

Aus dem Institut für Lebensmittelhygiene
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Klinisch-neurologische Untersuchungen
zur Effektivität der Bolzenschussbetäubung bei Jungbullen und
deren Potenzial zur Entwicklung eines automatischen
Überwachungssystems**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Judith Heidi Schwarz
aus Kronach

Leipzig, 2015

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Manfred Coenen

Betreuer: Prof. Dr. Ernst Lücker
Prof. Dr. Klaus Troeger

Gutachter: Prof. Dr. Ernst Lücker,
Institut für Lebensmittelhygiene, Veterinärmedizinische Fakultät der
Universität Leipzig, Leipzig

Prof. Dr. Klaus Troeger,
Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch, Max Rubner-Institut,
Kulmbach

Prof. Dr. Günter Klein,
Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit, Tierärztliche Hochschule
Hannover

Tag der Verteidigung: 16. Juni 2015

Angefertigt wurde die vorliegende Arbeit

im

Max Rubner-Institut
Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch
-Standort Kulmbach-

Für Siegfried, Ulrike, Anne, Lena und Paul

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XI
1 Einleitung.....	1
2 Literatur	2
2.1 Rechtsgrundlagen zur Betäubung von Schlachttieren.....	2
2.1.1 Tierschutzgesetz (TierSchG).....	2
2.1.2 Verordnung über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung (EG) Nr. 1099/2009.....	2
2.1.3 Nationale Tierschutz-Schlachtverordnung (TierSchIV)	3
2.2 Bolzenschussbetäubung beim Rind	3
2.2.1 Entwicklung erster Betäubungsverfahren	4
2.2.2 Geräte und Funktionsweise.....	5
2.2.3 Betäubungswirkung.....	6
2.2.4 Ansatz des Bolzenschussgerätes.....	8
2.2.5 Symptome guter Betäubungseffektivität	9
2.2.6 Ineffektive Betäubungsversuche.....	10
2.2.7 Überwachungstechniken	11
2.3 Betäubungsrelevante Neuroanatomie, Physiologie und Neuropathologie des Rindes.....	12
2.3.1 Lage des Gehirns im Rinderschädel.....	12
2.3.2 Gliederung des Gehirns in Abschnitte	13
2.3.3 Funktionelle Neuroanatomie.....	15
2.3.4 Gehirnnerven (<i>Nervi craniales</i>).....	18
2.3.5 Atmungszentrum	21
3 Tiere, Material und Methoden	22
3.1 Schlachtbetrieb	22
3.2 Zeitraum der Datenaufnahme	22
3.3 Tiere	22
3.4 Betäubungspersonal	23
3.5 Betäubungsanlage.....	23
3.5.1 Betäubungsfalle	25
3.5.2 Waage.....	27
3.5.3 Bolzenschussgeräte	28
3.5.4 Eingabeterminals	29
3.6 Klinisch-neurologische Befunderhebung	31
3.7 Entblutung und „stun-to-stick“-Intervalle.....	33
3.8 Datenmanagement und statistische Auswertung	34

4	Ergebnisse.....	36
4.1	Einteilung der Tiere nach Betäubungswirkung	36
4.2	Analyse der Wiegeprotokolle	39
4.2.1	Visuelle Beurteilung der Wiegeverläufe	39
4.2.2	Hauptkomponentenanalyse.....	43
4.2.3	Diskriminanzanalyse	49
4.2.4	Partial Least Squares-Regression.....	51
4.3	Analyse der klinisch-neurologischen Befunde.....	53
4.3.1	Relative Häufigkeit der erhobenen Befunde	53
4.3.2	Bedeutung der Einzelbefunde bezüglich der Betäubungswirkung	55
4.3.3	Wiederkehrende regelmäßige Atmung im Zusammenhang mit anderen Befunden.....	59
4.4	Objektivität der Befunderhebung.....	61
4.5	Nachbetäubungen.....	63
4.5.1	Gründe für Nachbetäubungen	63
4.5.2	Betäubungspersonal	66
4.5.3	Rasse.....	66
4.5.4	Alter	67
4.5.5	Gewicht.....	67
4.5.6	Erregung vor Schuss.....	68
4.6	„Stun-to-stick“-Intervalle	68
5	Diskussion	70
5.1	Einteilung der Tiere nach Betäubungswirkung	70
5.2	Analyse der Wiegeprotokolle	74
5.3	Analyse der klinisch-neurologischen Befunde.....	76
5.4	Objektivität der Befunderhebung.....	82
5.5	Nachbetäubungen.....	82
5.6	„Stun-to-stick“-Intervalle	88
5.7	Schlussfolgerungen für die Praxis.....	90
6	Zusammenfassung	92
7	Summary	94
8	Literaturverzeichnis.....	96
9	Anhang	105
10	Danksagung	112

Abkürzungsverzeichnis

\tilde{x}	Medianwert
\bar{x}	Mittelwert
a. u.	arbitrary unit (willkürliche Einheit)
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
ARAS	aufsteigendes retikuläres aktivierendes System
Art.	Artikel
bar	Einheit für Luftdruck
Braun	Braunvieh
BSE	Bovine spongiforme Enzephalopathie
bsi	Beratungs- und Schulungsinstitut für Tierschutz bei Transport und Schlachtung Schwarzenbek
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
d	Tage
d. h.	das heißt
ECoG	Elektrocorticogramm
EEG	Elektroencephalogramm
EFSA	European Food Safety Authority
EG	Europäische Gemeinschaft
EKG	Elektrokardiogramm
E_{kin}	kinetische Energie
EU	Europäische Union
FI x FI	Kreuzung Fleischrind mit Fleischrind
FI x MI	Kreuzung Fleischrind mit Milchrind
Fleck	Fleckvieh
i. d. R.	in der Regel
insg.	ingesamt
kg	Kilogramm
LAV	Arbeitsgemeinschaft Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz
m	Meter
m	Masse
m.	motorisch
<i>M.</i>	<i>Musculus</i>
m/s	Meter pro Sekunde
mm	Millimeter
<i>Mm.</i>	<i>Musculi</i>
ms	Millisekunde

N	Größe der Stichprobe
n	Größe der Teilprobe
n. b.	nicht berechnet
<i>N.</i>	<i>Nervus</i>
<i>Nn.</i>	<i>Nervi</i>
Nr.	Nummer
OMN	oberes Motoneuron
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PC	Principal Component
PCA	Principal Component Analysis
PLS	Partial Least Squares Regression
psy.	parasymphatisch
RAS	retikuläres aktivierendes System
s	Sekunde
Sb	Schwarzbunt
sb.	sensibel
sd	Standardabweichung
SoKre	Sonderkreuzung
sr.	sensorisch
sy.	sympathisch
Tab.	Tabelle
ton.	tonisch(en)
TSchG	Tierschutzgesetz
TSchIV	Tierschutz-Schlachtverordnung
TV	Television
u. a.	unter anderem
UMN	unteres Motoneuron
v	Geschwindigkeit
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
z. B.	zum Beispiel
ZNS	Zentrales Nervensystem

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 Medianschnitt durch den Schädel eines Rindes, modifiziert nach POPESKO (1979).....	13
Abb. 2.2 Gehirnregionen und Lage der Gehirnnervenkerne, modifiziert nach BUDRAS und WÜNSCHE (2002).....	14
Abb. 2.3 Schematische Darstellung von afferenten, sensiblen Leitungsbahnen, modifiziert nach MAYHEW (2008)	16
Abb. 2.4 Schematische Darstellung von efferenten, motorischen Leitungsbahnen, modifiziert nach MAYHEW (2008)	17
Abb. 2.5 Lage der Gehirnnervenkerne und deren Faserqualitäten, modifiziert nach BUDRAS und WÜNSCHE (2002)	19
Abb. 2.6 Schematische Darstellung des Cornealreflexes, modifiziert nach VANDEVELDE et al. (2001).....	19
Abb. 2.7 Bulbusrotation nach rostral bei funktionellem Ausfall des <i>N. abducens VI</i>	20
Abb. 3.1 Relative Häufigkeit der untersuchten Rinderrassen	23
Abb. 3.2 Schematische Darstellung der einzelnen Bestandteile der Betäubungsanlage und deren Kommunikation mit dem zentralen Server	24
Abb. 3.3 Schematische Darstellung des räumlichen Versuchsaufbaus (nicht maßstabsgetreu)	25
Abb. 3.4 Kopffixierung mittels Nackenjoch und horizontaler Kopfauflage	26
Abb. 3.5 Betäubungsfalle bei geöffneter Seitenwand mit Kippboden, Auswurfrost und Kopffixierungselementen	26
Abb. 3.6 Betäubungsfalle BRF II Hy (Firma Banss, Biedenkopf) mit Detailansicht der Wiegezellen.....	27
Abb. 3.7 Pneumatisches Bolzenschussgerät USSS-1 (Firma Jarvis, Middletown, CT, USA).....	28
Abb. 3.8 Korrekter Ansatzpunkt des Bolzenschussgerätes am Rinderschädel.....	29
Abb. 3.9 Terminal 1 am Auswurfrost mit Wiegekurve (links) und Eingabe der Befunde (rechts; Text siehe Tab. 3.1)	30
Abb. 3.10 Terminal 2 an der Entbluterohrbahn (Text siehe Tab. 3.2)	31
Abb. 4.1 Typischer Verlauf des Wiegeprotokolls eines tadellos betäubten Tieres	39
Abb. 4.2 Übersicht aller aufgezeichneten Wiegeprotokolle	40
Abb. 4.3 Darstellung der Wiegeprotokolle für Tiere mit unterschiedlicher Betäubungswirkung	41
Abb. 4.4 Mittelwerte der Wiegeprotokolle nach Betäubungswirkung	42
Abb. 4.5 PCA-Scores der Tiere der vier Gruppen nach Betäubungswirkung.....	44
Abb. 4.6 Schwerpunkte der Score-Punktwolken mit Standardabweichung der vier Gruppen nach Betäubungswirkung	44
Abb. 4.7 PCA-Loadings der PC 1 und 2 zu Abb. 4.5.....	45
Abb. 4.8 PCA-Scores fehlbetäubter und tadellos betäubter Tiere	46
Abb. 4.9 PCA-Loadings der PC 1 und 3 zu Abb. 4.8.....	46
Abb. 4.10 PCA-Scores mangelhaft und tadellos betäubter Tiere	47

Abb. 4.11 PCA-Loadings der PC 1 und 2 zu Abb. 4.10	47
Abb. 4.12 PCA-Scores fraglich und tadellos betäubter Tiere.....	48
Abb. 4.13 PCA-Loadings der PC 1 und 2 zu Abb. 4.12	48
Abb. 4.14 Ausgangdaten für die PLS-Regression	51
Abb. 4.15 Box-Whisker-Plots zur PLS-Vorhersage	52
Abb. 4.16 Sensitivität und Spezifität der PLS-Vorhersage zu Abb. 4.15	52
Abb. 4.17 Relative Verteilung der Nachbetäubungen nach Betäubungswirkung	64
Abb. 4.18 Länge der „stun-to-stick“- Intervalle.....	68
Abb. 4.19 "Stun-to-stick"-Intervalle für Tiere mit und ohne Nachbetäubung	69
Abb. 9.1 Balkenförmige Pupille (links) und weit dilatierte Pupille (rechts).....	107
Abb. 9.2 Etwa zur Hälfte erhaltener und völlig erloschener Schwanztonus (links) und vollständig erhaltener Schwanztonus (rechts).....	107
Abb. 9.3 Aus dem Maul hängende, schlaffe Zunge (linkes Tier) und im Maul verbliebene Zunge bei Tier mit bereits ausfließendem Pansensaft (rechtes Tier).....	108
Abb. 9.4 Deutlich erhaltener Ohrtonus mit nach kaudal angelegten Ohren (im Moment der Nachbetäubung; links) und völlig erloschener Ohrtonus (rechts)	108
Abb. 9.5 Aktives Hochziehen bzw. seitliches Krümmen an der Rohrbahn.....	109

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1 Abschnitte des Gehirns, modifiziert nach SALOMON et al. (2005).....	14
Tab. 2.2 Gehirnnerven und relevante Innervationsgebiete, modifiziert nach BUDRAS und WÜNSCHE (2002).....	18
Tab. 3.1 Parameter zur Beurteilung des Betäubungserfolgs an Terminal 1.....	32
Tab. 3.2 Parameter zur Beurteilung des Betäubungserfolgs an Terminal 2.....	33
Tab. 4.1 Einteilung der Tiere nach der Betäubungswirkung	36
Tab. 4.2 Verteilung der Tiere auf die definierten Gruppen nach Betäubungswirkung	38
Tab. 4.3 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt -1 – Vierteilung	49
Tab. 4.4 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt 0 – Vierteilung	49
Tab. 4.5 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt 0 – Dreiteilung	50
Tab. 4.6 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt 0 – Zweiteilung	50
Tab. 4.7 Relative Häufigkeit der erhobenen Befunde	54
Tab. 4.8 Relative Häufigkeit der Einzelbefunde bei gut bzw. unzureichend betäubten Tieren mit Irrtumswahrscheinlichkeit.....	56
Tab. 4.9 Differenzierung der Pupillenform bei Tieren mit guter bzw. unzureichender Betäubungswirkung	57
Tab. 4.10 Zusammenhang zwischen der Pupillenform und anderen Befunden	58
Tab. 4.11 Relative Häufigkeit der Einzelbefunde im Zusammenhang mit dem Auftreten des Befunds „wiederkehrende regelmäßiger Atmung“	60
Tab. 4.12 Relative Häufigkeit der Befunde nach Assistent.....	62
Tab. 4.13 Ergebnisse des exakten Fisher-Tests zur Objektivität der Befunderhebung.....	63
Tab. 4.14 Relative Häufigkeit von Nachbetäubungen pro Gruppe nach Betäubungswirkung	64
Tab. 4.15 Auftreten von Befunden und Nachbetäubungen bei fraglich betäubten Tieren.....	65
Tab. 4.16 Auftreten von Befunden und Nachbetäubungen bei mangelhaft betäubten Tieren.....	65
Tab. 4.17 Relative Häufigkeit von Nachbetäubungen nach personeller Besetzung.....	66
Tab. 4.18 Relative Häufigkeit von Nachbetäubungen nach Rasse	66
Tab. 4.19 Durchschnittliches Alter der Bullen nach Rasse	67
Tab. 4.20 Durchschnittliches Gewicht der Bullen nach Rasse.....	67
Tab. 4.21 Deutliche Erregung der Tiere in der Betäubungsfalle in Verbindung mit Nachbetäubungen	68
Tab. 4.22 Länge der "stun-to-stick"-Intervalle im Zusammenhang mit wiederkehrender Atmung.....	69
Tab. 5.1 Zusammenhänge zwischen Rasse, Nachbetäubungsrate, Alter und Gewicht	87
Tab. 9.1 Absolute und relative Häufigkeit der untersuchten Rinderrassen	105
Tab. 9.2 Detailliertes Einteilungsschema der Rinder in Gruppen nach Betäubungswirkung	106
Tab. 9.3 Relative Häufigkeit der „unklaren“ Befunde bei gut bzw. unzureichend betäubten Tieren ohne Nachbetäubung (vgl. Tab. 4.8)	110

Tab. 9.4 Relative Häufigkeit der Einzelbefunde im Zusammenhang mit dem Auftreten von wiederkehrender regelmäßiger Atmung für Tiere ohne Nachbetäubung (vgl. Tab. 4.11).....	111
---	-----

1 Einleitung

Das Thema Tierschutz bei der Schlachtung rückte in den letzten Jahren zunehmend ins Interesse des Verbrauchers, nicht zuletzt auch durch zahlreiche Berichterstattungen in Print- und TV-Medien. Anfang 2014 wurde ausführlich über einen folgenschweren Skandal an einem Rinderschlachtbetrieb in Schleswig-Holstein berichtet, wo unter anderem gravierende Fehlschüsse bei der Bolzenschussbetäubung kritisiert wurden. Dabei wurde zuletzt 2013 die Gesetzgebung – auch hinsichtlich des Tierschutzes – mit der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 EU-weit verschärft. In Deutschland gilt darüber hinaus die nationale Tierschutz-Schlachtverordnung. Vorgeschrieben sind „regelmäßige Kontrollen“ um sicherzustellen, dass die Tiere in der Zeit zwischen dem Ende des Betäubungsvorgangs und dem Tod [durch Blutentzug] keine Anzeichen von Wahrnehmung oder Empfindung aufweisen (Art. 5 Abs. 1 der VO (EG) Nr. 1099/2009). Diese Kontrolle erfolgt zum einen direkt während des Betäubungsvorganges anhand von Beobachtung und Reflextests. Zum anderen gibt es die Möglichkeit Lage und Anzahl der Einschusslöcher an den enthäuteten Schädeln zu beurteilen, wenngleich diese Methode *post mortem* die tatsächliche Betäubungseffektivität nicht hundertprozentig darstellen kann. Ein Tier mit korrekt positioniertem Schussloch kann aufgrund zu geringer Ladungsstärke oder Bolzenlänge nicht ausreichend tief betäubt worden sein, gleichzeitig kann ein geringgradig abweichender Schussansatz in Verbindung mit einer ausgeprägten Gehirnerschütterung unter Umständen trotzdem die erwünschte Betäubungswirkung erzielt haben. Wenngleich das Schlachthofpersonal verpflichtet ist, den Erfolg der Betäubung bei jedem einzelnen Tier zu überprüfen, erfolgt die Dokumentation dieser Überwachung in der Regel nur stichprobenartig. Eine lückenlose Nachvollziehbarkeit ist daher in den seltensten Fällen gegeben. Ein automatisiertes System zur Betäubungsüberwachung könnte dem Tierschutz sowohl als Hilfestellung bei der Beurteilung als auch durch kontinuierliche Dokumentation der Betäubungsqualität von großem Nutzen sein.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, die Möglichkeit einer automatisierten, kontinuierlichen Betäubungsüberwachung mit Hilfe eines Wiegesystems zu prüfen. Hierzu wurden Wiegezellen unter einer Rinderbetäubungsfalle installiert, um den Verlauf des Niederstürzens der Tiere nach erfolgter Betäubung aufzuzeichnen. Es wurde untersucht, ob ein zeitlich verzögertes Zusammenbrechen der Rinder Aufschluss über die Qualität der Betäubungswirkung geben kann. Zu diesem Zwecke wurden umfangreiche Daten zur Betäubungseffektivität bei über 10.000 Jungbullen an einem Schlachtbetrieb in Nordrhein-Westfalen erhoben, ausgewertet und auf Zusammenhänge mit den protokollierten Wiegeverläufen hin analysiert.

2 Literatur

2.1 Rechtsgrundlagen zur Betäubung von Schlachttieren

2.1.1 Tierschutzgesetz (TierSchG)

Niemand darf einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen lautet der zweite Satz des Tierschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (ANON. 2013). Damit nimmt der Gesetzgeber den Mensch in die Verantwortung, das Tier als Mitgeschöpf zu schützen.

Das Schlachten von Tieren zum Zwecke der Fleischgewinnung gilt in Deutschland gemeinhin als vernünftiger Grund für das Töten eines Tieres. Um unnötige Schmerzen und Leiden für die Tiere dabei zu vermeiden ist im dritten Abschnitt des Tierschutzgesetzes geregelt, dass warmblütige Tiere nur geschlachtet werden dürfen, wenn sie vor Beginn des Blutentzugs zum Zweck des Schlachtens betäubt worden sind (§ 4a Abs. 1) und damit in einen Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit versetzt wurden (§ 4 Abs. 1).

Ausnahmen von der Betäubungspflicht können Notschlachtungen darstellen, sofern eine Betäubung unter den gegebenen Umständen nicht möglich ist, sowie behördlich genehmigtes Schächten von Tieren im Zuge der Religionsfreiheit (§ 4a Abs. 2).

2.1.2 Verordnung über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung (EG) Nr. 1099/2009

Auf gemeinschaftsrechtlicher Ebene werden diese Prinzipien konkretisiert. Gemäß Artikel 4 Absatz 1 der zum 1. Januar 2013 in Kraft getretenen Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung muss die Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit des Tieres bis zum Tod anhalten (ANON. 2009). Laut Anhang I gemäß Artikel 4 sind zur Betäubung von Rindern der penetrierende Bolzenschuss und die Elektrobetäubung zulässig. Beides sind sogenannte „einfache Betäubungsverfahren“, d. h. ohne ein den Tod herbeiführendes Verfahren, wie z. B. die Entblutung, können die Tiere unter Umständen ihre Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit wieder erlangen. Der Entblutestich soll deshalb so rasch wie möglich erfolgen (Art. 4 Abs. 1).

Artikel 5 Absatz 1 verpflichtet den Unternehmer zu regelmäßigen Kontrollen anhand repräsentativer Stichproben, um sicherzustellen, dass die Tiere in der Zeit zwischen dem Ende des Betäubungsvorgangs und dem Tod keine Anzeichen von Wahrnehmung oder Empfindung aufweisen.

2.1.3 Nationale Tierschutz-Schlachtverordnung (TierSchIV)

Gemäß Artikel 26 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 werden Mitgliedsstaaten der EU nicht daran gehindert, (strengere) nationale Vorschriften beizubehalten, mit denen ein umfassender Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung sichergestellt werden soll (ANON. 2009). In der Bundesrepublik Deutschland regelt die Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 20. Dezember 2012 einige Aspekte der Schlachtierbetäubung und -tötung strenger (ANON. 2012b):

Die Tiere sind nach § 3, zusätzlich zu Artikel 3 Absatz 1 der VO (EG) Nr. 1099/2009, so zu betreuen, ruhigzustellen, zu betäuben, zu schlachten oder zu töten, dass bei ihnen nicht mehr als unvermeidbare Aufregung oder Schäden verursacht werden. Dafür sind u. a. Vorrichtungen zum Ruhigstellen [...] zu verwenden, die ein rasches und wirksames Betäuben und Schlachten oder Töten möglich machen (vgl. auch Anhang II 3.2 der VO (EG) Nr. 1099/2009). Zudem muss nach Anlage 1.2 beim penetrierenden Bolzenschuss das Gerät so angesetzt und die Größe sowie die Auftreffenergie des Bolzens so bemessen sein, dass der Bolzen mit Sicherheit in das Gehirn eindringt.

Zusätzlich zu Artikel 4 der VO (EG) Nr. 1099/2009 sind Tiere nach § 12 TierSchIV so zu betäuben, dass sie schnell und unter Vermeidung von Schmerzen oder Leiden in einen bis zum Tod anhaltenden Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit versetzt werden. Anlage 2 schreibt auch im Zuge dessen bei Rindern ein maximales Zeitintervall von 60 Sekunden zwischen Betäubung und Entblutestich vor.

Über Artikel 5 Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 hinaus (regelmäßige Kontrolle der Betäubung anhand einer repräsentativen Stichprobe) bittet der Bundesrat die Bundesregierung in den Entschlüssen (B) des Beschlusses 672/12 zur Tierschutzschlachtverordnung in Punkt 2 b) um ein Vorantreiben der Entwicklung verlässlicher automatisierter Verfahren zur Überprüfung des Erfolgs von Betäubung und Entblutung (ANON. 2012a). Weiterhin bittet er in Punkt 2 g) die Verpflichtung einzuführen, die Fehlbetäubungsraten bei Tierschlachtungen in allen Schlachtbetrieben statistisch zu erfassen. Die Umsetzung dieser Forderung könnte wohl erst durch eine Automatisierung der Überwachung flächendeckend realisiert werden.

2.2 Bolzenschussbetäubung beim Rind

Ziel einer Betäubung vor dem Blutentzug ist es, das Tier in einen Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit zu versetzen und somit vor Schmerzen zu bewahren und gleichzeitig durch dessen Immobilisierung die Schlachtarbeiter vor Verletzungen zu schützen (ANON. 2006b, GRACEY et al. 1999, GREGORY 1998, PRÄNDL 1988). Beide Anliegen wurden im Laufe der Zeit unterschiedlich schwer gewichtet. Galt der Arbeitsschutz vor hundert Jahren noch als wichtigstes Argument für

eine Betäubung der Schlachttiere rückte in den letzten Jahrzehnten der Tierschutzgedanke vermehrt in den Vordergrund (ANON. 2013, APPELT und SPERRY 2007, FAHRBACH 1948).

2.2.1 Entwicklung erster Betäubungsverfahren

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden Schlachttiere – sofern sie nicht geschächtet wurden – vornehmlich durch Stirnschlag mit Keule, Hammer, Axt, Schlachthacke oder Bolzenhammer oder durch Genickschlag vor dem Blutentzug betäubt. Die erste technische Weiterentwicklung war die Schlagbolzenmaske. Eine zumeist lederne Maske besaß eine in der Stirngegend des Tieres eingearbeitete Metallplatte mit einer Öffnung, durch welche ein Schlagbolzen mittels Hammerschlag eingetrieben wurde (PIEPER 1937).

Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die ersten Bolzenschussgeräte von den Firmen Adler, Flessa, Liebe sowie Bayersdörfer und Schermer entwickelt (FAHRBACH 1948, HOFSCHULTE 1987, ILGERT 1985, PIEPER 1937). BREIDERT berichtet 1902 erstmals von Versuchen mit dem Gerät „Blitz“ der Adler-Waffenwerke Zella St. Blasii, bei dem die Patrone noch mittels Handschlag zur Explosion gebracht wurde. Empirisch wurden nach und nach Verbesserungen an den Geräten vorgenommen und Weiterentwicklungen vorangetrieben (FAHRBACH 1948, HOFSCHULTE 1987). Etwa gleichzeitig begannen auch die ersten Forschungen zur Betäubung mittels Strom (FAHRBACH 1948, PIEPER 1937).

1933 wurde in Deutschland mit dem Gesetz über das Schlachten von Tieren erstmals die Betäubung warmblütiger Tiere vor der Schlachtung grundsätzlich gesetzlich vorgeschrieben (ANON. 1933). Ab 1953 durfte die Betäubung von Schlachtrindern nur mehr durch Bolzenschuss oder mittels Strom erfolgen (ANON. 1952).

Die Entwicklung weiterer Betäubungsmethoden war jedoch noch nicht abgeschlossen: 1983 publizierten LAMBOOY et al. Ergebnisse von Versuchen an Kälbern mit einem nicht-penetrierenden Bolzenschussapparat, dessen Wirkung vornehmlich auf den Folgen einer Gehirnerschütterung basiert. BLACKMORE berichtete 1983 erstmals über eine Betäubungsmethode, bei der durch eine Stahlnadel Luft in den Schädel von Rindern injiziert wird (Mohawk stunning system, Le Fiell company, San Francisco, USA). Hierbei wurden die Tiere durch eine intrakranielle Druckerhöhung in einen Zustand der Empfindungslosigkeit versetzt (BLACKMORE 1983). 1991 sollte ein Betäubungsgerät aus den USA nach Europa eingeführt werden, bei dem der aufgebrachte Luftdruck teilweise durch den Bolzen mit ins Gehirn gepresst wird (The Knocker, Hantover, Kansas City, USA) (GREGORY 2005). GARLAND et al. (1996) fanden in einer Studie heraus, dass bei dieser Methode bis zu 5 % der Lungen mit ZNS-Material kontaminiert waren, woraufhin dieses Gerät nicht mehr eingesetzt wurde (GREGORY 2005). 2001 wurde in Deutschland im Zuge der BSE-Krise die Verwendung des Rückenmarkzerstörers nach

jahrzehntelangem Einsatz verboten (ANON. 2000, FAHRBACH 1948, PRÄNDL 1988, SCHÜTT-ABRAHAM 2001). Hierbei handelt es sich um einen 46 - 65 cm langen elastischen Plastik- oder Stahlstab, welcher durch das Bolzenschussloch in das Gehirn eingeführt wurde, um das verlängerte Mark mechanisch zu zerstören und damit reflektorische Bewegungen auszuschalten (PRÄNDL 1988, TROEGER 2007). Ähnlich wie beim Injizieren von Luft in die Schädelhöhle beim Hantover-Gerät, bestand hier die erhöhte Gefahr, dass infektiöses Nervengewebe in den Körperkreislauf gelangt (ANIL et al. 1999, GARLAND et al. 1996). Laut einer Studie von LÜCKER et al. (2002) kann bei Anwendung eines Bolzenschussgerätes beim Rind mit oder ohne Rückenmarkzerstörer eine Mikroembolisierung von ZNS-Gewebe in Lunge und Herz der Tieres nicht ausgeschlossen werden, während Makroembolisierungen in dieser und anderen Studien bei nicht Luft-injizierenden Bolzenschussbetäubungsverfahren nie beobachtet wurden (HORLACHER et al. 2002). Zudem gelangten zum damaligen Zeitpunkt in Deutschland nur negativ getestete Rinder im Alter von über 24 Monaten in die Lebensmittelkette (ANON. 2001). Weiterhin wurden alternative Methoden, wie die Elektrobetäubung und die Betäubung durch nicht-penetrierenden Bolzenschuss, in Deutschland erforscht (AICHINGER 2003, HOFFMANN 2003, TROEGER 2002). Aktuell wird in Deutschland jedoch nur in einem einzigen Schlachtbetrieb die Elektrobetäubung beim Rind regelmäßig angewendet (Matthias Moje, Kulmbach, 25.07.2014). Die Verwendung der Schuss-Schlag-Betäubung ist laut Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 derzeit nur für Wiederkäuer unter 10 kg erlaubt (ANON. 2009). Auch Versuche zur Betäubung mittels Stickstoff oder Kohlenstoffdioxid wurden bereits durchgeführt (CHRISTENSEN et al. 1939, GAP-DON et al. 2013). Für Rinder gibt es jedoch derzeit kein praxistaugliches System.

Aktuell ist der penetrierende Bolzenschuss in Deutschland aufgrund seiner Zuverlässigkeit und nicht zuletzt wegen fehlender Alternativen die Methode der Wahl und – neben der Elektrobetäubung – die einzig zulässige Betäubungsmethode für Schlachtrinder (ANON. 2009).

2.2.2 Geräte und Funktionsweise

Zum Einsatz kommen gegenwärtig konventionell mit Kartusche oder Patrone betriebene sowie pneumatische Bolzenschussapparate (EFSA 2004, GRACEY et al. 1999, TROEGER 2007).

Zentrales Bauteil eines konventionellen Bolzenschussapparates ist ein Schussbolzen, der von einem Stahlzylinder als Führungsrohr umgeben ist und am hinteren Ende an eine Zündkammer angrenzt. In dieser werden je nach Hersteller Patronen oder Kartuschen verschiedener Stärke meist durch Bedienung eines Abzugshebels zur Explosion gebracht (*trigger-fired*). Bei einigen Geräten zündet die Kartusche auch kontaktvermittelt beim Aufsetzen auf dem Rinderschädel (*contact-fired*). Durch den entstehenden Druck wird der Bolzen nach vorne aus dem Stahlrohr gedrückt. Viele Apparate haben am unteren Ende

Gummiführungsringe, die beim Austreten des Bolzens komprimiert werden, sich anschließend wieder ausdehnen und so als automatisches Bolzenrückführsystem dienen. Konventionelle Bolzenschussgeräte gibt es in rohr- und pistolenförmigen Ausführungen (GREGORY 1998, TROEGER 2007).

Bei pneumatischen Geräten wird der Bolzen mittels Druckluft beschleunigt. Ausgelöst wird ein Schuss in der Regel durch Laden der Waffe per Hebel und anschließendem Kontakt mit dem Rinderschädel (*contact-fired*). Um einen konstanten Druck in der Luftleitung von mindestens 12 bar zu gewährleisten hat sich ein separater Kompressor für das Bolzenschussgerät als vorteilhaft erwiesen (GALLO et al. 2003, TROEGER 2007).

Die Geschwindigkeit des Bolzenaustritts ist abhängig von der Stärke der Treibladung bzw. dem Luftdruck und der Masse, d. h. der Länge und dem Durchmesser des Bolzens (TROEGER 2007). 55 m/s sollten in jedem Fall erreicht werden (DALY et al. 1987). Für Bullen empfiehlt GREGORY (2007) eine Austrittsgeschwindigkeit von 70 m/s, da sie erfahrungsgemäß schwieriger zu betäuben sind (ATKINSON et al. 2013, GREGORY 2007, GREGORY et al. 2007).

Die Bolzenaustrittslänge variiert in der Regel zwischen 8 und 12,5 cm (DÖRFLER et al. 2013, KOHLEN 2011, TROEGER 2007). Der Durchmesser des Bolzens ist üblicherweise mit 12 mm bemessen (PRÄNDL 1988, TROEGER 2007). Mittlerweile werden aber auch pneumatische Geräte mit einem Bolzendurchmesser von 15,9 mm angeboten (ANON. 2014). Hierbei muss (besonders) auf eine ausreichende Beschleunigung des Bolzens auf die erforderliche Mindestgeschwindigkeit geachtet werden. Für schwere Tiere, vornehmlich Bullen, fordern LAMBOOY et al. (1983) und KOHLEN (2011) einen jeweils mindestens 9 bzw. 12 cm langen Bolzen, während KAEGI (1988) für alle Rinder mindestens 11 cm Bolzenlänge empfiehlt. Die konkave Spitze des Bolzens sollte stets scharfkantige Ränder besitzen (EFSA 2004, LAV 2014, SCHÜTT-ABRAHAM 2002). Diese gewährleistet in der Regel eine ausreichende Eindringtiefe des Bolzens in das Gehirn, indem Haut und Knochen „durchstanz“ werden können und verhindert, dass die kinetische Energie bei einer Zertrümmerung der *Os frontale* absorbiert wird.

Bolzenschussgeräte unterliegen in Deutschland der Beschussverordnung (ANON. 2006a). Nach § 24 müssen sie alle zwei Jahre beim Hersteller oder einem Beauftragten zur Funktionsprüfung eingesendet werden. Werden keine Mängel festgestellt oder diese ordnungsgemäß behoben, bekommt das Gerät gemäß § 25 eine Prüfplakette für weitere zwei Jahre.

2.2.3 Betäubungswirkung

Die Wirkung der Bolzenschussbetäubung beruht auf einer Übertragung von kinetischer Energie auf den Rinderschädel. Diese ist abhängig von der Masse und der Geschwindigkeit des Bolzens ($E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$). Faktoren, die diese Parameter negativ

beeinflussen, wie z. B. Reinigungs- und Wartungsmängel, können die Wirksamkeit der Betäubung beeinträchtigen (ANON. 2006b, EFSA 2004, PRÄNDL 1988, TROEGER 2007).

Zwei Effekte werden bei Anwendung des penetrierenden Bolzenschusses erzielt: einerseits verursacht der Aufprall des Bolzens auf dem Schädel eine Gehirnerschütterung und Gehirnprellung. Darüber hinaus beschädigt der in das Gehirn eindringende Bolzen Gehirnareale vom Vorderhirn (*Prosencephalon*) bis zum Hirnstamm (*Truncus encephali*) und verursacht eine Druckerhöhung in der Schädelhöhle (EFSA 2004, GREGORY 1998, KOHLEN 2011, PAULSEN et al. 2001, TROEGER 2007).

Die Gehirnerschütterung (*Commotio cerebri*) verursacht in der Regel eine vorübergehende Bewusstlosigkeit. Eine Hypothese sieht den Grund darin, dass Blut aus den Kapillaren durch die Wucht des Aufpralls in größere Gefäße „gestoßen“ wird und es dabei zu Ischämien und einer daraus folgenden Unterversorgung mit Sauerstoff in bestimmten Arealen des Gehirns kommt (vaskuläre Hypothese) (JONES et al. 1997, SHAW 2002). Andere Theorien – wie die konvulsive und die retikuläre Hypothese – besagen, dass die Bewusstlosigkeit von einer direkten mechanischen Schädigung der Neuronen durch den Aufprall herrührt oder aber vorübergehend die Funktion der neuronalen Verbindungswege im retikulären aktivierenden System (RAS) beeinträchtigt wird (SHAW 2002).

Die bei einer Gehirnprellung (*Contusio cerebri*) entstehenden Scherkräfte verursachen mitunter ausgedehnte Hämorrhagien im Hirnparenchym und den Hirnhäuten, ausgelöst durch Gefäßzerreißen. Normalerweise sind zwei Bereiche besonders stark betroffen: die Stelle des Aufpralls (*coup*) und die gegenüberliegende Seite, an der das Gehirn plötzlich abgebremst wird (*contre-coup*) (JONES et al. 1997, MCGAVIN und ZACHARY 2009). Weitere Hämorrhagien, sowie eine Zerstörung von Nervengewebe entstehen durch das direkte Trauma entlang des Schusskanals des Bolzens und durch das herausgestanzte Haut- und Knochenfragment („Sekundärgeschoss“) (ALGERS und ATKINSON 2007, FINNIE 1993, FINNIE et al. 2002, FRICKER und RIEK 1981). Hämorrhagien im Bereich des Hirnstammes und der Hirnbasis in Verbindung mit der einhergehenden Druckerhöhung in der Schädelkapsel sind für ALGERS und ATKINSON (2007) definitiv Zeichen für eine Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit und gehen sehr wahrscheinlich mit dem Tod einher (JONES et al. 1997).

In einer 1989 veröffentlichten Studie verglichen DALY und WHITTINGTON an acht Schafen die Betäubungswirkung des Bolzenschusses durch ein trepaniertes Loch im Schädel mit der einer normalen Bolzenschussbetäubung und der Wirkung eines Bolzenschusses, der nur ein bis zwei Zentimeter in den Schädel eindringt. Hierbei kamen sie zu dem Ergebnis, dass der Aufprall ausschlaggebender für eine Bewusstlosigkeit ist als das direkte Trauma durch den eindringenden Bolzen. Nur vier von acht Schafen konnten durch ein trepaniertes Loch im Schädel noch wirksam betäubt werden. Daraus

lässt sich ableiten, dass die Effektivität von Nachbetäubungen kritisch beurteilt werden muss.

Bei korrekter Anwendung des Bolzenschussapparates kann mit einer sofortigen effektiven Betäubung von Rindern und Kälbern gerechnet werden (BLACKMORE und DELANY 1988, BLACKMORE und NEWHOOK 1982, DALY et al. 1988, EFSA 2004, GRACEY et al. 1999, GREGORY 2007, JOHNSON et al. 2012, PAULSEN et al. 2001, ZULKIFLI et al. 2014). Im Anschluss muss durch Entbluten der Schlachttiere der Tod herbeigeführt werden, da sonst die Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit wiederkehren kann (APPELT und SPERRY 2007).

2.2.4 Ansatz des Bolzenschussgerätes

Um eine gute Betäubungswirkung zu erzielen, ist unter anderem der korrekte Ansatzpunkt und -winkel entscheidend (FRIES et al. 2012, GREGORY 2007, PRÄNDL 1988, SCHROHE et al. 2005).

Anatomisches Ziel des Bolzens bei der Betäubung ist der Hirnstamm (*Truncus encephali*). Dieser liegt kaudoventral der Großhirnhemisphären und ventral des Kleinhirns (*Cerebellum*). Um dieses Areal zu treffen galt bis vor einigen Jahren der Kreuzungspunkt zwischen medialem Augenwinkel und gegenüberliegendem Hornansatz (GRACEY et al. 1999, MIDAS 1978, PRÄNDL 1988, TROEGER 2007) bzw. Mitte des Auges und gegenüberliegendem Hornansatz (ANON. 2006b, EFSA 2004, GREGORY 2007, ILGERT 1985, TVT 2007, WARRIS 2000) als empfohlener Ansatzpunkt für das Bolzenschussgerät. Die Abweichung von diesem Punkt sollte nicht mehr als 2 cm betragen (EFSA 2004, GREGORY 2007, LAMBOOY 1981). Der Ansatz erfolgt im rechten Winkel zur Schädeldecke (EFSA 2004, FINNIE 1993, GRANDIN 2010, LAV 2014, TROEGER 2007).

KAEGI fordert 1988 einen etwas höheren Ansatz, nämlich auf dem Kreuzungspunkt zweier imaginärer Linien zwischen lateralem Augenwinkel und der gegenüberliegenden Hornbasis, zwei bis drei Zentimeter paramedian und rechtwinklig. GILLIAM (2012) bestätigt, dass der Hirnstamm bei diesem etwas höheren Ansatz signifikant häufiger beschädigt wird.

2010 postuliert GRANDIN als Erfahrungswert den Ansatz 2 cm über dem Kreuzungspunkt zweier imaginärer Linien zwischen Augeninnenwinkel und Horn der gegenüberliegenden Seite bzw. oberem Ohransatz.

Nach den Ergebnissen einer Studie von KOHLEN (2011) liegt der optimale Ansatz ca. 1,25 cm oberhalb des Kreuzungspunktes zweier gedachter diagonaler Linien von der Augenmitte zur Mitte des gegenüberliegenden Hornansatzes. Für schwere Tiere (> 650 kg) sollte 2 cm über dem Kreuzungspunkt geschossen werden, zudem ist ein

Gerät mit verlängerter Bolzenaustrittslänge (12 statt 8 cm) zu verwenden. Diese Forderung wurde 2014 ins Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung der LAV übernommen (LAV 2014).

Hilfreich für den korrekten Ansatz des Gerätes ist eine Einschränkung der Kopfbewegungen in vertikaler und horizontaler Richtung, welche seit 1. Januar 2013 gesetzlich vorgeschrieben ist (ANON. 2009, 2012b, EWBANK et al. 1992).

Eine hohe Schussgenauigkeit vermindert nicht nur unnötiges Leiden der Tiere, sondern dient auch dem Arbeitsschutz. Klonische Krampfanfälle treten vermehrt bei unpräzisen Schüssen auf (ILGERT 1985, KAEGI 1988, MARZIN et al. 2008).

