hinblick auf den Tierschutz sein. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse läßt zudem die Vermutung aufkommen, dass sowohl die Ausprägung als auch die Dauer des epileptiformen Anfalls, welcher primär die Bewußtlosigkeit der Tiere auslöst, variabel ist.

Innerhalb mancher Untersuchungsdurchgänge kam es vor, dass eine ganze Gruppe von Rindern offensichtlich ungenügend betäubt war. Zudem traten diese Probleme bei weiblichen Tieren gehäufter auf als bei den männlichen. Bei Nachforschungen bezüglich der Herkunft dieser Rinder stellte sich heraus, dass es sich oft um Tiere handelte, die aus demselben Bestand oder derselben Transportgruppe stammten. Gewisse Einflüsse der Tierhaltung oder transportbedingte Stressoren können daher nicht ausgeschlossen werden.

Eine Fülle unterschiedlicher Faktoren vermag die Wirkung der Elektrobetäubung zu beeinflussen. Die im Rahmen dieser Arbeit festgestellten Besonderheiten wie die enorme Hautdicke der männlichen Fleckvieh-Rinder oder der besondere Verschmutzungsgrad einiger Tiere müssen diesbezüglich in Betracht gezogen werden. Eine nicht unerhebliche Bedeutung dürften auch individuell verschiedene Neurotransmitter- und Streßhormonspiegel aufgrund von Rangordnungs-, Transport- oder Schlachtstreß haben. Es ist bekannt, dass dadurch die epileptiforme Aktivität und die Schmerzschwelle einzelner Tiere beeinflußt werden können. Weitere Komponenten sind individuelle genetische Faktoren, Rassedisposition, Alter, Geschlecht, hormonelle Schwankungen oder Laktationsstadium. Diese und viele andere Einflüsse müssen bei Untersuchungen unter Praxisbedingungen in Erwägung gezogen werden, sodass die Resultate einiger in der Literatur beschriebener Experimente zwar in vielerlei Hinsicht Erklärungen liefern, angesichts der Bedingungen in der Realität jedoch in gewissem Maße relativiert werden müssen.

Die Betäubung der Rinder mit elektrischem Strom ist für den Verbraucher vor dem Hintergrund der BSE-Problematik von Vorteil. So ist eine Abschwemmung und Verbreitung von möglicherweise infiziertem ZNS-Gewebe im Zuge der Betäubung nicht zu befürchten, da die Struktur von Gehirn und Rückenmark, sowie deren bindegewebigen Hüllen intakt bleiben und der Kreislauf sistiert.

Insgesamt ist das Verfahren der Elektrobetäubung eine praktikable und gut in den Schlachtablauf zu integrierende Alternative zur weit verbreiteten Bolzenschußbetäubung. Darüberhinaus schließt die sichere Fixierung der Rinder Fehlbetäubungen durch den Menschen nahezu aus. Obwohl der untersuchte Betäubungsablauf hinsichtlich des Ausblutungszeitpunktes noch verbessert werden sollte, ist die Elektrobetäubung in Zukunft den konventionellen Verfahren vorzuziehen.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zur Überprüfung der Betäubungsqualität im Anschluß an eine Elektrobetäubung wurden insgesamt 619 Rinder unter Praxisbedingungen einzeln untersucht. Bei 65 Tieren wurde die Betäubungswirkung als ungenügend beurteilt. Diese Rinder wurden mit einem Bolzenschußgerät nachbetäubt. Allerdings führten auch heftige Ruderbewegungen vor allem vieler männlicher Tiere zu zahlreichen Nachbetäubungen aufgrund des Arbeitsschutzes.

Der Lidreflex erwies sich bei der Beurteilung des Betäubungserfolges als nicht aussagekräftig. Weiterhin zeigten die Untersuchungen, dass die Abgrenzung von regelmäßiger Atmung zu reflektorischer Schnappatmung, sowie willkürliche Abwehrbewegungen zu tonisch-klonischen Krämpfen zur Beurteilung der Betäubung als besonders wichtig anzusehen sind.

Die EKG-Untersuchungen zeigen, dass das geforderte Herzkammerflimmern nicht mit dem Verlust des Bewußtseins eines elektrobetäubten Tieres gleichzusetzen ist. Erfolgt der Entblutungsstich nicht frühzeitig, innerhalb von 10 bis 20 Sekunden, ist eine Erholung des Gehirns vom epileptiformen Anfall und eine Rückkehr des Bewußtseins möglich, solange kein Gehirntod durch Anoxie eingetreten ist. Dabei muß eine längere Blutversorgung des Gehirns durch die Spinal- oder Vertebralarterien bei Rindern in Betracht gezogen werden.

Die Ergebnisse der pH-Wert-Messungen ergaben auch bei unterschiedlichen Betäubungsstromstärken keine Unterschiede im End-pH-Wert im Vergleich zu konventionell betäubten Rindern oder einer Elektrostimulation der Schlachttierhälften. Der initiale pH-Wert (45 Min.) fällt nach einer Elektrobetäubung jedoch signifikant schneller ab. Insgesamt sind bei der Beurteilung der Fleischqualität im Bereich des pH-Wertes keine negativen Auswirkungen durch die Elektrobetäubung zu befürchten.

Die Untersuchungen führen zu der Überzeugung, dass das Betäubungsergebnis durch eine zeitliche Vorverlegung des Entblutens, am besten in die tonische Phase der betäubten Tiere, wesentlich verbessert werden kann. Das Verfahren der Elektro-

betäubung ist auch bei großen Schlachtzahlen sehr gut in den Schlachtablauf zu integrieren und ruft bei guter Fixierung der Rinder eine ausreichend sichere Betäubung nach den Vorgaben durch die Tierschutzschlachtverordnung hervor. Der Faktor Mensch, der am Erfolg oder Mißerfolg der Bolzenschußbetäubung maßgeblich beteiligt ist, spielt bei der Elektrobetäubung keine Rolle. Das Risiko einer Abschwemmung kontaminierter ZNS-Emboli ist nicht gegeben, was vor allem im Hinblick auf den Verbraucherschutz von großer Bedeutung ist.

Obwohl die Technologie der Elektrobetäubung noch Optimierungspotential besitzt, ist sie der weit verbreiteten Bolzenschußbetäubung unter den Gesichtspunkten des Verbraucher-, Tier- und Arbeitsschutzes vorzuziehen.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Untersuchung sollte die Betäubung von Rindern mit elektrischem Strom unter Praxisbedingungen überprüft werden. Dabei wurden Effizienz und Sicherheit der Betäubungstechnik sowohl aus tierschutz- als auch aus arbeitsschutzrechtlicher Sicht bewertet. Die betreffende Elektrobetäubungsanlage wurde in einem zugelassenen Rinderschlachtbetrieb im südlichen Bayern mit einer Schlachtgeschwindigkeit von 70 Tierkörpern / Stunde installiert. Diese Anlage neuseeländischer Bauart ist die erste in Deutschland und auf dem europäischen Festland.

Um die Betäubungsqualität der Rinder zu überprüfen, wurden an 9 unterschiedlichen Untersuchungstagen insgesamt 619 Tiere unmittelbar nach dem Betäubungsstromfluß einzeln untersucht. Die Rassenverteilung spiegelt die bayerischen Gegebenheiten wieder. Die Rasse Fleckvieh war mit etwa 50 % vertreten, die Rassen Braunvieh und Schwarz-Bunte mit je einem Viertel. Während der Routineschlachtung wurden die elektrobetäubten Rinder an drei verschiedenen Positionen hinsichtlich der Betäubungswirkung untersucht, vom Auswurf aus der Betäubungsbox bis einige Minuten nach erfolgtem Entblutestich. Die Parameter zur visuellen Überprüfung der Betäubungsqualität wurden anhand von Vorversuchen festgelegt: Regelmäßige Atmung, gerichtetes Sehen, Lidreflex, Schnappatmung, tonisch-klonische Krämpfe und Auftreten sonstiger Besonderheiten. Außerdem wurde, soweit möglich, ein EKG abgeleitet, um das geforderte Herzkammerflimmern festzustellen.

Rund 10 % der Tiere, die Parameter wie regelmäßige Atmung und gerichtetes Sehen zeigten, mußten unter Tierschutzaspekten als ungenügend betäubt eingestuft und durch einen Bolzenschuß nachbetäubt werden. Wichtig war dabei die Abgrenzung zur reflektorisch bedingten Schnappatmung. Eine Beurteilung des Bewußtseins mit Hilfe des Lidreflexes erwies sich als nicht aussagekräftig. Es stellte sich weiterhin heraus, daß tonisch-klonische Krämpfe bei den männlichen Tieren stärker ausgeprägt waren und Ruderbewegungen zum Teil sehr gefährlich für das Schlachtpersonal werden konnten. Insgesamt wurden über die Hälfte der mit Bolzenschußgerät geschossenen Rinder aus Gründen des Arbeitsschutzes nachbetäubt.

Aufgrund hoher Schlachtbandgeschwindigkeiten, gelegentlich auftretender Bewegungsartefakte und besonderer Hautdicke einzelner Bullen, waren die EKG-Untersuchungen unter Praxisbedingungen nicht immer möglich. Dennoch konnten bei 300 Tieren eindeutige Aussagen getroffen werden. Danach wiesen 15 Rinder einen Sinusrhythmus auf. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass Herzkammerflimmern nicht unbedingt mit dem Verlust des Bewußtseins eines elektrobetäubten Tieres gleichzusetzen ist. Wenn das Entbluten nicht innerhalb von 10 bis 20 Sekunden erfolgt, muß mit einer gewissen Erholung des Gehirns vom epileptiformen Anfall und der Möglichkeit einer Wiederkehr des Bewußtseins gerechnet werden.