2.2.5 Symptome guter Betäubungseffektivität

Um die Effektivität der Betäubung zu beurteilen, werden in der Regel visuelle, akustische und klinisch-neurologische Parameter – wie z. B. die Prüfung des Corneal- bzw. Lidschlussreflexes – herangezogen. Nach Untersuchungen mittels Elektroencephalogramm von FRICKER und RIEK (1981) ist das Tier wirksam betäubt und damit empfindungslos, wenn es sofort niederstürzt, keine Aufstehversuche unternimmt, starre und reflexlose Augen hat und die Atmung ausgefallen ist. Starre reflexlose Augen schließen spontanen Lidschlag, gerichtete Augenbewegungen und einen positiven Corneal- bzw. Lidschlussreflex aus. Bulbusrotation bzw. Strabismus und Nystagmus gelten als häufig erstes Zeichen wiederkehrenden Bewusstseins, müssen jedoch zum Zeitpunkt des Auftretens nicht zwangsweise mit einer Empfindungsfähigkeit einhergehen (GIBSON et al. 2012, GREGORY et al. 2007).

Über diese Parameter hinaus nennt die EFSA (2004, 2013a) tonische Muskelkontraktionen für einige Sekunden direkt nach dem Zusammenbrechen, gefolgt von einer generalisierten Muskelentspannung (kein Aufziehen an der Entbluterohrbahn, Ohren, Schwanz und Zunge entspannt), ein Ausbleiben einer Schmerzreaktion auf einen deutlichen Stimulus an der Nase und eine graduelle Dilatation der Pupillen als wichtige Zeichen guter Betäubungsqualität. GRACEY (1999) hält eine maximal geweitete Pupille ebenfalls für ein sicheres Zeichen nahenden Todes, findet diesen Parameter in der Schlachtroutine jedoch wenig hilfreich, da die maximale Dilatation erst relativ spät eintreten kann.

Es darf keine Lautäußerung nach dem Betäubungsschuss auftreten (EFSA 2013a, GRANDIN 2002, GRANDIN 2010).

Für GRANDIN (2002, 2010) ist das Heraushängen der entspannten Zunge aus dem Maul des Tieres ein weiteres Zeichen für eine effektive Betäubung. GIBSON (2012) berichtet von einem signifikanten, positiv korrelierten Zusammenhang zwischen dem Grad der Gehirnerschütterung und der Entspannung der Kiefermuskulatur. Andere Autoren sehen

keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Heraushängen der Zunge aus dem Maul und der Betäubungsqualität (BOURGUET et al. 2011, GREGORY et al. 2007).

Das Beratungs- und Schulungsinstitut Schwarzenbek (BSI 2013) hält weiterhin auch den Schwanz- und Ohrtonus sowie – ähnlich wie GRANDIN (2010) – mehrmaliges oder länger andauerndes seitliches oder rückwärtiges Aufziehen an der Entbluterrohrbahn für Anzeichen, die auf eine unzureichende Betäubung hinweisen können.

Vor allem zwei Parameter werden kontrovers diskutiert: das Wiedereinsetzen regelmäßiger Atmung und die Aussagekraft des Cornealreflexes. Während GRACEY (1999) wie auch die EFSA (2004) den Ausfall der Atmung für das brauchbarste bzw. wichtigste Zeichen anhaltender Empfindungslosigkeit, und ein Wiedereinsetzen für alarmierend halten, geht GREGORY (2007) davon aus, dass ein Tier mit langsamer flacher Atmung während des Ausblutens bewusstlos ist, solange es keinen positiven Cornealreflex aufweist. Generell muss ein positiver Cornealreflex wiederum jedoch nicht zwangsweise gleichbedeutend sein mit einer Empfindungsfähigkeit, da er lediglich eine erhaltene Hirnstammaktivität ausdrückt (GRACEY et al. 1999, GRANDIN 2010, GREGORY 1998). Umgekehrt muss auch die Aussagekraft eines negativen Cornealreflexes kritisch hinterfragt werden: Der Defekt im Reflexbogen könnte nicht nur im Hirnstamm, sondern auch im Bereich des afferenten oder efferenten Nervs liegen und das Bewusstsein dabei erhalten sein (GREGORY und SHAW 2000). Generell wird die Prüfung des Corneal- und Palpebralreflexes jedoch empfohlen (BSI 2013, EFSA 2004, 2013a, FRICKER und RIEK 1981, GREGORY 2007, LAV 2014, SHAW 1989, TROEGER 2007).

2.2.6 Ineffektive Betäubungsversuche

Unter suboptimalen Bedingungen können ineffektive Betäubungen gehäuft auftreten. Gründe für eine ungenügende Betäubungseffektivität können einerseits menschlicher Art sein und mit der Erfahrung und dem Geschick des Betäubers zusammenhängen, sowie andererseits technisch bedingt sein: mangelnde Wartung und Reinigung der Geräte, fehlerhaft konstruierte Betäubungsfallen, fehlende Kopffixierung, zu schwache Ladungsstärke bzw. zu geringer Luftdruck sowie zu geringe Bolzenlänge und -stärke (ALGERS und ATKINSON 2007, ATKINSON et al. 2013, DÖRFLER et al. 2013, GALLO et al. 2003, GRACEY et al. 1999, GRANDIN 1998, ILGERT 1985, MARZIN et al. 2008, TROEGER 2007, VON HOLLEBEN 2008, VON MICKWITZ 1982, VON WENZLAWOWICZ et al. 2012).

Abhängig vom Management dieser Einflussgrößen fällt der Anteil an Tieren, die einer Nachbetäubung bedürfen, an verschiedenen Schlachthöfen unterschiedlich hoch aus. Eine ineffektive, d. h. eine nicht optimale Betäubungswirkung trat in Studien der vergangenen Jahre bei 0,6 bis 32 % der Tiere auf (ALGERS und ATKINSON 2007, ATKINSON et al. 2013, ENDRES 2005, GOUVEIA et al. 2009, GREGORY et al. 2007,

ROMERO et al. 2012, VON WENZLAWOWICZ et al. 2012). Die Parameter zur Beurteilung der Betäubungstiefe variierten hierbei. Herangezogen wurden Cornealreflex, spontaner Lidschlag, fehlender tonischer Muskelkrampf direkt nach dem Schuss, Bulbusrotation, Aufstehversuche, Aufziehen im Hängen, Schmerzreaktion, Auftreten von Atmung, Ohrtonus und Vokalisation. In allen Untersuchungen lag der Anteil unzureichend betäubter Bullen (über 12 Monaten) mit 11 bis 54 % im Vergleich zu Kühen, Färsen und Kälbern stets höher. Aufgrund welcher Anzeichen tatsächlich nachbetäubt wurde, geht aus nur wenigen Studien genau hervor (ATKINSON et al. 2013, ENDRES 2005).

Die Rate an Tieren, bei denen die Wirkung des ersten Betäubungsversuchs völlig fehlte (kein Niederstürzen nach dem ersten Schuss), liegt bei 1,1 bis 7,2 % (ATKINSON et al. 2013, GOUVEIA et al. 2009, GREGORY et al. 2007, MARZIN et al. 2008, ROMERO et al. 2012). Deutlich höhere Werte resultieren aus zwei weiteren Studien: In einem französischen Schlachthof stürzten 21 % von 95 Rindern nicht sofort nieder (BOURGUET et al. 2011) sowie 27 % von 335 Rindern in einem chilenischen Schlachtbetrieb (GALLO et al. 2003). In letzterem konnte jedoch nach Personaltraining sowie Verbesserungen an der Falle und am Bolzenschussgerät dieser sehr hohe Prozentsatz auf 2,2 % (N = 500) gesenkt werden (GALLO et al. 2003).

In Studien zur anatomischen Korrektheit des Ansatzes bezüglich Position und Winkel lag in zwei verschiedenen Schlachtbetrieben in 7,8 % bzw. 5,3 % das Einschussloch weiter als 5 cm von der idealen Schussposition entfernt und wich mehr als 20 Grad vom idealen 90-Grad-Winkel ab oder es waren zwei bzw. drei Einschusslöcher vorhanden (FRIES et al. 2012, SCHROHE et al. 2005). KOHLEN (2011) fand heraus, dass von 970 untersuchten Rindern nur bei 19 % der männlichen Tiere bzw. 73 % der weiblichen Tiere der Hirnstamm sicher von einem 8-cm-Bolzen erreicht wurde. In einer Untersuchung von MARZIN et al. (2008) lagen 70 % der Schüsse mehr als 4 cm vom idealen Schusspunkt entfernt, trotzdem wurden 72 % dieser Tiere ausreichend gut betäubt.

2.2.7 Überwachungstechniken

Bislang werden in der täglichen Schlachtroutine Stichprobenkontrollen zur Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit der Tiere zwischen Betäubung und Entblutung durchgeführt, zu denen der Unternehmer nach Artikel 5 Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 verpflichtet ist. Die Stichprobengröße sollte repräsentativ sein (ANON. 2009). Eine genaue Anzahl der zu überprüfenden Tiere ist gesetzlich nicht vorgegeben. Eine Orientierungshilfe zur Berechnung der Stichprobenanzahl bietet eine Veröffentlichung der EFSA (2013b). Über diese dokumentationspflichtigen Stichprobenkontrollen durch das Überwachungspersonal des Schlachthofes hinaus sind die Schlachtarbeiter nach den Standardarbeitsanweisungen angewiesen, jedes Tier auf Anzeichen mangelnder Betäubungstiefe zu kontrollieren und gegebenenfalls nachzubetäuben.

Neben der „live-Kontrolle“ während des Betäubungsvorganges werden bei Audits oder routinemäßig die Einschusslöcher an den enthäuteten Schädeln im Kühlhaus kontrolliert und bewertet (vgl. Kapitel 2.2.6, letzter Absatz). Der Vorteil liegt in einer risikoärmeren Untersuchung für den Kontrolleur, einer größeren zeitlichen Flexibilität und eines kompakteren Untersuchungszeitraumes (zumindest wenn es sich um reine Überblicksbetrachtungen handelt). Der Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass der Ansatzpunkt allein die Betäubungseffektivität nicht zu hundert Prozent wiedergeben kann. In einer Studie von ATKINSON et al. (2013) waren 10 % der Tiere mit korrektem Ansatz unzureichend betäubt, sowie 35 % der Tiere mit abweichendem Schusspunkt (> 2 cm vom idealen Ansatz entfernt). Demnach wiesen 65 % der Tiere mit einer Abweichung von über 2 cm vom idealen Schusspunkt trotzdem eine effektive Betäubung auf.

Eine Überwachung der Bewusstseinsausschaltung bzw. des Schmerzempfindens durch Untersuchungen mittels Elektroencephalogramm (EEG), Elektrokardiogramm (EKG) und Elektrocorticogramm (ECoG) ist in der täglichen Praxis nicht umsetzbar und für eine routinemäßige Kontrolle nicht geeignet (BLACKMORE und NEWHOOK 1982, DALY et al. 1987, DALY et al. 1988, FRICKER und RIEK 1981, JOHNSON et al. 2012, KALLWEIT et al. 1989, LAMBOOY 1982, SÁNCHEZ-BARRERA et al. 2014, ZULKIFLI et al. 2014).

2.3 Betäubungsrelevante Neuroanatomie, Physiologie und Neuropathologie des Rindes

Die Beurteilung der Betäubungseffektivität beruht in praxi vor allem auf der Überprüfung der Gehirnfunktion (vgl. Kapitel 2.2.5). Unumgänglich für das tiefere Verständnis dieser Untersuchungen sind dabei grundlegende anatomische und physiologische Kenntnisse.

2.3.1 Lage des Gehirns im Rinderschädel

Das Gehirn liegt in der Schädelhöhle (*Cavum cranii*). Diese liegt zwischen einer rostral gelegten Querebene in Höhe des Kaudalrandes des Augenbogens und einer kaudalen Querebene in Höhe des äußeren Gehörganges. Sie wird vom knöchernen Kleinhirnzelt (*Tentorium cerebelli osseum*) und der harten Hirnhaut (*Dura mater*) in eine rostrale, große Schädelhöhle für das Großhirn (*Cerebrum*) und eine kaudale, kleine Schädelhöhle für das Kleinhirn (*Cerebellum*) unterteilt (KÖNIG und LIEBICH 2005, NICKEL et al. 2004). Abb. 2.1 veranschaulicht die Lage des Gehirns im Rinderschädel und zeigt umliegende Strukturen.

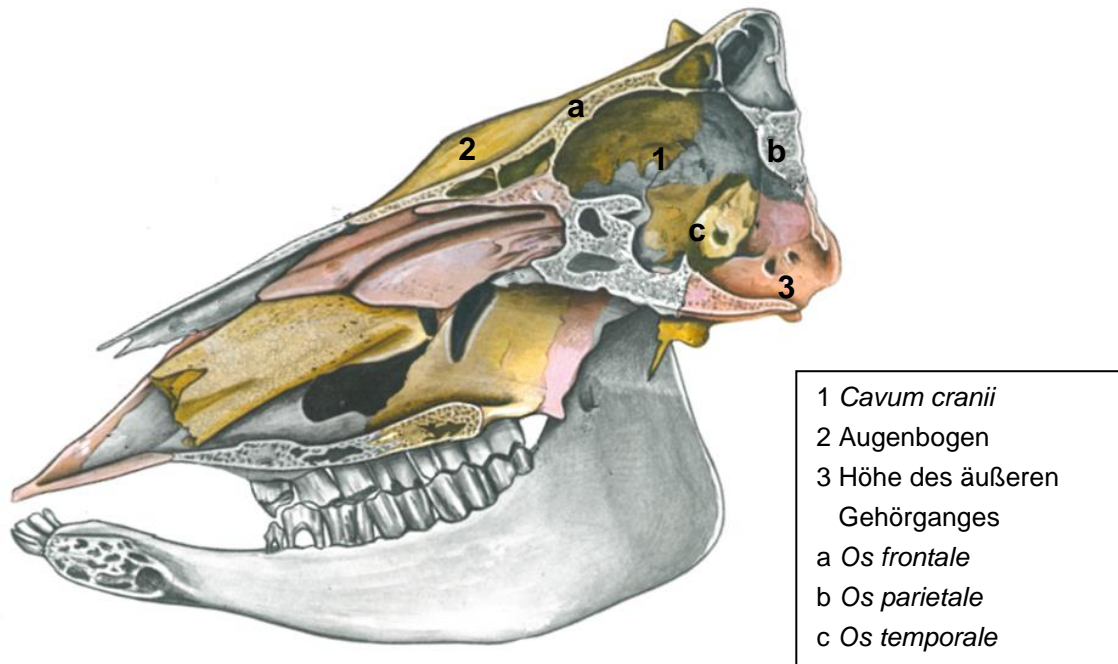


Abb. 2.1 Medianschnitt durch den Schädel eines Rindes, modifiziert nach POPESKO (1979)

2.3.2 Gliederung des Gehirns in Abschnitte

Aus ontogenetischer Sicht lässt sich das Gehirn in fünf Hauptabschnitte gliedern: Endhirn (*Telencephalon*), Zwischenhirn (*Diencephalon*), Mittelhirn (*Mesencephalon*), Hinterhirn (*Metencephalon*) und Nachhirn (*Myelencephalon*). Endhirn und Zwischenhirn bilden zusammen das rostral gelegene Vorderhirn (*Prosencephalon*), Hinterhirn und Nachhirn das kaudal gelegene Rautenhirn (*Rhombencephalon*). Vereinfacht kann das Gehirn auch in die Abschnitte Großhirn (*Cerebrum*), Kleinhirn (*Cerebellum*) und Hirnstamm (*Truncus encephali*) eingeteilt werden. Letzterer besteht aus verlängertem Mark (*Medulla oblongata*), Brücke (*Pons*) und Mittelhirn (*Mesencephalon*) (KÖNIG und LIEBICH 2005). Andere Autoren zählen darüber hinaus das Zwischenhirn (*Diencephalon*) mit zum Hirnstamm (STOFFEL 2011) und geben den anderen drei Abschnitten die Bezeichnung „kaudaler Hirnstamm“ (SALOMON et al. 2005, VANDEVELDE et al. 2001). Eine Übersicht über die genannten Strukturen bieten Tab. 2.1 und Abb. 2.2.

Tab. 2.1 Abschnitte des Gehirns, modifiziert nach SALOMON et al. (2005)

Hauptabschnitte	Unterabteilungen	Hauptbestandteile		
<i>Prosencephalon</i> (Vorderhirn)	<i>Telencephalon</i> (Endhirn)	Großhirnrinde subkortikale Kerne Limbisches System		
	<i>Diencephalon</i> (Zwischenhirn)	<i>Epithalamus</i> <i>Thalamus</i> <i>Hypothalamus</i> <i>Hypophyse</i>	Hirnstamm (ohne <i>Cerebellum</i>)	kaudaler Hirnstamm (ohne <i>Cerebellum</i>)
<i>Mesencephalon</i> (Mittelhirn)		<i>Pedunculi cerebri</i> <i>Tectum mesencephali</i>		
<i>Rhombencephalon</i> (Rautenhirn)	<i>Metencephalon</i> (Hinterhirn)	<i>Pons</i> <i>Cerebellum</i>		
	<i>Myelencephalon</i> (Nachhirn)	<i>Medulla oblongata</i>		

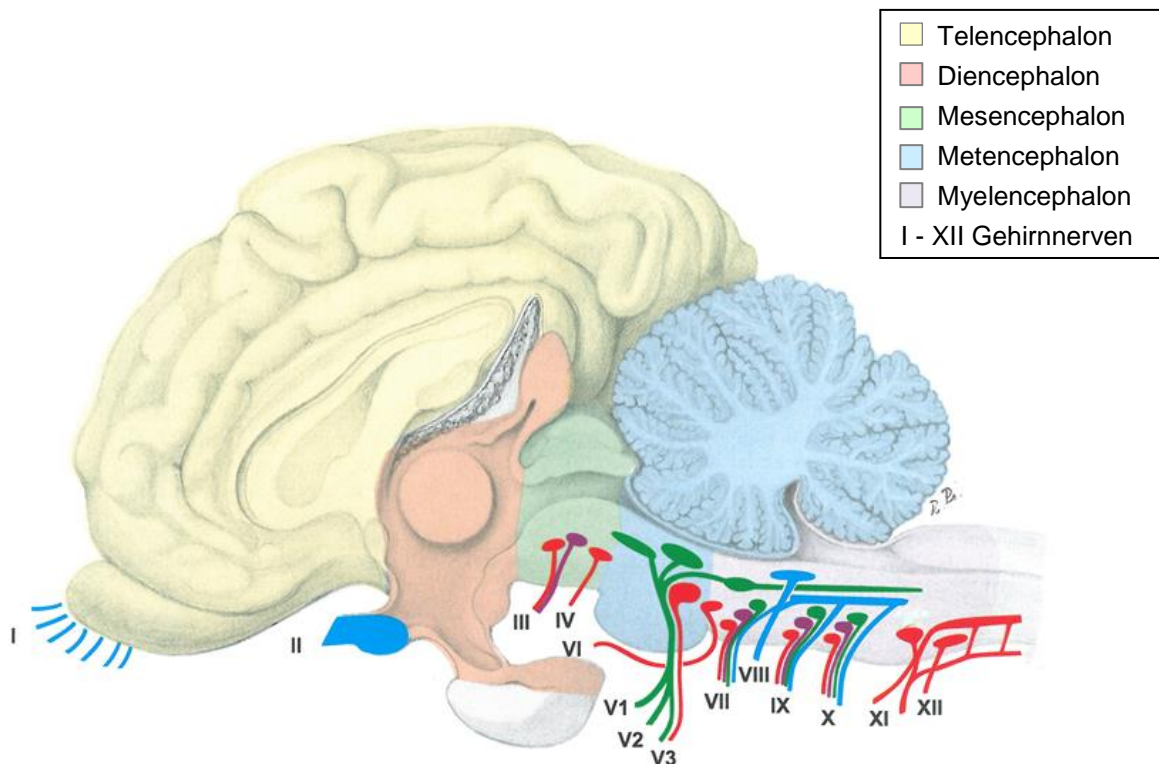


Abb. 2.2 Gehirnregionen und Lage der Gehirnnervenkerne, modifiziert nach BUDRAS und WÜNSCHE (2002)

Bei rechtwinkligem Ansatz des Bolzenschussapparates auf dem Rinderschädel etwa am Kreuzungspunkt der Verbindungslinien von der Mitte der Augenbögen zum kontralateralen Hornansatz werden zunächst Fell, Haut, Kopffaszie, äußere und innere Knochenplatte des *Os frontale* und die Meningen durchstoßen. Im Gehirn durchdringt der Bolzen folgende Strukturen: Großhirnrinde, Großhirnmark, *Corpus callosum*, Seitenventrikel, *Fornix*, *Thalamus*, *Crura cerebri* und *Hypothalamus*. Darüber hinaus kommt es zu massiven Hämorrhagien im *Sinus frontalis*, im Subarachnoidalraum und in den Binnenräumen des Gehirns (PAULSEN et al. 2001).

2.3.3 Funktionelle Neuroanatomie

Ziel einer Bolzenschussbetäubung ist die Ausschaltung der Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit eines Tieres bis zu seinem Tod, um es vor vermeidbaren Schmerzen zu schützen (ANON. 2006b, 2013, GRACEY et al. 1999, GREGORY 1998, PRÄNDL 1988).

Die Wahrnehmung von Rumpf und Gliedmaßen beruht auf allgemeinen somatischen und viszeralen Afferenzen, sogenannten langen Leitungsbahnen, die sensible Erregungen aus der Peripherie über das Rückenmark zum Gehirn leiten. Vom Ursprung bis zum Zielort im Gehirn gibt es in der Regel zwei Umschaltstellen zwischen Nervenzellen: die erste zwischen Spinalganglion und grauer Substanz im Rückenmark bzw. in der *Medulla oblongata* und die zweite von dort auf Neurone im *Thalamus*. Deren Axone enden in den sensorischen Zentren der Großhirnrinde (*Kortex*), wo die bewusste Wahrnehmung stattfindet (*Tractus spinocorticalis*). Die Axone der Zweitneuronen können jedoch auch direkt zum Kleinhirn (*Tractus spinocerebellaris*) oder zum Hirnstamm ziehen. Im Falle der Kleinhirnstrangbahnen, die Informationen über die Position des Rumpfes und der Gliedmaßen liefern, bleibt die Verarbeitung unter der Bewusstseinschwelle (SALOMON et al. 2005).

Wichtig für die epikritische und propriozeptive Wahrnehmung ist das lemniskale System, auch bekannt als Schleifenbahn. Darunter versteht man aufsteigende Nervenfasern von den Vorder- und Hintergliedmaßen (*Fasciculus cuneatus und gracilis*), die den Hirnstamm über den *Lemniscus medialis* passieren und den *Thalamus* erreichen. Die Axone der dort liegenden Drittneuronen projizieren auf die somatosensorische Hirnrinde. Die epikritische Sensibilität besteht im Spüren von Berührung, Druck und Vibration. Propriozeptive Impulse vermitteln das „Spüren des Bodens unter den Füßen“ (SALOMON et al. 2005). Beides sollte bei einer Betäubung ausgeschaltet werden.

Fasern des extralemniskalen (ventrolateralen) Systems leiten vornehmlich Schmerz- und Temperaturwahrnehmungen und steuern die grobe mechanische Sensibilität. Bei der Betäubung spielt vor allem die Unterbrechung der Schmerzleitung eine wichtige Rolle. Diese erfolgt im Wesentlichen im *Tractus spinothalamicus*. Aber auch im *Tractus spinoreticularis* und in den *Fasciculi proprii* laufen entsprechende Fasern. Die Rezeptoren

dieses Systems sind freie Nervenendigungen, die Nozizeptoren. Diese können durch mechanische, thermische oder chemische Reize stimuliert werden. Fortsätze der ersten Neurone treten über die Dorsalwurzel in das Rückenmark ein, die zweiten Neurone liegen in den *Laminae I - III* der Dorsalsäule. Deren Axone ziehen teils kontralateral, teils ipsilateral (im Gegensatz zum Menschen: hier kreuzen alle Fasern (BEAR et al. 2008)) und formen im *Funiculus lateralis* der weißen Substanz den *Tractus spinothalamicus lateralis*. Die Schmerzleitung ist bei Tieren diffus verzweigt. Der *Tractus spinoreticularis* besteht aus Fasern, die sich vom *Tractus spinothalamicus* im verlängerten Rückenmark absondern und in die *Formatio reticularis* ziehen. Diese weist Projektionen zu Thalamuskernen und zum limbischen System auf. Man geht davon aus, dass der *Tractus spinoreticularis* eine zentrale Rolle bei der Schmerzverarbeitung spielt. Die Verbindung zur *Formatio reticularis* führt dazu, dass Schmerzen das Atem- und Kreislaufzentrum beeinflussen können. Über Verknüpfungen der Schmerzbahn mit dem aufsteigenden retikulären aktivierenden System (ARAS) beeinflussen Schmerzreize auch Wachheitsgrad und Aufmerksamkeit. Die bewusste Schmerzwahrnehmung findet offenbar auf zwei Ebenen statt: primär in der somatosensorischen Hirnrinde und sekundär im *Thalamus*. Im somatosensorischen *Kortex* wird der Entstehungsort des Schmerzes erkannt. Über Verbindungen vom *Thalamus* zum limbischen System erfolgt die affektiv-emotionale Komponente der Schmerzempfindung (SALOMON et al. 2005).

In Abb. 2.3 werden die erläuterten afferenten Bahnen schematisch dargestellt.

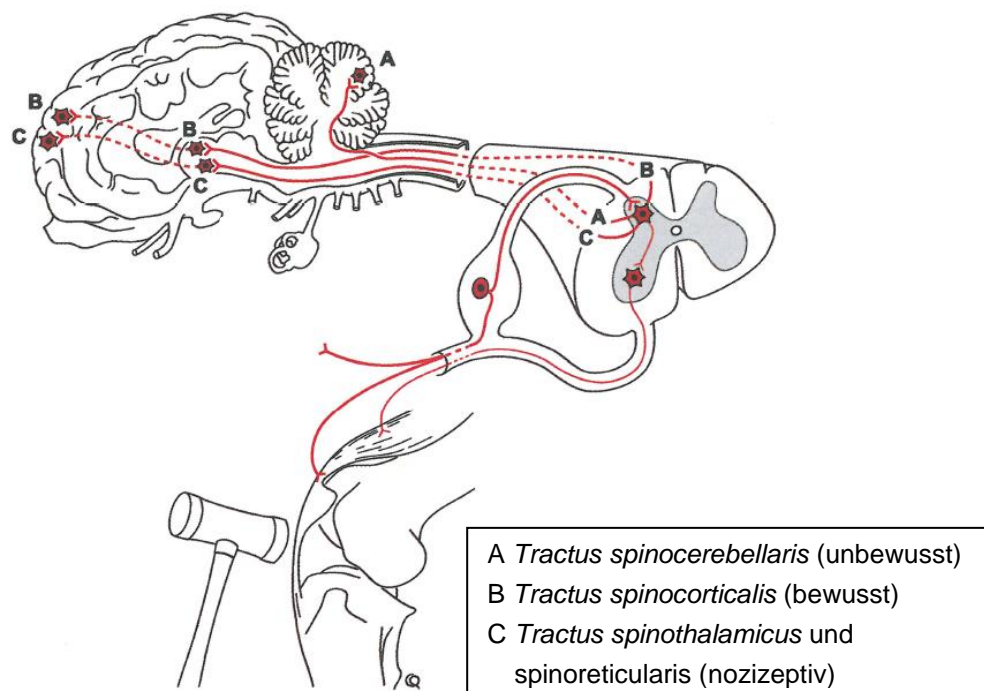


Abb. 2.3 Schematische Darstellung von afferenten, sensiblen Leitungsbahnen, modifiziert nach MAYHEW (2008)

Wichtiger Gegenpart der afferenten Leitungsbahnen sind die somatomotorischen Efferenzen, die von allen Abschnitten des Gehirns in die Peripherie leiten (Abb. 2.4). Zwei Gruppen von Nervenzellen sind daran beteiligt. Das sogenannte obere Motoneuron (OMN) und das untere Motoneuron (UMN). Das System des OMN ist zuständig für Willkürbewegungen, Aufrechterhaltung des Tonus der Antischwerkraftmuskeln und die Regulation der Körperhaltung und ist abhängig von Zentren im Hirnstamm und im Rückenmark (SALOMON et al. 2005, VANDEVELDE et al. 2001). Die unteren Motoneurone liegen in der Ventralsäule der grauen Rückenmarksubstanz. Ihre Axone ziehen zu den Skelettmuskeln. Außer bei einfachen Reflexen stehen sie immer unter dem Einfluss der OMN (SALOMON et al. 2005). Bei einem Ausfall des OMN kommt es zunächst zu einer Enthemmung des UMN und damit zu einer Hyperreflexie bzw. Spastizität der Gliedmaßen, welche das Tier im Falle der Bolzenschussbetäubung niederstürzen lässt, gefolgt von einer Parese oder Paraplegie (VANDEVELDE et al. 2001). Die Verbindungen zwischen OMN und UMN werden durch verschiedene Leitungsbahnen dargestellt. Traditionell unterscheidet man ein pyramidales und ein extrapyramidales System. Die für die Feinmotorik abgestellten Pyramidenbahnen sind beim Wiederkäuer nur schwach entwickelt. Wichtiger sind die extrapyramidalen Nervenbahnen, über die Signale für eher stereotype Bewegungsabläufe laufen (SALOMON et al. 2005).

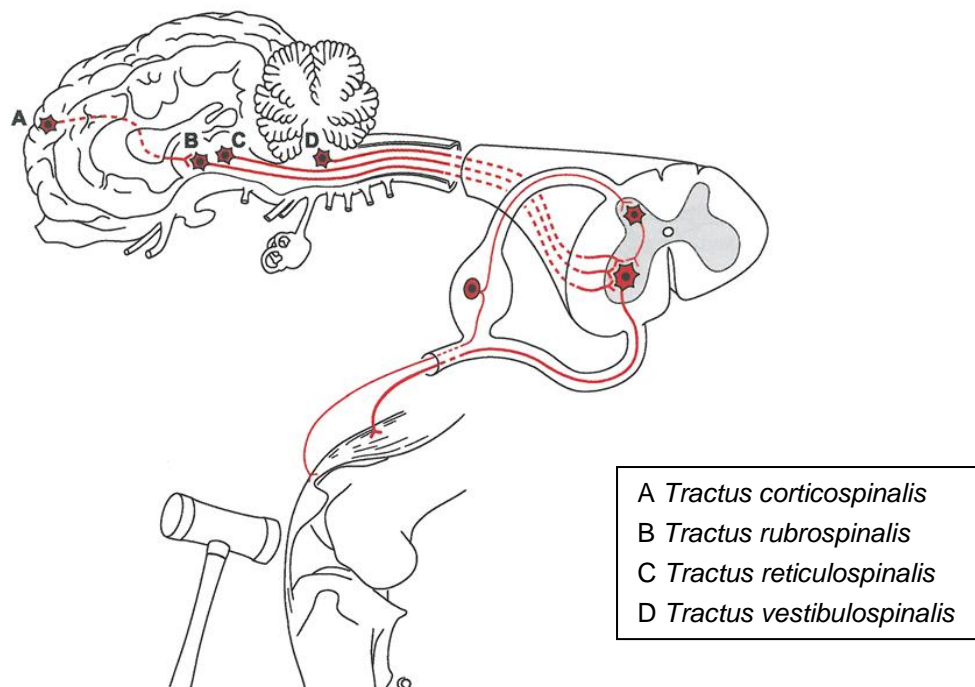


Abb. 2.4 Schematische Darstellung von efferenten, motorischen Leitungsbahnen, modifiziert nach MAYHEW (2008)

2.3.4 Gehirnnerven (*Nervi craniales*)

Im Bereich des Kopfes sind es die Gehirnnerven I - XII, welche die Leitung von Afferenzen und Efferenzen vermitteln. Tab. 2.2 und Abb. 2.5 veranschaulichen die Lage der Gehirnnervenkerne und geben eine Übersicht über Funktion und Faserqualität (BUDRAS und WÜNSCHE 2002).

Bei der Beurteilung der Betäubungseffektivität wird vielfach die Funktion der Gehirnnerven untersucht. Man geht bei deren funktionellem Ausfall davon aus, dass ihre Kerne, und damit der Hirnstamm ausreichend beschädigt wurden, und somit die Leitung von sensiblen Empfindungen zum somatosensorischen *Kortex* unterbrochen ist. Das Tier sollte folglich keine Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit mehr besitzen.

Tab. 2.2 Gehirnnerven und relevante Innervationsgebiete, modifiziert nach BUDRAS und WÜNSCHE (2002)

Nerv	Name	Faserqualitäten*	Relevante Innervationsgebiete**
I	<i>Nn. olfactorii</i>	sr.	
II	<i>N. opticus</i>	sr.	
III	<i>N. oculomotorius</i>	sb., m., psy.	Mm. rectus dors., Mm. rectus med. und ventr., M. obliquus ventr. (Augenmusk.), psy. Iris
IV	<i>N. trochlearis</i>	m.	M. obliquus dors. (Augenmusk.)
V	<i>N. trigeminus</i>		
V1	<i>N. ophthalmicus</i>	sb., sy., psy.	sy. Iris, Cornea (mit psy. Fasern vom <i>N. oculomotorius III</i>)
V2	<i>N. maxillaris</i>	sb., psy.	
V3	<i>N. mandibularis</i>	sb., m., psy., sy., sr.	M. masseter, Mm. pterygoideus lat. und med. (Kaumusk.)
VI	<i>N. abducens</i>	m.	M. rectus lat. (Augenmusk.)
VII	<i>N. facialis</i>	sb., m., psy., sr.	Ohrmuschelmuskeln, Lidmuskeln
VIII	<i>N. vestibulocochlearis</i>	sr.	
IX	<i>N. glossopharyngeus</i>	sr., m., sy., psy.	
X	<i>N. vagus</i>	sb., m., psy.	
XI	<i>N. accessorius</i>	m.	M. trapezius, M. cleidooccipitalis, M. sterno- und cleidomastoideus, M. sternomandiublaris (Halsmusk.)
XII	<i>N. hypoglossus</i>	m.	M. lingualis proprius, M. genio-, stylo- und hyoglossus (Zungenmusk.)

* sr.=sensorisch sb.=sensibel, m.=motorisch, sy.=sympathisch., psy.=parasympathisch

** keine vollständige Auflistung aller Innervationsgebiete

fett gedruckt sind für die folgende Untersuchung besonders relevante Nerven

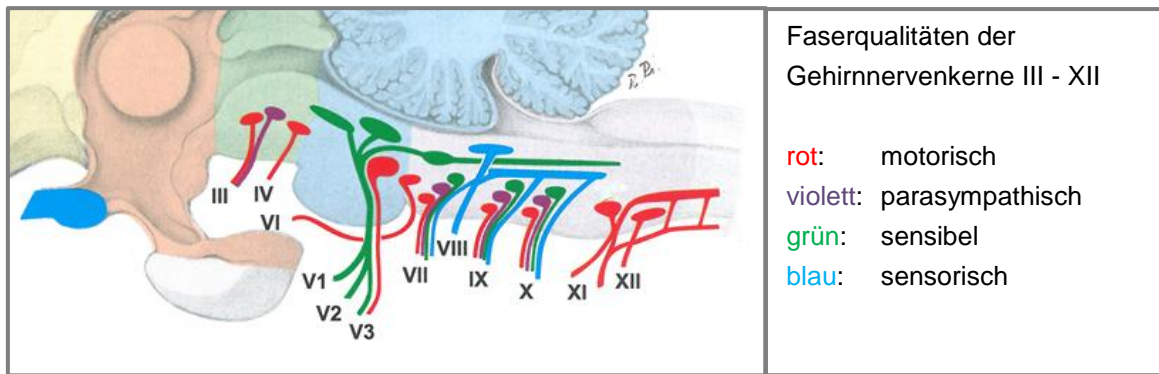


Abb. 2.5 Lage der Gehirnnervenkerne und deren Faserqualitäten, modifiziert nach BUDRAS und WÜNSCHE (2002)

Ein weit verbreiteter Test besteht in der Prüfung des Corneal- und Lidschlussreflexes. Beteiligt sind die *Nervi V* und *VII*. Werden Nozizeptoren in der Cornea mechanisch stimuliert, wird der Reiz über den *N. ophthalmicus V1* zum *Ganglion nervi trigemini* und von dort zum sensiblen Trigeminskern im *Metencephalon* geleitet. Dort besteht eine Verbindung zum kaudal gelegenen Fazialiskern. Über den *N. facialis VII* wird ein motorischer Impuls zu den Lidmuskeln gesendet, der den Lidschluss auslöst (VANDEVELDE et al. 2001). Abb. 2.6 stellt diesen Reflexbogen schematisch dar.

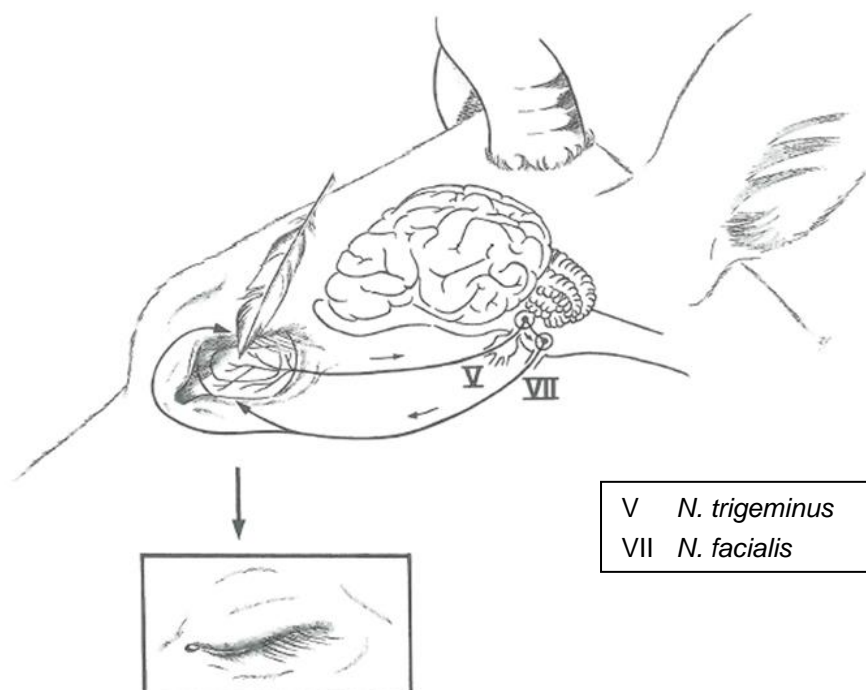


Abb. 2.6 Schematische Darstellung des Cornealreflexes, modifiziert nach VANDEVELDE et al. (2001)

Außer Lid- und Gesichtsmuskulatur innerviert der *N. facialis VII* auch die Ohrmuskulatur (vgl. Tab. 2.2). Ein erhaltener Ohrtonus kann ein Hinweis auf einen intakten Fazialisnerv und -kern sein.

Die *Nn. oculomotorius III, trochlearis IV und abducens VI* innervieren die Augenmuskeln. Augenbewegungen werden durch obere Motoneurone vom zerebralen *Kortex* und durch vestibuläre Hirnstammreflexe kontrolliert (OLIVER et al. 1997). Die Kerne der *Nn. oculomotorius III* und *trochlearis IV* liegen im *Mesencephalon*, der Kern des *N. abducens VI* mit räumlichem Abstand im *Myelencephalon*. Fällt von diesen dreien nur der kaudal gelegene *N. abducens VI* aus, welcher den *M. rectus lateralis* innerviert, rotiert der Bulbus, ähnlich wie in Abb. 2.7, nach rostral (OLIVER et al. 1997, VANDEVELDE et al. 2001).



Abb. 2.7 Bulbusrotation nach rostral bei funktionellem Ausfall des *N. abducens VI*

Für koordinierte Augenbewegungen müssen alle Nerven samt ihren *Nuclei* intakt sein, sowie die Bahnen über die die Koordination verläuft: der mediale longitudinale *Fasciculus*, welcher durch das Zentrum des Hirnstamms verläuft (OLIVER et al. 1997).

Als Nystagmus werden unwillentliche, rhythmische Augenbewegungen bezeichnet, welche durch einen zentralen (Hirnstamm-) oder peripheren vestibulären Defekt ausgelöst werden können (OLIVER et al. 1997).

Die Pupillenweite wird über sympathische und parasympathische Fasern gesteuert. Die sympathische Innervation hat ihr Zentrum in den ersten Thorakalsegmenten des Rückenmarkes. Deren Fasern verlassen das Rückenmark im Bereich des *Plexus brachialis* und laufen via Halssympathikus, kranialem Zervikalganglion, Innenohr und *N. ophthalmicus V1* zur Iris. Dort innervieren sie den *M. dilatator pupillae* und führen zu einer Mydriasis (Pupillendilatation). Der *M. sphincter pupillae* wird parasympathisch von

Fasern des *N. oculomotorius III* innerviert und bewirkt eine Miose (Pupillenkonstriktion) (VANDEVELDE et al. 2001).

Läsionen des rechten oder linken *N. oculomotorius III* verursachen einseitig eine (auf Licht) reaktionslose Pupille (Anisokorie). Dies kann sowohl durch direkte mechanische Zerstörung oder Kompression des Nervs am *Tentorium cerebelli* bei einem Druckanstieg in der Schädelhöhle – beispielsweise durch Hämorrhagien – der Fall sein. Selten kann diese Form auch beidseitig auftreten (OLIVER et al. 1997). Typisch für beidseitig dilatierte, reaktionslose Pupillen ist ein Hirnstammdefekt, bei welchem die sehr nah beieinander liegenden parasymphatischen *Nuclei* beider *Nervi III* beschädigt wurden (OLIVER et al. 1997). Sind durch ein Trauma im Mittelhirn sowohl die parasymphatische als auch die sympathische Leitungsbahn betroffen, findet man reaktionslose balkenförmige Pupillen vor (OLIVER et al. 1997).

Einige Autoren halten eine entspannte, aus dem Maul hängende Zunge für eines von vielen Indizien für eine gute Betäubungseffektivität (BSI 2013, EFSA 2013a, GRANDIN 2010, GREGORY 2007). Hierbei sind der *N. hypoglossus XII* für die Zungenmotorik und der *N. mandibularis V3* für die Innervation der Kaumuskulatur beteiligt.

Der *N. accessorius XI* innerviert Teile der Halsmuskulatur. Bei seitlichem, ventralem oder dorsalem Krümmen im Halsbereich an der Entbluterohrbahn kann von einem vollständigen Ausfall dieses Nervs nicht ausgegangen werden.

2.3.5 Atmungszentrum

Das Atmungszentrum liegt in der *Medulla oblongata* und wird von zwei Gruppen von Neuronen gebildet, die jeweils inspiratorisch oder expiratorisch wirken. Afferente Bahnen von den Lungendehnungsrezeptoren verlaufen im *N. vagus X* zum Atmungszentrum, efferente Bahnen von dort über das Rückenmark zur Atemmuskulatur. Neben den Potenzialen der Lungendehnungsrezeptoren spielen Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidpartialdruck sowie übergeordnete Zentren (*Kortex*, Limbisches System und *Hypothalamus*) eine Rolle bei der Regulation der Atembewegungen (VON ENGELHARDT und BREVES 2005).

Obwohl die *Medulla oblongata* bei adulten Rindern vom Schussbolzen primär oft nicht erreicht wird (KOHLEN 2011, PAULSEN et al. 2001), kann die sich ausbreitende Druckwelle eine Herniation von Hirnmasse durch das *Tentorium cerebelli* und das *Foramen magnum* herbeiführen (OLIVER et al. 1997). Die dadurch ausgelöste Kompression des Atemzentrums führt in der Regel zu Atmungsstörungen bzw. einer vollständigen *Apnoe* (OLIVER et al. 1997).

3 Tiere, Material und Methoden

3.1 Schlachtbetrieb

Die Untersuchungen an der Betäubungsanlage wurden in einem kommerziellen Schlachtbetrieb in Nordrhein-Westfalen unter Feldbedingungen durchgeführt. Geschlachtet wurden ausschließlich Jungbullen und Kälber, sowie – räumlich von den Rindern getrennt – Schweine. Die durchschnittliche Schlachtgeschwindigkeit bei den Bullen betrug 61 - 63 Tiere pro Stunde. Zur Zeit der Datenaufnahme wurden täglich zwischen 200 und 430 Bullen geschlachtet.

3.2 Zeitraum der Datenaufnahme

Die Untersuchungen erfolgten an insgesamt 39 Tagen von August 2013 bis Januar 2014. Erhoben wurden die Daten in vier Abschnitten à zwei Wochen. Dem Beginn der Studie gingen drei Tage Einarbeitungszeit voraus, um die räumlichen und zeitlichen Abläufe im Schlachtbetrieb vor Ort kennenzulernen und somit die Datenaufnahme bestmöglich zu gestalten.

3.3 Tiere

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 10.154 Jungbullen hinsichtlich der Betäubungsqualität untersucht.

Aus den Rinderpassdaten, die vom Schlachthofbetreiber zur Verfügung gestellt wurden, konnte mittels Schlachtbandnummer für jedes Rind das genaue Alter und die Rasse ermittelt werden. Da die Schlachtbandnummer des Betreibers nicht immer zuverlässig mit den laufenden Nummern der Terminals synchron lief, konnten an den ersten drei Tagen die Daten nicht mit der nötigen Sicherheit zugeordnet werden. Fortan wurden zusätzlich Rasse und stichprobenartig die Ohrmarkennummer zum Abgleich handschriftlich notiert. Das durchschnittliche Alter der Tiere lag bei 604 Tagen ($n = 9537$; $sd = 58$ Tage).

Mit 27 verschiedenen Rinderrassen stellte sich der Phänotyp vom kleinrahmigen kompakten Fleischrind bis zum großrahmigen eher hageren Milchrind sehr vielfältig dar: Mit 54 % bildete die Rasse Fleckvieh mit Abstand den größten Anteil, gefolgt von Braunvieh mit 13 %, Fleischrindkreuzungen mit 9 %, Schwarzbunten mit 5 % und Kreuzungen aus Fleischrind und Milchrind mit 4 %. Von 6 % der 10.154 Tiere konnte aufgrund von Schwierigkeiten mit der Nachvollziehbarkeit oder fehlender Angaben im Rinderpass die Rasse nicht sicher dokumentiert werden. Abb. 3.1 beinhaltet eine grafische Darstellung der am häufigsten aufgetretenen Rinderrassen. Eine detaillierte Auflistung aller Rinderrassen findet sich im Anhang (Tab. 9.1).

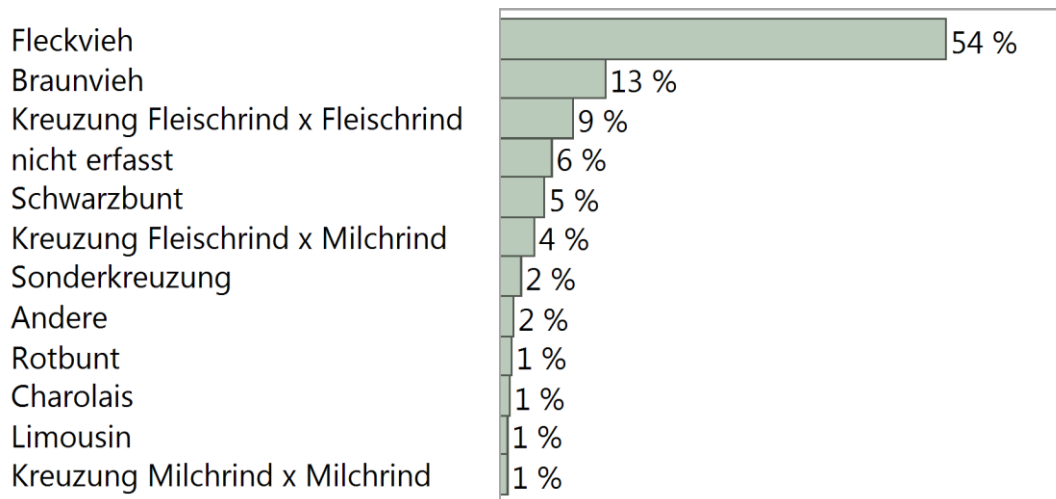


Abb. 3.1 Relative Häufigkeit der untersuchten Rinderrassen

3.4 Betäubungspersonal

Während der Datenerhebung waren alternierend insgesamt neun Personen mit der Bolzenschussbetäubung der Rinder betraut. Davon betäubten fünf Personen (Betäuber A - E) mehr als hundert Tiere. Diese wurden für eine weitergehende Auswertung herangezogen. Betäuber C war der routinemäßig eingesetzte Arbeiter an dieser Position, der zwei- bis dreimal täglich für 15 - 20 Minuten von einem anderen Betäuber abgelöst wurde.

3.5 Betäubungsanlage

Die in den eigenen Untersuchungen verwendete Betäubungsanlage setzte sich, wie in Abb. 3.2 und Abb. 3.3 schematisch dargestellt, aus mehreren miteinander verbundenen Bestandteilen zusammen. Die Grundlage für die Anlage stellte eine Betäubungsfalle der Firma Banss dar. Diese war auf vier Wiegezellen gelagert, die nach Eintritt eines Tieres in die Falle eine Messung starteten. Über einen Druckschalter an der Luftleitung des pneumatischen Bolzenschussgerätes wurde der Schusszeitpunkt registriert. Auf einem zentralen Server liefen die Wiegedaten und das Signal vom Betäubungsgerät zusammen. Anschließend wurde auf einem Bildschirm am Landerost (Terminal 1) für das jeweilige Tier der Verlauf der Wiegeaufzeichnungen von ca. einer Sekunde vor bis ca. vier Sekunden nach dem Bolzenschuss angezeigt und abgespeichert. An diesem Terminal wurden die am Tier erhobenen Befunde zur Betäubungseffektivität direkt nach dem Auswurf eingegeben. Eine Etage höher, an der Entbluterohrbahn, wurden von einer zweiten Person zum Zeitpunkt des Stechens und Blutentzugs weitere Kriterien zur Betäubungsqualität erfasst und in Terminal 2 eingegeben (Abb. 3.3). Gemeinsam wurden für jedes Tier die entsprechende Wiegekurve mit einer Kennzeichnung des Schusszeitpunktes und alle erfassten Parameter zur Betäubungseffektivität über einen

zentralen Server in einer Datenbank gespeichert. Über ein automatisiertes System wurden die Daten täglich per E-Mail versendet und standen so der Untersucherin für eine Auswertung zur Verfügung.

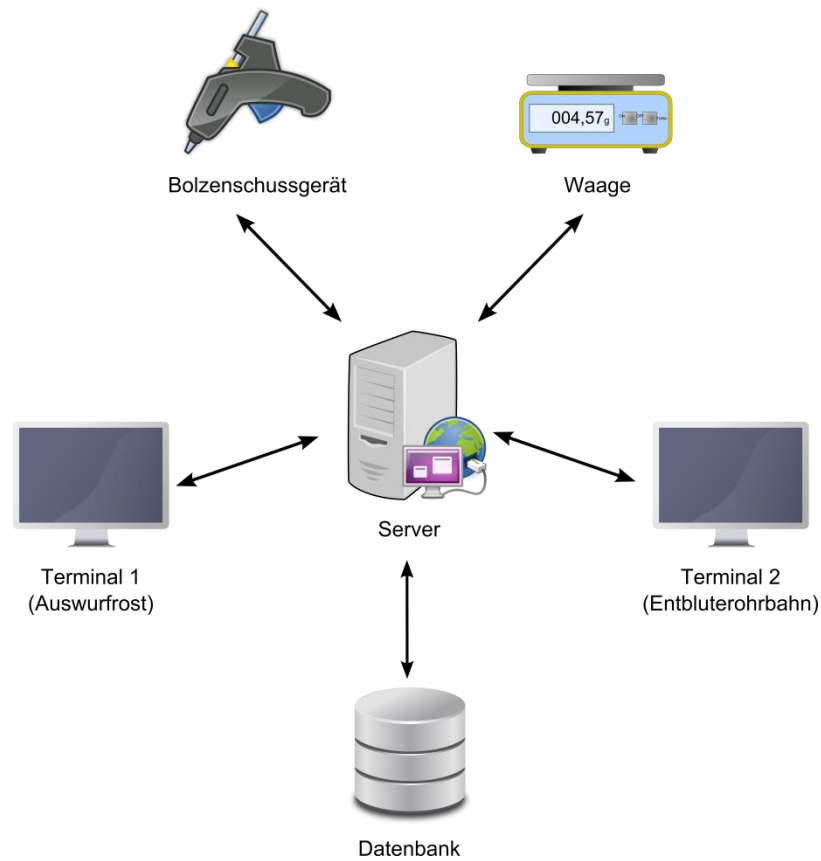
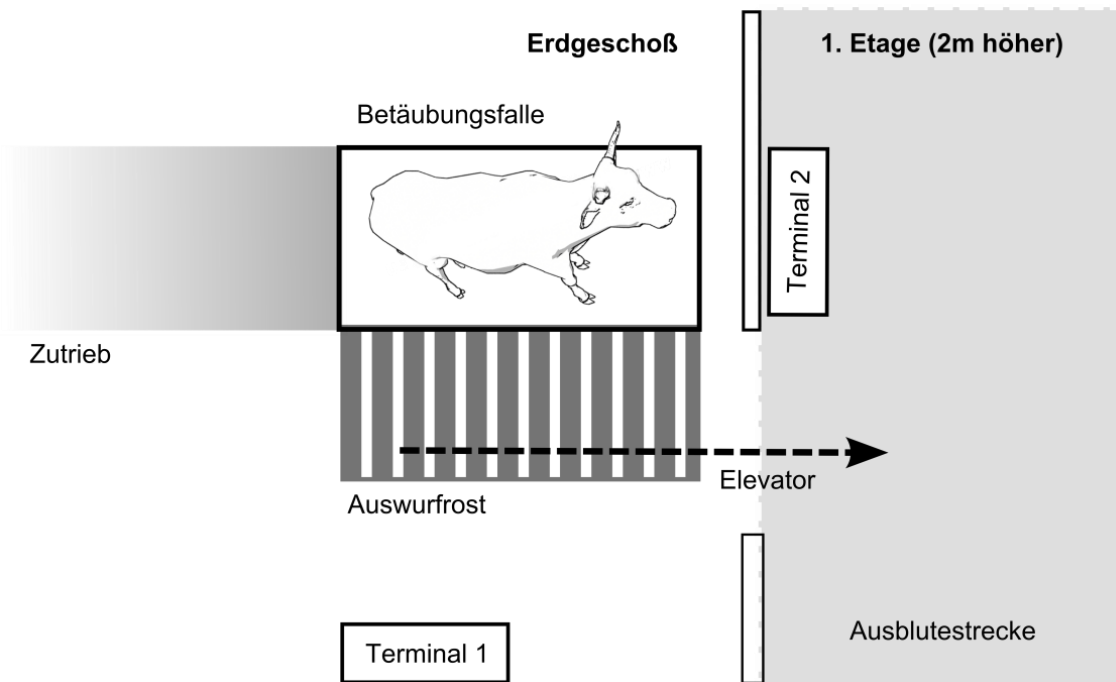


Abb. 3.2 Schematische Darstellung der einzelnen Bestandteile der Betäubungsanlage und deren Kommunikation mit dem zentralen Server



**Abb. 3.3 Schematische Darstellung des räumlichen Versuchsaufbaus
(nicht maßstabsgetreu)**

3.5.1 Betäubungsfalle

Bei der verwendeten Betäubungsfalle handelte es sich um das Produkt BRF II Hy (Firma Bann, Biedenkopf). Der Innenraum der Falle betrug 2,95 m x 0,8 m. Die Standfläche bestand aus einer trittsicheren massiven Gummieinlage. Die Boxenwände waren mit stabilen grünen Kunststoffplatten ausgekleidet. An der Kopfseite der Betäubungsbox befanden sich zur Kopffixierung eine Kopfauflage und ein Nackenjoch aus Edelstahl. Alle beweglichen Elemente der Betäubungsanlage wurden hydraulisch angetrieben. Die maximale Stundenleistung dieser Anlage beträgt laut Herstellerangaben hundert Tiere pro Stunde.

Über einen 36 m langen und 93 cm breiten Treibgang wurden die Tiere zunächst vom Stallbereich zum Eingang der Betäubungsfalle geleitet. Nach Passieren einer doppelten Einlaufftüre wurden beide Elemente auf Knopfdruck zeitgleich geschlossen. Nach einem weiteren Knopfdruck fuhren die Kopfauflage und das Nackenjoch gleichzeitig in horizontaler Richtung an das Tier heran, anschließend konnte die Kopffixierung individuell für jedes Rind am Schaltpult in vertikaler Richtung feinjustiert werden (Abb. 3.4). Nach erfolgter Betäubung brachen die Tiere in der Regel in eine hundesitzige Stellung zusammen, während der Kopf noch für kurze Zeit fixiert blieb. Danach erst wurde die Kopffixierung gelöst. Nach ca. 10 s öffnete sich die rechte Boxenwand und das Tier wurde über einen Kippmechanismus auf den Auswurfrost ausgeworfen, angeschlungen und über einen Elevator zum Entbluten hochgezogen (Abb. 3.5).



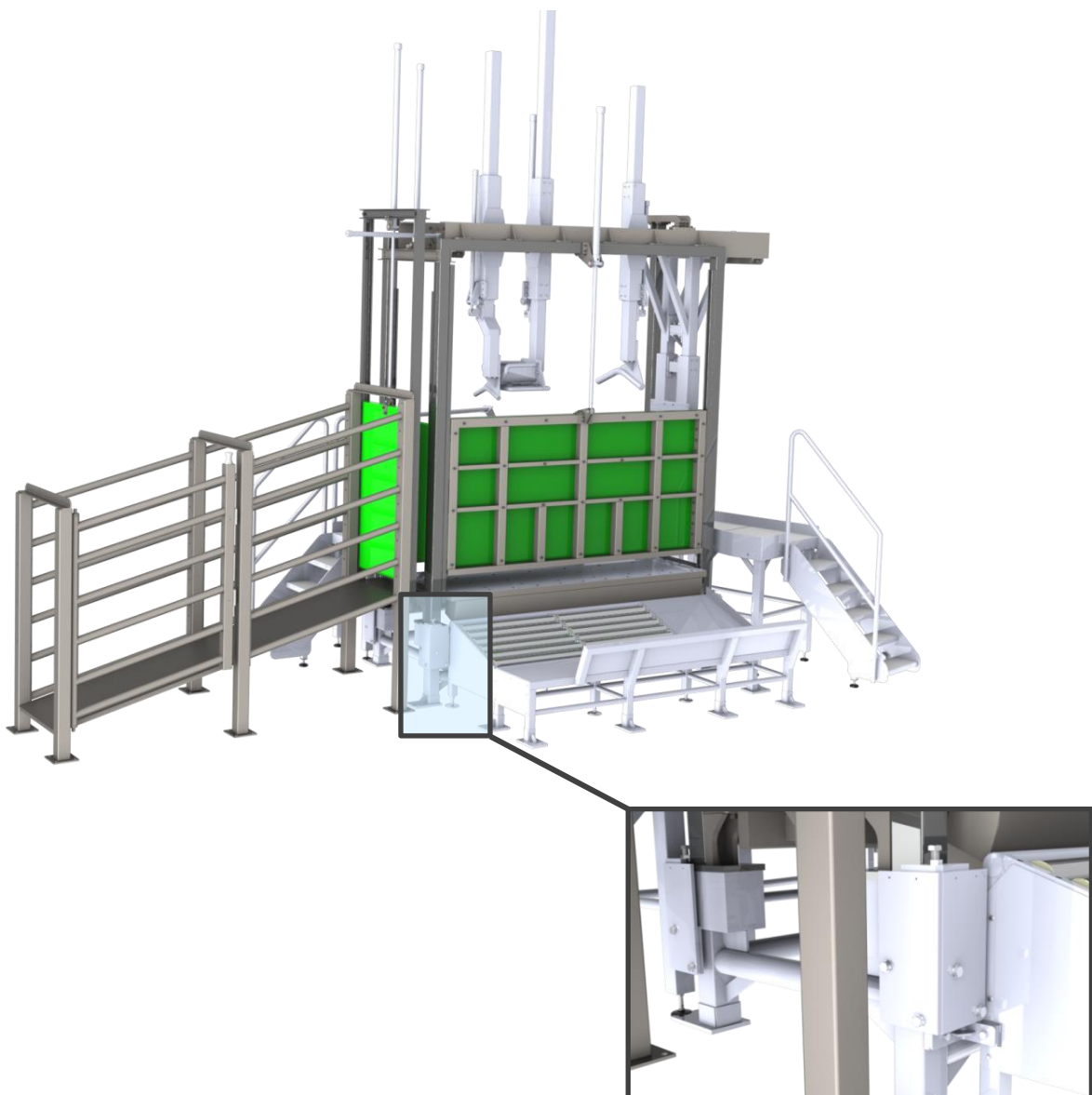
Abb. 3.4 Kopffixierung mittels Nackenjoch und horizontaler Kopfauflage



Abb. 3.5 Betäubungsfalle bei geöffneter Seitenwand mit Kippboden, Auswurfrost und Kopffixierungselementen

3.5.2 Waage

Die integrierte Waage bestand aus vier separaten Wiegezellelementen des Typs RTN 10T C3 (Firma Bizerba, Balingen). Wie in Abb. 3.6 zu sehen, befanden sich diese Wiegezellen unter dem Grundrahmen der Betäubungsbox. Sobald die Einläuftüren hinter einem Tier geschlossen worden sind, startete eine Messung. Abgespeichert wurden die Wiegedaten eines jeden Tieres vom Zeitpunkt eine Sekunde vor bis circa vier Sekunden nach dem Betäubungsschuss, da das Zeitintervall vom Eintritt eines Tieres in die Box bis zu dessen Auswurf auf den Landerost individuell variierte. Von jedem Tier wurden somit etwa 150 Messpunkte im Abstand von 30 ms abgespeichert. Jeder Punkt wurde einer genauen Uhrzeit zugeordnet.



© Banns, Biedenkopf

Abb. 3.6 Betäubungsfalle BRF II Hy (Firma Banns, Biedenkopf) mit Detailansicht der Wiegezellen

3.5.3 Bolzenschussgeräte

Betäubt wurden die Bullen mit dem Druckluft-Bolzenschussgerät USSS-1 (Firma Jarvis, Middletown, CT, USA; Abb. 3.7). Angeschlossen war das Gerät an einen separaten Kompressor, der sich in einem abgetrennten Raum neben der Betäubungsanlage befand. Der Luftdruck betrug vor dem Auslösen eines Schusses 17 bar und sank danach kurzfristig auf etwa 14 bar ab. Die Bolzenaustrittslänge war mit 97,5 mm bemessen, der Bolzendurchmesser mit 12 mm. Die durchschnittliche Austrittsgeschwindigkeit des Bolzens belief sich laut Herstellerangaben für einen Bolzendurchmesser von 15,9 mm auf 70 m/s. Für den verwendeten, geringfügig leichteren 12-mm-Bolzen lagen der Untersucherin keine Angaben zur Bolzenaustrittsgeschwindigkeit vor. Gemäß Arbeitsanweisung des Schlachthofs sollte der Schusspunkt „etwas über dem Kreuzungspunkt zweier gedachter Linien zwischen Augenmitte und Mitte des gegenüberliegenden Hornansatzes liegen“ und das Gerät senkrecht zur Schädeloberfläche aufgesetzt werden (Abb. 3.8).



Abb. 3.7 Pneumatisches Bolzenschussgerät USSS-1 (Firma Jarvis, Middletown, CT, USA)



Abb. 3.8 Korrekter Ansatzpunkt des Bolzenschussgerätes am Rinderschädel

An der Luftleitung des Bolzenschussgerätes war ein Drucksensor (Typ PI2793, Firma ifm electronic GmbH, Essen) angeschlossen, der durch den plötzlichen Druckabfall in der Luftleitung bei Auslösen eines Schusses den Zeitpunkt der Betäubung signalisierte und diesen an den zentralen Server sendete.

Zur Nachbetäubung von Tieren außerhalb der Betäubungsfalle lag in greifbarer Nähe das patronenbetriebene Bolzenschussgerät Matador Super Sécurité 3000 (Firma Termet, Champagne, Frankreich) mit schwarzen Kartuschen bereit. Zu Beginn der Studie betrug die Bolzenlänge 90 mm (+/- 2 mm) und die Austrittsgeschwindigkeit laut Hersteller durchschnittlich 52 m/s. Zu einem späteren Zeitpunkt (nach der ersten Messperiode) wurde der Bolzen durch einen 100 mm langen Bolzen (+/- 2 mm) ausgetauscht.

3.5.4 Eingabeterminals

Die zwei verwendeten Eingabeterminals waren Geräte der Firma SLA, Quakenbrück. Es handelte sich dabei um robuste *Touchscreen*-Bildschirme, die routinemäßig im Schlachthofbereich zum Einsatz kommen. Terminal 1 befand sich in unmittelbarer Nähe zum Auswurfrost der Betäubungsfalle, Terminal 2 am Beginn der Rohrbahn, wo die Tiere entblutet wurden (vgl. Abb. 3.3).

Der Bildschirm direkt neben dem Auswurf (Terminal 1, Abb. 3.9) zeigte, sobald sich die seitliche Boxenwand öffnete, die aktuelle Wiegekurve des eben betäubten Tieres an. Der vertikale rote Strich symbolisierte den Zeitpunkt des Schusses. Oben links befanden sich die laufende Schlachtnummer, Datum und Uhrzeit. Oben rechts ließen sich Ruhegewicht (gemessen vor Auswurf des Tieres), sowie Gewichtsmaximum und -minimum ablesen.

Die Eingabebuttens für die Befunde hinsichtlich der Betäubungsqualität waren auf der rechten Bildschirmseite angeordnet. Der genaue Textinhalt kann nachfolgend Tab. 3.1 und Tab. 3.2 entnommen werden. War ein Tier tadellos betäubt, wurde für alle Parameter automatisch die Antwort „Nein“ (rot) abgespeichert. Traten Anzeichen mangelhafter Betäubung auf, wurden diese vom Untersucher mit „Ja“ (grün) markiert. Konnte aufgrund mangelnder Zugänglichkeit, Sicht oder Unklarheit über den Befund keine eindeutige Entscheidung getroffen werden, wurde „Nicht beurteilbar“ (gelb) gewählt.



© SLA, Quakenbrück

Abb. 3.9 Terminal 1 am Auswurfrost mit Wiegekurve (links) und Eingabe der Befunde (rechts; Text siehe Tab. 3.1)

Auf dem zweiten *Touchscreen*-Bildschirm am Entbluteplatz (Terminal 2, Abb. 3.10) wurde die identische Kopfzeile angezeigt, die Befundparameter waren jedoch andere. Eine detaillierte Beschreibung aller Befundparameter folgt in Kapitel 3.5.

Betäubungsüberwachung Rind Entbluterohrbahn

Zyklus Status

Schlachtnummer: 244
 Status: loaded
 Schlachtdatum: 20.05.2014 09:48:38

Gewichtsdaten

Ruhegewicht: 794
 Gewichtsbereich max: 2014
 min: 240

Befund

Aktives Hochziehen	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Wiederkehrende, regelm. Atmung	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Augenbewegung / Lidschlag	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Vokalisation	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Zungentonus	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Ohrentonus	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Schwanztonus	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Deutliche Reaktion auf Entblutestich	JA	NEIN	Nicht beurteilbar
Auffällig	JA		
Bewertet	JA		
	WEITER		

© SLA, Quakenbrück

Abb. 3.10 Terminal 2 an der Entbluterohrbahn (Text siehe Tab. 3.2)

3.6 Klinisch-neurologische Befunderhebung

Zur Beurteilung des Betäubungserfolges wurden alle an der Studie beteiligten Tiere anhand von 21 Parametern hinsichtlich der Betäubungstiefe bewertet. Diese wurden von zwei Positionen (Terminal 1 und 2) aus erfasst. Bei der Befunderhebung an Position 2 wirkten im Laufe des Versuchs drei verschiedene Assistenten mit. An Position 1 arbeitete stets die gleiche Person. Beurteilt wurden hauptsächlich in der Praxis erprobte und bewährte Parameter, wie sie auch in einschlägiger Literatur und praktischen Leitlinien empfohlen werden (vgl. Kapitel 2.2.5). Zusätzlich wurden jedoch auch weniger etablierte Kriterien untersucht, wie die Form der Pupille, etwaige Restatmung und die Reaktion auf den Entblutestich. Eine Übersicht sowie eine detaillierte Beschreibung der untersuchten Parameter bieten Tab. 3.1 und Tab. 3.2.

Tab. 3.1 Parameter zur Beurteilung des Betäubungserfolgs an Terminal 1

Eingabefeld Terminal 1	Erläuterung
Kein sofortiges Niederstürzen nach dem Schuss	Tier bricht nach dem erstem Schuss nicht sofort zusammen, sondern bleibt stehen
Keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur	Tier zeigt nicht die für eine Bolzenschussbetäubung typische Verkrampfung mit unter den Rumpf gezogenen Hintergliedmaßen und gestreckten Vordergliedmaßen
Regelmäßige Atmung	Tier weist deutliche regelmäßige Atmung auf, sichtbar an Nasenlöchern und/oder Maulbewegungen
1-4 Atemzüge*	Bei Vorhalten der bloßen Hand sind bis zu vier Atemzüge/Luftströme spürbar
Lautäußerung	Tier gibt Laute wie Brüllen, Schreien, Grunzen oder Stöhnen von sich
Cornealreflex auslösbar	Bei Berühren der Cornea mit einem Finger ist ein Zurückziehen des Bulbus und/oder ein Lidschlag auslösbar
Nystagmus (Augenzittern)	Rhythmische, i. d. R. horizontale Bewegungen des Bulbus
Bulbusrotation	Eindrehen des Bulbus i. d. R nach nasal/medial; verschiedene Ausprägungsgrade
Keine runde, dilatierete Pupille	Pupille ist nicht maximal geweitet (rund), sondern balkenförmig; meist nur Beurteilung eines Auges (links) möglich
Pupille schlitzförmig*	Pupille ist zu schmalen Schlitz verengt; meist nur Beurteilung eines Auges (links) möglich
Nachbetäubung	Tier wird einmal oder mehrmals mit pneumatischem Gerät in der Betäubungsbox oder mit Handgerät auf dem Rost oder hängend an der Rohrbahn nachbetäubt
Gerichtete Augenbewegung	Tier bewegt Augen kontrolliert/Umherschauen, welches anscheinend bewusst geschieht
Deutliche Erregung vor Schuss	Springen, "sich Wehren", Bocken, Stampfen in der Falle (zwischen Schließen der Einlauffür und Schuss)
Auffällig	Optional bei bemerkenswerten Befunden oder auffälligen Kurven

*Parameter wurden erst ab Tier 2.173 erfasst

Tab. 3.2 Parameter zur Beurteilung des Betäubungserfolgs an Terminal 2

Eingabefeld Terminal 2	Erläuterung
Bewertet*	Wird automatisch aktiviert, wenn Beanstandung an Terminal 2 eingegeben
Aktives Hochziehen	Tier hängt nicht gerade und schlaff an der Rohrbahn, sondern ist deutlich seitlich oder nach vorne gekrümmt
Wiederkehrende regelmäßige Atmung	Deutliche Atembewegungen an Nasenlöchern und/oder Maul sichtbar
Augenbewegung/Lidschlag	Gerichtete oder ungerichtete Augenbewegungen und/oder Lidschlag sichtbar
Vokalisation	Tier gibt Laute wie Brüllen, Schreien, Grunzen oder Stöhnen von sich
Zungentonus	Zunge hängt nicht entspannt aus dem Maul heraus, sondern verbleibt im Maul
Schwanztonus	Schwanz hängt nicht entspannt herab, sondern ist partiell oder komplett angespannt und steht vom Tierkörper ab
Ohrtonus*	Ohren hängen nicht entspannt herab, sondern sind gespannt und nach kaudodorsal gerichtet
Deutliche Reaktion auf Entblutestich	Deutliches Krümmen v. a. des Vorderkörpers und/oder Kopfes beim Entblutestich, sowie starke Abwehrreaktionen
Auffällig	Optional bei bemerkenswerten Befunden

*Parameter wurden erst ab Tier 2.173 erfasst

3.7 Entblutung und „stun-to-stick“-Intervalle

Alle Tiere wurden am linken Hinterbein hängend mit Hilfe eines Stechhohlmessers entblutet. Es standen zwei dieser Hohlmesser zur Verfügung, die im Wechsel eingesetzt wurden. Angestrebt wurde eine maximale Eröffnung der herznahen Gefäße (*Truncus brachiocephalicus* und *Vena cava cranialis*). Vor dem Blutentzug wurde ein Hautschnitt mit einem separaten Messer an der *Apertura thoracis* durchgeführt.

Die Zeitintervalle zwischen Betäubungsschuss und Blutentzug („stun-to-stick“-Intervall) wurden mit einer Stoppuhr gemessen und notiert. Gestoppt wurde immer ab dem ersten Betäubungsversuch. Aufgrund der hohen Schlachtgeschwindigkeit konnte nur von etwa 60 % (n = 5957) der Tiere das sogenannte „stun-to-stick“-Intervall erfasst werden.

3.8 Datenmanagement und statistische Auswertung

Zur Datenverwaltung und -aufbereitung sowie in Teilen zur Ergebnisdarstellung wurde die Software Excel (Office Professional Plus 2010, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) verwendet.

Um die umfangreiche Anzahl von erfassten Tieren mit ihren jeweils individuellen Befundkombinationen und Wiegeprotokollen bearbeiten und statistisch auswerten zu können, wurde zunächst jedes Tier anhand seiner Befunde einer Gruppe zugeordnet, die dem Grad der Betäubungsqualität entsprach (die Wirkung des ersten Betäubungsschusses war tadellos, ausreichend, fraglich, mangelhaft oder fehlend). Diese Einteilung entstand nach eingehender Literaturrecherche (vgl. Kapitel 2.2.5) und stellte die Basis der Auswertung dar.

Um die Wiegeprotokolle aller Tiere miteinander vergleichen zu können, mussten die leicht schwankenden Messintervalle auf eine einheitliche Zeitskala transferiert werden. Dies wurde mithilfe einer Glättungsfunktion (Proc LOESS, SAS 9.4) erreicht, welche die gemessenen Originalwerte beibehält und dazwischenliegende Werte für die exakten 30-ms-Intervalle interpolierte. Der Schusszeitpunkt entsprach der Sekunde 0. Die Zeitspanne vor dem Schuss wurde von Sekunde -0,9 bis 0, die Zeitspanne danach von Sekunde 0 bis 3,9 angegeben. Außerdem wurde von jedem Tier das Ruhengewicht aus dem Median der Gewichte vor Sekunde 0 berechnet. Die Gewichtskurven wurden standardisiert, indem alle Gewichtsmessungen durch das Median-Ruhengewicht des jeweiligen Tieres geteilt wurden. Diese Datenvorbereitung wurde mithilfe der Software SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) in Zusammenarbeit mit Dr. Michael Judas, MRI Kulmbach, durchgeführt.

Zu Beginn der Auswertungen wurden die Wiegekurven zunächst visuell auf markante Unterscheidungsmerkmale hin untersucht. Eine weitergehende Analyse der Wiegeprotokolle bezüglich ihres Informationsgehaltes zur Betäubungsqualität erfolgte mittels dreier Verfahren aus der multivariaten Statistik.

Mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse (principal component analysis, PCA, Programm geschrieben von Dr. Rico Scheier, Universität Bayreuth, in LabVIEW 2009, National Instruments, Austin, TX, USA) lassen sich Punkte in einem n-dimensionalen Raum durch eine orthogonale lineare Transformation auf wenige wichtige Muster (Hauptkomponenten oder *Loadings*) reduzieren. Im Falle der Wiegeprotokolle sind diese Punkte durch die Gewichtswerte zu verschiedenen Zeitpunkten definiert. Durch die Reduzierung dieser Variablen auf einen zweidimensionalen Raum, lässt sich grafisch veranschaulichen, ob sich die Kurvenverläufe signifikant unterscheiden, indem nach einer Auftrennung entsprechend der Betäubungsqualität gesucht wird. In der Folge wird jedes Wiegeprotokoll als transformierter Punkt in einem neuen Koordinatensystem angegeben, welches durch die Koordinaten der Hauptkomponenten (auch *Scores*) definiert wird.

Lassen sich diese Punkte optisch voneinander trennen, ist eine Klassifikation der Betäubungsqualität anhand der Wiegeverläufe möglich. Bei einer Überlagerung ist dies bedingt oder gar nicht möglich. *Loadings* geben Aufschluss über den Einfluss der Variablen für die Auftrennung. Mathematisch gesehen sind es die Werte, mit denen die Originaldaten multipliziert werden müssen, um die *Score*-Werte zu erhalten. Die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte in Excel.

Aufbauend auf den Ergebnissen der PCA wurde, ebenfalls in Excel, eine Diskriminanzanalyse durchgeführt. Hierbei wurde mithilfe einer Kovarianzmatrix die *Mahalanobis-Distanz* eines Punktes (entsprechend einem Tier) zum Schwerpunkt der Punktwolken der entsprechenden Gruppen berechnet. Diese Methode erlaubt es, zwei oder mehrere nominale Gruppen (in diesem Falle Betäubungsqualität) mit mehreren metrischen Merkmalen (*Scores*) zu unterscheiden und die grafisch dargestellten Ergebnisse der PCA quantitativ auszudrücken.

Ein ähnliches Ziel verfolgt die *partial least squares*-Regression (PLS) (SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Zwischen den Hauptkomponenten der unabhängigen Variablen (standardisierte Gewichtswerte pro Zeit) und der abhängigen Variablen (Vorhersage zur Betäubungsqualität) wird eine lineare Regression berechnet. In einem iterativen Verfahren (mehrmalige Durchführung der Tests) werden die Ergebnisse der PLS optimiert. In einer Gegenüberstellung von tatsächlichen und vorhergesagten Werten lässt sich die Sensitivität und Spezifität dieses Systems darstellen. Die Ergebnisdarstellungen der PLS-Regression erfolgten in JMP® 11 (SAS Institute Inc. 2013, Cary, NC, USA).

Die Durchführung der Hauptkomponenten- und Diskriminanzanalyse erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Rico Scheier, Universität Bayreuth. Die PLS-Regression wurde in Kooperation mit Dr. Michael Judas, MRI Kulmbach erstellt.

Weitergehende Informationen zu den genannten Verfahren können dem Buch *Multivariate Data Analysis* (ESBENSEN 2006) entnommen werden.

Die statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse zu den Befundparametern erfolgte ebenfalls in JMP® 11 (SAS Institute Inc. 2013, Cary, NC, USA). Nominale Daten wurden mit dem exakten *Fisher*-Test deskriptiv ausgewertet. Hierbei wurden verschiedene Befundparameter miteinander, als auch deren relative Häufigkeit bei gut und unzureichend betäubten Tieren verglichen. Lag eine einseitige Erwartungshaltung vor, wurde auch der einseitige *Fisher*-Test durchgeführt, wodurch die Teststärke im Vergleich zum zweiseitigen Test erhöht wird. Im Falle von metrischen Daten, wie dem Alter der Tiere oder den „stun-to-stick“-Intervallen wurde der *Wilcoxon*-Test angewendet, der vor allem bei nicht-normalverteilten Daten als besonders robust und zuverlässig gilt. Als statistisch signifikant galten Werte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (p) unter 5 %.

4 Ergebnisse

4.1 Einteilung der Tiere nach Betäubungswirkung

Die folgenden Auswertungen beruhen auf einer Einteilung der Tiere in Gruppen, welche die Effektivität der vorangegangenen Betäubung mit einem Schlagwort beschreiben. Tab. 4.1 stellt diese Einteilung vereinfacht dar. Eine ausführliche Grafik findet sich im Anhang (Tab. 9.2).

Tab. 4.1 Einteilung der Tiere nach Betäubungswirkung

Betäubung	Betäubungswirkung	Befundparameter
unzureichend	fehlend	Kein sofortiges Niederstürzen nach dem Schuss
	mangelhaft	Cornealreflex auslösbar Gerichtete Augenbewegungen Spontaner Lidschlag Regelmäßige Atmung Lautäußerung Augenbewegung/Lidschlag* Wiederkehrende regelmäßige Atmung* Vokalisation*
	fraglich	Bulbusrotation Nystagmus (Augenzittern) Keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur
gut	ausreichend	Keine runde, dilatierte Pupille Pupille schlitzförmig 1-4 Atemzüge Ohrtonus* Zungentonus* Schwanztonus* Aktives Hochziehen* Deutliche Reaktion auf Entblutestich*
		tadellos
	zusätzlich	Deutliche Erregung vor dem Schuss Nachbetäubung

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

Bei Tieren, die nach dem ersten Schuss nicht sofort niederstürzten, wurde die Betäubungswirkung als fehlend bezeichnet. Trat an Terminal 1 mindestens einer der Befunde „positiver Cornealreflex“, „gerichtete Augenbewegungen“, „spontaner Lidschlag“, „regelmäßige Atmung“ oder „Lautäußerung“ bzw. an Terminal 2 mindestens einer der

Befunde „Augenbewegungen/Lidschlag“, „wiederkehrende regelmäßige Atmung“ oder „Vokalisation“ auf, galt die Betäubungswirkung als mangelhaft. Als fraglich wurde die Betäubungswirkung definiert, wenn das Tier Bulbusrotation, Nystagmus und/oder keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur zeigte. Bei den Befunden „keine runde, dilatierte Pupille“, „Pupille schlitzförmig“, „1-4 Atemzüge“, „Ohrtonus“, „Zungentonus“, „Schwanztonus“, „Aktives Hochziehen“ und „deutliche Reaktion auf den Entblutestich“ handelt es sich um Parameter, deren Bedeutung unklar ist bzw. um Befunde die in einem Großteil der Literatur lediglich als „Hilfsparameter“ gelten. Die Betäubungswirkung wurde daher beim Auftreten von nur einem oder mehreren dieser Befunde zunächst als ausreichend bezeichnet und die Bedeutung dieser Parameter später genauer untersucht. Tiere, die keinerlei Befunde aufwiesen, galten als tadellos betäubt. Des Weiteren wurde die Erregung der Tiere in der Betäubungsfalle vor dem Schuss beurteilt und eventuelle Nachbetäubungen notiert, ohne dass diese zur Einteilung der Tiere unmittelbar beitrugen. Die Beurteilung der Betäubungseffektivität bezog sich immer auf den ersten Betäubungsversuch. Für die Zuordnung zur entsprechenden Gruppe war jeweils der schwerwiegendste Befund entscheidend (in der Tabelle tendenziell absteigend). Konnten ein oder mehrere Befunde aufgrund undeutlicher Ausprägung oder mangelnder Sicht nicht beurteilt werden, konnte dies zur Folge haben, dass dasjenige Tier einer Gruppe nicht sicher zugeteilt werden konnte. Dieser Anteil ist in der folgenden Tabelle (Tab. 4.2) mit einem Fragezeichen gekennzeichnet. In der Regel wurden fraglich und mangelhaft betäubte Tiere nachbetäubt, sowie alle Tiere mit fehlender Betäubungswirkung. Bei Tieren, die unmittelbar in der Betäubungsfalle nachbetäubt wurden, konnte die Betäubungswirkung – außer fehlendes Niederstürzen – nach dem ersten Betäubungsschuss aufgrund mangelnder Zugänglichkeit nicht beurteilt werden. Tab. 4.2 zeigt die numerische und prozentuale Verteilung der Jungbullen nach Betäubungswirkung.