Um den Einfluß der Elektrobetäubung auf die Fleischqualität zu überprüfen, wurden an insgesamt 371 Schlachttierhälften pH-Wert-Messungen durchgeführt. Im Vergleich zu konventionellen Betäubungsmethoden fiel der initiale pH-Wert schneller ab, der End-pH-Wert lag jedoch auf gleichem Niveau. Auch bei der Verwendung unterschiedlicher Betäubungsstromstärken konnten keine negativen Einflüsse auf die Fleischqualität festgestellt werden.

Die Untersuchungen ergaben, dass diese Betäubungsmethode noch Optimierungspotential besitzt. Gerade durch eine zeitliche Vorverlegung des Entblutens sind weitere Verbesserungen des Betäubungsergebnisses zu erwarten. Die Elektrobetäubung ist jedoch sehr gut in den Schlachtablauf zu integrieren und stellt eine praktikable Alternative zur konventionellen Bolzenschußbetäubung dar. Dieses Verfahren birgt zudem vor dem Hintergrund der BSE-Problematik keine Risiken für eine Abschwemmung von ZNS-Emboli und ist daher hinsichtlich des Verbraucherschutzes, aber auch des Tier- und Arbeitsschutzes anderen Betäubungsverfahren vorzuziehen.

8 SUMMARY

Implementation of electrical stunning of cattle in an EU approved abattoir

In this scientific study stunning of cattle via electrical current was to be examined in practical application. For this, the efficiency and the safety of the stunning method were assessed taking into consideration animal welfare aspects as well as the safety of the abattoir workers. The electrical stunning device used in the study was installed in an EU approved beef slaughterhouse in southern Bavaria with a slaughtering rate of 70 carcasses per hour. The stunning equipment imported from New Zealand is the first of its kind in Germany and in continental Europe.

In order to evaluate the efficiency of stunning 619 animals were examined individually immediately after application of the electrical current. The animals included in the study were distributed among the different cattle breeds according to the situation in Bavaria with 50% Simmental, a quarter each Brown Mountain cattle and Black Pied breed. In the course of the routine slaughtering process the electrically stunned cattle were examined at three different positions along the slaughtering line, from the moment the animal falls out of the stunning box up to several minutes after sticking was carried out. The parameters for the evaluation of the efficiency of stunning were determined in preliminary experiments: regular breathing, directed vision, lid reflex, gasping, tonic-clonic convulsions and any special observations. In addition, if possible electrocardiograms were made, in order to determine the onset of ventricular fibrillation as required by law.

Approximately 10 % of the animals which showed parameters like regular breathing and directed vision had to be considered as not sufficiently stunned due to animal welfare aspects and had to be re-stunned via captive bolt. In this context it was important to clearly distinguish reflectory gasping from regular breathing. The lid reflex proved to be not suitable for the assessment of consciousness. It was further shown that the tonic-clonic convulsions were more prominent in male animals and that the paddling movements can partially be very dangerous for the abattoir workers. In total, more than half of the animals shot with a captive bolt were re-stunned because of safety reasons.

Due to high slaughtering rates, occasionally occurring artefacts caused by movement and the special skin thickness of individual bulls electrocardiograms could not be obtained in all cases. Yet, for 300 animals unambiguous statements could be made. According to this, 15 cattle showed a sinus rhythm. The evaluation of the results shows that ventricular fibrillation cannot necessarily be equated with loss of consciousness of a stunned animal. If bleeding is not carried out within 10 or 20 seconds a certain degree of recovery of the brain from the epileptiform attack has to be expected as well as the possibility that consciousness is regained.

In order to examine the influence of electrical stunning on meat quality the pH values of a total of 371 carcass halves were measured. In comparison to conventional stunning methods the initial pH values decreased more rapidly, yet the final pH values reached the same level. Similarly, when varying current strengths were applied, no negative influences on meat quality were detected.

This study showed that electrical stunning is a method which still has potential for optimization. Especially the reduction of the interval between stunning and bleeding is expected to result in a further improvement of the stunning effect. Yet, electrical stunning can easily be integrated into the slaughtering process and represents a feasible alternative to conventional captive bolt stunning. Bearing in mind the BSE problem this method has the further advantage of not posing the risk that embolism of CNS tissue occurs. Electrical stunning is therefore to be preferred to other stunning methods in terms of consumer protection as well as animal welfare and safety considerations.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Anil, M. H., S. Love, S. Williams, A. Shand, J. L. McKinstry, C. R. Helps, A. Waterman-Pearson, J. Seghatchian, D. A. Harbour (1999):

Potential contamination of beef carcasses with brain tissue at slaughter.
Vet. Rec. 145, 460-462

Antoni, H. (1995):