Tab. 4.2 Verteilung der Tiere auf die definierten Gruppen nach Betäubungswirkung

Betäubungswirkung	N = 10.154	n	%
fehlend		34	0,3
fehlend?		3	0,0
mangelhaft		184	1,8
mangelhaft?		184	1,8
fraglich		412	4,1
fraglich?		22	0,2
ausreichend		8.342	82,2
ausreichend?		148	1,5
tadellos		752	7,4
keine Zuordnung möglich, da Nachschuss in Falle (ohne Tiere, die beim ersten Schuss nicht niederstürzten)		73	0,7

Fett gedruckt sind die für eine weitere Auswertung relevanten Gruppen

? = unsichere Zuordnung zu dieser Gruppe aufgrund fehlender Befundparameter

N = Größe der Stichprobe, n = Größe der Teilprobe

Den geringsten Anteil bildete die Gruppe von Tieren mit fehlender Betäubungswirkung (0,3 %), gefolgt von der Gruppe mit mangelhafter Betäubungswirkung (1,8 %). Eine fragliche Betäubungswirkung wiesen 4,1 % der Tiere auf. 7,4 % der 10.154 Jungbullen waren tadellos betäubt. Der größte Anteil mit 82,2 % wurde von Tieren mit ausreichender Betäubungswirkung gebildet. Insgesamt 107 Tiere wurden unmittelbar in der Betäubungsfalle nachbetäubt. Davon wurden 34 Tiere aufgrund fehlenden Niederstürzens der Gruppe „Betäubungswirkung fehlend“ zugeordnet, 73 Tiere konnten keiner anderen Gruppe zugeteilt werden, da zwischen erstem und zweitem Schuss kein Zugang zum Tier zur Prüfung der Parameter möglich war. Insgesamt 357 Bullen konnten aufgrund einzelner nicht beurteilbarer Parameter einer Gruppe nur mit Vorbehalt („?“) zugeordnet werden. Sie wurden in den folgenden Analysen der Wiegeprotokolle nicht berücksichtigt.

4.2 Analyse der Wiegeprotokolle

4.2.1 Visuelle Beurteilung der Wiegeverläufe

Die Aufzeichnungen des Wiegesystems unter der Betäubungsfalle stellen den Verlauf des Zusammenbrechens der Tiere nach der Betäubung in charakteristischer Weise dar. Zunächst steht das Tier mehr oder weniger ruhig in der Falle und wird fixiert. Nach erfolgter Betäubung kommt es innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde zu einem reflexartigen Anziehen der Gliedmaßen, gefolgt vom Niederstürzen des Tieres. Dies spiegelt sich im Verlauf der Kurve (Abb. 4.1) zuerst in einer kurzzeitigen Entlastung der Waage wider, worauf ein Peak folgt, der bis zum dreieinhalbfachen des Ausgangswerts ansteigt (Sekunde 0 bis 1). Nach kurzem Einschwingen der Waage (Sekunde 1 bis 2) zeigt das Aufzeichnungsprotokoll in der Regel keine weiteren Ausschläge mehr, was dem Ruhen des Tierkörpers entspricht.

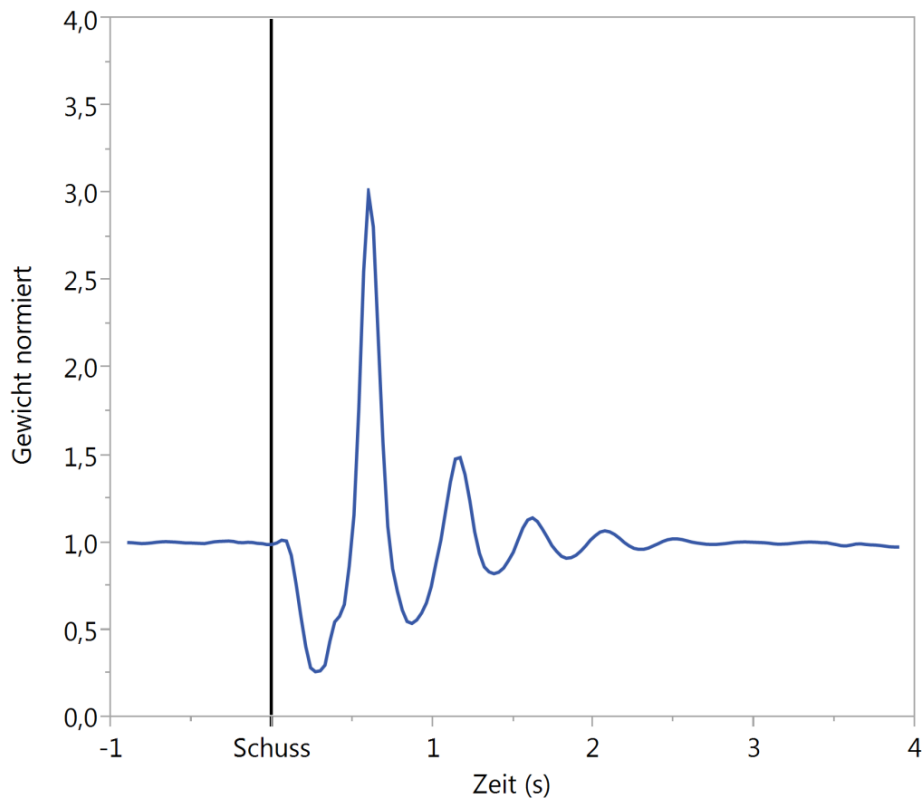


Abb. 4.1 Typischer Verlauf des Wiegeprotokolls eines tadellos betäubten Tieres

Eine Übersicht aller 10.154 aufgezeichneten Wiegeprotokolle bietet Abb. 4.2. Hier wird deutlich, dass es Kurven gibt, bei denen der „Hauptpeak“, der das Niederstürzen signalisiert, deutlich später (zwischen Sekunde 2 und 4) auftritt.

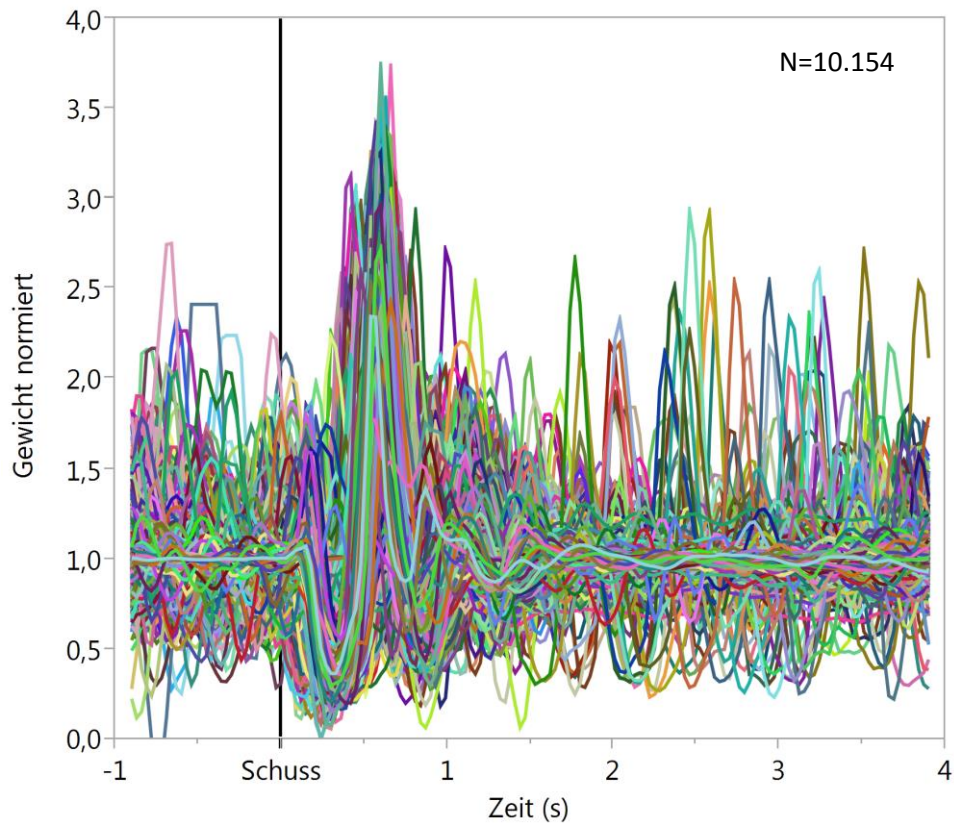


Abb. 4.2 Übersicht aller aufgezeichneten Wiegeprotokolle

Weitergehenden Analysen wurden nur Tiere unterzogen, die eindeutig einer der Gruppen „Betäubungswirkung fehlend“, „mangelhaft“, „fraglich“ und „tadellos“ zugeordnet werden konnten. Das bedeutet, dass die Wiegeprotokolle von Tieren mit ausreichender Betäubungswirkung sowie von Tieren, die aufgrund fehlender Befunde einer Gruppe nicht eindeutig zugeordnet werden konnten, nicht in der folgenden Auswertung berücksichtigt wurden (in Tab. 4.2 mit „?“ gekennzeichnet). Ziel war zunächst die Wiegeprotokolle von unzureichend betäubten Tieren von denen der völlig tadellos betäubten Tiere unterscheiden zu können.

Bei näherer Betrachtung der einzelnen Tiergruppen, aufgetrennt nach ihrer Betäubungswirkung, zeigt sich, dass die Wiegeprotokolle mit den verzögerten Hauptpeaks hauptsächlich Tieren mit fehlender Betäubungswirkung zuzuordnen sind (Abb. 4.3). Das Zusammenbrechen der Tiere erfolgt zeitlich verzögert erst beim zweiten Betäubungsversuch in der Betäubungsfalle. Zwischen den Gruppen „tadellos“, „fraglich“ und „mangelhaft“ lassen sich augenscheinlich zunächst keine deutlichen Abweichungen feststellen.

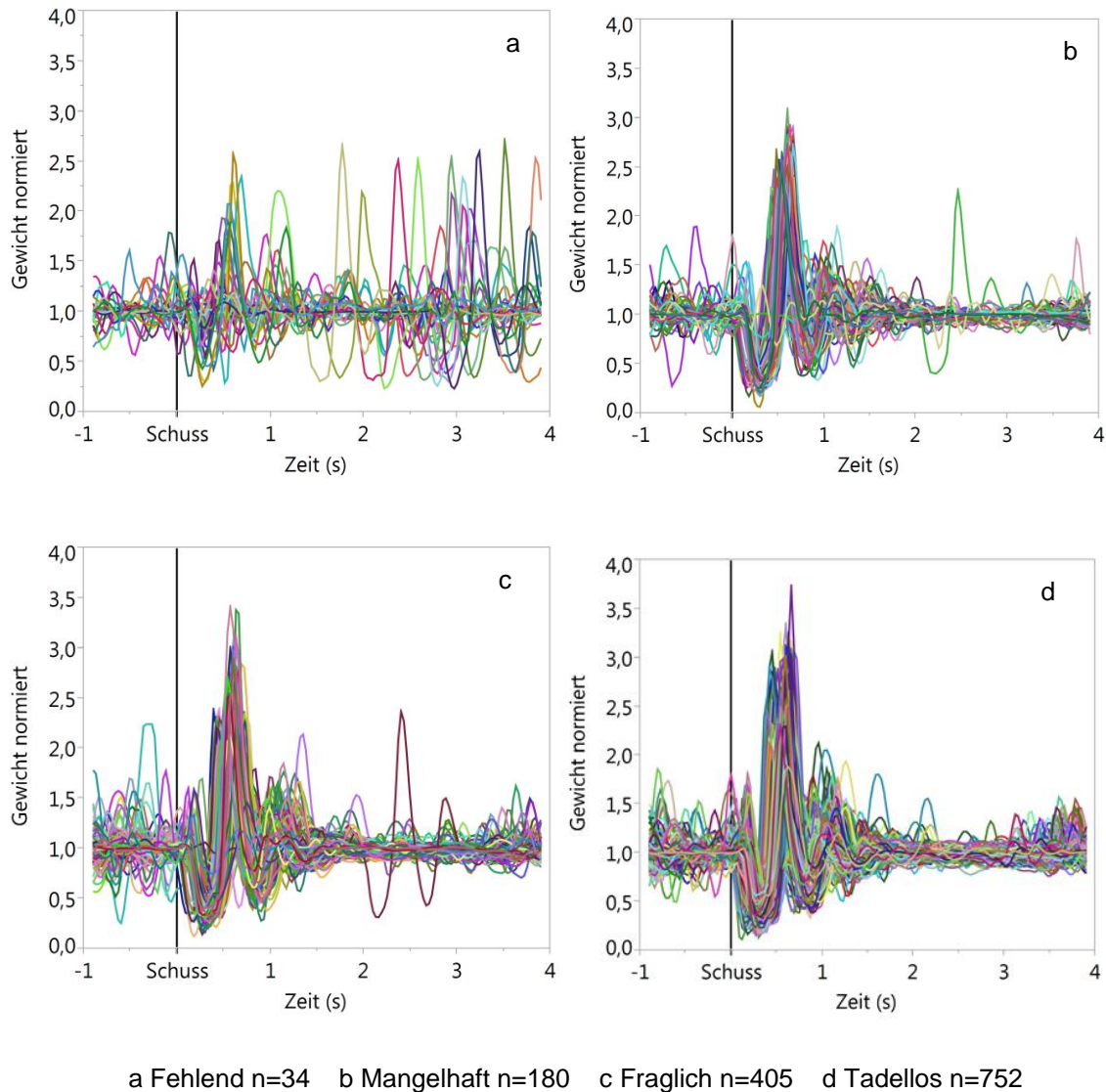


Abb. 4.3 Darstellung der Wiegeprotokolle für Tiere mit unterschiedlicher Betäubungswirkung

Basierend auf der Einteilung dieser vier Gruppen erfolgte die weitere Auswertung der Wiegeprotokolle nach Betäubungswirkung. Weiterhin wurden Kurven ausgeschlossen, bei denen ein technisches Versagen vermutet wurde, sowie die von Tieren, die in der Falle ausgerutscht und anschließend „im Sitzen“ geschossen wurden. In solchen Fällen wich der Kurvenverlauf zweifelsfrei aus nicht-betäubungsbedingten Gründen deutlich ab. Insgesamt wurden somit noch einmal 29 Wiegeprotokolle von der Auswertung ausgenommen.

Bei einem Vergleich der Mittelwerte aller Kurven der erläuterten, bereinigten Gruppen, wich nur der Mittelwert der Tiere, die beim ersten Betäubungsversuch nicht zusammengebrochen waren, ab (Abb. 4.4). Die anderen drei Kurven ließen sich kaum differenzieren.

Selbstverständlich gehen viele Detailinformationen bei der Bildung einer Mittelwert-Kurve verloren, weshalb im Folgenden spezifischere Analysen angeschlossen wurden.

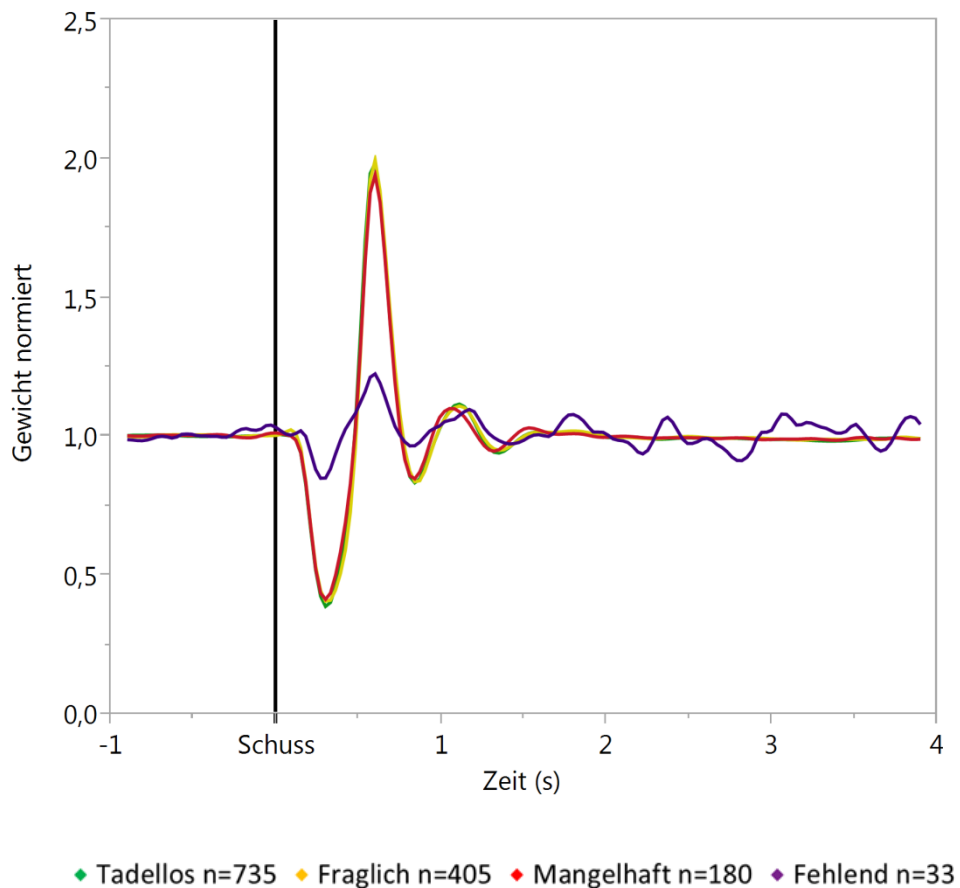


Abb. 4.4 Mittelwerte der Wiegeprotokolle nach Betäubungswirkung

4.2.2 Hauptkomponentenanalyse

In einer Hauptkomponentenanalyse (*principal component analysis*, PCA) wurden zunächst alle vier Gruppen miteinander verglichen. Anschließend wurden die Gruppen mit der Beurteilung Betäubungswirkung „mangelhaft“, „fraglich“ und „fehlend“ jeweils einzeln mit einer per Zufall gewählten, gleichgroßen Stichprobenzahl von Tieren aus der Gruppe „tadellos betäubt“ gegenübergestellt. Durch die Gegenüberstellung von nur zwei Gruppen wird die Trennschärfe der Analyse erhöht.

Bei den grafischen Darstellungen der PCA-Scores im Folgenden (Abb. 4.5, Abb. 4.8, Abb. 4.10, Abb. 4.12) entspricht jeder Punkt im Koordinatensystem einem Tier bzw. dessen individuellem Wiegeprotokoll. Farblich gekennzeichnet ist die Qualität der Betäubungswirkung. Das Koordinatensystem wird gebildet aus den Hauptkomponenten eins und zwei, bzw. eins und drei, deren Informationsgehalt zur Auftrennung am größten war. Die prozentualen Angaben an den Achsen zeigen an, zu welchem Anteil diese Hauptkomponente die Varianz im Datensatz abbildet. Können die Punktwolken nach Farbe gehäuft separiert werden, ist eine Differenzierung der Wiegeprotokolle nach der Betäubungswirkung möglich, im Falle einer Überlagerung ist dies nicht der Fall. Die dazugehörigen *Loadings* verdeutlichen, in welchem Abschnitt des Wiegeverlaufs die größten Abweichungen zwischen den verschiedenen Betäubungsqualitäten auftraten (Abb. 4.7, Abb. 4.9, Abb. 4.11, Abb. 4.13).

Sowohl die Übersichtsgrafik (Abb. 4.5) als auch die Darstellung der Schwerpunkte der Score-Punktwolken (Abb. 4.6) bestärken das Ergebnis aus dem Vergleich der Mittelwert-Kurven. Die Tiere, bei denen der erste Betäubungsversuch fehlgeschlagen ist (violette Punkte), sind deutlich von den anderen abgrenzbar. Die drei übrigen Gruppen (grün, gelb und rot) überlagern sich jedoch stark. Abb. 4.7 zeigt, dass der Kurvenverlauf zwischen Sekunde 0 und 1, d. h. im Bereich des Maximalausschlags, für die Auftrennung entscheidend ist.

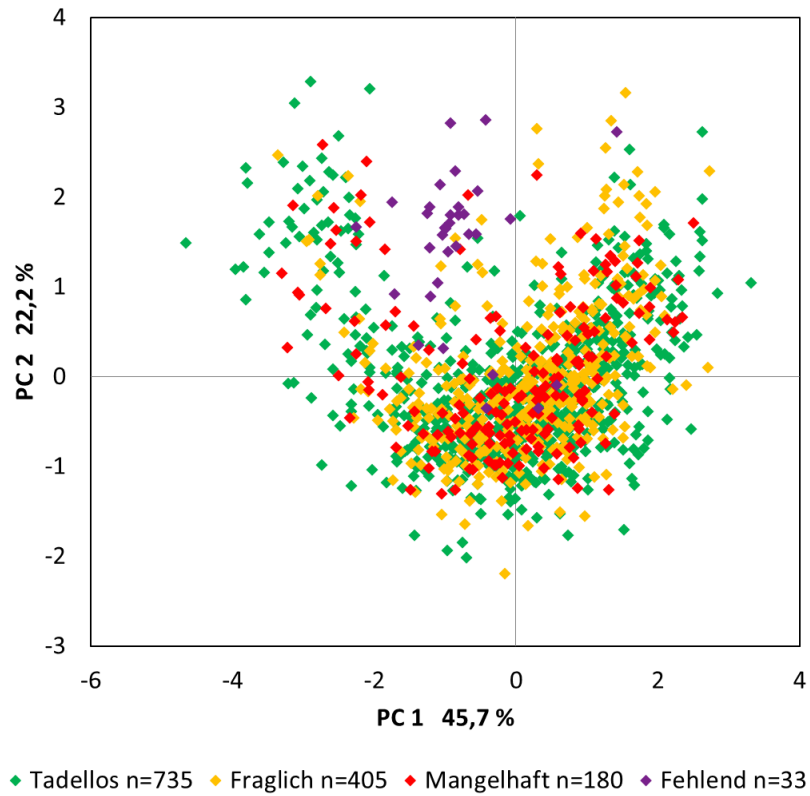


Abb. 4.5 PCA-Scores der Tiere der vier Gruppen nach Betäubungswirkung

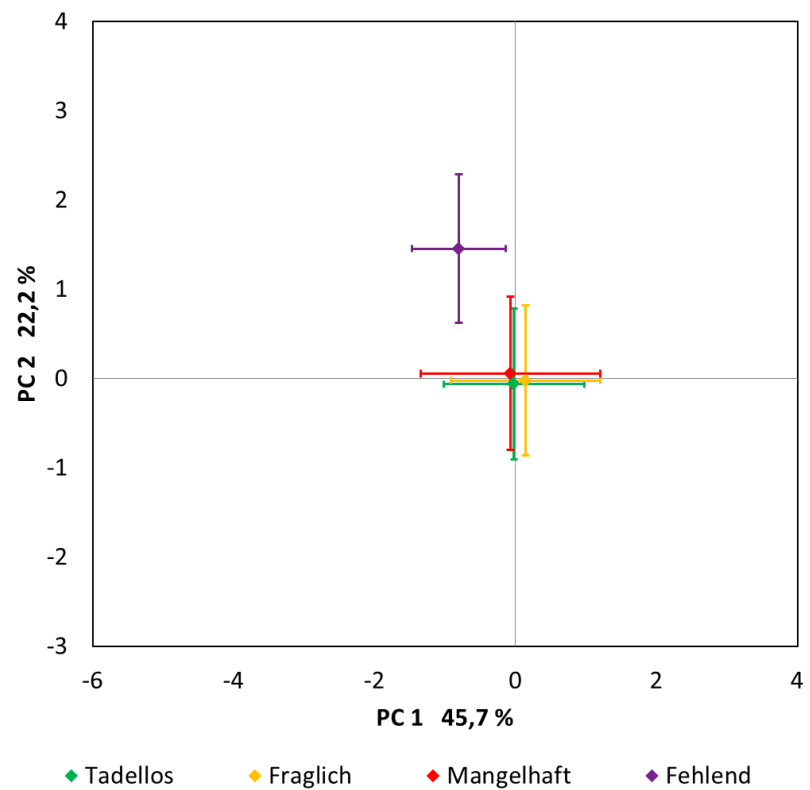


Abb. 4.6 Schwerpunkte der Score-Punktwolken mit Standardabweichung der vier Gruppen nach Betäubungswirkung

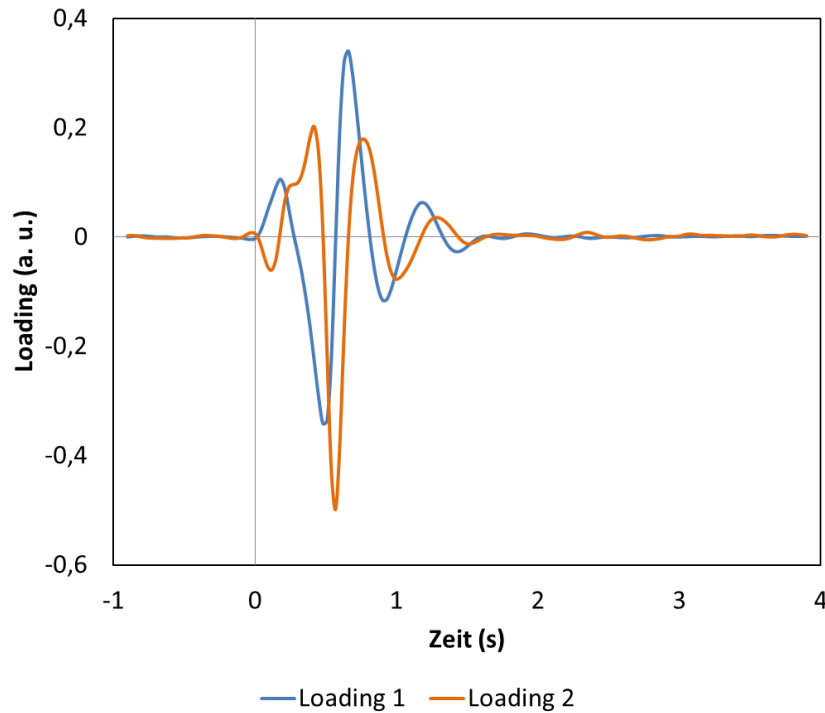


Abb. 4.7 PCA-Loadings der PC 1 und 2 zu Abb. 4.5

Betrachtet man im Einzelnen die Tiere mit fehlender Betäubungswirkung beim ersten Schuss im Vergleich zu tadellos betäubten Tieren, wird die Auftrennung noch deutlicher (Abb. 4.8). Wie anhand der *Loadings* (Abb. 4.9) zu erkennen ist, ist die deutliche zeitliche Verzögerung des Maximalausschlags das wichtigste Kriterium zur Differenzierung. Dieser symbolisiert das verspätete Niederstürzen der Tiere, ausgelöst durch eine unmittelbare Nachbetäubung in der Falle. Zur Darstellung der fehlbetäubten und tadellos betäubten Tiere wurde – abweichend von den anderen Darstellungen – PC 1 und 3 gewählt, da hier die Auftrennung grafisch besser sichtbar ist als bei PC 1 und 2. PC 2 trug mit 15,5 % zu Auftrennung bei.

Im Gegensatz dazu überlagern sich die Punktwolken mangelhaft (rot) und fraglich (gelb) betäubter Tiere stark mit denen tadellos Betäubter (grün) (Abb. 4.10 bzw. Abb. 4.12).

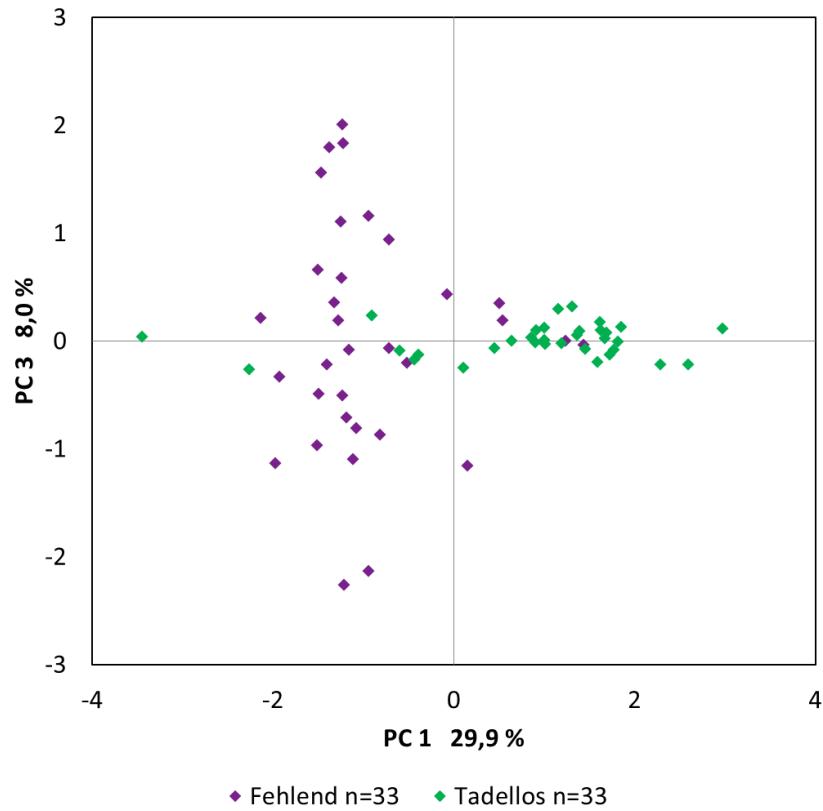


Abb. 4.8 PCA-Scores fehlbetäubter und tadellos betäubter Tiere

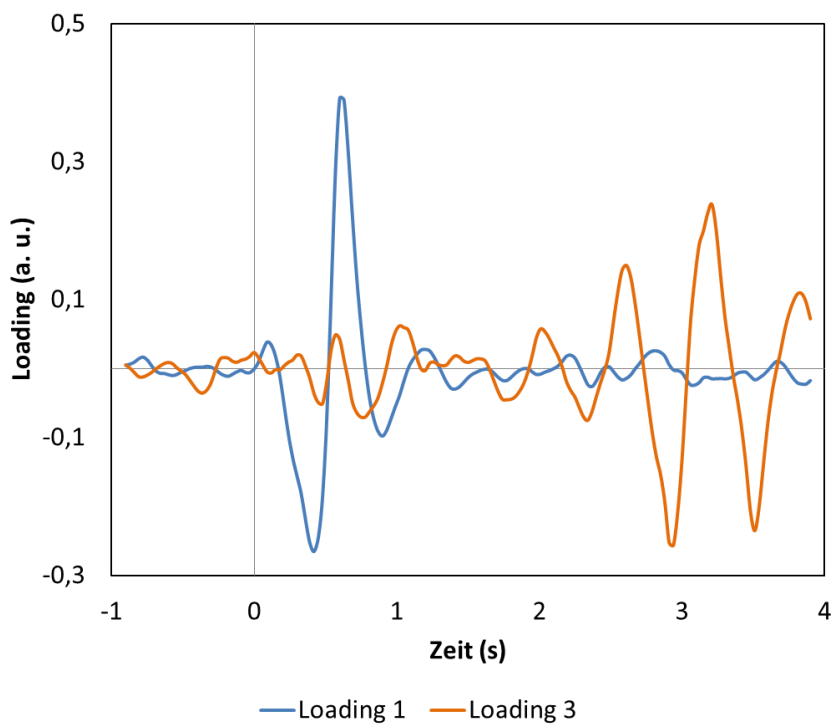


Abb. 4.9 PCA-Loadings der PC 1 und 3 zu Abb. 4.8

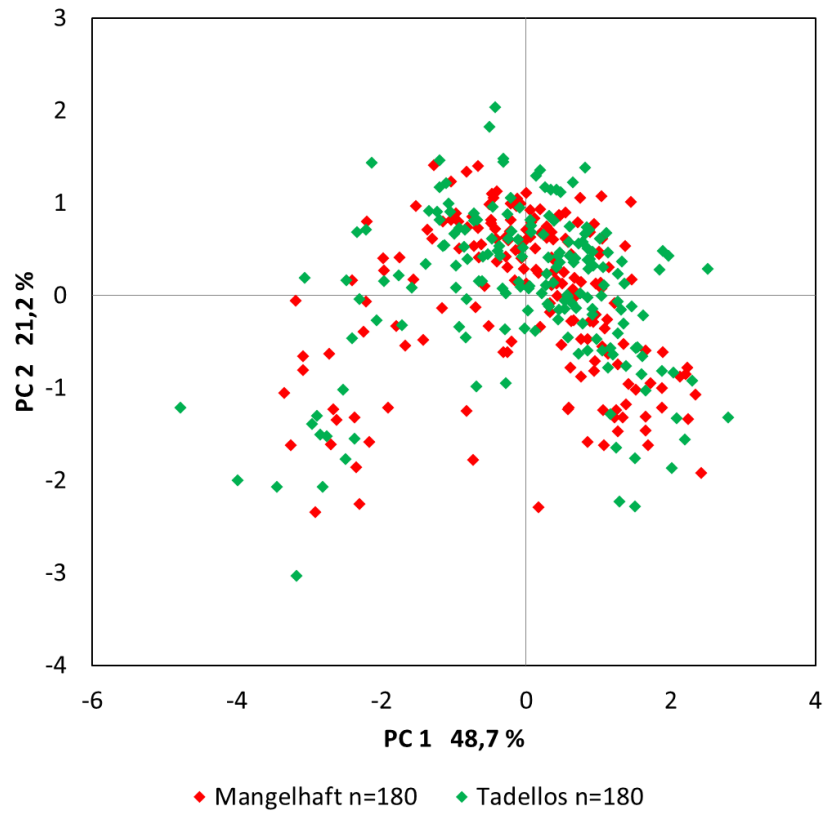


Abb. 4.10 PCA-Scores mangelhaft und tadellos betäubter Tiere

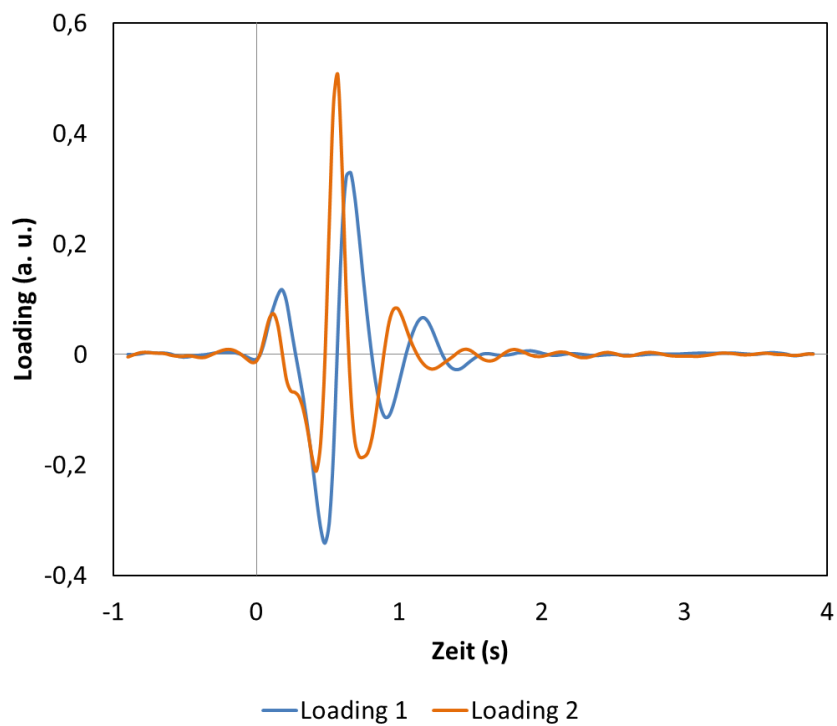


Abb. 4.11 PCA-Loadings der PC 1 und 2 zu Abb. 4.10

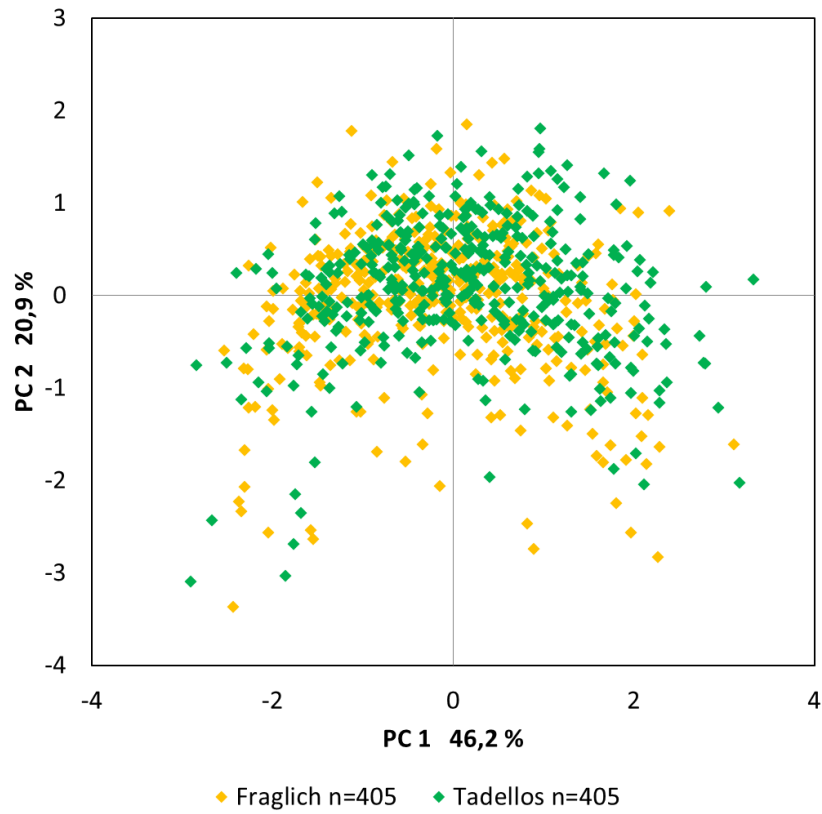


Abb. 4.12 PCA-Scores fraglich und tadellos betäubter Tiere

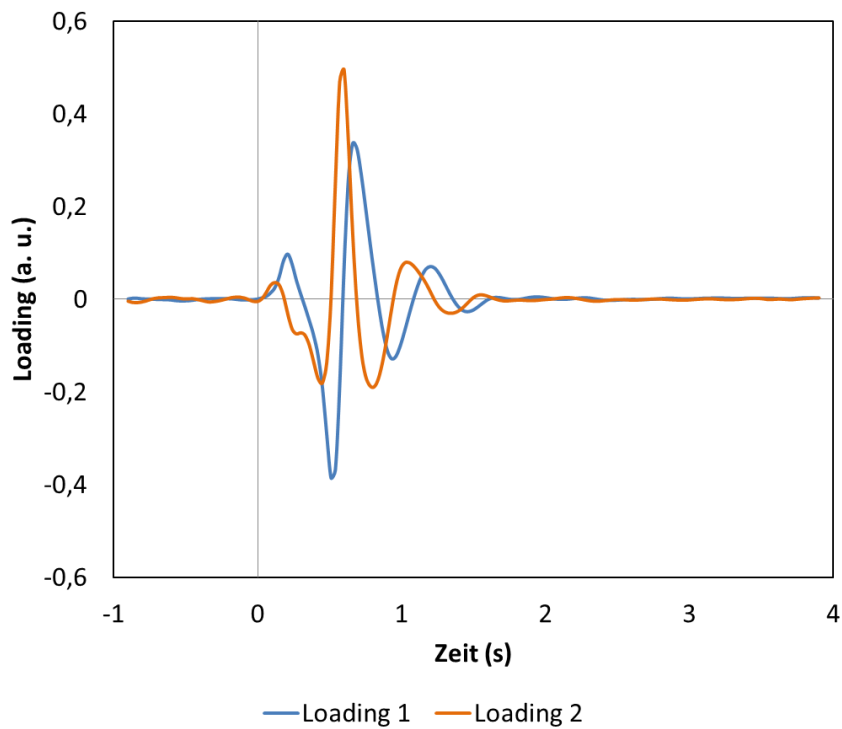


Abb. 4.13 PCA-Loadings der PC 1 und 2 zu Abb. 4.12

4.2.3 Diskriminanzanalyse

Mithilfe einer Diskriminanzanalyse lassen sich die grafisch dargestellten Erkenntnisse aus der PCA quantitativ ausdrücken. In die Berechnung wurden die Scores von zwanzig Hauptkomponenten einbezogen. Bei Berücksichtigung der Wiegeaufzeichnungen ab dem Zeitpunkt -1 Sekunde und einer Auftrennung in vier Gruppen, lag die Vorhersage zu rund 40 % richtig. Dieser Prozentsatz konnte schrittweise verbessert werden, indem zum einen nur die Werte ab dem Schusszeitpunkt (Sekunde 0) in die Berechnung einfließen. Damit wurden Bewegungen vor der eigentlichen Betäubung von der Bewertung ausgeschlossen. Zum anderen wurde die Einteilung der Tiere bezüglich ihrer Betäubungsqualität von vier über drei auf nur zwei Gruppen (gut und unzureichend) reduziert. Tab. 4.3 zeigt diese Entwicklung. Im letzten Schritt konnte der Anteil für eine richtige Vorhersage von 40 auf 60 % verbessert werden.