Erregungsphysiologie des Herzens.
In: Schmidt, R. F., G. Thews (1995):
Physiologie des Menschen.
S. 472-497, 26. Aufl., Springer, Berlin

Bager, F., C. E. Devine, K. V. Gilbert (1988):

Jugular blood flow in calves after head-only electrical stunning and throat-cutting.
Meat Science 22, 237-243

Bager, F., F. D. Shaw, A. Tavener, M. P. F. Loeffen, C. E. Devine (1990):

Comparison of EEG and EcoG for detecting cerebrocortical activity during slaughter of calves.
Meat Science 27, 211-225

Bager, F., T. J. Braggins, C. E. Devine, A. E. Graafhuis, D. J. Mellor, A. Tavener, M. P. Upsdell (1992):

Onset of insensibility at slaughter in calves: effects of electroplectic seizure and exsanguination
on spontaneous electrocortical activity and indices of cerebral metabolism.
Research in Veterinary Science 52, 162-173

Baldwin, B. A., F. R. Bell (1963):

Blood flow in the carotid and vertebral arteries of the sheep and calf.
J. Physiol. 167, 448-462

Batelli, F. (1903):

Production d'accès épileptiformes par les courants électriques industriels.
C. r. Séanc. Soc. Biol. Paris 55, 903-904

Birbaumer, N., R. F. Schmidt (1995):

Allgemeine Physiologie der Großhirnrinde.
In: Schmidt, R. F., G. Thews (1995):
Physiologie des Menschen.
S. 128-140, Springer, 26. Aufl., Berlin

Blackmore, D. K (1984):

Differences in behaviour between sheep and cattle during slaughter.
Res. Vet. Science 37, 223-226

Blackmore, D. K. (1989):

Electrocardiograms as an aid in assessing the stunning of cattle and pigs.
N. Z. Vet. J. 37, 59-61

Blackmore, D. K., M. W. Delany (1988):

Slaughter of stock – A practical review and guide.
Dep. of Vet. Pathology and Public Health, Massey Univ., Palmerston North New Zealand, Publ. No. 118

Blackmore, D. K., J. C. Newhook (1981):

Insensibility during slaughter of pigs in comparison to other domestic stock.
N. Z. Vet. J. 29, 219-222

Blackmore, D. K., J. C. Newhook (1982):

Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves – part 3: The duration of insensibility induced by electrical stunning in sheep and calves.
Meat Science 7, 19-28

Blackmore, D. K., J. C. Newhook, T. Grandin (1983):

Time of onset of insensibility in four- to six-week-old calves during slaughter.
Meat Science 9, 145-149

Blackmore, D. K., G. V. Petersen (1981):

Stunning and slaughter of sheep and calves in New Zealand.
N. Z. Vet. J. 29, 99-102

Bockelmann, C. (1902):

Über Betäubung der Schlachttiere mittelst hochgespannter Elektrizität.
Fleisch- u. Milchhyg. 12, 132-135

Branston, N. M., A. Ladds, L. Symon, A. D. Wang (1984):

Comparison of the effects of ischaemia on early components of the somatosensory evoked potential in brainstem, thalamus and cerebral cortex.
J. Cereb. Blood Flow Metabol. 4, 68-81

Breazile, J. E., R. L. Kitchell, Y. Naitoh (1963):

Neural bases of pain in animals.
Proc. 15th Res. Conf. Am. Meat Inst. Fdn., 53-65

Cerletti, U., L. Bini (1938):

Un nuova metodo di shockterapia „l'electroshock“.
Boll. Atti. Accad. med. 64, 136-138

Chrystall, B. B., C. E. Devine (1978):

Electrical stimulation, muscle tension and glycolysis in bovine *sternomandibularis*.
Meat Science 2, 49-58

Chrystall, B. B., C. E. Devine, K. G. Newton (1980-81):

Residual blood in lamb muscles.
Meat Science 5, 339-345

Clark, G. A., W. Tweed (1932):

The use of electricity in the stunning of animals.
Vet. Rec. 12, 177-179

Cook, C. J., C. E. Devine (2002):

Electrical Stunning of Cattle: Aspects of Animal Welfare and Meat Quality.
Abstract, 22nd World Buiatrics Congress, Hannover, Germany

Cook, C. J., C. E. Devine, K. V. Gilbert, A. Tavener, A. M. Day (1991):

Electroencephalograms and electrocardiograms in young bulls following upper cervical
vertebrae-to-brisket stunning.
N. Z. vet. J. 39, 121-125

Cook, C. J., C. E. Devine, A. Tavener, K. V. Gilbert (1992):

Contribution of amino acid transmitters to epileptiform activity and reflex suppression
in
electrically head stunned sheep.
Research in Veterinary Science 52, 48-56

Croft, P. G. (1952a):

The effects of electrical stimulation of the brain on the perception of pain. The
assessment of pain perception.
J. ment. Sci. 98, 421-432