Tab. 4.3 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt -1 – Vierteilung

		Betäubungswirkung (N tatsächlich)			
N=1353		tadellos (735)	fraglich (405)	mangelhaft (180)	fehlend (33)
N vorhergesagt	tadellos	242	110	39	0
	fraglich	261	163	46	0
	mangelhaft	217	124	91	4
	fehlend	15	8	4	29
	richtig	32,9 %	40,2 %	50,6 %	87,9 %
insg. richtig		38,8 %			

Tab. 4.4 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt 0 – Vierteilung

		Betäubungswirkung (N tatsächlich)			
N=1353		tadellos (735)	fraglich (405)	mangelhaft (180)	fehlend (33)
N vorhergesagt	tadellos	265	107	45	0
	fraglich	233	170	42	0
	mangelhaft	224	119	89	2
	fehlend	13	9	4	31
	richtig	36,1 %	42,0 %	49,4 %	93,9 %
insg. richtig		41,0 %			

Tab. 4.5 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt 0 – Dreiteilung

N=1353		Betäubungswirkung (N tatsächlich)		
		tadellos (735)	fraglich + mangelhaft (585)	fehlend (33)
N vorhergesagt	tadellos	414	249	0
	fraglich + mangelhaft	306	321	2
	fehlend	15	15	31
	richtig	56,3 %	54,9 %	93,9 %
insg. richtig		56,6 %		

Tab. 4.6 Diskriminanzanalyse für 20 PCs ab Zeitpunkt 0 – Zweiteilung

N=1353		Betäubungswirkung (N tatsächlich)	
		tadellos (735)	fraglich + mangelhaft + fehlend (618)
N vorhergesagt	tadellos	462	262
	fraglich + mangelhaft + fehlend	273	356
	richtig	62,9 %	57,6 %
	insg. richtig	60,5 %	

Tiere mit fehlender Betäubungswirkung können sowohl im Falle von Tab. 4.4 als auch Tab. 4.5 anhand des Wiegeverlaufs zu 94 % korrekt bestimmt werden. Dies entspricht für Tab. 4.4 einer Sensitivität von 94 % und Spezifität von 98 %. Das heißt 94 % (31/33) der Tiere, deren Betäubungswirkung fehlend war, werden anhand des Wiegeverlaufs richtig als solche erkannt und 98 % (1294/1320) der Tiere, die eine andere Beurteilung der Betäubungseffektivität haben, werden ebenfalls richtig als solche erkannt.

Für die Erkennung mangelhaft betäubter Tiere beträgt die Sensitivität laut Tab. 4.4 49 % (89/180) und die Spezifität 78 % (919/1173).

4.2.4 Partial Least Squares-Regression

Zur Überprüfung und Absicherung der Ergebnisse wurde die *partial least squares*-Regression (PLS) als alternatives Verfahren zur PCA und zur Diskriminanzanalyse berechnet. Berücksichtigt wurden hierbei mangelhaft und fraglich betäubte Tiere. Als Referenz dienten bei dieser Analyse die zentralen 80 % der Wiegekurven tadellos betäubter Tiere (Abb. 4.14). Damit sollte vermieden werden, dass Ausreißer-Kurven den Referenzbereich verfälschen und unnötig ausdehnen.

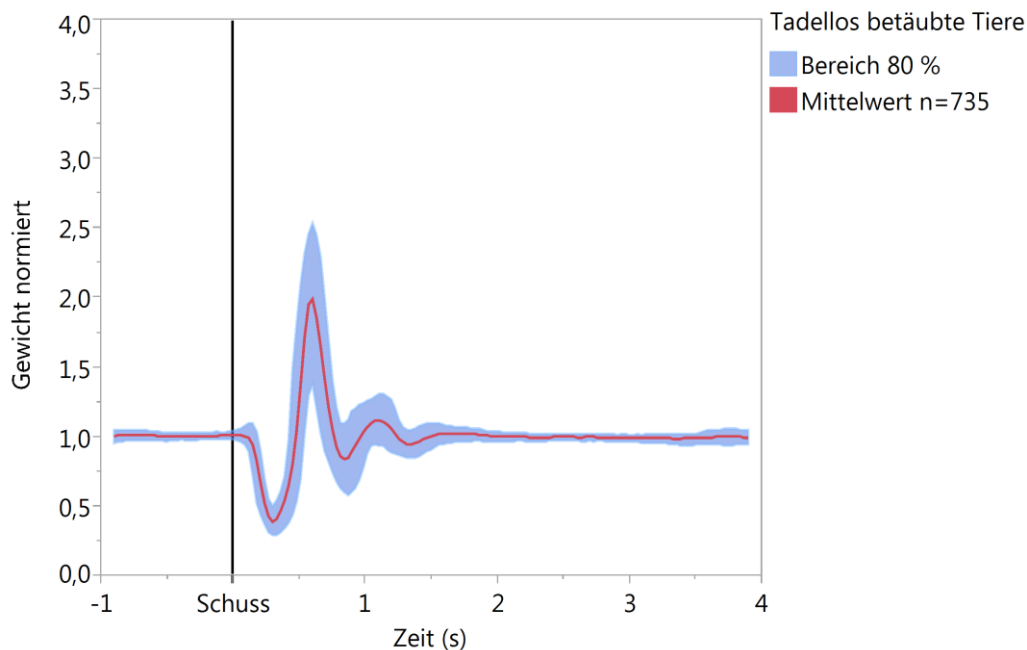


Abb. 4.14 Ausgangdaten für die PLS-Regression

Die vergleichsweise besten Ergebnisse lieferte die PLS-Vorhersage für den Vergleich „mangelhaft gegen tadellos“, welcher im Folgenden dargestellt wird (Abb. 4.15 bzw. Abb. 4.16). Abb. 4.15 zeigt mit Hilfe von Box-Plots eine tendenziell mögliche Unterscheidung dieser Gruppen anhand ihrer Wiegeprotokolle. Eine eindeutige Trennung ist jedoch nicht möglich, was aus der Überschneidung der Box-Plots ersichtlich wird. Bei einem beliebig gewählten Grenzwert der Vorhersagewerte von 0,3 (Abb. 4.15) werden 126 von 187 mangelhaft betäubten Tieren anhand der Wiegeprotokolle korrekt als solche erkannt. Dies entspricht einer Sensitivität von 67 %. Gleichzeitig werden 224 von 405 tadellos betäubten Tieren korrekt als solche vorhergesagt, was eine Spezifität von 55 % bedeutet. Der Grenzwert lässt sich beliebig verändern. Wird er zugunsten einer höheren Sensitivität niedriger gewählt, fällt dies zu Lasten der Spezifität und umgekehrt. Die entsprechenden Werte lassen sich in Abb. 4.16 ablesen. Sowohl für fraglich betäubte Tiere, als auch für die zusammengefasste Gruppe fraglich und mangelhaft betäubter Tiere war die Vorhersage schlechter möglich als für die der dargestellten mangelhaft betäubten Tiere.

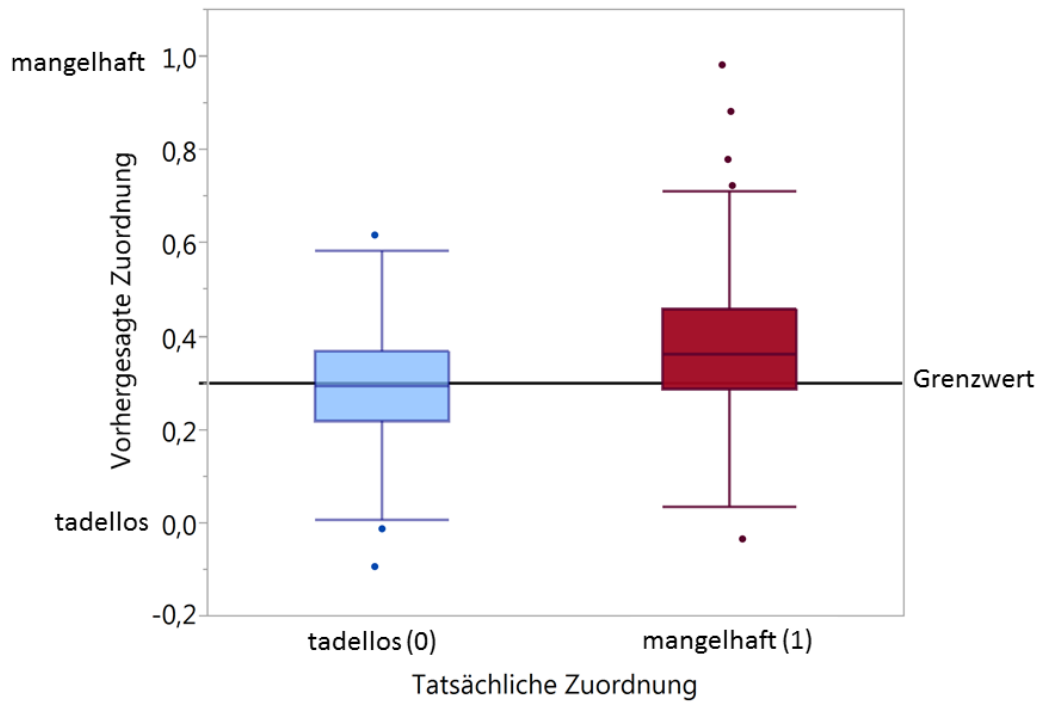


Abb. 4.15 Box-Whisker-Plots zur PLS-Vorhersage

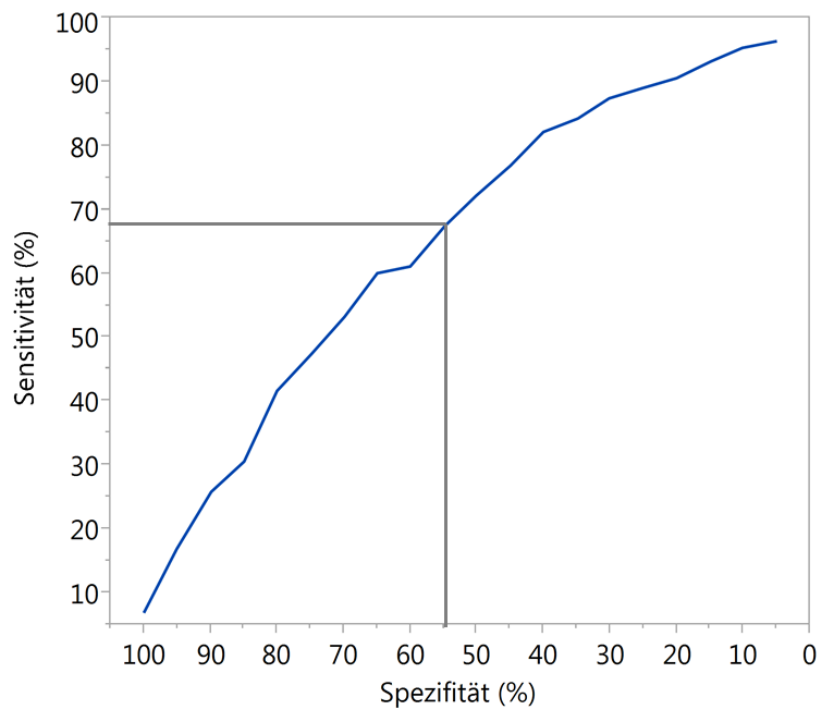


Abb. 4.16 Sensitivität und Spezifität der PLS-Vorhersage zu Abb. 4.15

4.3 Analyse der klinisch-neurologischen Befunde

4.3.1 Relative Häufigkeit der erhobenen Befunde

Tendenziell wurden schwerwiegende Befunde seltener beobachtet als Befunde, die lediglich zu erhöhter Aufmerksamkeit führen sollten, bzw. deren Aussagekraft unklar war. In Tab. 4.7 ist die relative Häufigkeit der aufgetretenen Befunde dargestellt.

0,3 % (n = 34) der Tiere stürzten beim ersten Betäubungsschuss nicht nieder.

2 % der Tiere wiesen mindestens einen der Befunde „Cornealreflex auslösbar“, „gerichtete Augenbewegungen“, „spontaner Lidschlag“, „regelmäßige (wiederkehrende) Atmung“ oder „Lautäußerung“ auf. Am häufigsten wurde eine wiederkehrende Atmung zum Zeitpunkt des Stechens und danach beobachtet. Regelmäßige Atmung wurde häufiger zum Zeitpunkt des Stechens (1,2 %, etwa 60 s nach Schuss) als direkt am Auswurf beobachtet (0,3 %). Lautäußerung/Vokalisation war ein sehr seltenes Ereignis und wurde im Bereich von Terminal 1 (Auswurf) oder 2 (Entbluterohrbahn) bei insgesamt 9 der 10.154 Tiere sicher vernommen.

5,4 % der Tiere zeigten mindestens einen der Befunde „Bulbusrotation“, „Nystagmus“ oder „keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur“. Hierbei war Bulbusrotation mit 4,7 % der häufigste Befund. Nystagmus trat häufig in Verbindung mit einer Bulbusrotation auf.

Ein Großteil der untersuchten Tiere (92 %) zeigte mindestens einen der „unklaren“ Befunde: „keine runde, dilatierte Pupille“, „Pupille schlitzförmig“, „1-4 Atemzüge“, „Ohrtonus“, „Zungentonus“, „Schwanztonus“, „aktives Hochziehen“, „deutliche Reaktion auf Entblutestich“. 63 % hatten keine maximal geweitete Pupille zum Zeitpunkt des Anschlingens, etwa 15 - 30 s nach dem Schuss. Bei 52 % verblieb die Zunge zum Zeitpunkt des Stechens im Maul. 40 % hatten an der Entbluterohrbahn einen mindestens teilweise erhaltenen Schwanztonus. Jeweils 19 % zeigten eine Reaktion auf den Entblutestich und seitliches Krümmen nach dem Aufziehen an der linken Hintergliedmaße. Der seltenste Befund in dieser Gruppe war mit 0,3 % ein erhaltener Ohrtonus.

Die Nachbetäubungsrate lag bei insgesamt 4,6 %.

Tab. 4.7 Relative Häufigkeit der erhobenen Befunde

Befundparameter (Betäubungswirkung)	%	N
Kein sofortiges Niederstürzen nach dem Schuss („fehlend“)	0,3	10.141
Mindestens einer der folgenden Befunde („mangelhaft“):	2,0	9.964
Cornealreflex auslösbar	0,3	10.142
Gerichtete Augenbewegung	0,1	10.150
Spontaner Lidschlag	0,2	10.154
Regelmäßige Atmung	0,3	10.067
Lautäußerung	0,0	10.153
Augenbewegung/Lidschlag*	0,5	10.107
Wiederkehrende regelmäßige Atmung*	1,2	10.102
Vokalisation*	0,0	10.077
Mindestens einer der folgenden Befunde („fraglich“):	5,4	10.111
Bulbusrotation	4,7	10.126
Nystagmus (Augenzittern)	2,3	10.138
Keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur	0,4	10.137
Mindestens einer der folgenden Befunde („ausreichend“):	92,4	9.984
Keine runde, dilatierte Pupille	63,0	9.935
Pupille schlitzförmig	9,6	7.911
1-4 Atemzüge	6,2	7.964
Ohrtonus*	0,3	7.889
Zungentonus*	51,5	9.905
Schwanztonus*	39,8	9.908
Aktives Hochziehen*	18,7	10.082
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*	19,1	9.999
Deutliche Erregung vor Schuss	16,4	10.138
Nachbetäubung	4,6	10.140

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde. Tiere mit unsicherer Beurteilung des jeweiligen Befundes wurden ausgeschlossen.

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

4.3.2 Bedeutung der Einzelbefunde bezüglich der Betäubungswirkung

Um die Bedeutung der „unklaren Befunde“ näher analysieren zu können, wurde deren Auftreten zwischen Tieren mit guter und unzureichender Betäubung verglichen. Als gut betäubt wurden Tiere aus der Gruppe „tadellos“ und „ausreichend“ definiert, als unzureichend diejenigen mit fraglicher bzw. mangelhafter Betäubungswirkung. Grundannahme für diese Zweiteilung war, dass die unklaren Parameter keine ausreichende Aussagekraft zur Betäubungseffektivität haben (Nullhypothese). Trifft die Nullhypothese zu, wären bei einem Vergleich die Häufigkeiten der einzelnen „unklaren“ Befunde zwischen den Gruppen etwa gleich, d. h. zufällig, verteilt, während bei einem Zutreffen der Alternativhypothese signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestehen müssten.

Tab. 4.8 stellt die Häufigkeit der Einzelbefunde für die Gruppen „gut“ bzw. „unzureichend betäubt“ sowie die Irrtumswahrscheinlichkeit dar. Darüber hinaus zeigt Tab. 4.8 welche der Einzelbefunde, die zur Einteilung „Betäubungswirkung unzureichend“ führten, am häufigsten auftraten.

Demnach wiesen 31 % der unzureichend betäubten Tiere mindestens einen der Befunde „positiver Cornealreflex“, „gerichtete Augenbewegungen“, „spontaner Lidschlag“, „regelmäßige Atmung“, „Lautäußerung“, „Augenbewegungen/Lidschlag“, „wiederkehrende regelmäßige Atmung“ oder „Vokalisation“, sowie 82 % mindestens einen der Befunde „Bulbusrotation“, „Nystagmus“ oder „keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur“ auf. Aus der erstgenannten Gruppe war der Befund „wiederkehrende regelmäßige Atmung“ mit 19 % der häufigste, aus der zweitgenannten Gruppe der Befund „Bulbusrotation“ mit 74 %.

Tab. 4.8 Relative Häufigkeit der Einzelbefunde bei gut bzw. unzureichend betäubten Tieren mit Irrtumswahrscheinlichkeit

Befundparameter	Betäubungswirkung				p
	gut		unzureichend		
	%	N	%	N	
Kein sofortiges Niederstürzen n. d. Schuss	0,0	9.094	0,0	596	n. b.
Mindestens einer der folgenden Befunde:	0,0	9.094	30,9	596	n. b.
Cornealreflex auslösbar	0,0	9.094	4,2	595	n. b.
Gerichtete Augenbewegung	0,0	9.094	1,0	596	n. b.
Spontaner Lidschlag	0,0	9.094	3,2	596	n. b.
Regelmäßige Atmung	0,0	9.094	3,7	593	n. b.
Lautäußerung	0,0	9.094	0,3	596	n. b.
Augenbewegung/Lidschlag*	0,0	9.094	7,1	590	n. b.
Wiederkehrende, regelmäßige Atmung*	0,0	9.094	19,4	593	n. b.
Vokalisation*	0,0	9.094	0,7	592	n. b.
Mindestens einer der folgenden Befunde:	0,0	9.094	81,8	595	n. b.
Bulbusrotation	0,0	9.094	74,2	594	n. b.
Nystagmus (Augenzittern)	0,0	9.094	36,8	595	n. b.
Keine tonischen Krämpfe der Rumpfmusk.	0,0	9.094	0,5	596	n. b.
Mindestens einer der folgenden Befunde:	91,8	9.084	99,7	588	n. b.
Keine runde, dilatierte Pupille	61,9	8.947	90,3	569	<0,0001
Pupille schlitzförmig	9,3	7.250	14,7	430	0,0004
1-4 Atemzüge	6,3	7.274	4,4	454	0,9654
Ohrtonus*	0,1	7.225	2,9	456	<0,0001
Zungentonus*	52,2	8.929	47,7	576	0,9825 ⁺
Schwanztonus*	39,8	8.934	41,0	575	0,2978
Aktives Hochziehen*	19,2	9.064	15,9	593	0,9822 ⁺
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*	19,2	8.988	22,4	589	0,0325
Deutliche Erregung vor Schuss	16,5	9.080	14,0	594	0,9519
Nachbetäubung	0,2	9.080	55,9	596	<0,0001

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde. Tiere mit unsicherer Beurteilung des jeweiligen Befundes wurden ausgeschlossen.

n. b. nicht berechnet, da nicht sinnvoll oder Auftreten zu gering

gut = Betäubungswirkung tadellos bzw. ausreichend; unzureichend = Betäubungswirkung fraglich bzw. mangelhaft

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

⁺ Auftreten wahrscheinlicher bei gut betäubten Tieren

Für die Befunde „Keine runde, dilatierte Pupille“, „Pupille schlitzförmig“, „Ohrtonus“ und „deutliche Reaktion auf Entblutestich“ bestehen zwischen gut und unzureichend betäubten Tieren signifikante Unterschiede in der Häufigkeit des Auftretens. Aufgrund der Problematik, dass eine Nachbetäubung zwischen Terminal 1 und 2 die Ausprägungen einiger Befunde am Terminal 2 verändern kann, wurde der Test zusätzlich nur für Tiere durchgeführt, die ausschließlich mit einem Schuss betäubt wurden. Die Ergebnisse finden sich in Tab. 9.3 im Anhang. Mit Ausnahme der Befunde „Pupille schlitzförmig“ und „Schwanztonus“ entsprechen sich die Ergebnisse.

Kein signifikanter Unterschied im Auftreten zwischen den beiden Gruppen konnte für „1-4 Atemzüge“, „Zungentonus“, „aktives Hochziehen“ und „deutliche Erregung vor Schuss“ festgestellt werden.

Bei genauerer Differenzierung der Pupillenform in rund, balkenförmig und schlitzförmig (Tab. 4.9), wird deutlich, dass sowohl eine balkenförmige als auch eine schlitzförmige Pupille bei unzureichend betäubten Tieren häufiger auftritt (77 % und 15 %) als bei gut betäubten Tieren (54 % und 9 %). Bullen mit weit dilatierter Pupille waren selten unzureichend betäubt (9 %).

Tab. 4.9 Differenzierung der Pupillenform bei Tieren mit guter bzw. unzureichender Betäubungswirkung

Pupillenform	Betäubungswirkung			
	gut (N=7229)		unzureichend (N=422)	
	n	%	n	%
rund	2.671	36,9	37	8,8
balkenförmig	3.885	53,7	323	76,5
schlitzförmig	673	9,3	62	14,7

gut = Betäubungswirkung tadellos bzw. ausreichend; unzureichend = Betäubungswirkung fraglich bzw. mangelhaft

Bringt man die Form der Pupille, etwa 15 - 30 s nach dem Schuss, in Verbindung mit den anderen erhobenen Befunden, wird deutlich, dass vor allem bei Bulbusrotation oder Nystagmus eine balken- bzw. schlitzförmige Pupille zunehmend gehäuft auftritt (Tab. 4.10). Bei Tieren mit maximal geweiteter Pupille treten weitere Befunde aus dem „fraglichen und mangelhaften Bereich“ auffallend selten auf. Die Nachbetäubungsrate lag bei Tieren mit einer runden, dilatierten Pupille bei 0,3 %, bei Tieren mit einer schlitzförmigen Pupille bei 5,7 %.

In einigen Fällen konnte eine Anisokorie (ungleiche Pupillenform zwischen rechtem und linkem Auge) beobachtet werden. Da eine Beurteilung beider Augen aufgrund der hohen Schlachtgeschwindigkeit jedoch nur in Einzelfällen möglich war, konnte die Häufigkeit dieses Befundes nicht erhoben werden.

Tab. 4.10 Zusammenhang zwischen der Pupillenform und anderen Befunden

Befundparameter	Pupillenform					
	rund		balkenförmig		schlitzförmig	
	%	N	%	N	%	N
Kein sofortiges Niederstürzen nach dem Schuss	Auge war nach erstem Schuss in der Falle nicht zugänglich					
Mindestens einer der folgenden Befunde:	0,9	2.708	2,8	4.20	1,8	735
Cornealreflex auslösbar	0,1	2.708	0,4	4.20	0,1	735
Gerichtete Augenbewegung	0,0	2.708	0,0	4.20	0,0	735
Spontaner Lidschlag	0,0	2.708	0,3	4.20	0,0	735
Regelmäßige Atmung	0,0	2.708	0,2	4.20	0,4	735
Lautäußerung	0,0	2.708	0,0	4.20	0,0	735
Augenbewegung/Lidschlag*	0,4	2.708	0,5	4.20	0,1	734
Wiederkehrende regelmäßige Atmung*	0,5	2.708	2,0	4.20	1,4	735
Vokalisation*	0,1	2.708	0,0	4.20	0,0	735
Mindestens einer der folgenden Befunde:	0,5	2.708	6,1	4.20	7,3	735
Bulbusrotation	0,4	2.708	5,7	4.20	6,8	735
Nystagmus (Augenzittern)	0,2	2.708	2,7	4.20	3,9	735
Keine ton. Krämpfe der Rumpfmusk.	0,0	2.708	0,0	4.20	0,0	735
Mindestens einer der folgenden Befunde:	72,2	2.708	100,0	4.20	100,0	735
Keine runde, dilatierte Pupille	0,0	2.708	100,0	4.20	100,0	735
Pupille schlitzförmig	0,0	2.708	0,0	4.20	100,0	735
1-4 Atemzüge	6,5	2.705	5,7	4.20	8,0	733
Ohrtonus*	0,1	2.691	0,3	4.17	0,5	730
Zungentonus*	46,2	2.689	45,0	4.16	46,3	725
Schwanztonus*	29,3	2.681	32,2	4.17	27,6	729
Aktives Hochziehen*	21,4	2.704	24,9	4.19	22,2	734
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*	19,4	2.699	21,4	4.18	19,9	733
Deutliche Erregung vor Schuss	16,3	2.701	17,4	4.20	17,9	733
Nachbetäubung	0,3	2.708	4,4	4.20	5,7	735

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde. Tiere mit unsicherer Beurteilung des jeweiligen Befundes wurden ausgeschlossen.

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

4.3.3 Wiederkehrende regelmäßige Atmung im Zusammenhang mit anderen Befunden

Wiederkehrende Atmung trat bei 19 % der als unzureichend betäubt eingestuften Jungbullen auf, sowie bei insgesamt 1,2 % aller untersuchten Tiere, und ist damit der am häufigsten auftretende Befund der Gruppe „mangelhaft betäubt“ (Tab. 4.7 und Tab. 4.8). Er ist jedoch auch einer der Parameter, die erst zu einem relativ späten Zeitpunkt (kurz vor dem Stechen) beobachtet werden. Daher ist die Frage, ob und welche „Frühwarnzeichen“ es gibt, die ein Wiedereinsetzen der Atmung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit voraussagen, von herausragender Bedeutung.

Tab. 4.11 demonstriert die Häufigkeit weiterer Befunde bei Tieren mit und ohne wiederkehrende Atmung. Besonders stechen Bulbusrotation mit 38 zu 4 % und Nystagmus mit 22 zu 2 % mit einerseits relativ hohen und andererseits relativ geringen Prävalenz hervor. Insgesamt zeigten 41 % der Tiere mit wiederkehrender Atmung vorher schon Bulbusrotation, Nystagmus oder keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur. Aus dem „unklaren Bereich“ sind es die Parameter „Pupillenform“, „Ohrtonus“ und „Reaktion auf den Entblutestich“, die deutliche Differenzen in der Häufigkeit des Auftretens bei Tieren mit und ohne wiederkehrende Atmung aufweisen. Bei 38 % der Tiere mit wiederkehrender Atmung verbleibt die Zunge im Maul, aber auch bei 50 % der Tiere, die nicht atmen. Nur etwa 10 % der Tiere, die zum Zeitpunkt des Stechens regelmäßig atmeten, atmeten auch direkt am Auswurf, d. h. die Atmung fiel nach der Betäubung zunächst aus, und kehrte nach ca. 40 - 60 s wieder.

Tab. 4.11 Relative Häufigkeit der Einzelbefunde im Zusammenhang mit dem Auftreten des Befunds „wiederkehrende regelmäßiger Atmung“

Befundparameter	Wiederkehrende Atmung				p
	ja		nein		
	n	%	n	%	
Kein sofortiges Niederstürzen n. d. Schuss	3	2,5	31	0,3	0,0075
Mindestens einer der folgenden Befunde:	121	100,0	75	0,8	n. b.
Cornealreflex auslösbar	11	9,1	15	0,2	<0,0001
Gerichtete Augenbewegung	2	1,7	6	0,1	0,0038
Spontaner Lidschlag	8	6,6	11	0,1	<0,0001
Regelmäßige Atmung	12	9,9	14	0,1	<0,0001
Lautäußerung	1	0,8	3	0,0	n. b.
Augenbewegung/Lidschlag*	12	9,9	33	0,3	<0,0001
Wiederkehrende regelmäßige Atmung*	121	100,0	0	0,0	n. b.
Vokalisation*	2	1,7	3	0,0	n. b.
Mindestens einer der folgenden Befunde:	50	41,3	489	4,9	<0,0001
Bulbusrotation	46	38,0	420	4,2	<0,0001
Nystagmus (Augenzittern)	26	21,5	203	2,0	<0,0001
Keine ton. Krämpfe der Rumpfmusk.	5	4,1	32	0,3	<0,0001
Mindestens einer der folgenden Befunde:	121	100,0	9.063	90,8	n. b.
Keine runde, dilatierte Pupille	105	86,8	6.123	61,3	<0,0001
Pupille schlitzförmig	10	8,3	745	7,5	0,6765
1-4 Atemzüge	6	5,0	485	4,9	0,7489
Ohrtonus*	6	5,0	17	0,2	<0,0001
Zungentonus*	46	38,0	5.044	50,5	0,9987
Schwanztonus*	53	43,8	3.887	38,9	0,2110
Aktives Hochziehen*	33	27,3	1.839	18,4	0,0119
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*	50	41,3	1.855	18,6	<0,0001
Deutliche Erregung vor Schuss	19	15,7	1.636	16,4	0,6217
Nachbetäubung	50	41,3	413	4,1	<0,0001
Rasse					<0,0001
„Stun-to-stick“-Intervall					<0,0001

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

Tiere mit unsicherer Beurteilung des jeweiligen Befundes wurden ausgeschlossen

n. b. nicht berechnet, da nicht sinnvoll oder Auftreten zu gering

Die Ergebnisse des exakten Fisher-Tests zeigen, dass die Zusammenhänge zwischen wiederkehrender Atmung und folgenden Befunden signifikant sind: Bulbusrotation, Nystagmus, keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur, Augenbewegungen/Lidschlag, spontaner Lidschlag und Cornealreflex, keine runde, dilatierte Pupille, Ohrtonus und deutliche Reaktion auf den Entblutestich. Darüber hinaus ergeben sich

signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Rassen beim Auftreten wiederkehrender Atmung. Am häufigsten zeigte Braunvieh wiederkehrende Atmung (3,2 % der 1.294 Braunviehbullen), gefolgt von Fleischrindkreuzungen mit 1,7 % (N = 907) und Fleckviehbullen mit 0,9 % (N = 5.481).

Auch für diese Auswertung findet sich eine zusätzliche Betrachtung der Unterschiede für Tiere mit und ohne wiederkehrende Atmung ohne Nachbetäubung im Anhang (Tab. 9.4). Die Ergebnisse entsprechen sich weitgehend außer für den Befund „Nystagmus“ und „keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur“.

Kein statistischer Zusammenhang konnte zwischen dem Wiederkehren der Atmung und den Befundparametern „schlitzförmige Pupille“, „1-4 Atemzüge“, „Schwanztonus“, „Zungentonus“ und „Erregung vor dem Schuss“ hergestellt werden.

4.4 Objektivität der Befunderhebung

Die Befunde an Terminal 2 wurden in drei Intervallen von drei verschiedenen Personen erhoben. Tab. 4.12 zeigt mit welcher Häufigkeit die Befundparameter von den drei Assistenten jeweils mit „ja“, „nein“ oder „nicht beurteilbar“ beurteilt wurden.

Die größten Unterschiede in der Häufigkeit der erhobenen Parameter zwischen den Assistenten gab es für „Schwanztonus“ (70, 24 und 44 %) und „Aktives Hochziehen“ (1, 20 und 30 %). Bei „Augenbewegung/Lidschlag“, „wiederkehrende regelmäßige Atmung“, „Zungentonus“ und „Reaktion auf Entblutestich“, unterschied sich jeweils nur ein Assistent deutlich von den anderen beiden. Da der Ohrtonus erst ab dem zweiten Assistenten mit in die Befunderhebung einfließt, können hier nur Assistent B und C miteinander verglichen werden. Vokalisation trat zu selten auf, um hierüber eine Aussage machen zu können. Tab. 4.13 verdeutlicht die Größenordnung der Unterschiede in der Bewertung mithilfe der Irrtumswahrscheinlichkeit.

Tab. 4.12 Relative Häufigkeit der Befunde nach Assistent

Befundparameter	Assistent	% ja	% nein	% ?	N
Augenbewegungen/Lidschlag	A	0,1	99,8	0,1	2.172
	B	0,7	98,4	0,8	5.433
	C	0,2	99,8	0,0	2.549
Wiederkehrende regelmäßige Atmung	A	0,1	99,8	0,1	2.172
	B	1,2	97,9	0,9	5.433
	C	2,1	97,9	0,0	2.549
Vokalisation	A	0,0	0,0	0,0	2.172
	B	0,0	0,0	0,0	5.433
	C	0,0	0,0	0,0	2.549
Ohrtonus*	A	-	-	-	-
	B	0,2	98,1	1,7	5.433
	C	0,5	99,5	0,0	2.549
Zungentonus	A	69,5	24,1	6,4	2.172
	B	45,6	52,5	1,9	5.433
	C	43,7	56,1	0,2	2.549
Schwanztonus	A	69,8	24,1	6,1	2.172
	B	23,9	74,0	2,0	5.433
	C	44,2	55,7	0,1	2.549
Aktives Hochziehen	A	1,3	98,1	0,6	2.172
	B	20,1	78,8	1,1	5.433
	C	30,0	70,0	0,0	2.549
Deutliche Reaktion auf Entblutestich	A	12,7	83,3	4,0	2.172
	B	16,0	82,8	1,2	5.433
	C	30,0	70,0	0,0	2.549

* Ohrtonus wurde erst ab Tier 2.173 bzw. ab Assistent B erfasst

? Parameter konnte weder sicher mit ja noch mit nein beurteilt werden

Tab. 4.13 Ergebnisse des exakten Fisher-Tests zur Objektivität der Befunderhebung

Befundparameter	p_{AB}	p_{AC}	p_{BC}
Augenbewegungen/Lidschlag	0,0002	0,6933	0,0005
Wiederkehrende Atmung	<0,0001	<0,0001	0,0038
Vokalisation	n. b.	n. b.	n. b.
Ohrtonus	n. b.	n. b.	0,0465
Zungentonus	<0,0001	<0,0001	0,0245
Schwanztonus	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Aktives Hochziehen	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Deutliche Reaktion auf Entblutestich	0,0011	<0,0001	<0,0001

n. b. nicht berechnet, da nicht sinnvoll oder Auftreten zu gering

4.5 Nachbetäubungen

Insgesamt fanden 470 Nachbetäubungen statt (4,6 % von 10.154). Darüber hinaus war es bei 14 Bullen fraglich, ob das Tier beim ersten Schuss getroffen wurde, oder ein Fehlschuss in die Luft abgegeben wurde und die „Nachbetäubung“ sozusagen der erste Kontakt mit dem Tier war. Von den 470 wurden 20 Tiere mehr als einmal nachbetäubt (4,3 % von 470). Sofort in der Betäubungsbox wurden 108 Tiere mit dem pneumatischen Bolzenschussgerät nachgeschossen (23 % von 470), davon sind 34 Tiere beim ersten Betäubungsversuch nicht zusammengebrochen.

4.5.1 Gründe für Nachbetäubungen

Aus Abb. 4.17 geht hervor, dass von den 470 erfolgten Nachbetäubungen 54 % auf fraglich betäubte Tiere, 16 % auf mangelhaft betäubte Tiere und 7 % auf Tiere mit fehlender Betäubungswirkung entfielen. 22 % der nachbetäubten Tiere konnten aufgrund fehlender Werte bei einzelnen Befundparametern („?“) einer Gruppe „Betäubungswirkung“ nicht zuverlässig zugeordnet werden („nicht kategorisierbar“).

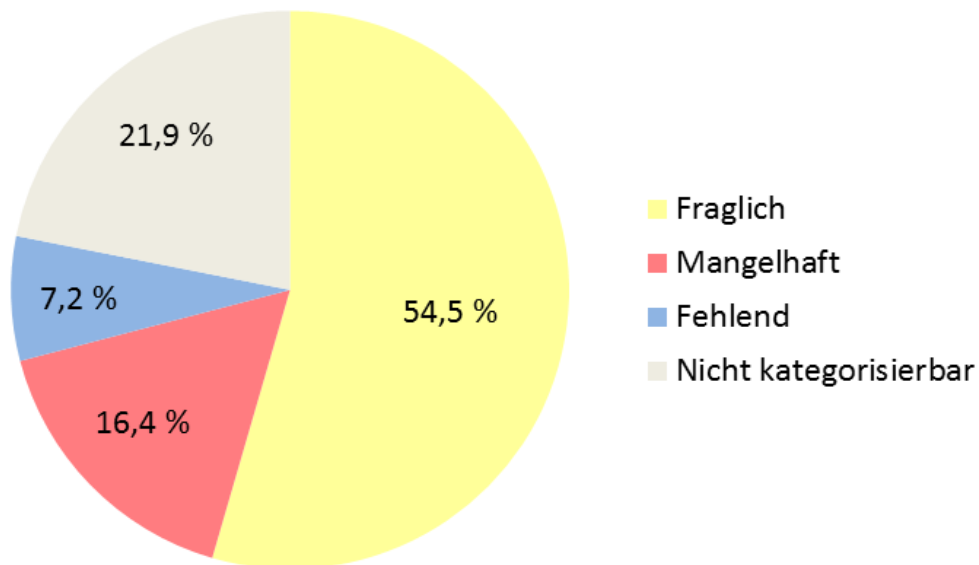


Abb. 4.17 Relative Verteilung der Nachbetäubungen nach Betäubungswirkung

Bei Betrachtung der Tab. 4.14 wird deutlich, dass alle 34 Tiere mit fehlender Betäubungswirkung nachbetäubt wurden, sowie 42 % der 184 mangelhaft betäubten Tiere und 62 % der 412 fraglich betäubten Tiere.

Tab. 4.14 Relative Häufigkeit von Nachbetäubungen pro Gruppe nach Betäubungswirkung

Betäubungswirkung	(N = 10.154)		davon Nachbetäubungen	
	n	%	n	%
fehlend	34	0,3	34	100,0
fehlend?	3	0,0	0	0,0
mangelhaft	184	1,8	77	41,8
mangelhaft?	184	1,8	17	9,2
fraglich	412	4,1	256	62,1
fraglich?	22	0,2	1	4,5
ausreichend	8.342	82,2	14	0,2
ausreichend?	148	1,5	0	0,0
tadellos	752	7,4	0	0,0

n ist die Anzahl der in eine Gruppe eingeordneten Tiere bzw. der Tiere mit Nachbetäubung
N die Größe der Gesamtstichprobe

Tab. 4.15 verdeutlicht, bei welchen Befunden in wieviel Fällen nachbetäubt wurde. Demnach sind 63 % der Tiere mit Bulbusrotation und 87 % der Tiere mit Nystagmus nachbetäubt worden. Schwache oder fehlende tonische Krämpfe kamen insgesamt nur bei 2 der fraglich betäubten Tiere vor. Diese Tiere wurden nicht nachbetäubt.

Tab. 4.15 Auftreten von Befunden und Nachbetäubungen bei fraglich betäubten Tieren

	Nachbetäubung ja N= 256	Nachbetäubung nein N = 156
	% von n ja	% von n ja
Einer der folgenden Befunde:	62,1	37,9
Bulbusrotation	63,1	36,9
Nystagmus (Augenzittern)	87,2	12,8
Keine ton. Krämpfe der Rumpfmusk.	0,0	100,0

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde

Tab. 4.16 zeigt, dass alle Tiere mit positivem Cornealreflex, gerichteten Augenbewegungen oder spontanem Lidschlag nachbetäubt wurden. Von 42 Tieren mit Augenbewegungen/Lidschlag an Terminal 2 sowie 115 Tieren mit wiederkehrender Atmung an Terminal 2 wurden jeweils nur 29 % bzw. 38 % nachbetäubt. Bei regelmäßiger Atmung an Terminal 1 erfolgte in 64 % der Fälle eine Nachbetäubung.

Tab. 4.16 Auftreten von Befunden und Nachbetäubungen bei mangelhaft betäubten Tieren

	Nachbetäubung ja N= 77	Nachbetäubung nein N = 107
	% von n ja	% von n ja
Einer der folgenden Befunde:	41,8	58,2
Cornealreflex auslösbar	100,0	0,0
Gerichtete Augenbewegungen	100,0	0,0
Spontaner Lidschlag	100,0	0,0
Regelmäßige Atmung	63,6	36,4
Lautäußerung	0,0	100,0
Augenbewegung/Lidschlag*	28,6	71,4
Wiederkehrende Atmung*	38,3	61,7
Vokalisation*	50,0	50,0
Einer der folgenden Befunde:	89,3	10,7
Bulbusrotation	88,1	11,9
Nystagmus (Augenzittern)	100,0	0,0
Keine ton. Krämpfe der Rumpfmusk.	100,0	0,0

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

4.5.2 Betäubungspersonal

Je nach personeller Besetzung an der Betäubungsfalle ergaben sich signifikante Unterschiede bei der Nachbetäubungsrate (Chi²-Test, $p < 0,0001$, Tab. 4.17). Betrachtet man nur Betäuber, die während des Versuchs mindestens hundert Tiere betäubt haben, schwankt die Nachbetäubungsrate zwischen 3,6 % und 12,2 %. Der routinemäßig eingesetzte Betäuber (C) liegt mit 4,5 % knapp unter dem Gesamtdurchschnitt.

Tab. 4.17 Relative Häufigkeit von Nachbetäubungen nach personeller Besetzung

Betäuber	%	N
A	12,2	222
B	7,7	272
C	4,5	8.289
D	4,0	100
E	3,6	796
Gesamt-Durchschnitt	4,6	10.154

Tabelle beinhaltet nur Betäuber, die während der Studie mindestens 100 Tiere betäubt haben
N ist die Zahl der betäubten Tiere (mit oder ohne Nachbetäubung) pro Person

4.5.3 Rasse

Signifikante Unterschiede beim Vorkommen von Nachbetäubungen bestehen auch zwischen verschiedenen Rassen (Chi²-Test, $p < 0,0001$, Tab. 4.18). Mit knapp 12 % war das Braunvieh am häufigsten von Nachbetäubungen betroffen. Den mittleren Bereich um etwa 5 % bildeten Schwarzbunte und Sonderkreuzungen. Im unteren Drittel um die 3 - 4 % liegen Fleischrindkreuzungen, Fleischmilchrindkreuzungen und das Fleckvieh.

Tab. 4.18 Relative Häufigkeit von Nachbetäubungen nach Rasse

Rasse	%	N
Braun	11,8	1.294
Sb	5,6	539
SoKre	5,2	249
FI x FI	4,2	907
FI x MI	3,9	436
Fleck	3,2	5.481

Rassen unter 200 Tieren wurden bei dieser Analyse nicht berücksichtigt.