Croft, P. G. (1952b):

Problems of electrical stunning.
Vet. Rec. 64, 255-258

Croft, P. G., C. W. Hume (1956):

Electric stunning of sheep.
Vet. Rec. 68, 318-321

Daly, C. C. (1985):

Visually evoked responses during slaughter.
Vet. Rec. 116, 574-575

Daly, C. C., E. Kallweit, F. Ellendorf (1988):

Cortical function in cattle during slaughter: Conventional captive bolt stunning followed by exsanguination compared with shechita slaughter.
Vet. Rec. 122, 325-329

Devine, C. E., K. V. Gilbert, S. Ellery (1983):

Electrical stunning of lambs: the effect of stunning parameters and drugs affecting blood flow and behaviour on petechial haemorrhage incidence.
Meat Science 9, 247-256

Devine, C. E., S. Ellery, L. Wade, B. B. Chrystall (1984):

Differential effects of electrical stunning on the early post-mortem glycolysis in sheep.
Meat Science 11, 301-309

Devine, C. E., K. V. Gilbert, A. E. Graafhuis, A. Tavener, H. Reed, P. Leigh (1986):

The effect of electrical stunning and slaughter on the electroencephalogram of sheep and calves.
Meat Science 17, 267-281

Devine, C. E., K. V. Gilbert, A. Tavener, A. Day (1985):

The use of electrical stunning followed by electro-immobilization for the humane slaughter of cattle.
N. Z. Vet. J. 33, 47

Devine, C. E., A. Tavener, K. V. Gilbert, A. M. Day (1986):

Electroencephalographic studies of adult cattle associated with electrical stunning, throat cutting and carcass electro-immobilization.
N. Z. Vet. J. 34, 210-213

Devine, C. E., A. Tavener, A. E. Graafhuis, K. V. Gilbert (1987):

Electroencephalographic studies of calves associated with electrical stunning, throat cutting and carcass electro-immobilisation.

N. Z. Vet. J. 35, 107-112

Dudel, J. (1995):

Informationsvermittlung durch elektrische Erregung.

In: Schmidt, R. F., G. Thews (1995):

Physiologie des Menschen.

S. 20-42, 26. Aufl., Springer, Berlin

E. C., European Commission (2001):

Scientific report on stunning methods and BSE risks.

Annex 1, 24

TSE BSE ad hoc group, Meeting 13 Dec 2001

E. C., European Commission (2002):

Update of the opinion on TSE infectivity distribution in ruminant tissues.

S.S.C., Meeting 10-11 Jan 2002 and 7-8 Nov 2002

Fjelkner-Modig, S., H. Ruderus (1983a):

The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of young bulls:

Part 1 – Postmortem pH and temperature.

Meat Science 8, 185-201

Fjelkner-Modig, S., H. Ruderus (1983b):

The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of young bulls:

Part 2 – Physical and sensory properties.

Meat Science 8, 203-220

Forster, S., A. Stolle, J. Maierl, H.-G. Liebich (2002):

Rinderschlachtung-Anatomie setzt natürliche Grenzen.

Fleischwirtsch. 1/2002, 17-21

Garland, T., N. Bauer, M. Bailey Jr. (1996):

Brain emboli in the lungs of cattle after stunning.

Lancet 348, 610

Gaultierotti, T., E. Martini, A. Marzorati (1942):

Untersuchungen über die Electronarkose.

Pflügers Arch. ges. Physiol. 246, 359-371

Gerold, M. (1993):

Untersuchungen über den Einfluß der Elektrostimulation auf den Ausblutungsgrad von Rinderschlachttierkörpern.

Diss. vet. med., Univ. München

Gilbert, K. V., C. E. Devine (1982):

Effect of electrical stunning methods on petechial haemorrhages and on the blood pressure of lambs.

Meat Science 7, 197-207

Gilbert, K. V., C. E. Devine, R. Hand, S. Ellery (1984):

Electrical stunning and stillness of lambs.

Meat Science 11, 45-58

Gilbert, K. V. (1993):

Electrical stunning and slaughter in New Zealand.

Technical Report des Meat Industry Research Institute of New Zealand

Grandin, T. (1985):

Visually evoked responses during slaughter.

Vet. Rec. 116, 423

Grandin, T. (2001):

How to determine insensibility.

Colorado State University, Dept. of Animal Science

(<http://ansci.colostate.edu/ran/behavior/humane/insens.html>)

Gregory, N. G. (1993):

Electrical stunning in large cattle.

Meat Focus Int. 2, 32-36

Gregory, N. G. (1998):

Animal welfare and meat science.

S. 74-92, CAB International, New York

Gregory, N. G., S. B. Wotton (1984):

Time to loss of brain responsiveness following exsanguination in calves.

Res. Vet. Science 37, 141-143

Gregory, N. G., S. B. Wotton (1984):

Sheep slaughtering procedures II: Time to loss of brain responsiveness after exsanguination or cardiac arrest.