Sb = Schwarzbunte, Braun = Braunvieh, FI x MI = Kreuzung Fleischrasse mit Milchrasse, SoKre = Sonderkreuzung, Fleck = Fleckvieh, FI x FI = Kreuzung zweier Fleischrassen

4.5.4 Alter

Das Alter der Tiere reichte von 331 bis 947 Tagen (\bar{x} = 604 Tage). Wie Tab. 4.19 zeigt, waren milchbetonte Rassen, wie Schwarzbunte oder Braunvieh, zum Zeitpunkt der Schlachtung durchschnittlich älter, als fleischbetonte Rassen. Unabhängig von der Rasse waren Bullen, die nachbetäubt wurden im Median um 11 Tage älter als Bullen ohne Nachbetäubung (Wilcoxon-Test, $p = 0,0006$; $N = 9.526$).

Tab. 4.19 Durchschnittliches Alter der Bullen nach Rasse

Rasse	\bar{x} (Lebenstage)	sd	N
Sb	644	55,2	539
Braun	621	49,2	1.294
FI x MI	617	60,4	436
SoKre	610	52,0	249
Fleck	595	57,1	5.481
FI x FI	594	55,7	907

Rassen unter 200 Tieren wurden bei dieser Analyse nicht berücksichtigt.

Sb = Schwarzbunte, Braun = Braunvieh, FI x MI = Kreuzung Fleischrasse mit Milchrasse, SoKre = Sonderkreuzung, Fleck = Fleckvieh, FI x FI = Kreuzung zweier Fleischrassen

4.5.5 Gewicht

Das in der Betäubungsfalle gemessene Ruhegewicht variierte zwischen 390 und 1181 kg (\bar{x} = 817 kg). Fleischrassen waren hierbei im Durchschnitt schwerer als milchbetonte Rassen (Tab. 4.20). Zwischen dem Gewicht der Tiere und dem Auftreten von Nachbetäubungen gab es keine signifikanten Zusammenhänge ($n = 10140$, Wilcoxon-Test, $p = 0,97$).

Tab. 4.20 Durchschnittliches Gewicht der Bullen nach Rasse

Rasse	\bar{x} (Gewicht)	sd	N
Fleck	826,4	71,9	5.475
FI x FI	817,6	73,5	905
FI x MI	804,7	71,9	436
SoKre	803,7	72,7	249
Braun	803,0	68,2	1.292
Sb	778,7	74,6	538

Rassen unter 200 Tieren wurden bei dieser Analyse nicht berücksichtigt.

Sb = Schwarzbunte, Braun = Braunvieh, FI x MI = Kreuzung Fleischrasse mit Milchrasse, SoKre = Sonderkreuzung, Fleck = Fleckvieh, FI x FI = Kreuzung zweier Fleischrassen

4.5.6 Erregung vor Schuss

Vermehrte Unruhe in der Betäubungsfalle hatten 17,5 % der Tiere gezeigt, die später nachbetäubt werden mussten, sowie 16,3 % der Tiere ohne Nachbetäubung. Hierbei wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen Nachbetäubung und der Erregung der Tiere in der Betäubungsfalle festgestellt (einseitiger Fisher-Test, $p = 0,27$; Tab. 4.21).

Tab. 4.21 Deutliche Erregung der Tiere in der Betäubungsfalle in Verbindung mit Nachbetäubungen

	Nachbetäubung ja N=469	Nachbetäubung nein N=9655
Deutliche Erregung vor Schuss	82 (17,5 %)	1.576 (16,3 %)

4.6 „Stun-to-stick“-Intervalle

Bei insgesamt 5.957 Rindern wurden die „stun-to-stick“-Intervalle aufgezeichnet. Das kürzeste Intervall lag bei 40 s, das längste bei 141 s. Bei 2.308 Tieren wurde die rechtliche Vorgabe von 60 s überschritten (vgl. Abb. 4.18). Der Median betrug 58,0 s, der Mittelwert 59,6 s, bei einer Standardabweichung von 10,5 s. Bei 32 Tieren, die nicht mit in die Berechnung von Median und Mittelwert einfließen, wurden aufgrund einer zeitlichen Verzögerung zunächst die Halsvenen eröffnet, bis die Tiere den Entbluteplatz erreichten, wo sie mit dem Stechhohlmesser vollständig entblutet wurden.

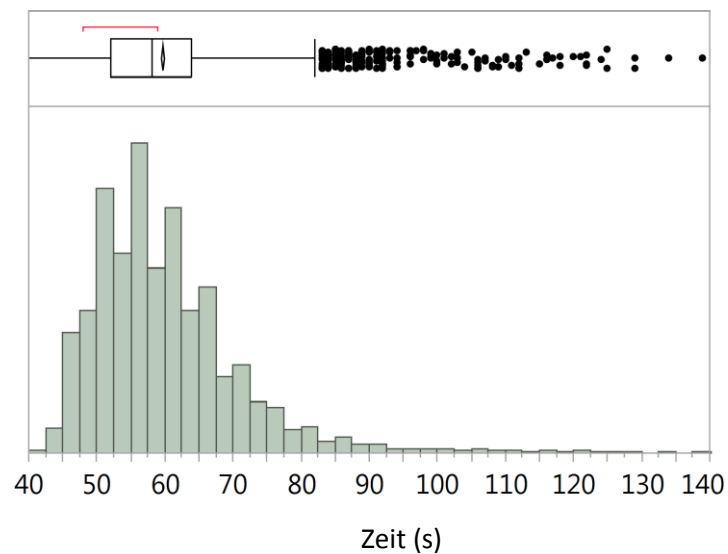


Abb. 4.18 Länge der „stun-to-stick“- Intervalle

Abb. 4.19 zeigt, dass bei Tieren, die nachbetäubt wurden, das Intervall im Durchschnitt um ca. 10 s verlängert war ($N = 284$; $\bar{x} = 68,4$ s; $sd = 13,5$ s). Gemessen wurde immer vom ersten Betäubungsversuch bis zum Setzen des Entblutestichs.

Ein Zusammenhang zwischen der Länge des "stun-to-stick"-Intervalls und dem Auftreten des Befunds „wiederkehrende regelmäßige Atmung“ konnte für Tiere unabhängig von einer Nachbetäubung hergestellt werden. Bei einem Vergleich der Intervalle ausschließlich zwischen Tieren ohne Nachbetäubung war dies nicht der Fall (Tab. 4.22).

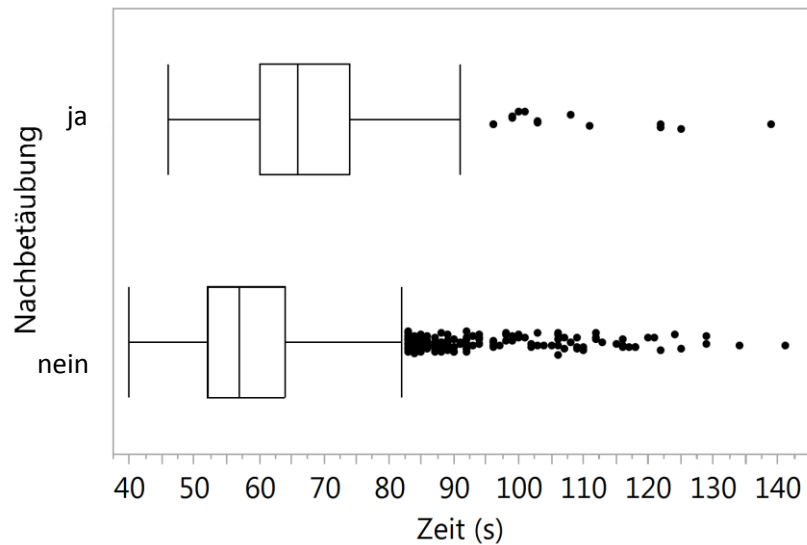


Abb. 4.19 "Stun-to-stick"-Intervalle für Tiere mit und ohne Nachbetäubung

Tab. 4.22 Länge der "stun-to-stick"-Intervalle im Zusammenhang mit wiederkehrender Atmung

	Wiederkehrende Atmung		"stun-to-stick"-Intervalle		
		n	\bar{x} (sec)	sd (sec)	p
Unabhängig von einer Nachbetäubung	Nein	5.865	59,5	10,4	0,0001
	Ja	77	65,5	15,1	
Tiere ohne Nachbetäubung	Nein	5.605	59,2	10,1	0,6565
	Ja	44	59,8	10,8	

5 Diskussion

5.1 Einteilung der Tiere nach Betäubungswirkung

Zur Auswertung der aufgezeichneten Wiegeprotokolle war eine Einteilung der Tiere nach Betäubungswirkung zwingend notwendig. Die dafür herangezogenen Parameter sind im Wesentlichen an die Empfehlungen der *European Food Safety Authority* (EFSA 2004, 2013a) angelehnt. 2013 veröffentlichte die EFSA eine *Toolbox* mit hilfreichen Kriterien zur Beurteilung einer erfolgreichen Betäubung an insgesamt drei Positionen:

- direkt am Auswurf: sofortiges Niederstürzen, keine Aufrichtversuche, Apnoe, tonische Krämpfe der Rumpfmuskulatur, negativer Corneal-/Palpebralreflex; Zusatzkriterien: Verlust des Muskeltonus (Ohr, Zunge, Kiefer, Schwanz), keine Bulbusrotation/Nystagmus, keine Vokalisation
- beim Setzen des Entblutestichs: keine Reaktion auf Entblutestich, erschlaffte Muskulatur, Apnoe; Zusatzkriterien: keine Bulbusrotation/Nystagmus, negativer Corneal-/Palpebralreflex, kein spontaner Lidschlag
- während des Ausblutens: erschlaffte Muskulatur, Apnoe, kein spontaner Lidschlag

Bei sehr strenger Auslegung der Empfehlungen der EFSA-*Toolbox* unter Einbeziehung der Zusatzkriterien (EFSA 2013a) zeigten in dieser Studie 74 - 77 % der Tiere Anzeichen für ein erhaltenes oder wiederkehrendes Bewusstsein. In der Praxis werden jedoch kaum alle dieser empfohlenen Parameter zur Überprüfung der Empfindungslosigkeit herangezogen. Die häufigsten Kriterien zur Beurteilung einer erfolgreichen Betäubungswirkung sind nach einer Umfrage der EFSA sofortiges Niederstürzen nach dem Schuss, negativer Cornealreflex und Apnoe (EFSA 2013a). Wendet man diese Kriterien an, so waren in dieser Studie nicht 74 - 77 %, sondern nur 2 - 3 % der Tiere nicht ausreichend tief betäubt. Je nachdem, welche Parameter zur Beurteilung der Betäubungsqualität herangezogen werden, schwankt also die Rate an Tieren, die einer Nachbetäubung bedürfen, stark. Diese Tatsache muss kritisch im Gedächtnis behalten werden.

In den meisten vergleichbaren Studien zur Effektivität der Bolzenschussbetäubung beim Rind wurde ein Mittelweg beschritten, zwischen den drei häufigsten Kriterien und der sehr weitreichenden EFSA-*Toolbox*. VON WENZLAWOWICZ et al. (2012) untersuchten 1.823 Rinder hinsichtlich der Betäubungswirkung und unterschieden die Gruppen „ok“, „zweifelhaft“, „nicht ok“ und „wach“. Bei sofortigem Niederstürzen, Ausbleiben von Aufrichtversuchen, geöffneten, bewegungslosen Augen und Apnoe wurden die Tiere in die Gruppe „ok“ eingeteilt. Zweifelhaft betäubt waren Rinder mit Augenbewegungen, darunter Nystagmus, und Atemzügen, die nicht häufiger als viermal auftraten. Die Betäubungswirkung galt als „nicht ok“, wenn die Atmung länger andauerte als vier

Atemzüge, spontaner Lidschlag oder positiver Cornealreflex auftraten und/oder der Kopf bzw. die Vordergliedmaßen im Hängen an der Entbluterohrbahn angezogen wurden. Als wach galt ein Tier, wenn es anhaltend regelmäßig atmete, gerichtete Augenbewegungen, Aufrichtversuche oder Lautäußerung zeigte. Gemäß dieser Einteilung wurde die Betäubungswirkung von 6,7 % aus 1.313 Tieren (Schlachtbandgeschwindigkeit > 30 Tiere pro Stunde) und 15,7 % aus 510 Tieren (Schlachtbandgeschwindigkeit < 30 Tiere pro Stunde) als „nicht ok“ bezeichnet.

ATKINSON et al. (2013) führten ähnliche Untersuchungen an 998 Rindern durch. Sie unterschieden drei Gruppen: „Stun Quality Rate 1 - 3“. SQR 3 umfasste fehlendes Niederstürzen, Aufrichtversuche, Lautäußerung, Schmerzreaktion, positiven Cornealreflex und regelmäßige Atmung, SQR 2 Bulbusrotation und Nystagmus und SQR 1 fehlende tonische Krämpfe nach dem Schuss, partielle Bulbusrotation, einmaliges Geräusch beim Ausatmen, angezogener Kopf an der Entbluterohrbahn, Schnappatmung, Reaktion auf den Entblutestich, angespannte Ohrmuskulatur und im Maul verbleibende Zunge. Als nicht ausreichend tief betäubt galten Tiere mit SQR 2 und 3. Dies betraf 12,5 % der 998 Rinder und 16,7 % der 585 Bullen.

GOUVEIA et al. (2009) unterschieden lediglich zwei Gruppen: erfolgreich und nicht erfolgreich betäubte Tiere. Als nicht erfolgreich betäubt wurden Tiere eingestuft, die mindestens einen der folgenden Parameter zeigten: kein sofortiges Niederstürzen, fehlende tonische Krämpfe, regelmäßige Atmung, Bulbusrotation, Ohrmuskeltonus, Reaktion auf Schmerzstimulus an der Nase oder Lautäußerung. 32 % der 850 untersuchten Rinder zeigten mindestens einen der genannten Parameter und galten somit als nicht ausreichend tief betäubt. GOUVEIA et al. (2009) kamen auch zu dem Schluss, dass stets mehr als ein Zeichen zur Beurteilung der Betäubungstiefe herangezogen werden sollte.

In einer Studie von GREGORY et al. (2007) wurden 1.608 Rinder hinsichtlich der Betäubungstiefe nach Bolzenschuss beurteilt. 8,7 % der Tiere waren nicht ausreichend tief betäubt und wiesen mindestens eines dieser Kriterien auf: kein sofortiges Niederstürzen nach dem ersten Schuss, zweiter Schuss war notwendig, regelmäßige Atmung, Bulbusrotation oder positiver Cornealreflex. Von den Bullen waren demnach 16,3 % mangelhaft betäubt.

In der vorliegenden Arbeit basierte die Beurteilung der Betäubungseffektivität auf dem in Tab. 4.1 dargestellten Schema. Für die Auswertung der Wiegeprotokolle spielte eine möglichst genaue Feststellung der Betäubungstiefe eine sehr wichtige Rolle. Daher wurden die Tiere anhand der von der EFSA empfohlenen Parameter in fünf abgestufte Gruppen eingeteilt. Orientierung gab hierbei das dreistufige Modell des Beratungs- und Schulungsinstituts für Tierschutz bei Transport und Schlachtung Schwarzenbek (BSI 2013), welches zwischen „ok“, „fraglich“ und „nicht ok“ unterscheidet:

- ok: sofortiges Zusammenbrechen, tonische Krämpfe der Rumpfmuskulatur, Augapfel zentriert, Pupille weitet sich, Apnoe, keine Bewegungen des Körpers im Hängen, gerade Rückenlinie, Zunge hängt aus dem Maul, Schwanz- und Ohrmuskulatur schlaff
- fraglich: Nystagmus, anhaltende Bulbusrotation, Nystagmus, 1 x Lidreflex, 1 - 3 Atemzüge, keine oder untypische Verkrampfung, Zunge verbleibt im Maul, Schwanz gespannt, 1 x oder kurzzeitig Kopf oder Vorderbeine eingerollt oder seitliches Aufziehen, Ohrtonus
- nicht ok: Lidreflex, spontaner Lidschlag > 1 x, gerichtete Augenbewegungen, regelmäßige Atmung > 3 x, Vokalisation > 1 x, Aufrichtversuche (rückwärtiges Aufbiegen), gerichtete Bewegungen des Körpers, seitliches Aufziehen > 1 x oder länger anhaltend, eingerollte Vorderbeide/Kopf > 1 x oder länger anhaltend

Daraus entwickelt hat sich folgende Einteilung für diese Studie: Bei Tieren, die beim ersten Schuss nicht niederstürzten war die Betäubungswirkung fehlend. Bullen, die zwar zusammengebrochen sind, jedoch schwerwiegende Befunde, wie positiven Cornealreflex, gerichtete Augenbewegungen, spontanen Lidschlag, regelmäßige (wiederkehrende) Atmung oder Lautäußerung/Vokalisation aufwiesen, galten als mangelhaft betäubt. Trat am Auswurf eine Bulbusrotation nach rostral, Nystagmus oder eine fehlende tonische Verkrampfung der Rumpfmuskulatur auf, wurden die Tiere als fraglich betäubt gewertet. Laut GIBSON et al. (2012) ist Bulbusrotation bei mit Bolzenschuss betäubten Schafen eines der ersten Anzeichen wiederkehrenden Bewusstseins, während Nystagmus sowohl bei empfindungslosen als auch bei wachen Tieren auftreten kann. GREGORY et al. (2007) beziffern die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tier mit Nystagmus bei Bewusstsein ist mit eins zu drei. Die Gruppe „Betäubungswirkung ausreichend“ war definiert durch Parameter, die zwar teilweise empfohlen werden, deren Aussagekraft jedoch durch wissenschaftliche Untersuchungen noch nicht ausreichend geklärt wurde (Schwanztonus, Pupillenform, Restatemzüge, Reaktion auf Entblutestich) oder zu denen es widersprüchliche Interpretationen (Zungentonus) gibt. Da alle anderen gängigen Parameter zur Überprüfung der Betäubungsqualität, die nach Tab. 4.1 bzw. Tab. 9.2 im Anhang zur Einteilung in die Gruppen „Betäubungswirkung fehlend“, „mangelhaft“ oder „fraglich“ geführt hätten, nicht aufgetreten sind, waren die Tiere mit größtmöglicher Sicherheit ausreichend gut betäubt. Ein Ziel dieser Arbeit war es, die Aussagekraft dieser „unklären“ Befunde wissenschaftlich zu überprüfen. Diese Gruppe wurde folglich zur Auswertung des Wiegesystems nicht herangezogen. Aus systematischen Gründen wurden auch Ohrtonus und seitliches Krümmen als Teil der „Muskeltonus-Parameter“ dieser Gruppe zugeordnet und überprüft, wenngleich GOUVEIA et al. (2009) einen erhaltenen Ohrtonus als häufigstes Zeichen ineffizienter Betäubung deuten. Als tadellos betäubt galten Tiere, die keinen der genannten Befunde aufwiesen.

Nach der erläuterten Einteilung, die in dieser Studie angewandt wurde, war die Betäubungswirkung nach dem ersten Schuss bei 0,3 % der 10.154 Jungbullen fehlend,

bei 1,8 % mangelhaft, bei 4,1 % fraglich, bei 82,2 % ausreichend und bei 7,4 % tadellos. 6,2 % der 10.154 Tiere wiesen demnach eine fehlende, mangelhafte oder fragliche Betäubungswirkung auf und waren somit nach dem ersten Schuss unzureichend betäubt oder gefährdet, das Bewusstsein wieder zu erlangen. Dies ist ein vergleichsweise niedriger Wert im Vergleich zu 6,7 bis 32 % nicht ausreichend tief betäubten Tieren in den bereits genannten Studien (ATKINSON et al. 2013, GOUVEIA et al. 2009, GREGORY et al. 2007, VON WENZLAWOWICZ et al. 2012). Verglichen mit den Werten für nicht ausreichend tief betäubte Bullen von 16,3 % bei GREGORY et al. (2007) und 16,7 % bei ATKINSON et al. (2013) ist deren Anteil in dieser Studie mit 6,2 % sogar deutlich geringer. Gründe für die deutlich niedrigeren Werte könnten unter anderem in der sicheren Kopffixierung und der hohen kinetischen Energie des pneumatischen Betäubungsgerätes liegen. In den Untersuchungen von GREGORY et al. (2007) und ATKINSON et al. (2013) wurde ohne Kopffixierung und mit patronen- bzw. kartuschenbetriebenen *Cash*-Bolzenschussgeräten betäubt.

34 von 10.154 Bullen (0,3 %) wurden fehlbetäubt, d. h. sie stürzten beim ersten Betäubungsversuch nicht nieder. In der Studie von ATKINSON et al. (2013) betraf dies 1 % von 585 Bullen, bei GREGORY et al. (2007) 4,2 % von 306 Bullen. 5,5 % von 366 Bullen wurden in einer Untersuchung von MARZIN et al. (2008) mit mehr als einem Schuss betäubt, bevor sie zusammenbrachen. Andere Studien unterscheiden nicht zwischen den Geschlechtern und kommen auf Fehlbetäubungsraten von 0,01 % bei 771 untersuchten Tieren (ROMERO et al. 2012), 21 % bei 95 Rindern (BOURGUET et al. 2011) und 27,2 % bei 335 Tieren (GALLO et al. 2003). Auch hier zeichnet sich ein positiver Effekt der Kopffixierung ab. Der niedrigste Wert von 0,01 % wurde in einem Schlachthof mit zuverlässiger Kopffixierung erreicht (ROMERO et al. 2012). In der gleichen Studie wurde ein zweiter Schlachtbetrieb ohne jegliche Bewegungseinschränkung des Kopfes untersucht. Hier lag die Rate an Tieren, die beim ersten Schuss nicht zusammengebrochen sind bei 7,7 % (N = 572). Die Betäubung erfolgte in beiden Fällen mit einem pneumatischen Bolzenschussgerät, wobei im ersten Betrieb ein Reinigungs- und Wartungsprotokoll geführt wurde. Im zweiten Schlachthof war dies nicht der Fall. GALLO et al. (2003) konnte eine erhebliche Verbesserung der Fehlbetäubungsrate durch den Einsatz einer Kopffixierung, eines separaten Kompressors für das pneumatische Bolzenschussgerät, sowie Personaltraining dokumentieren. Von 27,2 % sank der Anteil fehlbetäubter Tiere auf 2,2 % ab.

82,2 % der Bullen zeigten ausschließlich einen oder mehrere dieser Befunde: keine runde, dilatierte Pupille, schlitzförmige Pupille, 1-4 Atemzüge, Ohr-, Zungen-, oder Schwanztonus, seitliches Krümmen oder eine deutliche Reaktion auf den Entblutestich. Es ist durch wissenschaftliche Untersuchungen nicht ausreichend gesichert, dass das Auftreten eines oder mehrerer dieser Parameter ausreicht, um eine Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit des Tieres zu unterstellen. Eine Beurteilung der Aussagekraft dieser Parameter erfolgt in Kapitel 5.3.

5.2 Analyse der Wiegeprotokolle

Über den Umfang und die Aussagekraft der zu verwendenden Parameter zur Beurteilung der Betäubungseffektivität besteht in der Praxis mitunter große Uneinigkeit. Dies geht sowohl aus persönlichen Gesprächen mit Überwachungspersonal, Tierschutzbeauftragten und Amtstierärzten an verschiedenen Schlachthöfen als auch aus dem Vergleich wissenschaftlicher Literatur hervor (ATKINSON et al. 2013, BSI 2013, EFSA 2004, 2013a, GOUVEIA et al. 2009, GREGORY et al. 2007, VON WENZLAWOWICZ et al. 2012). Diese Problematik wurde bereits in Kapitel 5.1 ausführlich dargestellt. Eine einheitliche automatisierte Betäubungsüberwachung könnte dieser Unsicherheit bei der Beurteilung der Betäubungswirkung entgegenwirken. In erster Linie soll eine solche Entwicklung dem Tierschutz dienen. Tiere, die nicht ausreichend tief betäubt wurden, sollten augenblicklich erkannt und nachbetäubt werden. Die Aufforderung zur Nachbetäubung könnte über ein akustisches oder optisches Signal erfolgen. In zweiter Linie könnte ein solches Überwachungssystem eine zunehmend wichtiger werdende lückenlose Dokumentation der Betäubungsqualität ermöglichen, wie sie in einem Beschluss des Bundesrates bereits gefordert wurde (ANON. 2012a). Bislang ist eine durchgehende Überwachung und Dokumentation der Betäubung durch eigens dafür abgestelltes Personal zu kosten- und zeitintensiv. Gesetzlich vorgeschrieben sind laut Artikel 5 Absatz 1 der VO (EG) Nr. 1099/2009 lediglich „repräsentative Stichprobenkontrollen“ (ANON. 2009).

Im Bereich der Schweineschlachtung wurden bereits Forschungsprojekte zur Umsetzung automatisierter Systeme zur Überwachung der Entblutung sowie zur Feststellung der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit vor der Weiterverarbeitung durchgeführt (ARNOLD et al. 2014, SPRENGER et al. 2014, TROEGER und MEILER 2006).

Der Umsetzung eines automatisierten Systems zur Betäubungsüberwachung im Bereich Rinderschlachtung lag die Idee zu Grunde, das Niederstürzen der betäubten Tiere mittels einer unter der Betäubungsfalle installierten hochauflösenden Waage aufzuzeichnen und die Wiegeverläufe bezüglich der Betäubungswirkung auszuwerten. In der vorliegenden Arbeit sollte geprüft werden, ob ein zeitlich verzögertes Zusammenbrechen oder Unterschiede in der Ausprägung der durch Anziehen der Gliedmaßen und das Niederstürzen entstehenden Ausschläge möglicherweise Aufschluss über die Qualität der Betäubungswirkung geben können.

Was erste, visuelle Vergleiche der Wiegeprotokolle anfangs vermuten ließen, bestätigten Tests aus der multivariaten Statistik: die Wiegeaufzeichnungen von fehlbetäubten Tieren, d. h. von Bullen, die beim ersten Betäubungsversuch nicht niederstürzten, lassen sich deutlich von den Übrigen unterscheiden. Dies zeigt sich sowohl in einem relativ einfachen Vergleich der Mittelwerte der definierten Gruppen nach Betäubungswirkung (Abb. 4.4), als auch in der Hauptkomponentenanalyse (vgl. Abb. 4.5 bzw. Abb. 4.8) und der darauf aufbauenden Diskriminanzanalyse (vgl. Tab. 4.3 bis Tab. 4.6). Tiere, die zwar zusammenbrechen, jedoch sehr ernst zu nehmende Befunde, wie beispielsweise

spontanen Lidschlag oder regelmäßige Atmung aufwiesen, und damit beim ersten Betäubungsversuch nicht tief genug betäubt waren („Betäubungswirkung mangelhaft“), konnten – genauso wie fraglich betäubte Tiere – anhand der Wiegekurven allerdings nicht ausreichend gut erkannt werden (vgl. Abb. 4.4, Abb. 4.5, Abb. 4.10, Abb. 4.12). Zur Absicherung dieses Ergebnisses wurde für fraglich und mangelhaft betäubte Tiere zusätzlich eine PLS-Regression berechnet, die zu vergleichbaren Resultaten kam (vgl. Abb. 4.15 bzw. Abb. 4.16).

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse zeigen, dass 31 der insgesamt 33 Jungbullen, die beim ersten Schuss nicht niederstürzten, per Wiegesystem korrekt erkannt werden konnten. Dies entspricht einer Sensitivität von 94 %. Die dazugehörige Spezifität liegt bei 98 %, was wiederum bedeutet, dass das System in 98 % der Fälle korrekt erkannt hat, dass die Tiere augenblicklich zusammengebrochen sind. Mangelhaft betäubte Tiere, also Tiere mit mindestens einem der Befunde „Cornealreflex auslösbar“, „gerichtete Augenbewegungen“, „spontaner Lidschlag“, „regelmäßige Atmung“ und „Lautäußerung“ konnten anhand der Wiegeprotokolle lediglich zu 49 % korrekt erkannt werden (vgl. Tab. 4.4). Weder Unterschiede in der Ausprägung der Ausschläge, noch zeitliche Verzögerungen reichten in diesen Fällen aus, um diese Tiere anhand der Wiegeverläufe differenzieren zu können. Noch schwieriger gestaltete sich die Erkennung fraglich betäubter Tiere. Hier lag die Sensitivität bei nur 42 % (vgl. Tab. 4.4). Da eine Zweiteilung in „ausreichend gut betäubt“ und „Nachbetäubung nötig“ in der Praxis ausreichend wäre, wurden die Gruppen „fraglich“, „mangelhaft“ und „fehlende Betäubungswirkung“ zusammengefasst und gegen tadellos betäubte Tiere aufgetragen. Bei dieser Einteilung lag die Sensitivität bei insgesamt 61 % (vgl. Tab. 4.6).

Entscheidend für eine erfolgreiche Differenzierung fehlbetäubter Tiere anhand der Wiegekurven war der deutlich später auftretende „Hauptpeak“, welcher durch das reflexartige Anziehen der Gliedmaßen und das anschließende Niederstürzen des Tieres entsteht. In der Regel trat dieser innerhalb der ersten Sekunde nach dem Schuss auf. Bei Tieren, die beim ersten Betäubungsversuch nicht niederstürzen, erschien er erst zwischen Sekunde 1,5 und 4, nach einer sofortigen Nachbetäubung in der Betäubungsfalle. Dennoch löste der erste Betäubungsversuch eine Reaktion des Tieres und damit einen geringen Ausschlag innerhalb der ersten Sekunde aus. Dieser Ausschlag lieferte die Information, dass das Tier beim ersten Schuss getroffen wurde. Ist keinerlei Reaktion der Waage innerhalb der ersten Sekunde zu sehen, muss hinterfragt werden, ob die zeitliche Verzögerung nicht durch einen technischen Fehler bedingt wurde, der in mindestens zwei Fällen auftrat (vgl. Abb. 4.3 b und c).

Die Ergebnisse der Analysen zeigen, dass eine praktische Umsetzung einer direkten technischen Entscheidungshilfe bezüglich erforderlicher Nachbetäubungen im Sinne eines Echtzeit-Alarmsystems mittels der Wiegeprotokolle bislang nicht möglich ist. Zwar können die schwerwiegendsten Fälle von Fehlbetäubungen, in denen das Tier beim ersten Schuss nicht zusammenbricht, mit einer ausreichend hohen Sensitivität und

Spezifität ermittelt werden. Bei fraglich und mangelhaft betäubten Tieren reicht die Trennschärfe anhand der Wiegeprotokolle jedoch nicht zu einer automatischen Differenzierung aus. Doch gerade eine Entscheidungshilfe bezüglich einer erforderlichen Nachbetäubung für diese beiden Gruppen wäre von herausragender praktischer Bedeutung, da speziell in diesem Bereich *in praxi* mitunter Unsicherheit in der Bewertung der Anzeichen herrscht und Tiere mit undeutlichen Anzeichen geringer Betäubungstiefe leichter übersehen werden können. Tiere, die nach dem ersten Betäubungsversuch nicht niedergestürzt sind, erkennt der Betäuber selbst ohne aufwändige Prüfung von Reflexen sofort.

Durchaus möglich und denkbar wäre nach den Erkenntnissen dieser Studie jedoch eine automatische, statistische Erfassung und Dokumentation der Fehlbetäubungsrate, ähnlich wie sie im Beschluss 672/12 des Bundesrates gefordert wird (ANON. 2012a). Erfasst werden könnten zunächst nur die Tiere, die beim ersten Schuss nicht zusammengebrochen sind. Angesichts der Tatsache, dass diese Möglichkeit die erste ihrer Art ist, Daten zu Fehlbetäubungen automatisch vollständig zu erfassen, wäre dies jedoch bereits ein erster Fortschritt. Eine täglich dauerhaft erfasste Dokumentation ließe in Verbindung mit Schlachtbandnummer, Personal- und Wartungsplan der Betäubungsgeräte wertvolle Rückschlüsse auf Gründe für eine erhöhte Fehlbetäubungsrate und Möglichkeiten zur Optimierung zu (ATKINSON et al. 2013, GALLO et al. 2003, MARZIN et al. 2008, TROEGER 2007, VON HOLLEBEN 2008, VON MICKWITZ 1982).

Studien, die bis zu 27 % Fehlbetäubungen (kein Niederstürzen nach dem ersten Schuss) dokumentieren, verdeutlichen den Handlungsbedarf in Bereich Tierschutz bei der Überwachung der Betäubungseffektivität und dem Herbeiführen einer Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit (ATKINSON et al. 2013, BOURGUET et al. 2011, GALLO et al. 2003, GREGORY et al. 2007, MARZIN et al. 2008, ROMERO et al. 2012).

5.3 Analyse der klinisch-neurologischen Befunde

Die Erhebung der klinisch-neurologischen Befunde in dieser Studie diene in erster Linie zur Eingruppierung der Tiere entsprechend der Betäubungseffektivität als Basis für die Auswertung der Wiegeprotokolle. In zweiter Linie jedoch lieferte sie gerade durch ihren ungewöhnlich großen Umfang bezüglich der Tierzahlen, als auch der beurteilten Parameter wertvolle neue Erkenntnisse. Besonderer Fokus lag hierbei auf einer Analyse der Aussagekraft von Parametern, zu denen bislang keine oder nur wenige Untersuchungen vorliegen bzw. zu denen widersprüchliche Einschätzungen gegeben wurden, wie der Pupillenform, Restatemzügen, Ohr-, Zungen- und Schwanztonus, aktivem Hochziehen und einer deutlichen Reaktion auf den Entblutestich. Diese Parameter wurden deshalb bezüglich ihrer Bedeutung für die Beurteilung der Betäubungseffektivität zunächst als „unklar“ eingestuft (vgl. Kapitel 5.1). Andere Kriterien

wurden in Studien bereits mehrfach untersucht. FRICKER und RIEK führten 1981 elektroencephalografische Untersuchungen an 12 Rindern durch, die mit Bolzenschuss betäubt wurden. Laut ihrer Ergebnisse ist ein Tier wirksam betäubt und wahrnehmungslos, wenn es sofort niederstürzt, keine Aufstehversuche unternimmt, starre und reflexlose Augen hat und die Atmung ausgefallen ist. Neuere Studien bestätigen diese Einschätzung (GIBSON et al. 2012, GOUVEIA et al. 2009). Unter Berücksichtigung dieser Kriterien (entsprechend den Gruppen Betäubungswirkung „fraglich“, „mangelhaft“ und „fehlend“) wurde die Aussagekraft der unklaren Parameter geprüft (vgl. Tab. 4.8). Umso wichtiger erschien diese Aufgabe, nachdem deutlich wurde, dass ein Großteil der Tiere (92,4 %) mindestens einen dieser unklaren Befunde zeigte, wohingegen nur 2,0 % der Tiere einen der Befunde aufwiesen, die zur Beurteilung „mangelhaft betäubt“ und 5,4 % der Tiere einen Befund, der zur Beurteilung „fraglich betäubt“ führte (vgl. Tab. 4.7).

Der Verlust der regelmäßigen Atmung gilt als eines der wichtigsten, wenn nicht sogar als wichtigstes Anzeichen für eine ausreichende Betäubungstiefe (EFSA 2013a, GRACEY et al. 1999, GREGORY und SHAW 2000). Durch eine durchgehende Beobachtung der Tiere vom Schusszeitpunkt bis zum Ende der „Schwall-Entblutung“ fiel auf, dass direkt nach dem Auswurf aus der Falle bei nur 0,3 % der Jungbullen regelmäßige Atmung zu beobachten war, während insgesamt 1,2 % der Bullen wiederkehrende Atmung zum Zeitpunkt des Stechens zeigten (Tab. 4.7). Bei den unzureichend betäubten Tieren war der Anteil entsprechend 19 % und 4 % (Tab. 4.8). Damit war wiederkehrende regelmäßige Atmung der häufigste Befund, der zur Beurteilung „mangelhaft betäubt“ beitrug und dennoch erst relativ spät (zum Zeitpunkt des Stechens) wahrgenommen werden konnte. Besonders wichtig erschien es daher „Frühwarnzeichen“ zu ermitteln, die eine wiederkehrende Atmung ankündigen. Aus diesem Grund wurden alle Parameter mit dem Auftreten wiederkehrender Atmung korreliert (Tab. 4.11).

Bewertung der unklaren Parameter

Sowohl beim Vergleich von gut mit unzureichend betäubten Tieren, als auch von Tieren mit und ohne wiederkehrende Atmung bestanden signifikante Unterschiede in der Häufigkeit der unklaren Parameter „keine runde, dilatierte Pupille“, „Ohrtonus“ und „deutliche Reaktion auf Entblutestich“ (Tab. 4.8 und Tab. 4.11).

90 % der unzureichend betäubten Tiere wiesen am Auswurf (etwa 15 - 30 s nach dem Schuss) keine maximal dilatierte Pupille auf, jedoch auch 62 % der gut betäubten Bullen ($p < 0,0001$). Beidseitig dilatierte, reaktionslose Pupillen sind typisch für einen Hirnstammdefekt, bei welchem die sehr nah beieinander liegenden parasymphatischen Nuclei beider *Nn. oculomotorii III* beschädigt wurden (OLIVER et al. 1997). Sind durch ein Trauma im Mittelhirn sowohl die parasymphatische als auch die sympathische Leitungsbahn betroffen, findet man reaktionslose balkenförmige Pupillen vor (OLIVER et al. 1997). Diese Tatsache lässt vermuten, dass bei Tieren mit balkenförmiger Pupille und Tieren mit runder, dilatierter Pupille unterschiedliche Areale im Hirnstamm beschädigt

wurden. Es lässt sich jedoch von einer balkenförmigen Pupille nicht direkt auf eine unvollständige Betäubungswirkung schließen, da auch 62 % der gut betäubten Tiere eine nicht maximal dilatierete Pupille aufwiesen (Tab. 4.8). Darüber hinaus wiesen einige Tiere auch eine sehr schmale, schlitzförmige Pupille auf. Tab. 4.10 zeigt, dass sie – ähnlich wie eine balkenförmige Pupille – vergleichsweise häufig in Verbindung mit Bulbusrotation oder Nystagmus auftrat.

GRACEY et al. (1999) weisen darauf hin, dass komplett dilatierete reaktionslose Pupillen ein verlässlicher Parameter für totale Wahrnehmungslosigkeit seien, sie mitunter jedoch erst relativ spät nach Verlust des Bewusstseins zu beobachten sind. Dies würde einerseits untermauern, dass die Tiere dieser Untersuchung mit maximal dilatierter Pupille ca. 15 - 30 s nach dem Schuss in der Folge kaum Anzeichen unzureichender Betäubungstiefe zeigten und andererseits den relativ hohen Prozentsatz gut betäubter Tiere mit nicht sofort maximal geweiteter Pupille erklären. Möglich ist also, dass balken- und schlitzförmige Pupillen gut betäubter Tiere nach der Beurteilung an Terminal 1 noch weiter dilatierten. Eine dahingehende Prüfung konnte jedoch aufgrund des Arbeitsablaufes und den räumlichen Gegebenheiten nicht durchgeführt werden.

Als Zufallsbefund wurde bei einigen Tieren eine Anisokorie beobachtet, ohne dass ein kontinuierliches Screening stattfand. Eine Anisokorie kann ein Hinweis darauf sein, dass der Hirnstamm unilateral getroffen wurde und die Betäubungswirkung unter Umständen nicht ideal ist. Dass der Schusskanal des Bolzens trotz korrektem Ansatzpunkt bereits bei minimal abweichendem Ansatzwinkel deutlich variieren kann, zeigen anatomische Studien sowohl von FINNIE et al. (2002) als auch FRICKER und RIEK (1981). Möchte man die Pupillenform als Beurteilungskriterium mit einbeziehen, ist eine bilaterale Beurteilung der Augen über einen längeren Zeitraum in jedem Falle empfehlenswert.

Aus der Gruppe der „Muskeltonus-Parameter“ ist der Ohrtonus der einzige, der sowohl in einem Vergleich von Tieren mit und ohne wiederkehrende Atmung, als auch von gut und unzureichend betäubten Tieren signifikante Unterschiede aufwies (Tab. 4.10 und Tab. 4.11). Innerviert werden die Ohrmuschelmuskeln vom *N. facialis VII*, dessen Kerne – wie auch das Atmungszentrum – in der *Medulla oblongata* liegen. Laut einer Studie von GOUVEIA et al. (2009) war der Ohrmuskeltonus der am häufigsten beobachtete Indikator für eine unzureichende Betäubungswirkung. Insgesamt 69 % der unzureichend betäubten Tiere hatten einen erhaltenen Ohrtonus (GOUVEIA et al. 2009). In einer Untersuchung von BOURGUET et al. (2011) hatte eines von 78 Rindern 30 s nach dem Entblutestich einen erhaltenen Ohrtonus. Aus dieser Veröffentlichung ging jedoch nicht hervor, ob und welche weiteren Anzeichen dieses Tier zeigte. In der vorliegenden Arbeit wiesen 2,9 % der 456 unzureichend betäubten Tiere einen erhaltenen Ohrtonus auf, während nur 0,1 % der 7225 gut betäubten Tiere betroffen waren (vgl. Tab. 4.8). Der *N. facialis VII* ist ebenfalls am Lidschlussreflex beteiligt, welcher gemeinhin als wichtiger Indikator für die

Betäubungsqualität gilt. Diese Tatsache könnte die Annahme untermauern, der Ohrtonus sei ein aussagekräftiges Kriterium zur Beurteilung der Betäubungseffektivität.

Weiterhin bestand in der vorliegenden Untersuchung ein signifikanter Unterschied für die Reaktion auf den Entblutestich zwischen gut und unzureichend betäubten Tieren sowie zwischen Tieren mit und ohne wiederkehrende Atmung (Tab. 4.8 und Tab. 4.11). Er kann als Schmerzreaktion, ausgelöst durch eine Stimulierung von Nozizeptoren im Brustbereich, gewertet werden. Während in einer Untersuchung von ATKINSON et al. (2013) 4,4 % der Bullen auf den Entblutestich reagierten, sind es in der vorliegenden Arbeit 19 % der gut betäubten Bullen sowie 22 % der unzureichend betäubten Bullen. In einer Untersuchung von HILSENBECK (2007) zeigten 46 % der Rinder schwache sowie 20 % mittlere bis starke Reaktionen auf den Entblutestich. Lediglich 34 % der Rinder reagierten überhaupt nicht auf den Bruststich (HILSENBECK 2007). Reaktionen auf nozizeptive Stimuli können laut GASQUOINE (1997) sowohl in einem Zustand der Empfindungsfähigkeit als auch der Empfindungslosigkeit auftreten. Nicht zuletzt deshalb gestaltet sich eine zuverlässige Interpretation dieses Parameters eher schwierig.

Ebenfalls schwer interpretierbar waren die Ergebnisse der Parameter „Schwanztonus“ und „Aktives Hochziehen“. Generell zeigten sowohl 40 % der gut und 41 % der unzureichend betäubten Tiere einen erhaltenen Schwanztonus zum Zeitpunkt des Setzens des Entblutestichs (Tab. 4.8). Es bestand also kein statistisch signifikanter Unterschied. Bei einer Betrachtung von Tieren ohne Nachbetäubung war bei 47 % der unzureichend und 40 % der gut betäubten Tiere der Schwanztonus erhalten. Allein für diese Teilgruppe bestand ein statistisch signifikanter Unterschied (Tab. 9.3). Keine Korrelation bestand mit dem Auftreten wiederkehrender Atmung (Tab. 4.11). Innerviert wird der *M. coccygeus* (langer Seitwärtszieher des Schwanzes) von den *Nn. rectales caudales* (KÖNIG und LIEBICH 2005). Er kann damit dem unteren motorischen Neuron-System (UMN) zugeordnet werden. Fraglich ist daher, ob aus neurologischer Sicht etwaigen Schwanzbewegungen zum Zeitpunkt des Stechens überhaupt eine Bedeutung bezüglich der Betäubungstiefe beigemessen werden sollte, obwohl Bewegungen der Gliedmaßen kaum Beachtung geschenkt wird, mit der Begründung sie werden durch spinale Reflexe verursacht. Zusätzlich ist zu bedenken, dass das einseitige Aufziehen der Tiere an der linken Hintergliedmaße eine asymmetrische Belastung von Wirbelsäulen- und Schwanzmuskulatur bewirken kann. Auch HILSENBECK (2007) untersuchte Schwanztonus und -bewegungen beim Aufziehen der Rinder nach der Betäubung und stellte fest, dass bei 33 % der Schwanz vom Körper abstand und 5 % mit dem Schwanz schlagen. Bei 61 % der Rinder hing der Schwanz herunter, jedoch mit erkennbarem Resttonus. Wie in Kapitel 5.4 dargestellt wird ist die Beurteilung des Schwanztonus darüber hinaus sehr subjektiv und vermutlich stark abhängig vom exakten Zeitpunkt der Beurteilung.

Aktives Hochziehen bzw. seitliches Krümmen nach dem Aufziehen an der linken Hintergliedmaße zeigten 19 % der gut und 16 % der unzureichend betäubten Tiere (Tab. 4.8). Es wurden bereits geringe Grade an seitlicher Krümmung vermerkt. Denkbar ist auch hier – ähnlich wie beim Schwanztonus – ein Einfluss der einseitigen Aufhängung der Tiere. Signifikant häufiger trat aktives Hochziehen in Verbindung mit wiederkehrender Atmung auf (Tab. 4.11).

Keine statistisch belegbaren Zusammenhänge gibt es zwischen dem Auftreten wiederkehrender Atmung bzw. anderen Parametern, die eine unzureichende Betäubung anzeigen und 1 - 4 Restatemzügen am Auswurf, einer im Maul verbleibenden Zunge und dem Erregungszustand der Tiere vor dem Schuss (Tab. 4.8 und Tab. 4.11).

Unter 1 - 4 Restatemzügen wurden durch eine vor die Nase des Rindes gehaltene Hand spürbare, aber nicht sichtbare Atembewegungen verstanden. Es ist möglich, dass es sich hierbei lediglich um ein passives Ausströmen von Luft aus der Lunge handelte, welche beim Aufziehen des Tieres an der Hintergliedmaße durch die Verlagerung von Pansen und anderen abdominalen Strukturen komprimiert wurde.

Ein „aus-dem-Maul-Hängen“ der Zunge wird von GRANDIN (2002, 2010), der EFSA (2013a) und dem BSI (2013) zumindest als Zusatzparameter zur Beurteilung der Betäubungstiefe herangezogen. In der vorliegenden Untersuchung konnte jedoch keinerlei Korrelation zwischen dem Heraushängen der Zunge und einer guten Betäubungsqualität bzw. dem Verbleiben der Zunge im Maul und einer unzureichenden Betäubungswirkung hergestellt werden. Während bei 48 % der unzureichend betäubten Bullen die Zunge im Maul verblieb, war dies ebenso bei 52 % der gut betäubten Tiere der Fall. Ähnliche Werte gehen aus einer Studie von HILSENBECK (2007) hervor, in der 54 % der Rinder die Zunge im Maul bleibt. Bezüglich des Auftretens von wiederkehrender Atmung konnten keinerlei statistische Zusammenhänge gefunden werden. Auch GREGORY et al. (2007) konnte keine statistische Relevanz dieses Indikators bezüglich der Betäubungsqualität feststellen, bemerkten jedoch, dass Bullen weit seltener eine heraushängende Zunge aufwiesen als Ochsen oder Färsen (29 % zu 48 % bzw. 37 %). Er spricht einen möglichen Zusammenhang mit der höheren Prävalenz unzureichender Betäubungsqualität bzw. einer größeren Zunge bei Bullen im Vergleich zu Färsen als mögliche Gründe an (GREGORY et al. 2007). Im Fall der vorliegenden Studie wurden ausschließlich Jungbullen untersucht, weshalb eher von einem anatomischen als einem betäubungsrelevanten Grund auszugehen ist. Denkbar wäre auch eine Lockerung der Kiefermuskulatur und der Zunge abhängig vom Aufprall des Kopfes auf dem Auswurfrost bzw. durch eine Nachbetäubung.

Ein Zusammenhang zwischen der Erregung der Tiere vor dem Betäubungsschuss mit der Effektivität der Betäubung, wie er laut VON HOLLEBEN (2008) postuliert wird, ließ sich in dieser Studie nicht nachweisen. Ein möglicher Grund könnte die zuverlässige und präzise

Kopffixierung sein, die selbst bei sehr unruhigen Tieren eine exakte Positionierung des Bolzenschussapparates ermöglicht.

Bewertung der bewährten Parameter

Neben den bereits diskutierten Parametern bestanden für die Befunde „Cornealreflex auslösbar“, „gerichtete Augenbewegungen“, „spontaner Lidschlag“, „Augenbewegungen/Lidschlag“, „regelmäßige Atmung“, „Bulbusrotation“, „Nystagmus“ und „keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur“ signifikante Zusammenhänge mit dem Auftreten von wiederkehrender Atmung. Auch die Rasse hatte Einfluss auf die Häufigkeit wiederkehrender Atmung (vgl. Tab. 4.11).

Wenig Zweifel besteht in einschlägiger Literatur über die Relevanz von Augen- bzw. Lidbewegungen und -reflexen bezüglich geringer Betäubungstiefe (BSI 2013, EFSA 2004, 2013a, FRICKER und RIEK 1981, GIBSON et al. 2012, GREGORY 2007, LAV 2014, TROEGER 2007). Abweichende Ansichten wurden bereits in Kapitel 2.2.5 dargestellt.

Einer der am häufigsten auftretenden Parameter, der in signifikantem Zusammenhang mit wiederkehrender Atmung stand, war Bulbusrotation. Sie trat bei 38 % (46 von 121) der Tiere mit wiederkehrender Atmung auf, jedoch nur bei 4 % (420 von 9981) der Tiere ohne wiederkehrende Atmung (Tab. 4.11). Die Kerne des *N. oculomotorius III* und *N. trochlearis IV* liegen im *Mesencephalon*. Der Kerne des *N. abducens VI* weiter kaudal im *Myelencephalon*. Bei einer Rotation des Bulbus nach rostral fällt die Funktion des *N. abducens VI* aus, während die Nerven der anderen Augenmuskeln unbeschädigt zu sein scheinen (OLIVER et al. 1997, VANDEVELDE et al. 2001). Unklar ist, warum ausgerechnet bei intaktem Atmungszentrum der nahe gelegene *N. abducens VI* beschädigt und die rostral, entfernt gelegenen *Nn. oculomotorius III* und *trochlearis IV* wiederum intakt zu sein scheinen. Eine mögliche Erklärung wäre, dass nicht die Kerne mechanisch durch das Eindringen des Bolzens beschädigt werden, sondern Erschütterung und Hämorrhagien afferente Bahnen des *N. abducens VI* an anderer Stelle schädigen. Tatsache ist jedoch, dass auch in anderen Studien Bulbusrotation als häufiges Zeichen einer unzureichenden Betäubung beschrieben wird (GIBSON et al. 2012, GREGORY et al. 2007). Ungeachtet dessen, zeigten nur etwa 10 % (46 von 466) der Tiere mit Bulbusrotation im späteren Verlauf wiederkehrende Atmung (Tab. 4.11). Dies mag abhängig sein von Grad und Dauer der Bulbusrotation, einer erfolgten Nachbetäubung und dem Zeitintervall bis zum Stechen.

In gewisser Hinsicht verhält es sich ähnlich beim Auftreten von Nystagmus. Dieser kann durch einen zentralen (Hirnstamm-) oder peripheren vestibulären Defekt ausgelöst werden (OLIVER et al. 1997). 22 % der Tiere, die wiederkehrende Atmung zeigen, wiesen vorher Nystagmus auf. Jedoch konnte bei nur 11 % (26 von 229) der Tiere mit Nystagmus zu einem späteren Zeitpunkt Atmung beobachtet werden (Tab. 4.11). Auch hier vermag diese Tatsache mit dem Grad und der Dauer des Nystagmus, einer eventuellen

Nachbetäubung und der Zeit bis zum Stechen zusammenhängen. In einer Studie von GREGORY et al. (2007) bestand eine eins-zu-drei Chance, dass ein Tier mit Nystagmus nicht ausreichend tief betäubt war. Vor allem trat Nystagmus signifikant häufiger in Verbindung mit regelmäßiger Atmung auf (GREGORY et al. 2007). Auch GIBSON et al. (2012) schreiben, Nystagmus und Bulbusrotation könne sowohl bei ausreichend als auch bei weniger tief betäubten Tieren vorkommen. Von 28 Schafen, die Zeichen unvollständiger Gehirnerschütterung zeigten, wiesen in ihrer Studie 32 % Nystagmus und 46 % Bulbusrotation auf (GIBSON et al. 2012).

5.4 Objektivität der Befunderhebung

Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich über die 39 Untersuchungstage von August bis Januar hinweg ein und dieselbe Person an Terminal 2 zur Beurteilung der Befundparameter einzusetzen. Die drei eingesetzten Assistenten hatten jedoch eine vergleichbare Ausbildung im Schlachthofbereich und bekamen die gleiche Unterweisung zur Beurteilung der Parameter. Dennoch wurden teilweise große Unterschiede in der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Befunde deutlich. Die stärksten Schwankungen traten bei den positiven Beurteilungen von „Schwanztonus“ von 24 % bis 70 % und „aktives Hochziehen“ von 1 % bis 30 % auf (vgl. Tab. 4.12). Bei „Augenbewegung/Lidschlag“, „wiederkehrende regelmäßige Atmung“, „Zungentonus“ und „Reaktion auf Entblutestich“, unterschied sich jeweils nur ein Assistent deutlich von den anderen beiden. Zusätzlich variierte, welcher der drei Personen sich von den anderen beiden in ihrer Beurteilung unterschied. Es ist daher nicht davon ausgehen, dass ein Assistent generell strenger bzw. milder bewertet hat. Viel wahrscheinlicher ist, dass einige Parameter oft graduell abgestuft und daher nur schwer mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten sind.

Bei einer solchen Betrachtung muss beachtet werden, dass viele Faktoren die Qualität der Betäubung beeinflussen und diese über den langen Zeitraum der Datenerhebung natürlich schwankten (Näheres hierzu in Kapitel 5.5). Aussagen zur Objektivität der Beurteilung sollten folglich als Tendenzen und nicht als eindeutige Aussagen verstanden werden.

5.5 Nachbetäubungen

In der vorliegenden Untersuchung wurden 4,6 % der 10.154 Bullen nachbetäubt. Dieser Wert liegt teilweise deutlich unterhalb der Nachbetäubungsrate vergleichbarer Studien. Laut einer Publikation von GREGORY et al. (2007) wurden 6,5 % von 306 Jungbullen nachbetäubt, bei ENDRES (2005) 7,8 % von 704 Jungbullen, bei MARZIN et al. (2008) 12 % von 366 Jungbullen und bei ATKINSON et al. (2013) sogar 16,7 % von 585 Bullen. Wie hoch die Anzahl der Tiere ist, die nachbetäubt werden, hängt einerseits von der Qualität der Erstbetäubung ab, zum anderen jedoch auch von der Aufmerksamkeit und

Sensibilität des Betäubers. Während bei ATKINSON et al. (2013) v.a. bei fehlendem Niederstürzen, Aufstehversuchen, Lautäußerung, Schmerzreaktion, spontanem Lidschlag, positivem Cornealreflex, regelmäßiger Atmung, deutlicher Bulbusrotation und Nystagmus nachbetäubt wurde, zog bei ENDRES (2005) hauptsächlich das Auftreten von regelmäßiger Atmung, Lid- bzw. Cornealreflex oder gerichtetem Blick eine Nachbetäubung nach sich. Aus den beiden anderen Studien geht nicht hervor, aufgrund welcher Befunde nachbetäubt wurde, da – ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit – die Nachbetäubungsrate unabhängig von der Qualität der Betäubungswirkung erfasst wurde. In der eigenen Studie oblag die Entscheidung, wann nachbetäubt werden sollte, primär dem Schlachthofpersonal (Betäuber und Anschlinger), während die Betäubungsqualität von der Autorin und einem Assistenten mithilfe des erläuterten Einteilungsschemas (Tab. 4.1) beurteilt wurde.

Im Wesentlichen wurden Tiere mit der Beurteilung „fraglich“ bzw. „mangelhaft“ nachbetäubt, sowie Tiere, die beim ersten Betäubungsversuch nicht niederstürzten. Abb. 4.17 zeigt, dass ein Großteil der 470 Nachbetäubungen (55 %) bei Tieren mit fraglicher Betäubungswirkung stattfand, während „nur“ 7 % aufgrund fehlenden Niederstürzens beim ersten Betäubungsversuch erfolgten. Aus Tab. 4.14 geht jedoch hervor, dass – im Gegensatz zu Tieren mit fehlender Betäubungswirkung – bei Weitem nicht alle Bullen mit fraglicher und mangelhafter Betäubungswirkung nachbetäubt wurden. Es stellte sich die Frage, warum 38 % der 412 fraglich und 58 % der 184 mangelhaft betäubten Bullen nicht nachbetäubt wurden und welche Befunde diese Tiere zeigten.

Aus Tab. 4.15 geht hervor, dass Nystagmus häufiger eine Nachbetäubung nach sich zog (87 %) als eine Rotation des Bulbus (63 %) (jeweils alleine oder in Kombination). Mögliche Gründe für eine nicht erfolgte Nachbetäubung bei Bullen mit Bulbusrotation sind, dass sich der Bulbus nach einigen Sekunden zentrierte bzw. der Grad der Rotation gering war und das Tier im Anschluss keine weiteren Anzeichen unzureichender Betäubungstiefe mehr aufwies. GIBSON et al. (2012) beschreiben, dass Bulbusrotation bei mit Bolzenschuss betäubten Schafen zwar häufig eines der ersten Zeichen unzureichender Betäubungstiefe sei, diese in manchen Fällen jedoch wieder verschwindet und das Tier ohne weitere Anzeichen mangelnder Betäubungstiefe verstirbt. Nystagmus trete, ähnlich wie Bulbusrotation, sowohl bei gut und unzureichend betäubten Tieren auf (GIBSON et al. 2012). Laut GREGORY et al. (2007) besteht beim Auftreten von Nystagmus eine eins-zu-drei Chance, dass das betroffene Tier nicht ausreichend tief betäubt ist. Vor allem besteht ein erhöhtes Risiko, dass im weiteren Verlauf regelmäßige Atmung wieder einsetzt. GOUVEIA et al. (2009) schließen aus ihren Untersuchungen, dass zur besseren Unterscheidung zwischen gut und unzureichend betäubten Rindern stets mehr als ein Befund berücksichtigt werden sollte. Nach den Ergebnissen der genannten Veröffentlichungen kann es folglich vertretbar sein, ein Tier, welches nur vorübergehend Bulbusrotation oder Nystagmus bzw. nur einen geringen Grad ohne

weitere Anzeichen unzureichender Betäubungstiefe zeigt, zunächst weiter zu beobachten und nur im Falle weiterer kritischer Anzeichen nachzubetäuben.

Laut Tab. 4.16 wurden mangelhaft betäubte Tiere mit positivem Cornealreflex, gerichteten Augenbewegungen oder spontanem Lidschlag ausnahmslos nachbetäubt. Tiere mit regelmäßiger Atmung auf dem Auswurfrost wurden zu 64 % nachbetäubt. Bei wiederkehrender Atmung am Stechplatz erfolgte jedoch nur in 38 % der Fälle eine Nachbetäubung, sowie bei 29 % der Tiere mit Augenbewegungen/Lidschlag (ebenfalls Terminal 2). Es kann daraus geschlussfolgert werden, dass die Aufmerksamkeit bezüglich Augen- und Lidreflexen, sowie gerichteten Augenbewegungen am Auswurf sehr hoch war, so dass diese Befunde stets zu einer Nachbetäubung führten, wohingegen regelmäßige Atmung der Tiere vor allem an Terminal 2 häufig übersehen oder ignoriert wurde. Die Autorin sieht hierfür zwei Gründe: zum einen müssen die Tiere kontinuierlich beobachtet werden, da die Atmung zunächst aussetzen, einige Sekunden später jedoch wieder einsetzen kann (vgl. Kapitel 5.3.2). Die Detektion von Atemzeichen ist daher schwieriger oder zumindest aufwändiger. Andererseits ist die Zeit für diese „aufwändige“ Beobachtung gerade am Entbluteplatz kurz bemessen, da das mit der Entblutung betraute Personal einem knappen Zeitregime unterworfen ist, um die „stun-to-stick“-Intervalle von 60 s nicht zu überschreiten. Ähnliches gilt für Augenbewegungen/Lidschlag im Bereich des Entblutens. Ein kurzer, einmaliger Blick auf die Augen des Tieres genügte oft nicht, um diese Anzeichen wahrzunehmen, da sie mit Unterbrechung auftreten können. Für eine kontinuierliche Beobachtung fehlte dem Personal am Stechplatz oftmals die Zeit.

In der Praxis sind neben dem Begriff „Nachbetäubung“ auch die Begriffe „Fehlbetäubung“ und „Sicherheitsschuss“ geläufig. Gerade „Nachbetäubungsrate“ und „Fehlbetäubungsrate“ werden häufig synonym verwendet, obwohl sie nicht zwingend das gleiche bedeuten. TROEGER und MOJE (2012) definieren die Fehlbetäubungsrate als „Häufigkeit der Notwendigkeit von Mehrfachschüssen, weil die Tiere nach dem ersten Schuss nicht oder nicht ausreichend tief betäubt waren“. Eine Fehlbetäubung liegt also in jedem Fall vor, wenn das Tier beim ersten Betäubungsversuch nicht niederstürzt (Betäubungswirkung fehlend). Wann ein Tier nicht ausreichend tief betäubt ist, wird – wie bereits in Kapitel 5.5, erster Absatz erläutert – von Studie zu Studie bzw. von Schlachthof zu Schlachthof unterschiedlich beurteilt. Gerade beim Auftreten nur eines einzigen Indikators unzureichender Betäubungstiefe, insbesondere bei alleinigem Auftreten von Bulbusrotation oder Nystagmus, muss das Tier nicht zwingend fehlbetäubt sein. Unter anderem für solche Tiere wurde der Begriff „Sicherheitsschuss“ eingeführt. Angewandt auf die vorliegende Untersuchung würde dies bedeuten, dass – gemäß Abb. 4.17 – etwa die Hälfte der erfolgten 470 Nachbetäubungen eher „Sicherheitsschüsse“ darstellten, während ca. ein Viertel der Nachbetäubungen aufgrund einer Fehlbetäubung erfolgte (Betäubungswirkung „fehlend“ bzw. „mangelhaft“). Ungeachtet dessen würde ohne ausgeführten „Sicherheitsschuss“ ein Teil der Tiere mit fraglicher Betäubungswirkung mit

sehr hoher Wahrscheinlichkeit seine Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit wiedererlangen. Beim übrigen Viertel konnte eine Zuordnung zu den genannten Begriffen aufgrund fehlender Werte bei einzelnen Befundparametern nicht getroffen werden.

Technische Gründe für die vergleichsweise niedrige Nachbetäubungs- bzw. Fehlbetäubungsrate für Jungbullen in dieser Studie sieht die Autorin vor allem in der zuverlässigen und individuell einstellbaren Kopffixierung (sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung) und der Verwendung eines pneumatischen Bolzenschussgerätes mit kontinuierlich hoher kinetischer Energie (ALGERS und ATKINSON 2007, GALLO et al. 2003, TROEGER und MOJE 2012, VON WENZLAWOWICZ et al. 2012). Diese wird gewährleistet durch den Anschluss des Gerätes an einen separaten Kompressor.

Neben technischen Gegebenheiten beeinflussen noch mindestens zwei weitere Größen den Erfolg der Betäubung: das Individuum Mensch (Betäuber) und das Individuum Tier (zu betäubendes Rind). In der vorliegenden Untersuchung wurden fünf Betäuber bezüglich der Nachbetäubungsrate miteinander verglichen. Dabei handelt es sich bei Person C um den routinemäßig eingesetzten Betäuber, der 8289 der 10.154 Jungbullen betäubte. Betäuber E war die Ersatzperson erster Wahl, mit 796 Bullen. Betäuber A, B und D betäubten zwischen 100 und 272 Rinder und waren jeweils nur für 15 - 20 Minuten täglich, während der Pause des „Routine-Betäubers“, im Einsatz. Berücksichtigt wurden nur Personen, die während der Untersuchung insgesamt mindestens hundert Tiere betäubt haben. Der Routine-Betäuber lag mit 4,5 % Nachbetäubungen knapp unterhalb des Durchschnitts von 4,6 %. Zwei der Ersatz-Betäuber lagen niedriger, darunter die erste Ersatzperson E mit 3,6 %. Die beiden anderen Ersatz-Betäuber lagen mit 7,7 % (B) und 12,2 % (A) Nachbetäubungen deutlich über dem Durchschnitt. In einer Untersuchung von DÖRFLER et al. (2013) wurde der Anteil erfolgreich betäubter Tiere an zwei Schlachthöfen mit jeweils einem Routine-Betäuber und einem Ersatz-Betäuber verglichen. In beiden Schlachthöfen war die Fehlbetäubungsrate bei den Ersatzpersonen jeweils mehr als doppelt so hoch wie beim Routine-Betäuber. In einer Studie von MARZIN et al. (2008) wurden drei Betäuber verglichen. Hier lag die Nachbetäubungsrate des Routine-Betäubers bei 5,7 %, einer zweiten Person bei 10,7 % und einer dritten Person bei 13,6 %. ATKINSON et al. (2013) verglichen an den enthäuteten Rinderschädeln den Ansatz des Bolzenschussgerätes zwischen fünf Betäufern. 95 % der Tiere schoss der erfahrenste Betäuber innerhalb von 2 cm um die Idealposition, während der am wenigsten erfahrene Betäuber nur 81 % der Rinder in diesem Bereich traf. GALLO et al. (2003) verglichen die Nachbetäubungsrate vor und nach Personalschulung, die sich von 10,4 % Nachbetäubungen auf 2,2 % verbesserte. In allen Studien – inklusive der eigenen – spiegelt sich der große Einfluss der Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt des Personals wider. Im Unterschied zu den genannten Publikationen erzielte der erfahrenste Betäuber (C) in der vorliegenden Untersuchung nicht die niedrigste Nachbetäubungsrate. Gründe hierfür könnten folgende sein: zum einen kann eine Person, die nur für 15 - 20 Minuten eingewechselt wird, vermutlich für diesen Zeitraum konzentrierter arbeiten, als diejenige,

die täglich mehrere Stunden mit der Betäubung betraut ist. Zum anderen ist eine höhere Nachbetäubungsrate nicht zwingend schlechter zu beurteilen, insofern „Sicherheitsschüsse“ mit eingerechnet sind.

Die Betäubungsqualität wird auch von Seiten des Tieres mitbeeinflusst. Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen Nachbetäubungsrate und Rasse, Alter, Gewicht sowie Erregungszustand der Rinder. In einer Gegenüberstellung der vertretenen Rinderrassen stach das Braunvieh mit einer Nachbetäubungsrate von 12 % im Vergleich zum Durchschnitt deutlich hervor. Über dem Gesamtdurchschnitt von 4,6 % lagen außerdem Schwarzbunte und Sonderkreuzungen mit 5,6 bzw. 5,2 % Nachbetäubungen. Kleinrahmigerer Fleischrassen – u.a. das Fleckvieh – bzw. Fleischrassenkreuzungen lagen mit 3,2 bis 4,2 % Nachbetäubungen unter dem Gesamtdurchschnitt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt ENDRES (2005), in dessen Untersuchungen Fleckvieh und Fleisch-Fleckvieh im Vergleich mit anderen Rassen die niedrigsten Nachbetäubungsraten von 6,5 % bzw. 6,4 % aufwiesen. In einer Veröffentlichung von GOUVEIA et al. (2009) erscheint das Verhältnis umgekehrt: hier konnten milchbetonte Rassen, wie Holstein Friesian und Jersey öfter mit einem Schuss ausreichend betäubt werden als fleischbetonte Rassen. Braunvieh war in der genannten Studie nicht vertreten. In einer anatomischen Studie wurde bei Schwarzbunten und Rotbunten der Hirnstamm häufiger getroffen, als bei fleischbetonten Rassen wie Deutsch Angus und Charolais (KOHLEN 2011). Eine mögliche Erklärung, warum in der vorliegenden Untersuchung Fleckvieh die niedrigste Nachbetäubungsrate hatte, ist, dass es sich dabei um die an diesem Schlachthof am häufigsten vertretene Rasse handelte. Folglich hatte der Betäuber am meisten Erfahrung mit diesem Phänotyp und hatte bei diesen Tieren möglicherweise eine bessere Orientierung zum Setzen des Schusspunktes. Braunvieh stellte in dieser Studie die großrahmigste Rasse mit einem tendenziell längeren Schädel dar. Es könnte sein, dass der normalerweise gebräuchliche Schussansatz bei diesen Tieren für eine bessere Betäubungswirkung etwas (nach dorsal) versetzt hätte erfolgen müssen.

Im Einklang mit GOUVEIA et al. (2009) sind in dieser Untersuchung nachbetäubte Jungbullen tendenziell älter als Jungbullen ohne Nachbetäubung. Bei ENDRES (2005) stellt es sich wiederum umgekehrt dar. Jungbullen unter 1,5 Jahren hatten eine etwas höhere Nachbetäubungsrate als Bullen zwischen 1,5 und 2 Jahren.

Zwischen Jungbullen mit und ohne Nachbetäubung konnte kein signifikanter Zusammenhang bezüglich des Gewichts hergestellt werden. KOHLEN (2011) errechnete ein 1,4 % höheres Risiko einer sogenannten „positiven Schusspunktdifferenz“ (Entfernung des Bolzens zum Hirnstamm) pro 100 kg Gewichtszunahme. Möglicherweise spielt die direkte mechanische Zerstörung des Hirnstammes bei dem in der eigenen Untersuchung verwendeten pneumatischen Bolzenschussgerät mit hohem Druck (17 bar) eine geringere Rolle, als bei Kartuschen-betriebenen Geräten. Diese Einschätzung steht im Einklang mit den Schlussfolgerungen von ALGERS und ATKINSON (2007), die stärkere subdurale

Blutungen, verursacht durch pneumatische Geräte, verantwortlich machen für eine bessere Betäubungswirkung. Es muss jedoch auch beachtet werden, dass die Differenz zwischen dem durchschnittlichen Gewicht der Rassen Braunvieh und Fleckvieh (höchste und niedrigste Nachbetäubungsrate) in der vorliegenden Untersuchung nur etwa 20 kg betrug.

Tab. 5.1 führt Tab. 4.18, Tab. 4.19 und Tab. 4.20 zusammen und veranschaulicht die Zusammenhänge zwischen den vertretenen Rinderrassen, der Nachbetäubungsrate, dem durchschnittlichen Alter und Gewicht der Tiere. Braunvieh und Schwarzbunte waren durchschnittlich älter und leichter, während Fleischrindkreuzungen, Fleischmilchrindkreuzungen und Fleckvieh tendenziell jünger und schwerer waren. Die Nachbetäubungsrate stieg bzw. fiel annähernd proportional zum durchschnittlichen Alter und annähernd antiproportional zum Gewicht der Tiere. Einerseits könnte das höhere Alter der Rassen Braunvieh und Schwarzbunt einen etwas dickeren Schädelknochen (*Os frontale*), einen höheren Pneumatisierungsgrad des *Sinus frontalis* oder eine geringfügig dickere Haut mit sich bringen, andererseits könnte auch der generelle Phänotyp dieser Rassen, d. h. der tendenziell länglichere Schädel, die höhere Nachbetäubungsrate mit sich gezogen haben.

Tab. 5.1 Zusammenhänge zwischen Rasse, Nachbetäubungsrate, Alter und Gewicht

Rasse	Nachbetäubung (%)	Alter (d)	Gewicht (kg)
Braun	11,8	621,0	803,0
Sb	5,6	643,8	778,7
SoKre	5,2	610,0	803,7
FlxFl	4,2	593,6	817,6
FlxMI	3,9	616,9	804,7
Fleck	3,2	594,8	826,4

Rottöne = höchste Werte, Grüntöne = niedrigste Werte

Sb = Schwarzbunte, Braun = Braunvieh, FlxMI = Kreuzung Fleischrasse mit Milchrasse, SoKre = Sonderkreuzung, Fleck = Fleckvieh, FlxFl = Kreuzung zweier Fleischrassen

Abgesehen von den phänotypischen Einflussgrößen auf die Nachbetäubungsrate wird auch ein Einfluss des Temperaments bzw. des Grades der Erregung der Tiere vor der Betäubung vermutet. Laut Beratungs- und Schulungsinstitut für Tierschutz bei Transport und Schlachtung Schwarzenbek ist die Effektivität der Betäubung umso besser, je ruhiger die Tiere vor der Betäubung sind (BSI 2013, VON HOLLEBEN 2008). Dieser Effekt konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden (Tab. 4.21). Beurteilt wurde der Grad der Nervosität bzw. der Abwehrreaktionen in der Betäubungsfalle. Möglicherweise bestünde ein Zusammenhang, wären die Tiere über einen längeren Zeitraum (ab dem Abladen vom Transporter) dahingehend beobachtet worden. Denkbar ist auch, dass die zuverlässige Kopffixierung, trotz Abwehrbewegungen der Tiere, ein präzises Ansetzen

des Bolzenschussgerätes am Schädel und damit eine gute Betäubungswirkung ermöglicht hat. Zweifelsohne wäre eine Betäubung ohne vorherige strenge Kopffixierung, bei der in Ruhe der geeignete Moment zum Ansatz des Bolzenschussgerätes abgewartet würde, aus Tierschutzsicht noch wünschenswerter (EWBANK et al. 1992). Bei den heutigen hohen Schlachtgeschwindigkeiten großer Schlachtbetriebe jedoch scheint eine Kopffixierung, welche eine exakte Positionierung des Bolzenschussapparates ermöglicht, wohl erforderlich und ratsam, insofern die Fixierung so schonend wie möglich und der Zeitraum der Fixierung möglichst kurz gehalten wird.

5.6 „Stun-to-stick“-Intervalle

Das maximal zulässige „stun-to-stick“-Intervall, also die Zeit zwischen Bolzenschussbetäubung und Entblutestich, beträgt laut Anlage 2 der Tierschutz-Schlachtverordnung bei Rindern 60 s (ANON. 2012b). In der vorliegenden Untersuchung wurden 2.308 der 5.957 Tiere, bei denen das „stun-to-stick“-Intervall gemessen wurde, erst nach mehr als 60 s nach der Bolzenschussbetäubung entblutet. Im Mittel betrug das „stun-to-stick“-Intervall 59,6 s bei einer Standardabweichung von 10,5 s. Der Median lag bei 58,0 s. Einen Grund für ein verlängertes Intervall stellten Nachbetäubungen dar. 450 von 470 Tieren wurden auf dem Auswurfrost oder im Hängen nachbetäubt, 20 Tiere direkt in der Betäubungsfalle. Dieser zusätzliche Arbeitsschritt zwischen der ersten Betäubung und dem Entblutestich verlängerte das Intervall im Vergleich zu Tieren mit nur einer Betäubung um durchschnittlich 10 s ($N = 284$; $\bar{x} = 68,4$ s, $sd = 13,5$ s). Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch ATKINSON et al. (2013) in einer schwedischen Studie, in der Tiere ohne Nachbetäubung nach durchschnittlich 103 s ($sd = 14$ s) und Tiere mit Nachbetäubung nach durchschnittlich 116 s ($sd = 27$ s) entblutet wurden. Es lässt sich jedoch durchaus darüber streiten, ob das „stun-to-stick“-Intervall in den 284 Fällen einer Nachbetäubung rein formal tatsächlich überschritten wurde, oder ob eine Messung ab dem Zeitpunkt der Nachbetäubung adäquater gewesen wäre. Weitere Gründe für ein verlängertes Intervall waren starke klonische Krämpfe der Tiere, die die Arbeit des Personals beim Entbluten behinderten, oder Probleme technischer Art. Nach dem Anschlingen mussten die Tiere zum Entbluten vom Auswurfrost in eine ca. 2 m höher gelegene Etage befördert werden (vgl. Abb. 3.3). Stockte das Förderband, oder blieb es stehen, konnten die Tiere vereinzelt schlecht erreicht werden. In einigen wenigen Fällen fiel ein Tier vom Auswurfrost und musste unter großem Zeitverlust mit einer zusätzlichen Kette hochgezogen werden.

ROMERO et al. (2012) konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem verlängerten „stun-to-stick“-Intervall und dem vermehrten Auftreten von Zeichen unzureichender Betäubungstiefe feststellen. Auch in der vorliegenden Untersuchung bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten wiederkehrender Atmung mit der Länge des „stun-to-stick“-Intervalls (vgl. Tab. 4.22). Dieser steht jedoch vermutlich in Zusammenhang mit Nachbetäubungen, d. h. Tiere, die aufgrund mangelnder

Betäubungstiefe nachbetäubt wurden, waren gefährdeter wiederkehrende Atmung zu zeigen als Tiere, die bis dahin keinerlei Anzeichen einer unzureichenden Betäubungstiefe aufwiesen. Gleichzeitig verlängerte sich das „stun-to-stick“-Intervall automatisch um einige Sekunden durch die Ausführung einer Nachbetäubung. Bei einem Vergleich aller Tiere ohne Nachbetäubung konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen vermehrt auftretender wiederkehrender Atmung und einem verlängerten „stun-to-stick“-Intervall festgestellt werden (Tab. 4.22). Eine mögliche Erklärung warum in der vorliegenden Arbeit kein eindeutiger Zusammenhang zwischen einem verlängerten „stun-to-stick“-Intervall und dem vermehrten Auftreten von wiederkehrender Atmung hergestellt werden konnte, ist, dass die „stun-to-stick“-Intervalle nicht so stark variierten wie in der Studie von ROMERO et al. (2012), in der der Großteil der Tiere erst zwischen Sekunde 61 und 180 entblutet wurde. Wie in Kapitel 5.5 dargestellt, könnten die Bemühungen des Personals, das vorgeschriebene Intervall nicht zu überschreiten, nach Einschätzung der Autorin auch durchaus dazu führen, dass die Tiere zum Zeitpunkt des Blutentzugs nicht mehr so genau auf Anzeichen unzureichender Betäubungstiefe beobachtet werden wie es wünschenswert wäre bzw. die Ausführung einer Nachbetäubung im raschen Arbeitsablauf „zu viel Zeit“ erfordere.

VON WENZLAWOWICZ et al. (2012) untersuchten die Betäubungseffektivität im Hinblick auf die Länge des „stun-to-stick“-Intervalls an verschiedenen Schlachthöfen. Bei Entblutung durch Bruststich zeigten 5,7 % der Tiere mit einem Intervall über 60 s (N = 524) und 7,2 % der Tiere mit einem Intervall innerhalb von 60 s (N = 610) Anzeichen einer nicht ausreichenden Betäubungswirkung. Laut dieser Studie hatte eine Überschreitung der 60 s in Verbindung mit einem Bruststich weniger Auswirkungen als bei einer Entblutung durch Eröffnung der Halsvenen (VON WENZLAWOWICZ et al. 2012).

Es kann geschlussfolgert werden, dass Tiere mit einem geringfügig verlängerten „stun-to-stick“-Intervall bei gut ausgeführter Betäubung nicht notwendigerweise vermehrt Anzeichen unzureichender Betäubungstiefe zeigen. Nichtsdestoweniger ist die sicherste Methode aus Sicht des Tierschutzes ein sofortiges Entbluten mittels Bruststich noch in der Betäubungsfalle. Hierfür ist jedoch eine spezielle, entsprechend konstruierte Betäubungsfalle nötig, wie sie von TROEGER (2002) beschrieben wird. Ist die Möglichkeit des unmittelbaren Entblutens nicht gegeben, bleibt die gewissenhafte Beobachtung der Tiere bis zum Blutentzug und darüber hinaus, unabhängig von der Länge des „stun-to-stick“-Intervalls, die wichtigste Aufgabe des Personals, um die Tiere vor einem Wiederkehren der Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit zu bewahren.

5.7 Schlussfolgerungen für die Praxis

- Je nach Berücksichtigung verschiedener Kriterien und Zusatzindikatoren variiert die Rate an indizierten und durchgeführten Nachbetäubungen stark. *In praxi* kann die Nachbetäubungsrate verschiedener Betriebe daher nicht ohne weiteres verglichen werden, insofern nicht exakt die gleichen Kriterien für eine Nachbetäubung herangezogen wurden.
- Mithilfe des erläuterten Wiegesystems konnten echte Fehlbetäubungen, in dem Sinne, dass Tiere beim ersten Betäubungsversuch nicht niederstürzten, überwiegend gut identifiziert und kontinuierlich dokumentiert werden. Eine statistische Überwachung dieser Fehlbetäubungsrate, ähnlich wie sie im Beschluss 672/12 vom Bundesrat gefordert wird, wäre folglich durch das entwickelte System möglich und denkbar.
- Als Echtzeit-Entscheidungshilfe über eine möglicherweise notwendige Nachbetäubung ist das entwickelte System in dieser Form derzeit nicht geeignet, da in den eigenen Untersuchungen Rinder mit anderen Anzeichen unzureichender Betäubung außer fehlendem Niederstürzen nicht mit ausreichender Sicherheit identifiziert werden konnten.
- Rinder mit erhaltenem Ohrtonus, Bulbusrotation oder Nystagmus zeigten in den eigenen Untersuchungen häufig weitere Anzeichen unzureichender Betäubungswirkung. In der Praxis sollten daher Tiere, die mindestens einen dieser Parameter zeigen, in der Folge besonders gewissenhaft beobachtet oder zur Sicherheit sofort nachbetäubt werden („Sicherheitsschuss“).
- Zungentonus sowie spür- aber nicht sichtbare „Restatemzüge“ waren in den eigenen Untersuchungen keine geeigneten Parameter zur Beurteilung der Betäubungsqualität. Deren Aussagekraft darf daher angezweifelt werden.
- Eine nicht maximal geweitete Pupille und eine deutliche Reaktion auf den Entblutestich traten signifikant häufiger bei Tieren mit unzureichender Betäubungstiefe und wiederkehrender Atmung auf. Beide Parameter kamen jedoch sowohl bei gut als auch bei unzureichend betäubten Tieren häufig vor und haben deshalb wohl eher weniger Bedeutung für die Praxis.
- Die Beurteilung vieler Parameter zur Betäubungstiefe war selbst unter standardisierten Bedingungen, wie in den eigenen Untersuchungen, subjektiv und stark davon abhängig wann und wie die Beurteilung erfolgte. Besonders unterschiedlich wurden die Befunde „Schwanztonus“ und „Aktives Hochziehen“ wahrgenommen. Nicht zuletzt deshalb ist deren Wert zur Beurteilung der Betäubungseffektivität *in praxi* als fragwürdig einzuschätzen.

-
- Auch das Betäubungspersonal sowie die Rasse und das damit verbundene Alter der Jungbullen hatten signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit von Nachbetäubungen.
 - Ein geringfügig verlängertes „stun-to-stick“-Intervall führte in den eigenen Untersuchungen nicht zwingend zu vermehrtem Auftreten von wiederkehrender Atmung. Eine präzise ausgeführte Betäubung fiel hierbei mehr ins Gewicht als eine geringfügige Überschreitung des 60 s Intervalls.