Br. Vet. J. 140, 354-360

Gregory, N. G., S. B. Wotton (1988):

Sheep slaughtering procedures V: Responsiveness to potentially painful stimuli following electrical stunning.

Br. Vet. J. 144, 573-580

Hamm, R. (1981):

Struktur und Funktion des Muskels.

Fleischwirtsch. 61, 1822-1829

Hamm, R., K. O. Honikel, C. Fischer, A. Hamid (1980):

Veränderungen des Rindfleisches nach dem Schlachten und ihre Auswirkungen auf das Wasserbindungsvermögen.

Fleischwirtsch. 60, 1567-1576

Hawrysh, Z. J., F. H. Wolfe (1983):

Effects of low voltage electrical stimulation on mature cow carcasses:

Part 1 – selected quality attributes of beef.

Meat Science 8, 119-133

Hellebrekers, L. J. (2000):

Schmerz und Schmerztherapie beim Kleintier.

Schlütersche, Hannover

Henke, J. (2002):

Inst. f. Experimentelle Onkologie u. Therapieforschung, TU München

Persönliche Mitteilung

Henke, J., W. Erhardt (2001):

Schmerzmanagement bei Klein- und Heimtieren.

Enke, Stuttgart

Herrle, H. (1954):

Herzschädigung nach elektrischem Unfall.

Elektromedizin 6, 23-24

Hofmann, K. (1987):

Der pH-Wert – Ein Qualitätskriterium für Fleisch.
Fleischwirtsch. 67, 557-562

Ilgert, H. (1985):

Effizienz der Bolzenschußbetäubung beim Rind mit Berücksichtigung der Einschußstelle und der Eindringtiefe des Bolzens unter Praxisbedingungen.
Diss. vet. med., Freie Univ. Berlin

Johannsen, S. (2002):

Schlachttechnik.
ABAS Abschlussbericht, Amt f. Arbeitsschutz Hamburg

Kallweit, E., F. Ellendorf, C. Daly, D. Smidt (1989):

Physiologische Reaktionen bei der Schlachtung von Rindern und Schafen mit und ohne Betäubung.
Dtsch. tierärztl. Wschr. 96, 89-92

Kirton, A. H., W. H. Bishop, M. M. Mullord, L. F. Frazerhurst (1978):

Relationships between time of stunning and time of throat cutting and their effect on blood pressure and blood splash in lambs.
Meat Science 2, 199-206

Kirton, A. H., L. F. Frazerhurst, E. G. Woods, B. B. Chrystall (1980-81):

Effect of electrical stunning method and cardiac arrest on bleeding efficiency, residual blood and blood splash in lambs.
Meat Science 5, 347-353

Kirton, A. H., L. F. Frazerhurst, W. H. Bishop, G. W. Winn (1980-81):

A comparison of the effects of electrical, captive bolt or percussion stunning on the incidence of blood splash in lambs.
Meat Science 5, 407-411

Kirton, A. H., L. F. Frazerhurst (1983):

Effects of normal, light/normal or double stunning on the incidence and severity of blood splash in lambs.
Meat Science 8, 1-6

Kitchell, R. L., H. H. Erickson (1983):

Animal pain. Perception and alleviation.
Am. Phys. Soc., 1st ed., Williams & Wilkins Comp., Baltimore

Koch, R., F. Feldhusen, J. Hartung, W. W. Giese (1996):

Modell zur Messung der Stromverteilung im Schweinekopf bei der Elektrobetäubung.
Fleischwirtsch. 76

Kösler (1928):

Die elektrische Betäubung des Schlachtviehes.
Fleisch- u. Milchhyg. 38, 284-285

Lambooy, E., W. Spanjaard (1982):

Electrical stunning of veal calves.
Meat Science 6, 15-25

Lambooy, E. (1982):

Electrical stunning of sheep.
Meat Science 6, 123-135

Leduc, S. (1909):

Der elektrische Schlaf.
Arch. phys. Med. med. Tech. 5, 3-15

Leduc, S., A. Rouxeau (1903):

L'inhibition respiratoire par les courants intermittents de basse tension.
C. r. Séanc. Soc. Biol. Paris 55, 897-899

Löffler, G., P. E. Petrides (1997):

Biochemie und Pathobiochemie.
5. Aufl., Springer, Berlin

Mackey, B. M., C. M. Derrick (1979):

Contamination of the deep tissues of carcasses by bacteria present on the slaughter instruments or in the gut.
J. Appl. Bacteriol. 46, 355-366

Männl, M. (1994):

Betäubung und Entblutung von Schwein und Rind
In: Schlachten von Schwein und Rind. Kulmbacher Reihe Bd. 13, 62-83

McKeith, F. K., J. W. Savell, C. E. Murphey, G. C. Smith (1982):

Enhancement of lean characteristics of veal carcasses by electrical stimulation.
Meat Science 6, 65-69