6 Zusammenfassung

Judith Heidi Schwarz

Klinisch-neurologische Untersuchungen zur Effektivität der Bolzenschussbetäubung bei Jungbullen und deren Potenzial zur Entwicklung eines automatischen Überwachungssystems

Institut für Lebensmittelhygiene, Veterinärmedizinische Fakultät Leipzig

Eingereicht im Februar 2015

95 Seiten, 36 Abbildungen, 26 Tabellen, 106 Literaturangaben, 1 Anhang (5 Abb., 4 Tab.)

Bolzenschussbetäubung – Jungbullen – Tierschutz – Betäubungseffektivität – automatische Betäubungsüberwachung

Schlachtrinder werden in Deutschland gegenwärtig fast ausnahmslos mittels Bolzenschuss betäubt. Gründe dafür sind neben der guten Handhabbarkeit und Zuverlässigkeit der Geräte die hohe Betäubungssicherheit bei richtig gewähltem Ansatz des Gerätes am Kopf des Tieres. Dessen ungeachtet kommt es, durch menschliche als auch technische Fehler bedingt, immer wieder vor, dass Rinder nach dem ersten Schuss nicht oder nur unzureichend betäubt sind. Laut einschlägiger Literatur sind teilweise bis zu 32 % der Rinder von einer suboptimalen Betäubung betroffen, sowie bis zu 7 % von einer völlig fehlenden Betäubungswirkung nach dem ersten Schuss. Aus Sicht des Tier- als auch des Arbeitsschutzes ist es notwendig alle Tiere genauestens auf Anzeichen zu beobachten, die auf eine mangelhafte Betäubung oder auf ein Wiedererlangen der Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit hindeuten und diese Tiere gegebenenfalls nachzubetäuben.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu prüfen, ob eine Automatisierung der Betäubungsüberwachung mithilfe eines Wiegesystems möglich ist. Hierzu wurden Wiegezellen unter einer Betäubungsfalle installiert, um den Verlauf des Niederstürzens der Tiere nach erfolgter Betäubung aufzuzeichnen. Durch das zunächst ruckartige Anziehen der Gliedmaßen und das darauf folgende Zusammenbrechen der Tiere entsteht ein charakteristischer Gewichtskurvenverlauf, welcher mit der Betäubungsqualität korreliert wurde. Hierfür wurden umfangreiche Daten zur Betäubungseffektivität an 10.154 Jungbullen an einem kommerziellen Schlachtbetrieb erhoben und im Zusammenhang mit den aufgezeichneten Wiegeprotokollen ausgewertet. Herangezogen wurden zur Beurteilung des Betäubungserfolges sowohl bewährte Parameter (u. a. sofortiges Niederstürzen, negativer Corneal- bzw. Palpebralreflex und Verlust der regelmäßigen Atmung) als auch weniger übliche oder umstrittene Befunde, deren Aussagekraft geprüft werden sollte (u. a. Pupillenform, Zungen-, Ohr- und Schwanztonus, Restatemzüge und Reaktion auf Entblutestich).

Anhand der insgesamt 21 erhobenen Befundparameter wurden die Tiere zum Zwecke der Auswertung in ein Schema eingeteilt. Demnach war die Betäubungswirkung nach dem ersten Schuss bei 0,3 % der Jungbullen fehlend, bei 1,8 % mangelhaft, bei 4,1 % fraglich und bei 7,4 % tadellos. 82,2 % der Tiere waren ausreichend betäubt, zeigten jedoch mindestens einen der zu prüfenden Befunde. Nachbetäubt wurden insgesamt 4,6 % der Rinder. Die zu prüfenden Parameter „keine runde, dilatierte Pupille“, „Pupille schlitzförmig“, „Ohrtonus“ und „deutliche Reaktion auf Entblutestich“ traten signifikant häufiger bei Tieren mit unzureichender Betäubungstiefe auf, während bei „Zungentonus“, „Schwanztonus“, „Restatemzügen“ und „deutlicher Erregung vor dem Schuss“ keine Korrelation erkennbar war. Die Ergebnisse zeigten auch, dass v. a. die Parameter „Schwanztonus“ und „aktives Hochziehen“ von verschiedenen Personen sehr subjektiv wahrgenommen wurden. Besondere Beachtung wurde dem Parameter „wiederkehrende regelmäßige Atmung“ geschenkt, da er erst zu einem relativ späten Zeitpunkt nach der Bolzenschussbetäubung auftritt. Eine solche wiederkehrende Atmung ca. 60 s nach der Betäubung trat bei 19 % der als unzureichend betäubt eingestuften Jungbullen sowie bei insgesamt 1,2 % aller untersuchten Tiere auf. 38 % dieser Tiere wies vorher bereits eine Bulbusrotation auf, sowie 22 % Nystagmus, während lediglich 4 % bzw. 2 % der Tiere ohne wiederkehrende Atmung diese Befunde zeigten. Zwischen der Länge des „stun-to-stick-Intervalls“ und dem Befund „wiederkehrende regelmäßige Atmung“ wurde kein verlässlicher Zusammenhang hergestellt. Nach den Ergebnissen dieser Untersuchung sind die Parameter „Zungentonus“, „Schwanztonus“, „Restatemzüge“, „deutliche Erregung vor dem Schuss“ und „aktives Hochziehen“ folglich wenig oder gar nicht aussagekräftig in Bezug auf die Betäubungsqualität. Im Gegensatz dazu sollte bei Bulbusrotation, Nystagmus und erhaltenem Ohrtonus eine sehr gewissenhafte weitere Beobachtung des Tieres bzw. eine „Sicherheits-Nachbetäubung“ erfolgen, um einem Wiederkehren der Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit des Rindes zuvorzukommen. Darüber hinaus scheint eine präzise Betäubung und sorgfältige Beobachtung der Tiere bis zum Ende der „Schwall-Entblutung“ zudem zielführender im Hinblick auf den Tierschutz als eine rigide Einhaltung des vorgeschriebenen „stun-to-stick-Intervalls“ von 60 s.

Anhand der aufgezeichneten Wiegeprotokolle konnten 94 % der Tiere mit fehlender Betäubungswirkung bei einer Spezifität von 98 % korrekt als solche erkannt werden. Für Tiere mit mangelhafter Betäubungswirkung betrug die Sensitivität lediglich 49 %, bei einer Spezifität von 78 %. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ist das entwickelte Wiegesystem folglich zur Echtzeit-Analyse der Betäubungstiefe in dieser Form wenig geeignet, da Rinder mit gering ausgeprägten Anzeichen unzureichender Betäubungstiefe nicht mit ausreichend hoher Sensitivität und Spezifität erkannt werden konnten. Echte Fehlbetäubungen allerdings (kein Niederstürzen der Tiere beim ersten Betäubungsversuch) sind mithilfe des erläuterten Wiegesystems überwiegend gut identifizierbar. Eine kontinuierliche statistische Erfassung dieser Fehlbetäubungsrate, wie sie mit Beschluss 672/12 vom Bundesrat gefordert wird, wäre durch das entwickelte System daher möglich.

7 Summary

Judith Heidi Schwarz

Assessment of the efficiency of captive-bolt stunning in young bulls and the potential to develop an automatic monitoring system

Institute of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig

Submitted in February 2015

95 pages, 41 figures, 30 tables, 106 references, 1 appendix (5 fig., 4 tab.)

Captive bolt stunning – young bulls – animal welfare – stunning efficiency – automatic monitoring system for stunning efficiency

In Germany, slaughter cattle are stunned by captive bolt with almost no exceptions. Reasons for this are the good practicability and reliability of the (stunning) device, as well as the high stunning safety when a correct positioning of the device on the animal's head is ensured. Due to human or technical faults it can still happen that cattle are not at all or not sufficiently stunned after the first shot. According to relevant literature, in some cases up to 32 % of the cattle are affected by suboptimal stunning, and up to 7 % by complete stunning failure at the first shot. Both from an animal welfare and working safety point of view, it is necessary to thoroughly monitor all animals for signs of insufficient stunning or recovery of consciousness and, if necessary, to re-stun them.

The aim of this study was to determine if the monitoring of stunned cattle could be automated with the help of a weighing system. For this purpose, a weight scale was installed under the stunning box to plot the animals' collapsing after the stun. The jerky lifting of the limbs and the following collapse create a characteristic weight curve, which was correlated to the stunning efficiency. For this purpose extensive data referring to the stunning efficiency were collected in 10,154 young bulls on a commercial slaughtering plant and interpreted in context with the recorded weight protocols. For the assessment of stunning efficiency, both established (e.g. immediate collapse, negative corneal- and palpebralreflex, cessation of rhythmic breathing) as well as less proved parameters (e.g. form of pupils, muscle tone of tongue, ears and tail, post stun exhalation, reaction to sticking), were used and the significance of the latter was investigated.

On the basis of the 21 assessed parameters the animals were classified in a scheme for further analysis. According to this scheme, the stunning effect of the first shot was totally absent in 0.3 % of the young bulls, incomplete in 1.8 %, doubtful in 4.1 % and perfect in 7.4 %. 82.2 % of the animals were adequately stunned, but showed at least one of the parameters to be checked. In total 4.6 % of the cattle were re-stunned. The parameters "pupils not round and dilatated", "pupils slit-like", "ear muscle tone" and "clear reaction to

sticking” appeared significantly more often in animals with imperfect concussion, while muscle tone of tongue and tail, post stun exhalation, and clear excitement before stunning could not be correlated with the stunning efficiency. The results showed also that the parameters “muscle tone of tail” and “lifting on the bleeding rail” in particular, were judged very subjectively between different persons. Special attention was paid to the parameter “regular breathing regained” as it occurs at a quite late stage after captive bolt stunning. Such recurring breathing about 60 s after stunning appeared in 19 % of young bulls classified as imperfectly stunned as well as in 1.2 % of all examined animals. Before regaining regular breathing, 38 % of these animals showed a rotation of the eye and 22 % showed nystagmus whereas only 4 % and 2 % respectively of the animals without recurring breathing showed these results. No reliable correlation was found between the length of the stun-to-stick intervals and the parameter “regular breathing regained”. According to the findings of this study the parameters “muscle tone of tongue and tail”, “post stun exhalation”, “clear excitement before stunning” and “lifting on the bleeding rail” are either not, or only slightly, conclusive as to the stunning efficiency. In contrast to that, there should be a very careful observation of the animals showing “rotation of the eye”, “nystagmus” or “ear muscle tone”, or a safety re-stun to prevent the cattle from regaining consciousness and sensibility. Furthermore a careful observation of the animals until the end of bleeding seems to be more important in terms of animal welfare than the rigid fulfilling of the prescribed stun-to-stick-interval of 60 s.

With the help of the weight protocols, 94 % of the animals with absent stunning effect could be correctly identified, with a specificity of 98 %. For animals with incomplete stunning effect the sensitivity was only 49 %, with a specificity of 78 %. According to the results of this study, the developed system is not suitable in this form as a real-time-surveillance system to decide whether there should be a re-stun or not, as cattle with less distinctive signs of imperfect stunning efficiency could not be recognized with sufficiently high sensitivity and specificity. However, complete stunning failures (no collapse after first stun) are predominantly well detectable with the explained scale system. A continuous statistical recording of stunning failures, as demanded by the Bundesrat in the resolution (Beschluss) 672/12, would therefore be possible with the developed system.

8 Literaturverzeichnis

Aichinger CA. Die Implementierung der Elektrobetäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb beim Rind [Dissertation med. vet.]. München: LMU München; 2003.

Algers B, Atkinson S. Stun quality in relation to cattle size, gun type and brain haemorrhages. Proceedings of the 13th International Congress in Animal Hygiene, Volume 2; 2007 June 17-21; Tartu, Estonia. Tartu: Estonian University of Life Sciences; 2007.

Anil MH, Love S, Williams S, Shand A, McKinstry JL, Helps CR, Waterman-Pearson A, Seghatchian J, Harbour DA. Potential contamination of beef carcasses with brain tissue at slaughter. Veterinary Record. 1999;145(16):460-462.

Anon. Beschluss des Bundesrates. Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates (Tierschutz-Schlachtverordnung - TierSchlV). Drucksache 672/12 (Beschluss) 14.12.2012 (2012a).

Anon. Beschussverordnung vom 13. Juli 2006 (BGBl. I S. 1474), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643) geändert worden ist (BeschussV) (2006a).

Anon. Entscheidung der Kommission vom 29. Juni 2000 zur Regelung der Verwendung von bestimmtem Tiermaterial angesichts des Risikos der Übertragung von TSE-Erregern und zur Änderung der Entscheidung 94/474/EG (Amtsblatt Nr. L 158 vom 30.06.2000), 2000/418/EG (2000).

Anon. Gesetz über das Schlachten von Tieren vom 21. April 1933 (RGBl. I S. 203) (1933).

Anon. Guidance Notes No. 2. Captive-Bolt Stunning of Livestock. 4. Aufl. Wheathampstead, UK: Humane Slaughter Association; 2006b.

Anon. Pneumatic Stunner Model USSS-1: Jarvis Products Corporation, Middletown, United States of America; 2014 (zitiert vom 24.06.2014). <<http://www.jarviscanada.com/brochure/USSS-1.pdf>>.

Anon. Tierschutzgesetz (TierSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 90 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist (2013).

Anon. Verordnung (EG) Nr. 999/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2001 mit Vorschriften zur Verhütung, Kontrolle und Tilgung bestimmter transmissibler spongiformer Enzephalopathien ABI. L 147 vom 31.5.2001, S. 1 (2001).

Anon. Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung. ABl. L 303 vom 18.11.2009, S. 1 - 30 (2009).

Anon. Verordnung über das Schlachten von Tieren vom 21. April 1933 (RGBl. I, S. 212) i.d.F. vom 14. November 1934 (RGBl. I, S. 1163) und 10. November 1952 (BGBl. I, S. 748) (1952).

Anon. Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2982) (Tierschutz-Schlachtverordnung - TierSchIV). 2012b.

Appelt M, Sperry J. Stunning and killing cattle humanely and reliably in emergency situations - A comparison between a stunning-only and a stunning and pithing protocol. Canadian Veterinary Journal-Revue Veterinaire Canadienne. 2007;48(5):529-534.

Arnold S, Parotat S, von Wenzlawowicz M, Moje M, Troeger K, Lücker E. Entwicklung einer automatisierten Methode zur Feststellung der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit von Mastschweinen vor der Weiterverarbeitung. 49. Kulmbacher Woche 6. - 8. Mai 2014; Kulmbach MRI; 2014. S. 13-14.

Atkinson S, Velarde A, Algers B. Assessment of stun quality at commercial slaughter in cattle shot with captive bolt. Animal Welfare. 2013;22(4):473-481.

Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie. 3. Aufl. Engel AK (Hrsg.). Heidelberg: Springer Spektrum; 2008. S. 457-460.

Blackmore DK. Practical problems associated with the slaughter of stock. In: Eikelenboom G (Hrsg.). Stunning of Animals for Slaughter. Brüssel: Martinus Nijhoff Publishers; 1983. S. 167-178.

Blackmore DK, Delany MW. Slaughter of stock. A practical Review and Guide. Palmerston North, New Zealand: Massey University; 1988. S. 55-71.

Blackmore DK, Newhook JC. 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. 1982;7(1):19-28.

Bourguet C, Deiss V, Tannugi CC, Terlouw EMC. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. Meat Science. 2011;88(1):158-168.

Breidert K. Versuche mit dem Schlachtvieh-Betäubungsapparat "Blitz". Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene. 1902;12:349-350.

Beratungs- und Schulungsinstitut für Tierschutz bei Transport und Schlachtung Schwarzenbek (bsi) 2013. Gute fachliche Praxis der tierschutzgerechten Schlachtung von Rind und Schwein (zitiert vom 12.11.2013); <http://www.bsi-schwarzenbek.de/Dokumente/bsi_gute_Praxis_4_13.pdf>.

Budras K-D, Wünsche A. Atlas der Anatomie des Rindes: Lehrbuch für Tierärzte und Studierende. Hannover: Schlütersche; 2002. S. 40, 48-55.

Christensen EH, Krogh A, Sahlstedt V. Nitrous Oxide and Nitrogen Narcotisation of Animals to be Slaughtered According to the Jewish Ritual. *Veterinary Record*. 1939;51(5):135-137.

Daly CC, Gregory NG, Wotton SB. Captive bolt stunning of cattle: Effects on brain function and role of bolt velocity. *British Veterinary Journal*. 1987;143(6):574-580.

Daly CC, Kallweit E, Ellendorf F. Cortical function in cattle during slaughter: Conventional captive bolt stunning followed by exsanguination compared with shechita slaughter. *Veterinary Record*. 1988;122(14):325-329.

Daly CC, Whittington PE. Investigation into the principal determinants of effective captive bolt stunning of sheep. *Research in Veterinary Science*. 1989;46(3):406-408.

Dörfler K, Troeger K, Lautenschläger R, Schönekeß HC, Jäger F, Lücker E. Kinetische Energie und Effektivität verschiedener Bolzenschuss-Betäubungsverfahren. *Fleischwirtschaft*. 2013;93(2):91-96.

European Food Safety Authority (EFSA) 2004. Welfare aspects of animal stunning and killing methods - Scientific Report of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of animal stunning and killing methods. *EFSA Journal* 2004;45(7): S. 1-29 doi:10.2903/j.efsa.2004.45.

European Food Safety Authority (EFSA) 2013. Scientific Opinion on monitoring procedures at slaughterhouses for bovines - EFSA Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA Journal* 2013;11(12): S.3460-65 doi:10.2903/j.efsa.2013.3460

European Food Safety Authority (EFSA) 2013; Sample size calculation tool for monitoring at slaughterhouse. EFSA supporting publication 2013:EN-541.

Endres JM. Effektivität der Schuss-Schlag-Betäubung im Vergleich zur Bolzenschussbetäubung von Rindern in der Routineschlachtung [Dissertation med. vet]. München: LMU München; 2005.

Esbensen KH. Multivariate Data Analysis - in practice. An Introduction to Multivariate Data Analysis and Experimental Design. 5. Aufl. Woodbridge, USA: CAMO Software Inc.; 2006.

Ewbank R, Parker MJ, Mason CW. Reactions of cattle to head-restraint at stunning: A practical dilemma. *Animal Welfare*. 1992;1(1):55-63.

Fahrbach R. Die heute üblichen Betäubungsverfahren bei Schlachttieren und ihre historische Entwicklung [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover; 1948.

Finnie JW. Brain-damage caused by a captive bolt pistol. *Journal of Comparative Pathology*. 1993;109(3):253-258.

Finnie JW, Manavis J, Blumbergs PC, Summersides GE. Brain damage in sheep from penetrating captive bolt stunning. *Australian Veterinary Journal*. 2002;80(1-2):67-69.

Fricker C, Riek W. Die Betäubung von Rindern vor dem Schlachten mit Hilfe des Bolzenschuß-Apparates. *Fleischwirtschaft*. 1981;61(1):124-127.

Fries R, Schrohe K, Lotz F, Arndt G. Application of captive bolt to cattle stunning - a survey of stunner placement under practical conditions. *Animal*. 2012;6(7):1124-1128.

Gallo C, Teuber C, Cartes M, Uribe H, Grandin T. Mejoras en la insensibilización de bovinos con pistola neumática de proyectil retenido tras cambios de equipamiento y capacitación del personal. *Archivos de medicina veterinaria*. 2003;35(2):159-170.

Gap-Don K, Hyun-Seok L, Eun-Young J, Hyun-Jung L, Hyun-Woo S, Young-Ho L, Se-Heon J, Seoung-Bong B, Seon-Tea J, Han-Sul Y. The effects of CO₂ gas stunning on meat quality of cattle compared with captive bolt stunning. *Livestock Science*. 2013;157(1):312-316.

Garland T, Bauer N, Bailey M. Brain emboli in the lungs of cattle after stunning. *Lancet*. 1996;348(9027):610.

Gasquoine PG. Postconcussion Symptoms. *Neuropsychology Review*. 1997;7(2):77-85.

Gibson TJ, Ridler AL, Lamb CR, Williams A, Giles S, Gregory NG. Preliminary evaluation of the effectiveness of captive-bolt guns as a killing method without exsanguination for horned and unhorned sheep. *Animal Welfare*. 2012;21(S2):35-42.

Gilliam JN, Shearer JK, Woods J, Hill J, Reynolds J, Taylor JD, Bahr RJ, Crochik S, Snider TA. Captive-bolt euthanasia of cattle: determination of optimal-shot placement and evaluation of the Cash Special Euthanizer Kit® for euthanasia of cattle. *Animal Welfare*. 2012;21(S2):99-102.

Gouveia KG, Ferreira PG, Roque da Costa JC, Vaz-Pires P, Martins da Costa P. Assessment of the efficiency of captive-bolt stunning in cattle and feasibility of associated behavioural signs. *Animal Welfare*. 2009;18(2):171-175.

Gracey JF, Collins DS, Huey RJ. Humane Slaughter. Meat Hygiene. 10. Aufl. London: W.B. Saunders; 1999. S. 197-204; 214-222.

Grandin T. Improving Animal Welfare: A Practical Approach. Wallingford, UK: CABI; 2010. S. 168-170; 199-201.

Grandin T. Objective scoring of animal handling and stunning practices at slaughter plants. Journal of the American Veterinary Medical Association. 1998;212(1):36-39.

Grandin T. Return-to-sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. Journal of the American Veterinary Medical Association. 2002;221(9):1258-1261.

Gregory N, Shaw F. Penetrating Captive Bolt Stunning and Exsanguination of Cattle in Abattoirs. Journal of Applied Animal Welfare Science. 2000;3(3):215-230.

Gregory NG. Animal Welfare & Meat Production. 2. Aufl. Wallingford: CABI; 2007. S. 193-196.

Gregory NG. Animal Welfare and Meat Science. Wallingford, UK: CABI Publishing; 1998. S. 79-82, 223-229.

Gregory NG. Recent concerns about stunning and slaughter. Meat Science. 2005;70(3):481-491.

Gregory NG, Lee CJ, Widdicombe JP. Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. Meat Science. 2007;77(4):499-503.

Hilsenbeck EM. Untersuchungen zur Entblutezeit bei Rindern nach Bolzenschußbetäubung [Dissertation med. vet.]. München: LMU München; 2007.

Hoffmann A. Implementierung der Schuss-Schlag-Betäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb [Dissertation med. vet.]. München: LMU München; 2003.

Hofschulte B. Karl Schermer und der Bolzenschussapparat. Tierärztliche Umschau. 1987;42(11):885-892.

Horlacher S, Lückner E, Eigenbrodt E, Wenisch S. Brain emboli in the lungs of cattle. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift. 2002;115(1-2):1-5.

Ilgert H. Effizienz der Bolzenschußbetäubung beim Rind mit Berücksichtigung der Einschußstelle und der Eindringrichtung des Bolzens unter Praxisbedingungen [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Universität Berlin; 1985.

Johnson CB, Gibson TJ, Stafford KJ, Mellor DJ. Pain perception at slaughter. *Animal Welfare*. 2012;21(S2):113-122.

Jones TC, Hunt RD, King NW. *Veterinary pathology*. 6. Aufl. Baltimore: Williams & Wilkins; 1997. S. 1264.

Kaegi B. Untersuchungen zur Bolzenschussbetäubung beim Rind [Dissertation med. vet.]. Zürich: Universität Zürich; 1988.

Kallweit E, Ellendorf F, Daly C, Smidt D. Physiologische Reaktionen bei der Schlachtung von Rindern und Schafen mit und ohne Betäubung. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*. 1989;96(3):89-92.

Kohlen S. Untersuchungen zum korrekten Treffpunkt für den Bolzenschuss bei der Betäubung von Rindern bei der Schlachtung [Dissertation med. vet.]. München: LMU München; 2011.

König HE, Liebich H-G. *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. 3. Aufl. Stuttgart: Schattauer; 2005. S. 490-492.

Lambooy E. Die mechanischen Aspekte der Schäeldurchdringung mit Bolzenschußapparaten bei Bullen, Mastkälbern und Schweinen. *Fleischwirtschaft*. 1981;61(12):1882-1885.

Lambooy E. Some aspects of the effectiveness of stunning in sheep by the captive bolt. *Meat Science*. 1982;7(1):51-57.

Lambooy E, Eikelenboom G. Concussion stunning of veal calves. In: Eikelenboom G (Hrsg.). *Stunning of Animals for Slaughter*. Brüssel: Martinus Nijhoff Publishers; 1983. S. 134-137.

Lambooy E, Logtestijn JGv, Sybesma W. Some aspects of electrical and mechanical stunning in ruminants. *Fleischwirtschaft*. 1983;63(5):901-903, 932-934.

Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz – Arbeitsgemeinschaft Tierschutz (LAV) 2014. *Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung – Erlass des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg vom 23. Januar 2014 (zitiert vom 28. Mai 2014)* <http://www.mugv.brandenburg.de/v/lbsvet/TEILD/D1_4_12_3.PDF>.

Lücker E, Schlottermüller B, Martin A. Studies on contamination of beef with tissues of the central nervous system (CNS) as pertaining to slaughtering technology and human BSE-exposure risk. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*. 2002;115(3-4):118-121.

Marzin V, Collobert JF, Jaunet S, Marrec L. Critères pratiques de mesure de l'efficacité et de la qualité de l'étourdissement par tige perforante chez le bovin. *Revue De Medecine Veterinaire*. 2008;159(8-9):423-430.

Mayhew IG. *Large Animal Neurology*. 2. Aufl. Chichester, UK: Wiley-Blackwell; 2008. S. 6-7.

McGavin MD, Zachary JF. *Pathologie der Haustiere. Allgemeine, spezielle und funktionelle Veterinärpathologie*. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 852-853.

Meat Industry Development and Advisory Service (MIDAS). *Stunning and Bleeding Cattle, Sheep and Pigs*. MIDAS bulletin No 4. A joint service of the Meat Research Institute and the Meat and Livestock Commission. 1978.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band IV. Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen*. 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2004. S. 205-207.

Oliver JE, Lorenz MD, Kornegay JN. *Handbook of Veterinary Neurology*. 3. Aufl. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1997. S. 274-296.

Paulsen P, Hagen U, Smulders FJM, König HE. Zur Bolzenschußbetäubung bei Schlachtrindern und -schweinen: anatomische Überlegungen. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*. 2001;88(8):210-218.

Pieper H. *Der gegenwärtige Stand der Betäubungsweise an den deutschen Schlachthöfen unter besonderer Berücksichtigung der Betäubung von Kälbern* [Dissertation med. vet.]. Berlin: Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin; 1937.

Popesko P. *Atlas der topographischen Anatomie der Haustiere. Band I: Kopf und Hals*. Stuttgart: Enke; 1979. S. 15.

Prändl O. Schlachten von Tieren, ausgenommen Geflügel. In: Prändl O, Fischer A, Schmidhofer T, Sinell H-J (Hrsg.). *Handbuch der Lebensmitteltechnologie - Fleisch Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung*. Stuttgart: Ulmer; 1988. S. 45-51.

Romero MH, González LM, Cobo CG. Evaluación del bienestar animal por medio de indicadores conductuales durante el sacrificio de bovinos. *Revista Luna Azul*. 2012(35):48-59.

Salomon F-V, Geyer H, Gille U. *Anatomie der Tiermedizin*. Stuttgart: Enke; 2005. S. 487-504.

Sánchez-Barrera IC, Albarracin W, Rojas MJ. Electroencephalographic spectrum power of sheep's brain after stunning. *Journal of Applied Animal Research*. 2014;42(1):73-78.

Schrohe K, Arndt G, Fries R. Zur Schusspräzision bei der Bolzenschussbetäubung von Rindern. 5. Fachtagung Fleisch- und Geflügelfleischhygiene 2. - 3. März 2005; Berlin: Reinhard Fries, Institut für Fleischhygiene und -technologie.

Schütt-Abraham I. Tierschutzgerechte Betäubung von Schlachttieren 2002 (zitiert vom 24.06.2014). <<http://www.heyntkes.de/isa/schlachtung/schlachten.htm>>.

Schütt-Abraham I. Zum Einsatz des Rückenmarkszerstörers bei der Nottötung von Rindern 2001 (letztes Update 11.05.2003; zitiert vom 24.06.2014). <<http://www.heyntkes.de/isa/schlachtung/bet.htm>>.

Shaw FD. The corneal reflex following captive bolt stunning. New Zealand Veterinary Journal. 1989;37(1):43-44.

Shaw NA. The neurophysiology of concussion. Progress in Neurobiology. 2002;67(4):281-344.

Sprenger A, Fischer J, Troeger K, Lücker E. Automatische Kontrolle des Entblutungsverlaufs bei Schweinen. 49. Kulmbacher Woche 6. – 8. Mai 2014; Kulmbach MRI; 2014. S. 11-12.

Stoffel MH. Funktionelle Neuroanatomie für die Tiermedizin. Stuttgart: Enke; 2011. S. 61-63.

Troeger K. Blutentzug sofort nach Stromfluss-Ende. Neuentwickelte Anlage zur Elektrobetäubung von Rindern - Technische Daten und Funktion. Fleischwirtschaft. 2002;82(7):22-25.

Troeger K. Fleischgewinnung und -behandlung. In: Branscheid W, Honikel KO, von Lengerken G, Troeger K (Hrsg.). Qualität von Fleisch und Fleischwaren. Band 1. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag; 2007. S. 442-446.

Troeger K, Meiler D. Entwicklung eines praxisgerechten Verfahrens zur Kontrolle der Tötung von Schlachtschweinen durch Blutentzug (Machbarkeitsstudie) Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach 45. 2006;Nr. 171:15-22.

Troeger K, Moje M. Fehlbetäubungsrate null Prozent? Neue Anlage zur Bolzenschussbetäubung von Rindern zeigt überzeugende Wirkung. Fleischwirtschaft. 2012;92(8):26-29.

Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V. (TVT). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. 2007.

Vandeveld M, Jaggy A, Lang J. Veterinärmedizinische Neurologie. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. 2. Aufl. Berlin: Parey Buchverlag; 2001. S. 29, 38-42, 167-168.

von Engelhardt W, Breves G. Physiologie der Haustiere. 2. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2005. S. 62-63.

von Holleben K. Betäubungsfehler mit Verstand verhindern. Klinische Anzeichen während der Betäubung und Entblutung richtig deuten. Fleischwirtschaft. 2008;88(9):48-53.

von Mickwitz G. Betäubung von Schlachttieren. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift. 1982;89(4):166-167.

von Wenzlawowicz M, von Holleben K, Eser E. Identifying reasons for stun failures in slaughterhouses for cattle and pigs: a field study. Animal Welfare. 2012;21(S2):51-60.

Warris PD. Meat science. An Introductory Text. Wallingford: CABI Publishing; 2000. S. 70-73.

Zulkifli I, Goh YM, Norbaiyah B, Sazili AQ, Lotfi M, Soleimani AF, Small AH. Changes in blood parameters and electroencephalogram of cattle as affected by different stunning and slaughter methods in cattle. Animal Production Science. 2014;54(2):187-193.

9 Anhang

Tab. 9.1 Absolute und relative Häufigkeit der untersuchten Rinderrassen

Rasse	Abkürzung	n	%
Fleckvieh	Fleck	5481	54,0
Braunvieh	Braun	1294	12,7
Kreuzung Fleischrind x Fleischrind	FlxFl	907	8,9
Schwarzbunt	Sb	539	5,3
Kreuzung Fleischrind x Milchrind	FlxMI	436	4,3
Sonderkreuzung	SoKre	249	2,5
Rotbunt	Rb	139	1,4
Charolais	Charl	118	1,2
Limousin	Limou	99	1,0
nicht erfasst/unbekannt	0	633	6,2
Kreuzung Milchrind x Milchrind	MIxMI	91	0,9
Uckermärker	Ucker	47	0,5
Vorderwälder	Vord	46	0,5
Deutsch-Angus	D-Ang	22	0,2
Doppelnutzung-Rotbunt	Do,Rb	16	0,2
Blonde d'Aquitaine	Blond	7	0,1
Blauweiße Belgier	BlauB	6	0,1
Gelbvieh	Gelbv	6	0,1
Genreserve DSR	DSR	5	0,0
Hereford	Heref	3	0,0
Pustertaler Schecken	Puste	3	0,0
Aubrac	Aubra	1	0,0
Braunvieh-alte Zuchtrichtung	Br/al	1	0,0
Glanrind	Glanr	1	0,0
Lakenfelder	Laken	1	0,0
Murnau-Werdenfelser	Mumau	1	0,0
Pinzgauer	Pinz	1	0,0
Rotbunt-Fleischnutzung	RbFl	1	0,0

Tab. 9.2 Detailliertes Einteilungsschema der Rinder in Gruppen nach Betäubungswirkung

Befundparameter	Betäubungswirkung				
	fehlend	mangelhaft	fraglich	ausreichend	tadellos
Kein sofortiges Niederstürzen nach dem Schuss	ja	nein	nein	nein	nein
Cornealreflex auslösbar	ja/nein/?	sobald ein Befund "ja"	nein	nein	nein
Gerichtete Augenbewegung					
Spontaner Lidschlag					
Regelmäßige Atmung					
Lautäußerung					
Augenbewegung/Lidschlag*					
Wiederkehrende regelmäßige Atmung*					
Vokalisation*					
Bulbusrotation	ja/nein/?	ja/nein/?	sobald ein Befund "ja"	nein	nein
Nystagmus (Augenzittern)	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	sobald ein Befund "ja"	nein
Keine tonischen Krämpfe der Rumpfmuskulatur					
Keine runde, dilatierte Pupille					
Pupille schlitzförmig					
1-4 Atemzüge					
Ohrtonus*					
Zungentonus*					
Schwanztonus*					
Aktives Hochziehen*	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*					
Deutliche Erregung vor Schuss	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?
Nachbetäubung	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	ja/nein/?	nein

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

ja = Befund positiv, nein = Befund negativ, ? = Befund konnte nicht sicher beurteilt werden



Abb. 9.1 Balkenförmige Pupille (links) und weit dilatierte Pupille (rechts)

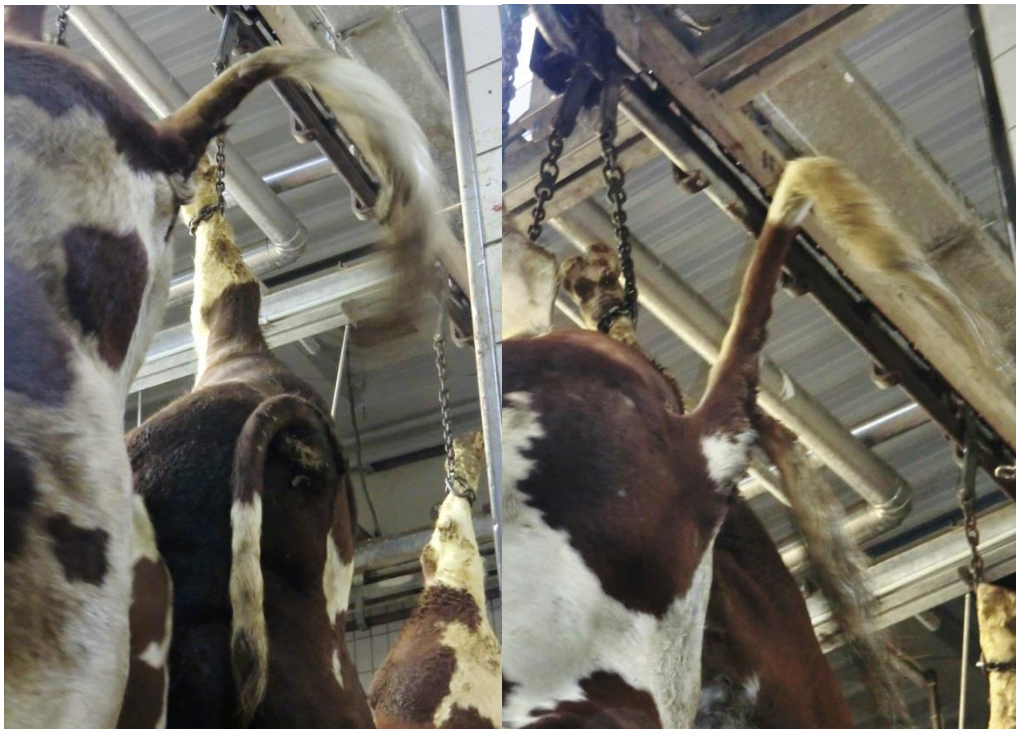


Abb. 9.2 Etwa zur Hälfte erhaltener und völlig erloschener Schwanztonus (links) und vollständig erhaltener Schwanztonus (rechts)



Abb. 9.3 Aus dem Maul hängende, schlaffe Zunge (linkes Tier) und im Maul verbliebene Zunge bei Tier mit bereits ausfließendem Pansensaft (rechtes Tier)



Abb. 9.4 Deutlich erhaltener Ohrtonus mit nach kaudal angelegten Ohren (im Moment der Nachbetäubung; links) und völlig erloschener Ohrtonus (rechts)



Abb. 9.5 Aktives Hochziehen bzw. seitliches Krümmen an der Rohrbahn

Tab. 9.3 Relative Häufigkeit der „unklaren“ Befunde bei gut bzw. unzureichend betäubten Tieren ohne Nachbetäubung (vgl. Tab. 4.8)

Befundparameter	Betäubungswirkung				p
	gut		unzureichend		
	%	N	%	N	
Keine runde, dilatierte Pupille	61,8	8926	81,4	258	<0,0001
Pupille schlitzförmig	9,3	7240	11,1	199	0,2358
1 - 4 Atemzüge	6,4	7264	4,9	203	0,8332
Ohrtonus*	0,1	7215	1,0	203	0,0143
Zungentonus*	52,2	8907	50,4	258	0,7331
Schwanztonus*	39,8	8913	47,2	252	0,0110
Aktives Hochziehen*	19,2	9040	22,8	263	0,0967
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*	19,2	8964	28,0	261	0,0004
Deutliche Erregung vor Schuss	16,4	9056	15,3	262	0,7187

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde. Tiere mit unsicherer Beurteilung des jeweiligen Befundes wurden ausgeschlossen

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

** Die Erhebung des Parameters Ohrtonus überschneidet sich zwischen Terminal 1 und 2

Tab. 9.4 Relative Häufigkeit der Einzelbefunde im Zusammenhang mit dem Auftreten von wiederkehrender regelmäßiger Atmung für Tiere ohne Nachbetäubung (vgl. Tab. 4.11)

Befundparameter	Wiederkehrende Atmung				p
	ja		nein		
	n	%	n	%	
Kein sofortiges Niederstürzen n. d. Schuss	0	0,0	0	0,0	n. b.
Cornealreflex auslösbar	0	0,0	0	0,0	n. b.
Gerichtete Augenbewegung	0	0,0	0	0,0	n. b.
Spontaner Lidschlag	0	0,0	0	0,0	n. b.
Regelmäßige Atmung	2	2,8	6	0,1	0,0015
Lautäußerung	0	0,0	2	0,0	n. b.
Augenbewegung/Lidschlag*	4	5,8	26	0,3	<0,0001
Wiederkehrende regelmäßige Atmung*	71	100,0	0	0,0	n. b.
Vokalisation*	0	0,0	2	0,0	n. b.
Mindestens einer der folgenden Befunde:	7	9,9	159	1,7	0,0002
Bulbusrotation	7	9,9	141	1,5	0,0001
Nystagmus (Augenzittern)	0	0,0	22	0,2	1
Keine ton. Krämpfe der Rumpfmuskulatur	0	0,0	2	0,0	1
Keine runde, dilatierte Pupille	59	83,1	5.766	61,6	<0,0001
Pupille schlitzförmig	6	8,6	697	9,4	0,6490
1 - 4 Atemzüge	3	4,3	475	6,4	0,8287
Ohrtonus*	1	1,4	6	0,1	0,0635
Zungentonus*	30	42,9	4.847	51,8	0,9470
Schwanztonus*	31	43,7	3.725	39,8	0,2944
Aktives Hochziehen*	24	33,8	1.787	18,7	0,0020
Deutliche Reaktion auf Entblutestich*	29	40,9	1.783	18,9	<0,0001
Deutliche Erregung vor Schuss	11	15,5	1.560	16,4	0,6271

N ist jeweils die Zahl der Tiere, bei denen der jeweilige Parameter sicher mit ja oder nein beantwortet wurde. Tiere mit unsicherer Beurteilung des jeweiligen Befundes wurden ausgeschlossen

gut = tadellos und unklar; unzureichend = fraglich und mangelhaft

* Befunde, die an Terminal 2 erhoben wurden

n. b. nicht berechnet, da nicht sinnvoll oder Auftreten zu gering

10 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Ernst Lücker am Institut für Lebensmittelhygiene für die Übernahme der Dissertation, die stets freundliche und angenehme Kommunikation, die ausgezeichneten Tipps und Ratschläge, sowie die zügige Durchsicht meiner Arbeit.

Bei meinen Betreuern Herrn Prof. Dr. Klaus Troeger und FTA Matthias Moje am MRI Kulmbach möchte ich mich herzlich für die Überlassung dieses spannenden Forschungsthemas, den unkomplizierten Umgang, die fachliche Unterstützung und die hilfreichen Ratschläge bedanken. Ganz besonders danke ich Herrn Prof. Troeger für seine Bereitschaft meine Dissertation über seinen Ruhestand hinaus zu betreuen.

Insbesondere möchte ich mich bei Dr. Michael Judas am MRI Kulmbach bedanken, der mir in Sachen Statistik und Auswertung mit Rat und Tat bei Seite stand, mir wertvolle Ratschläge für meine Dissertation gab und immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Weiterhin danke ich Dr. Rico Scheier an der Universität Bayreuth für die hervorragenden Anregungen bei der Auswertung der Wiegeprotokolle.

Für die angenehme und unkomplizierte Zusammenarbeit am Schlachthof möchte ich mich bei allen Mitarbeitern von der Schlachthalle bis in die Chefetage bedanken, ebenso bei den Damen und Herren vom Fleischhygieneamt.

Herrn Schmidt und Herrn Dittmann sowie ihren Kollegen von der Firma Banss, Biedenkopf, danke ich für die ausgezeichnete Kooperation, den technischen Support und die stets raschen Antworten bei Fragen und Problemen rund um die Betäubungsanlage.

Der Förderergesellschaft für Fleischforschung e.V. danke ich für die Förderung meiner Arbeit im Rahmen eines einjährigen Stipendiums von August 2013 bis Juli 2014.

Mein größter Dank gilt meiner Familie und Paul für ihre größtmögliche Unterstützung