Mickwitz, G. von (1982):

Betäubung von Schlachttieren.
Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 89, 166-167

Moje, M., A. Hoffmann, B. Schurr, K. Troeger, H.-J. Mintzlaff, M. Behrschmidt, J. Haida, S. Höpfl, H. Jankowitsch, R. Kolb, M. Korpilla, G. Ott, G. Wachsmann (2002):

Die Schuss-Schlag-Betäubung des Rindes: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung als Alternative zur Bolzenschussbetäubung.
Jahresbericht 2002, Bundesanst. f. Fleischforschung, Kulmbach, 34-36

Müller, M. (1931):

Die elektrische Momentanbetäubung der Schlachttiere nebst Bemerkungen über die Verwendbarkeit der Elektronarkose zu operativen Zwecken.
Tierärztl. Rdsch. 35, 619-621

Müller, M. (1932a):

The spasms of electrically stunned animals in the light of biological research.
Vet. J. 88, 331-337

Müller, M. (1932b):

On the nature of the electric stunning of animals.
Vet. J. 88, 397-400

Müller, M. (1932c):

The electric stunning of pigs from the standpoint of the meat industry and animal production.
Vet. J. 88, 452-454

Nagelschmidt, F. (1912):

Über einen neuen dosierbaren Wechselstrom.
Berl. klin. Wschr. 39, 1849-1851

Newhook, J. C., D. K. Blackmore (1982a):

Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves: Part I – The onset of permanent insensibility in sheep during slaughter.
Meat Science 6, 221-233

Newhook, J. C., D. K. Blackmore (1982b):

Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves: Part 2 – The onset of permanent insensibility in calves during slaughter.
Meat Science 6, 295-300

Newhook, J. C., D. K. Blackmore (1982c):

Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves: Part 3 – The duration of insensibility induced by electrical stunning in sheep and calves.

Meat Science 7, 19-28

Newhook, J. C., D. K. Blackmore, T. Grandin (1983):

Time of onset of insensibility in four- to six-week-old calves during slaughter.

Meat Science 9, 145-149

Nickel, R., A. Schummer, E. Seiferle (1992):

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.

Bd. IV: Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen.

3. Aufl., S. 209-219, Paul Parey, Berlin

N. N. (1987):

Electrical stunning and pain.

Report number WHO-EM/FOS/11-A

(<http://www.islamset.com/hip/health8/pain.html>)

N. N. (2002a):

Vorhofflimmern.

(<http://www.medizininfo.de/kardio/erkvorhof.html>)

N. N. (2002b):

Untersuchungsmethoden. Elektrokardiogramm – EKG.

(<http://www.medizininfo.com/kardio/ekg.html>)

Paddleford, R. R., W. Erhardt (1992):

Anästhesie bei Kleintieren.

Schattauer, Stuttgart

Pavaux, C. (1982):

Farbatlas der Anatomie des Rindes.

Schober Verlags-GmbH, Hengersberg

Petersen, G. V., D. K. Blackmore (1982):

The effect of different slaughter methods on the post mortem glycolysis of muscle in lambs.

N. Z. Vet. J. 30, 195-198

Petersen, G. V., D. H. Carr, A. S. Davies, B. T. Pickett (1986):

The effect of different methods of electrical stunning of lambs on blood pressure and muscular activity.

Meat Science 16, 1-15

Popesko, P. (1984):

Atlas der topographischen Anatomie der Haustiere.

2. Aufl., Enke, Stuttgart

Roos, J., S. Koopmans (1934):

Studies on the so-called electrical stunning of animals.

Vet. J. 90, 232-245

Rüegg, J. C. (1995):

Muskel: Molekulare Mechanismen der Kontraktion.

In: Schmidt, R. F., G. Thews (1995):

Physiologie des Menschen.

S. 67-72, 26. Aufl., Springer, Berlin

Schaefer, H. (1954):

Theoretisches zur Wirkung starker Gleich- und Wechselströme auf den Menschen.

Elektromedizin 7, 25-27

Schatzmann, U. (1997):

Narkosestadien.

In: Sambraus, Steiger (1997):

Das Buch vom Tierschutz.

S. 692, Enke, Stuttgart

Schatzmann, U., N. Jäggin-Schmucker (2000):

Elektrobetäubung von erwachsenen Rindern vor dem Blutentzug.

S. 304-308, SAT Verlag Hans Huber, Bern

Schmidt, R. F., G. Thews (1995):

Physiologie des Menschen.

26. Aufl., Springer, Berlin

Schmidt-Mülheim, A. (1884):

Handbuch der Fleischkunde.

Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig

Schneidawind, H., P. Habit (1999):

Fleischhygienerecht.

10. Aufl., Jehle Rehm, München, Berlin

Schneidemühl, G. (1903):

Die animalischen Nahrungsmittel.

Urban u. Schwarzenberg, Berlin

Schwabenbauer, K. (1989):

Tierschutzrechtliche Aspekte des Schlachtens von Tieren.

Dtsch. tierärztl. Wschr. 96, 87-89**Schwägele, F. (1999a):**

Kühlung, Kühlungslagerung und Fleischreifung:

Chemische und physikalische Grundlagen – 1. Aufbau der Muskulatur.

Fleischwirtsch. 5/99, 91-93**Schwägele, F. (1999b):**

Kühlung, Kühlungslagerung und Fleischreifung:

Chemische und physikalische Grundlagen – 2. Biochemische Vorgänge

Fleischwirtsch. 6/99, 103-106**Shaw, F. D. (1989):**

The corneal reflex following captive bolt stunning.

N.Z. vet. J. 37, 43-44**Shaw, F. D., F. Bager, C. E. Devine (1990):**

The role of the vertebral arteries in maintaining spontaneous electrocortical activity after electrical stunning and slaughter in calves.

N.Z. vet. J. 38, 14-16**Shorthose, W. R. (1978):**

Effects of level of feeding, pre-slaughter stress and method of slaughter on postmortem glycolysis of sheep muscles.

Meat Science 2, 189-198**Sorinmade, S. O., H. R. Cross, K. Ono, W. P. Wergin (1982):**Mechanisms of ultrastructural changes in electrically stimulated beef *longissimus* muscle.Meat Science 6, 71-77

Specht, H., J. Kunis (1989):

Kälteverkürzung und Elektrostimulation – Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Schaf- und Rindfleisch.

Fleischwirtsch. 69, 1275-1280

Stryer, L. (1994):

Biochemie.

5. Aufl. 1990, 2. korr. Nachdruck 1994, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg

Stüber, J. (2000):

Die Anwendung der Elektrobetäubung bei der rituellen Schlachtung des Rindes; Untersuchungen zu Ausblutungsgrad, pH-Wertentwicklung und Schäden am Schlachttierkörper.

Diss. vet. med., Univ. Leipzig

Takahashi, G., J. V. Lochner, B. B. Marsh (1984):

Effects of low-frequency electrical stimulation on beef tenderness.

Meat Science 11, 207-225

Tilley, L. P. (1997):

EKG bei Hund und Katze: Grundlagen, Auswertung und Therapie.

2. Aufl., Schlütersche, Hannover

Troeger, K. (1990):

Schlachten – Tierschutz und Fleischqualität.

Fleischwirtsch. 70, 266-272

Troeger, K. (2002):

Rinderschlachtung: Blutentzug sofort nach Stromfluss-Ende.

Fleischwirtsch. 7/2002, 22-25

Troeger, K., W. Woltersdorf (1989):

Elektrobetäubung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein.

Fleischwirtsch. 69, 1210-1218

Warrington, R. (1974):

Electrical stunning: A review of the literature.

Vet. Bull. 44, 617-635

Weinberger, A. (1934):

Electrical stunning of animals.

Vet. J. 90, 337-340

Wichlacz, H., S. Wajda, K. Borzuta (1992):

Elektrostimulierung – Einfluß auf die Fleischqualität von Kälbern.
Fleischwirtsch. 72, 1055-1057

Wittels, W. (1954):

Ungewöhnlicher elektrischer Unfall.
Elektromedizin 4, 13-14

Wotton, S. (1995):

Stunning in pigs.
Meat Focus Int. 4, 105-108

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt

Herrn Prof. Dr. A. Stolle für die bereitwillige Überlassung des Themas, die überaus zügige Korrektur des Manuskriptes und für die Aufmunterungen, die zur Einhaltung des Abgabetermins hilfreich waren,

Frau Dr. S. Forster für ihre stets freundliche Betreuung, Motivation und Hilfestellung bei welchen Problemen auch immer, für die vielen nicht immer angenehmen Stunden bei der Durchführung der praktischen Untersuchungen, und für ihre Mühe bei der Auswertung der enormen Datenfülle,

Herrn Dr. M. Bucher für die Unterstützung bei den Untersuchungen, seine technischen Ratschläge und die Überlassung einiger Abbildungen,

Herrn J. Rochlitz für seine überaus kompetente und zeitraubende Unterstützung bei der Erstellung der Tabellen,

Frau Dr. B. Sperner für die brillante Übersetzung der Zusammenfassung,

Frau Dr. T. Grünwald für ihre Hilfe bei der Erstellung des Inhaltsverzeichnisses sowie bei der graphischen Bearbeitung der Illustrationen,

Frau S. Keil für die gemeinsame Durchführung der pH-Wert-Messungen auch zu unbarmherzigen Tageszeiten,

Herrn F. Blesenberger für seine Hilfe bei den Untersuchungen,

allen Mitarbeitern und Verantwortlichen des Schlachtbetriebes für ihr Entgegenkommen bei den Untersuchungen.